



Gürültü Önleyici Akustik Malzemelerin Performans Düzeylerinin İncelenmesi

Hatice Mehtap Öz¹, Ercan Köse²

¹ Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tarsus, Mersin, Türkiye

² Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9814-6339)

(İlk Geliş Tarihi 24 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 21 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.679628)

ATIF/REFERENCE: Öz, H. M. & Köse, E. (2020). Gürültü Önleyici Akustik Malzemelerin Performans Düzeylerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 1-10.

Öz

Doğal ve yapay birçok ortamda gürültü ile karşılaşmak kaçınılmazdır. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde de belirtildiği gibi 85dB (desibel) üzeri ses ve gürültüyle karşılaşmak insan sağlığı için kalıcı sorunlara yol açabilir. Söz konusu bu zararlardan insanları korumak için çeşitli çözüm önerileri geliştirilmiştir. Kulaklık kullanılması, ses ve gürültünün kaynağında uzaklaştırılması, ses ve gürültünün bastırılması ve yalıtılması önemli başarımlar sağlamıştır. Gürültüyü bastırmak için deneysel olarak da kanıtlanmış olan, akustik köpük veya sünger şeklinde malzemeler, doğal lifler (koyun lifleri, hindistan cevizi, çay lifi ve kenevir lifleri vb. doğal ve sentetik liflerden elde edilen mikrolifler ve cam yünü şeklindeki malzemelerin kullanılması gerekir. Akustik özelliklerinin iyi olması açısından; süngerlerin, doğal liflerden üretilen dokuma ve örme kumaşların, mikroliflerden elde edilen kumaşların, geri dönüştürülmüş dokusuz yüzeylerden elde edilmiş kumaşların iyi bir performans gösterdiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yeni bir çalışma olarak gürültünün bastırılması yani gücünün azaltılması için sentetik liflerden, özellikle de akrilik liflerden elde edilebilecek dokuma, örme, dokusuz yüzey şeklindeki kumaşların veya süngerlerin deneysel olarak incelenmesi ve sonuçlarının analiz edilmesi önemli sonuçlar sağlayabilir. Çünkü akrilik lifleri, yapısı itibarıyla diğer liflere göre daha gözenekli yapıya sahiptir. Ses absorbe etmede ise gözenekli yapılar önemli bir noktaya sahip olduğundan dolayı deneysel çalışmalarda malzeme olarak seçilmesi ile çalışmanın hedefi açısından önemli aşamalar kaydedilebilir.

Anahtar Kelimeler: Akustik Malzeme, Gürültü, Lif, Kumaş, Dokuma, Örme.

Investigation Of The Performance Levels Of The Noise Preventive Acoustic Materials

Abstract

It is inevitable to encounter noise in many natural and artificial environments. As stated in the Occupational Health and Safety Regulation, encountering noise and noise above 85 dB (decibel) can cause permanent problems for human health. Various solutions have been developed to protect people from these damages. The use of headphones, moving away from the source of sound and noise, suppression and isolation of sound and noise have made important achievements. The experimentally proven to suppress noise, materials in the form of acoustic foam or sponge, natural fibers (sheep fibers, coconut, tea fiber and hemp fibers, etc.), microfibrils obtained from natural and synthetic fibers and glass wool materials should be used. In terms of good acoustic properties; It has been revealed that sponges, woven and knitted fabrics made from natural fibers, fabrics made from microfibrils, fabrics made from recycled non-woven surfaces perform well. In addition, as a new study, experimental investigation and analysis of woven, knitted, non-woven surface fabrics

* **Sorumlu Yazar:** Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye, hmehtap@yahoo.com

or sponges that can be obtained from synthetic fibers, especially acrylic fibers, to suppress noise, to reduce its power, can provide important results. Since porous structures have an important point in sound absorption, important steps can be recorded for the target of the study by selecting them as materials in experimental studies.

Keywords: Acoustic Material, Noise, Fiber, Fabric, Weaving, Knitting.

1. Giriş

Ses, havadaki basınç değişimlerinin bir sonucu olarak tanımlanır. Havadaki bu basınç değişimleri, kulak zarını harekete geçirerek ses üretilmesini sağlar. İnsan kulağı çok geniş bir alanda bile ses basıncını ayırt edebilecek özelliğe sahiptir [1]. Sesin yüksekliğini belirleyen faktör ise frekansıdır. Sesin frekansı ve oluşturduğu basınç, ses yüksekliğini belirlemede önemli faktörlerdir. Sağlıklı bir insanın kulağının işitebileceği frekans aralığı 20-20000 Hz (Hertz) olarak tespit edilmiştir. Buna göre de 20 Hz' in altındaki sesler, ses berisi (infra sound), 20000 Hz' in üstündeki sesler ise ses ötesi (ultra sound) olarak tanımlanmıştır. Bir konuşmanın anlaşılabilir olması için 200-5000 Hz aralığında olması beklenir. Müzik açısından bakıldığında ise 30 ile 10000 Hz aralığındadır. Kulağın en hassas olduğu frekans aralığı ise 3000 ile 4000 Hz dir. Frekans kadar sesin karakteristiğini belirlemek için kullanılan önemli bir başka büyüklük ise güçtür [1]. Sesin gücünü belirlemede ise ölçek olarak ses basınç seviyesi kullanılmakta olup desibel ile ifade edilmektedir. Bir kaynaktan çıkan ses, duyulabilir sesin bir katı olduğundan bu ses, desibel değerini ifade etmektedir [1]. Desibel değerlerinin seviyesi yükseldikçe insanlar için zararlı olabilmektedir. Bu durum gürültüyü ortaya çıkarmaktadır. Zararlardan insanları korumak için gürültü kontrolü yapılması gerekir. Gürültü kontrolü temel olarak; gürültüyü oluşum kaynağında azaltmak, gürültüyü yayılma alanında azaltmak ve gürültünün algılandığı yerde yapılacak çalışma ve önlemler şeklinde üç farklı şekilde sağlanabilmektedir. Yoğun ses tempolarının meydana geldiği alanlarda sesin gücünü azaltmak için ses izolasyon uygulamaları yapılmaktadır. İnsan hayatı boyunca birçok alanda ses problemleriyle karşılaşabilmektedir. Bu anlamda; karayolu, havayolu gibi ulaştırma gürültüleri, endüstriyel makinelerden ve makine dairelerinden kaynaklanan gürültüler, titreşimler, havalandırma kanallarının gürültüsü, inşaat gürültüleri, spor sahaları ve eğlence merkezlerinin gürültüsü, yüksek sesli reklam ve müzik yayınlarının oluşturduğu gürültüler, doğal iklim olayları ve yağmur gürültüsü gibi örnekler verilebilir [3].

Günlük hayatımızda bazı sesler bizi rahatlatan etkiye sahipken bazı sesler rahatsızlık yaratabilmektedir. Bunun nedeni, desibel değerlerinin farklı olması ve seviyenin yükseldikçe zarar verici olmasıdır [4]. Söz konusu gürültüleri azaltmak için çeşitli akustik malzemeler tercih edilmektedir. Bu akustik malzemeler, değişik formlara sahip sünger, kauçuk, melamin vb. yapıda olabilmektedir. Bu alanlara yapılan ses izolasyonu için kullanılan akustik malzemeler ile daha kaliteli bir ortam sağlanabilmektedir [3]. Ayrıca, gürültüyü azaltmak ve önlemek amacıyla birçok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, periyodik olarak makine bakımlarının yapılması, gerektiğinde susturucu parçaların tercih edilmesi, gürültüye neden olan kaynağın, sesi absorbe edici ve ses yalıtımını sağlayabilecek yutucu malzemeler ile kaplama yapılması, titreşimin meydana geldiği noktalarda titreşimin sönümlenmesini sağlamak amacıyla kauçuk gibi bir malzemeyle kaplama yapılması, gürültü kaynağını kapalı hale getirerek malzeme ve tasarım değişikliklerinin yapılması şeklinde verilebilir [3].

Örneğin; CST ve HFSS programları kullanılarak, gürültü önleyici malzemelerin geliştirilmesi üzerine birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Üstün ve ark. [5], optimal tasarımı çok katmanlı RAM ile kaplanmış bir aracın (MRAM), sinyalin soğurularak radar sistemlerinden gizlenebilmesi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu sistemde, katmanların çeşitli varyasyonlarıyla MRAM'ın dizaynındaki farklılıklar, doğal ilham kaynağından biri olan yapay arı kolonisinden esinlenen (ABC) algoritmasının kullanılmasıyla optimal hale getirilmiştir. MRAM'lar normalde 2-8 GHz ve 1-20 GHz frekans aralığında çalıştığından dolayı elektriksel değişkenler ve her bir katmanın kalınlığı, toplam sınırlı bir kalınlık için yansıtmayı minimize etmek için optimize edilmiştir. Ayrıca MRAM'lar aracılığıyla karşılaştırma yapılarak tasarlanmış farklı algoritmalarından biri için öneride bulunulmuştur. Bu alanla ilgili bir başka çalışmada; Malawade ve ark. [6], doğal liflerin gözenekli yapılarının akustik özelliklerini araştırmışlardır. Gözenekli köpük ve lifli yapıya sahip olan gözenekli malzemelerin yüksek oranda ses emme kabiliyetine sahip olduğunu, bu nedenle de gürültü kontrolünde önemli role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle de köpüklerin, ses enerjisini hapsedebilecek iç boşluklara sahip olması nedeniyle de akustik emici ortamlar olarak rol oynadığını, cam yünü, poliüretan köpük, asbest vb. malzemelerin pahalı ve yanıcı olması nedeniyle tercih edilmediğini belirtmişlerdir. Bu nedenle de doğal lifler üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda, ahşap tozu, pirinç kabuğu, pirinç samanı ve küspeden hazırlanan örnekler verilmektedir. Ayrıca pirinç kabuğu, pirinç samanı ve odun tozu kombinasyonları ile hazırlanan numunelerde akustik özellikte olumlu yönde gelişmeler gözlemlenmiştir. Bu liflerin yanı sıra hindistan cevizi, çay lifi ve kenevir liflerini de kullanmışlardır. Çay lifi için 500 ile 3200Hz ve 500 ile 2400Hz frekans aralıklarında 20 ve 30 mm örnek kalınlıklarını incelemişlerdir. Çay lifinin ses azalımında ve hindistan cevizi lifinin ise delikli yüzeyler yardımıyla iyi bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir. Ahşap tozu, pirinç kabuğu, pirinç samanı ve küspelerinden elde edilen artık liflerinden hazırlanan numunelerle ve bunun yanı sıra dört malzemeye de aynı basıncı uygulayarak güneşte kurutma süresi sabit olacak şekilde deneyler yapmışlardır. Ölçüm esnasında ise ortam seslerinden uzak kalmak için deney düzeneğinde kullanılan kutunun iç yüzeylerinde köpük kullanarak ses yalıtımını sağlamışlardır. Sonuç olarak; pirinç samanı liflerinden alınan örneklerde, 125 Hz ve 1500 Hz frekans aralığı için odun tozu ve pirinç samanı kombine edilerek yapılan numunelerde ses emme yeteneğinin iyi olduğu, maksimum ses emme katsayısının ise pirinç samanı ve ahşap tozu bileşiminden hazırlanan numunelerde ise maksimum düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir. Odun tozu ve pirinç samanı kompozitinden hazırlanan numunelerle yapılan testler sırasıyla 22 dB ve 20 dB maksimum ses kaybını göstermektedir. Önemli bir diğer çalışmada; Zent ve ark. [7], sesin iletimi ve gürültünün azaltılması konusunda, farklı gözeneklere ve kalınlıklara sahip (pamuk lifi karışımları ve mikrofiberler gibi) malzemeler geliştirmişlerdir. Numunelerin belirli kalınlıkta ve hava akışına karşı gösterilen direnç açısından iyi düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, emilimin etkinliğinin doğrudan malzemenin kalınlığı ile alakalı olduğunu, ses emicilerin yüksek frekanslarda daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. On üretici, kalınlıkları 6,4 mm- 36,5 mm aralığında olan 128 adet numune ile yaptığı deneyleri değerlendirmişlerdir. Bu malzemeler pamuk, polyester ve polipropilen liflerden oluşan

dokusuz yüzeylerdir. Mikroliflerin kullanılması ise hava akış direncinin yüksek olması yani sesin yalıtılması konusunda da önemli bir noktaya sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Söz konusu konuya bir alternatif yaklaşım getiren Kalebek [8], geri dönüştürülmüş dokusuz yüzey malzemeler kullanmıştır. Dokusuz yüzey kullanımının, maliyet ve akustik özellik açısından avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Birim alana düşen kalınlık ve yoğunluk, kütle, hava geçirgenliği, gerilme mukavemeti gibi fiziksel özelliklerin, akustik özelliği ne yönde etkilediği test edilmeye çalışılmıştır. Testten elde edilen veriler, Design Expert yazılımı ile istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, birim alandaki kütle artışının hava geçirgenliğini azalttığını da göstermiştir. Deney, 20 °C ve bağıl 48 saat boyunca % 63 nem koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kalınlık, yoğunluk, hava geçirgenliği ve gözenekli yapının, ses yalıtımında önemli olduğu kanısına varılmıştır. Otomotiv sektöründe geri dönüştürülmüş malzemelerle elde edilen dokusuz yüzeylerin, akustik özelliklerinin iyi olmasının yanında maliyet açısından da avantaj sağladığı ortaya konulmuştur. Diğer bir çalışmada Liao ve ark. [9], düşük yakıtlı hibrit elektrikli araçların (HEV'in), hibrit iletiminin gürültüyü ve titreşimi azaltmada ne derecede etkili olabileceğini araştırmışlardır. Araçlarda titreşime yol açan, planet dişliler, rulmanlar, miller gibi parçaların gürültüye neden olduğunu belirlemişler ve oluşan bu gürültüyü azaltmaya odaklanmışlardır. Hibrit araçlarda titreşim ve gürültüyü önlemek amacıyla, bakır, demir ve çelik gibi metal malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca daha hafif olan alaşımli çelik, alüminyum-magnezyum alaşımı gibi malzemeler tercih edilmiştir. Gürültü ve titreşim testlerini yapabilmek için hibrit iletim hızı ile direnç gibi koşullar dikkate alınmıştır. Test sistemi ile gürültünün kaynağı tespit edilmeye çalışılarak titreşim ve gürültü azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak; sesin emilimi için kullanılacak malzemelerle iletimin etkili bir şekilde azaltılabilmesi için gerekli tasarımların yapılmasının ekonomik açıdan da büyük öneme sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Akustik kumaşlarla ilgili olarak çalışma yapan Öztürk ve ark. [10], örme kumaşları tercih etmişlerdir. Örme kumaşlar, dokuma kumaşlara göre daha gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu gözenekli yapıya sahip olan kumaşın kalınlığını artırmak için ön ve arka yüzeylerinde elastomer iplik, ön ve arka yüzey arasında polyester iplik ve arka yüzeyinde ise boşlukların azalması için elastanlı iplikler kullanmışlardır. Bu durumda, önde ve arkada yer alan kumaşlar arasındaki hava boşluğu ve önde bulunan kumaşın kalınlığının arttığını ve kumaştaki gözenekler küçüldüğü için kumaşın ses (gürültü) yutma performansının arttığını görmüşlerdir. Dolayısıyla, kumaşların ses yutma katsayısı arttıkça hava geçirgenliği direncinin arttığını ortaya çıkarmışlardır. Dahil ve ark.[11], gözenekli olan ve gözenekli olmayan malzemelerle deneysel çalışmalar yaparak titreşim büyüklüğünü tespit etmeye çalışmışlardır. Metalik köpük kullanarak yaptıkları çalışmada kapalı ve açık hücreli kullanımları söz konusudur. Sönümlenme katsayısı gözenek yapısına bağlı olarak belirlenmektedir. Yaptıkları çalışmada, gözeneklerin sayısının artmasıyla sönümlenmenin arttığını ve gözenekli magnezyumun gözenekli olmayan magnezyumdan daha iyi düzeyde olduğunu belirlemişlerdir. Metalik malzemelerin hücresel yapılarından dolayı mekanik sönümlenmenin yapısal faktörlere ve test koşullarına bağlı olduğunu da tespit etmişlerdir. Kaya ve ark. [12], kenaf, ahşap, kenevir, hindistan cevizi, hurma ağacı, çay yaprağı, lif kabağı ve koyun yünü gibi doğal liflerin ses yutma kapasitelerini araştırmışlardır. Bu liflerle farklı kalınlıklarda numuneler üretilip hangi frekans aralıklarında ses emme kabiliyetinin daha iyi olduğunu belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak da; doğal liflerden gözenekli yapıya sahip olanların ses yalıtımı konusunda iyi performans gösterdiğini, iyi performans gösterebilmesinde ise homojen dağılım miktarı, gözenekli yapı ve yoğunluğu ile kalınlığın önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Liflerin kalınlığındaki artma, düşük frekans aralığında bile ses yalıtım değerini artırabilmektedir. Akustik açıdan 6 oktav olup frekanslar; 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz olarak belirlenmiştir. Ölçümlerin değerlendirmesini bu oktavlarda yapmışlardır. Bahsedilen frekans aralıklarında ise beklenen değerlerin elde edilebileceğini tespit etmişlerdir. Özellikle de 1000 Hz ve üzerindeki frekanslarda, darbe titreşimlerini engelleyebilecek şekilde kalınlığın da artmasıyla akustik özelliğin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca doğal liflerin sağlık, çevre ve ekonomik açıdan da önemli faktörler olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada ise; gürültü ile ilgili temel kavramlar verilerek, gürültünün önlenmesi için kullanılan akustik malzemeler incelenip, önemli ve kritik noktalar değerlendirilmiştir.

2. Gürültü, Frekans ve Güç

Ses, nesnel bir kavram olup ölçülebilir bir değere sahiptir, fakat öznel bir kavram olarak nitelendirilen gürültü, istenmeyen ses olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca gürültü şiddetine göre rahatsız edici olabilmektedir. Çok yüksek olan sesler psikolojik rahatsızlıklara bile yol açabilmektedir. Bu yüzden, gürültüyü ölçmek amacıyla ses seviye ölçer aleti kullanılmaktadır [1]. Sesin rahatsız edici boyutta olup olmaması ses kaynağına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında, gürültü kaynağına göre ses seviyeleri aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir [4].

Tablo 1 de görüleceği üzere, 70 dB'den sonraki ses seviyeleri, sağlık açısından risklidir. Bu nedenle de gürültü kaynağına göre önlemler alınması gereken durumlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin, fabrika ortamlarında bazı makinalardan çıkan yüksek sesin vereceği zararı engelleyebilmek için kulak tıkaçları kullanılmaktadır.

Ses, bir enerji türü olup dalgalar halinde yayılım göstermektedir. Sesin oluşabilmesi için gerekli bir parametre olan titreşimin yayılabilmesi için hava ve su gibi akustik ortamlara ihtiyaç bulunmaktadır. Sesin dalgalar halinde yayılması ise bu akustik ortamda basınç değişikliğine neden olmaktadır. Örnek verilecek olursa, havada yayılan sesin, atmosferik basınçta oluşturduğu değişim miktarı ses basıncı olarak tanımlanmaktadır [1].

Tablo 1. Gürültü Kaynağına Göre Ses Seviyeleri [4]

Gürültünün Kaynağı	dB (A)	
Sessizlik	0	
Nefes alma	10	
Fısıldama, düşen yapraklar	20	
Sakin alanlar	30	Etki yok
Kütüphane	40	
Düşük seviyede konuşma, rüzgâr türbini	50	
Lokanta gürültüsü, uğultu	60	
TV sesi, Bilgisayar	70	Bazıları için rahatsızlık verebilir
Fabrika	80	Uzun sürede işitme bozuklukları
Çim biçme makinası, araba içinde maruz kalınan ses	90	Uzun sürede işitme bozuklukları
Dıştan takılmış motor	100	Uzun sürede ileri seviyede işitme bozuklukları
Rock konseri, sanayi gürültüsü	110	Hemen zarar verebilir veya uzun sürede işitme bozuklukları
Gök gürültüsü, havalı matkap	120	Genellikle hemen zarar verir.
Jet uçağı	130- 150	Ani işitme kaybı veya kulak zarının yırtılması

Sesin desibel değeri, duyulan sesin duyulabilir en düşük sestən kaç kat fazla olduğunu göstermektedir ve Eşitlik 1'deki gibi hesaplanmaktadır [1].

$I =$ Duyulan ses ve $I_0 =$ Duyulabilir en düşük ses olmak üzere;

$$I(dB) = 10 * \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (1)$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Bir kaynaktan çıkan ses, duyulabilir sesin bir katı olduğundan bu ses desibel değerini ifade etmektedir. Eşitlik 2 ve 3'de örnek verecek olursak;

$$I = 1000000000 * I_0 \quad (2)$$

$$I(dB) = 10 * \log_{10}\left(\frac{1000000000 * I_0}{I_0}\right) \quad (3)$$

$$I(dB) = 10 * 9 = 90 \text{ dB}$$

şeklinde bulunmaktadır [2]. Sesin gücü, bir ses kaynağından yayılan ses enerjisinin gücü, ses basıncı ise sesi oluşturan hava basıncının değişme miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ses gücünün birimi, birim zamanda yayılan ses enerjisi olmak üzere birimi Watt olarak ifade edilmektedir. P, watt cinsinden ses gücü, I, W/m² cinsinden ses şiddeti ve dS, m² cinsinden birim yüzey alanı olmak üzere, ses gücü Eşitlik 4'deki gibi hesaplanmaktadır [3].

$$P = \int_s IdS \quad (4)$$

Sesin gücü, makinaların çıkardıkları gürültüye göre sıralanmasında, ses şiddeti ise gürültü kaynaklarının tespitinde kullanılmaktadır. Gürültü kaynaklarının tahribat ve kötü etkileri için izlenmesi gereken en önemli parametre ise ses basıncıdır [13].

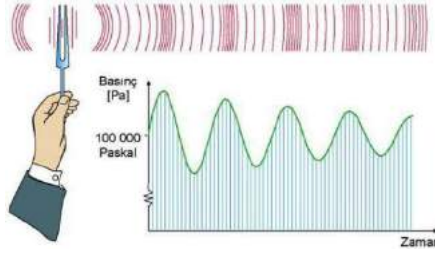
Ses basınç birimi Pascal olup N/m² şeklinde gösterilmektedir. İnsan kulağının işitebileceği alt sınır, 2x10⁻⁵ Pa olup üst sınır 20 Pa civarındadır. Ses basınç düzeyi logaritmik bir büyüklük olduğundan aşağıdaki Eşitlik 5'deki gibi, referans ses basıncı ise Eşitlik 6'daki gibi hesaplanmaktadır [1].

$$SPL = L_p = 10 \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)^2 = 20 \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)(dB) \quad (5)$$

$$P_{ref} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

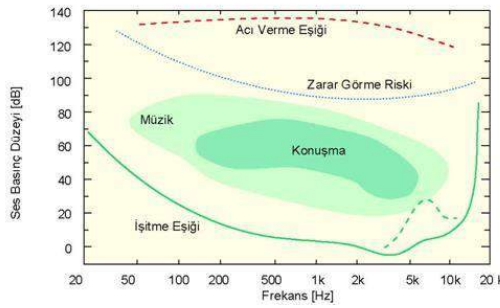
(6)

Basıncın zamana bağlı değişimi Şekil 1’de ve ses basınç düzeyi-frekans grafiği ise Şekil 2’de verilmiştir [13]. Bu grafiğe göre, 30-65 dB aralığı, I. dereceden gürültüler olarak, 65-90 dB aralığı, II. dereceden gürültüler, 90-120 dB aralığı, III. dereceden gürültüler,



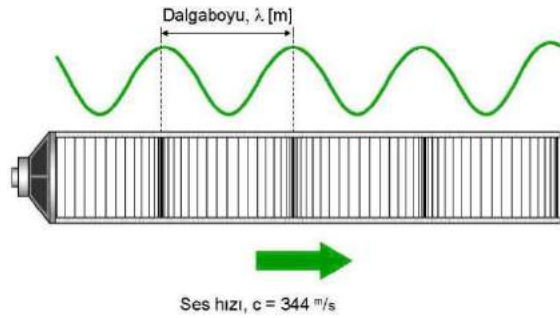
120-140 dB aralığı IV. dereceden gürültüler, 140 dB’in üzerindeki ise V. dereceden gürültüler olarak sınıflandırılmaktadır. III. derece gürültülerden itibaren, sağlık açısından riskli bir ortam ortaya çıkmaktadır [13].

Şekil 1. Ses Basıncının Zamana Bağlı Değişimi [13]



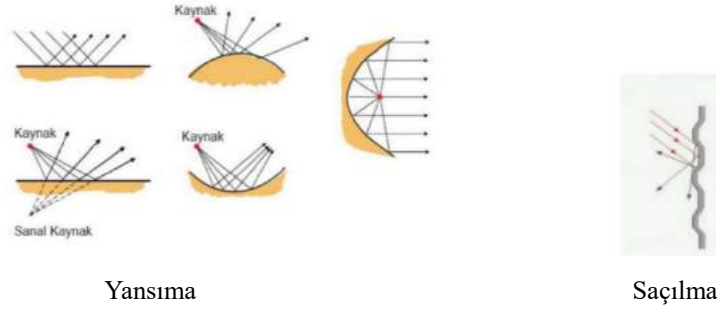
Şekil 2. Ses Basınç Düzeyi- Frekans Grafiği [13]

Saniyede oluşan ses miktarı, sesin frekansı olmak üzere birimi Hz olarak bilinmektedir. Bir hoparlörün, bir tüpün ucuna monte edilmesi durumunda, yayılma hızı 344 m/s olan ses dalgaları ürettiği bilinmektedir. Üretilen bu ses, arı haldeki bir sinüs dalgası olması durumunda, birbirlerinden bir dalga boyu uzaklıkla belirlenmiş, maksimum ve minimum basınçlar meydana getirmektedir. Dalga boyu, frekans ve ses hızıyla ilgili bir kavramdır. Sesin dalga boyunun gösterimi Şekil 3’de verilmiştir [13]. Sesin frekansı ile oluşturduğu basınç, sesin yüksekliğini belirlemektedir [3].



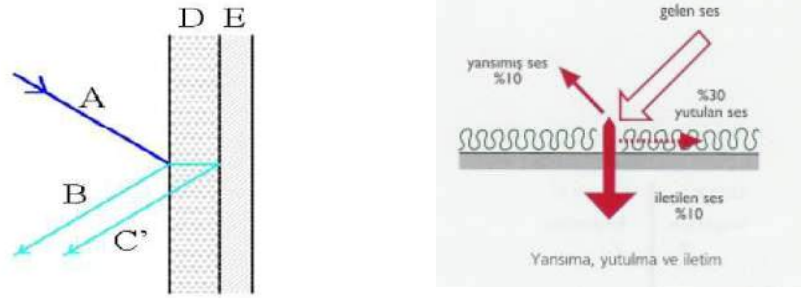
Şekil 3. Sesin Dalga Boyu [13]

Ses dalgaları, yayıldığı ortamın özelliklerine bağlı olarak değişimlere uğramaktadır. Örneğin; ses dalgaları, dalga boyundan büyük olan engellere çarpması durumunda yansıma ortaya çıkmaktadır. Bu engellerin dalga boyundan küçük ve düz olmayan yüzey (pürüzlü yüzey) olması durumunda, ses dalgaları yayılmayarak her yöne dağılım gösterebilmektedir. Bu durum, saçılma olarak da nitelendirilmektedir. Yansıma ve saçılma Şekil 4’de gösterilmektedir [14].



Şekil 4. Yansıma ve Saçılma [14]

Yutulma ise; sesin bir malzemeden geçmesi veya bir yüzeye çarpması esnasında, ses enerjisinin şekil değiştirmesidir. Bu anda ortaya çıkan enerji, çoğunlukla ısı enerjisi olarak bilinmektedir. Şekil 5'de A gelen ses, B yansıyan ses, C yüzey tarafından yutulan ses, D gözenekli yüzey ve E ise duvar olmak üzere yutulma olarak verilmiştir [14].



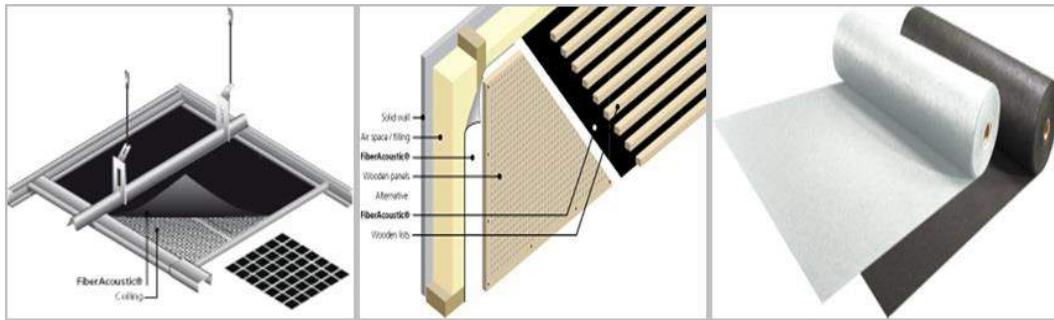
Şekil 5. Yutulmanın Şekli [14]

3. Akustik Malzemeler

Herhangi bir yüzeye gelen sesin bir miktarı yansımaktadır. Yansıyan bu sesin havada yol almasıyla ses çamurlaşması adı verilen durumun ortaya çıkması, sesin anlaşılması ve algılanmasını önlemektedirler. Bu yüzden, herhangi bir gürültü kaynağından gelen sesin (özellikle de 80- 85dB üzerinde), büyük oranda yansımasından önce absorbe edilmesinde, akustik kumaşla yapılan kaplamalar önemli bir yere sahiptir [15].

Doğal hammaddeye sahip olan akustik kumaşlar, darbelerle karşı mukavemet göstermektedir. Bu nedenle de kapalı ortamlar, konferans salonları, hastaneler, kapalı spor salonları ve gösteri merkezleri gibi gürültünün yoğun olduğu alanlarda kullanılan malzemelerdir. Ayrıca araçlarda, yolcunun bulunduğu bölümde, motordan fazla miktarda gelen ve rahatsız edici boyutta olabilen gürültüyü de minimum düzeye indirmek hedeflenmektedir. Bu nedenle de gürültü kaynaklarını azaltmak amacıyla da zemin kaplamaları, kapı panelleri, tavan döşemeleri ve gövde bölümlerine entegre edilmiş ses absorbe edici malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler, hem kumaş hem de sünger olarak üretilebilmektedir [16].

Kumaş yapısında olanlar; ahşap panel arkasına kullanılan keçe kumaşlar ve panel ön yüzeyine kaplanan kumaşlar olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Panel ön yüzeyine kaplanan kumaşlar, aşınmaya, solmaya ve yanmaya karşı da mukavemet gösterebilmektedir. Şekil 6'da, ahşap panel arkasına kaplanan kumaş olarak kullanımı verilmiştir [16].



Şekil 6. Ahşap Panel Arkasına Kullanılan Kumaşlar [16]

Ses yalıtımında kullanılan bir malzeme olan süngerler, ses emiliminin iyi düzeyde olması nedeni ile önemlidir. Bundan dolayı süngerler, piramit, yumurta, labirent, special bondex, bariyerli yalıtım, düz ve melamin köpüğü şeklinde üretilebilmektedir. Ayrıca bahsedilen şekillerde üretilen süngerlere yanmazlık özelliği de kazandırılabilir. Bunun yanı sıra, açık gözenekli ve poliüretan

yapıda olan süngerler, yalıtım ve akustik özellik açısından tercih edilmektedir [17]. Bu süngerler epdm kauçuk adı verilen ses bariyerleri ile birlikte kullanılabilir olduğundan ses geçiş kaybını sağlamada önemli bir yere sahiptir [3].

Akustik süngerin düz şekilde olanı, yüksek frekanslı sesleri %80 oranında azaltırken düşük frekanslı seslerin tamamen ortadan kaldırılmasında büyük etkiye sahiptir. Düz akustik sünger Şekil 7'de verilmiştir [17].



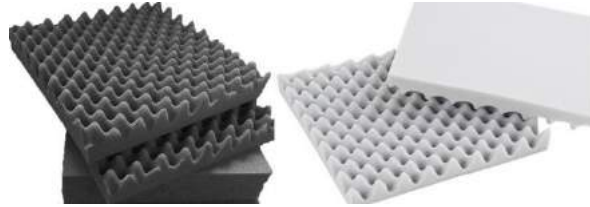
Şekil 7. Düz Akustik Sünger [17]

Piramit süngerler, 100 cm x 100 cm ebatlarında olmak üzere, 40, 50 ve 70 mm kalınlıklarında üretimleri mevcuttur. -5 °C'den +100 °C'ye dayanabilme özelliklerine sahip olmasının yanı sıra ses yutma kapasitesi ise 0,30-1,12 aralığındadır. Piramit şeklinde olan sünger Şekil 8'deki gibidir [3].



Şekil 8. Piramit Şeklinde Akustik Sünger [3]

Akustik süngerlerin bir diğer şekilde üretileni de yumurta şeklinde olanıdır. Ses absorbe etme açısından iyi derecede olduğu bilinmektedir ve yanmaz özellik de kazandırılabilir. Bu süngerlerin üretilmesinde poliüretan malzeme kullanılmaktadır. 100 cm x 100 cm, 30 mm, 40 mm ve 50 mm ebatlarında üretimleri mevcut olup -5 °C'den +100 °C sıcaklığına dayanım gösterebilen ve ses yutma katsayısı 0,30-1,12 aralığında olabilen malzemelerdir. Şekli 9'da, yumurta şeklinde olan süngerler gösterilmiştir [3].



Şekil 9. Yumurta Şeklindeki Akustik Sünger [3]

Akustik süngerlerin özel yapıda olanları da mevcuttur. Bu şekilde olanların yoğunlukları 70 kg/m³, kalınlıkları ise 40 mm ile 50 mm olup orta ve yüksek frekans bantları ve düşük frekans bantlarında etkili olabilmektedir. Daha çok sinema salonu, ses kayıt odaları, enstrüman çalınan kapalı alanlar vs gibi yerlerde kullanılmaktadır. Epdm ses bariyerleri, bondex süngerler ve düz akustik süngerler ile de kullanılabilir. Nemden etkilenmeyen, küf tutmayan, esnek olduğu için de kolay şekillenebilir özelliğe sahiptir. Şekil 10'da special sünger görülmektedir [3].



Şekil 10. Special Süngerler [3]

Farklı yüzeye sahip fakat özellikleri diğerleri ile aynı olan akustik süngerlerden biri de labirent süngerlerdir. Ses miktarının yüksek olduğu alanlarda da etkili sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu süngerler, 50 DNS, 70 DNS, 90 DNS yoğunluklarında, 30 mm, 40 mm ve 50 mm kalınlıklarında üretilmektedir. -5°C ve +100°C sıcaklıklara kadar dayanımları mevcuttur. Ses yutma kapasitesi ise 0,30-1,12'dir. Şekil 11'de labirent sünger görülmektedir [3].



Şekil 11. Labirent Süngerler [3]

Ses yalıtımında, melamin köpüğünden de Basotect adı verilen sık gözenekli süngerler üretilmektedir. Bu süngerler, 0,033W/mK ısı iletim değerine sahip olduğundan ısı yalıtım avantajı da sağlamaktadır. 8 ile 11 kg/m³ yoğunluğu sahip olmanın yanı sıra, kısa zamanlı periyotta 290°C'ye, uzun zamanlı periyotta ise 150°C'ye kadar yangına dayanıklı olabilen, açık gri renkli, düz yüzey ile piramit yüzeye sahip sünger levha şeklinde de üretilmektedir. 1mx2m, 1mx1m ebatlarında da üretilen ve kendinden yapışkanlı sünger türü olduğundan çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır [3].

Yukarıda bahsedilen ses yalıtım süngerlerine, poliüretan maddeden üretilmiş olan çeşitli kimyasal madde içerisinde bekletilerek yanmazlık özelliği de kazandırılabilir. Gözenekli yapıya sahip olduğundan ses yutum değerleri de istenen düzeyde olabilmektedir. Poliüretan ham maddesinden üretilen akustik süngerlerin farklı renk ve desenleri mevcuttur. Yanmaya karşı mukavemetli olan yanmaz süngerlerin, orta ve yüksek frekanslarda bile ses yutum kapasitesinin iyi kapasitede olduğu bilinmektedir. Ayrıca kurşun ve pvc bariyer gibi malzemelerin de eklenmesiyle ses yalıtımındaki performans artırılabilir. Gürültü içeren tüm ortamlarda akustik açıdan jeneratör, kompresör kabinleri ile havalandırma kanallarında ses absorbe edici olarak kullanılmaktadır. Yoğunlukları ise 50-60 dansite aralığındadır. Yapıştırılabilir özelliğinden dolayı da avantajlar sağlamaktadır [3].

Geri dönüşüm yoluyla, Rebonded Bondex Sünger adı verilen ses absorbe edici süngerler de üretilmektedir. İyi düzeyde ses absorbe etmenin yanı sıra titreşim sönümleme özelliğine de sahiptirler [3]. Ses absorpsiyonunda etkili olan bir diğer malzeme de Echobone Bondeks'tir. EN ISO Standartlarına göre % 60- % 90 aralıklarında ses yalıtımı sağlayabilmektedir. Epdm bariyer ile kullanıldığı zaman, diğer süngerlere göre verimli sonuçlar elde edilebilmektedir. Echobone Bondeks sünger Şekil 12'de verilmiştir [18].



Şekil 12. Echobone Bondeks Sünger [18]

Firexpan sünger tipi de elastomerik kauçuk köpüğü olarak bilinmekte olup, metal, cam, ahşap ve seramik yüzeylerde titreşimden dolayı meydana gelen seslerin engellenmesinde kullanılan, yanmaz özellikte olan kauçuk köpüğü sünger tipidir. Diğer ürünlere göre 4 kat fazla miktarda yalıtım özelliğine sahip olduğu bilinmektedir. Gürültünün kontrol altına alınmasında ve titreşim kaynaklı ses yalıtımlarında etkili olabilecek düzeyde ve yoğunluğu 160-220kg/m³, ısı iletimi 0,0431 W/m.k, çalışma sıcaklığı -40 +110°C, 1000 mm x 2000 mm ebatlarında ve 20mm-50mm kalınlıklarında üretilmektedir. Firexpan köpük sünger Şekil 13'de gösterilmiştir [3].



Şekil 13. Firexpan Köpük Sünger [3].

Farklı hammaddelerden akustik yüzey elde ederken kullanılan bir lif türü de cam yünüdür. Cam yünü çoğunlukla yalıtım amacıyla tercih edilmektedir. Ses absorbe ederek ve gürültüyü azaltarak sesin yayılımını da engelleyebilmektedir. Ayrıca yanmaz özelliğe de sahiptir. Düşük frekanslarda ve titreşim gürültülerinde ses absorbe etme imkânı da bulunmaktadır. Çevreye zararsız olması, su geçirmemesi, hafif olması, iyi bir izolasyon sağlaması, tasarım çeşitliliği, alternatif yüzeylere uygulanabilirliği, toksik olmaması ve ses yalıtımını iyileştirmek için odalar arası sökülüp takılabilen paneller içermesi açısından kullanım alanı oldukça geniştir [19].

3. Sonuçları ve Tartışma

Fabrikalardaki gürültü seviyesi 80 dB'in üzerine çıkmaktadır. Bu seviye ise kulak tıkacı kullanmayı gerektiren durumlardan biridir. Trafikte bu seviye 90 dB iken havaalanlarında bu seviye 130-150 dB aralığına kadar çıkabilmektedir [4]. Bu gürültü seviyeleri insan sağlığı açısından risk teşkil etmektedir. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetmeliğinde, 80 dB ses düzeyinde 7,5 saat, 90 dB ses düzeyinde 4 saat kalınabileceği, 100 dB'in üzerindeki ses düzeylerinde ise 1 saatten daha az maruz kalınacağı belirtilmektedir [20]. 90 dB'in üzerindeki seslere maruz kalındığında, uzun sürede işitme bozuklukları, 130 ile 150 dB aralığındaki ses seviyesinde ise ani işitme kayıpları ve kulak zarının yırtılması gibi sağlık sorunlarıyla karşılaşılabilir [4]. Bahsedilen sağlık sorunlarını engellemek amacıyla bulunduğu ortama göre farklı şekillerde akustik malzemeler kullanılmaktadır.

Ses absorbe etmede yaygın olarak kullanılan ve en etkili olan malzemelerin akustik süngerler olduğu görülmüştür. Bu süngerlerin, yumurta, piramit, labirent vs gibi farklı şekillerde ve genel olarak 30, 40 ve 50 mm kalınlıklarında üretilbildiği, ses yutma kapasitelerinin 0,30- 1,12 aralığında olduğu bilinmektedir. Yanmaz özelliğe ve uzun sürede 150 °C, kısa sürede ise 290 °C'ye kadar ısıya dayanıklı olabilen türleri de üretilmektedir.

Pirinç samanı lifleriyle yapılan çalışmalarda, 20 dB'e kadar, odun tozu ile yapılan çalışmalarda 22 dB'de maksimum ses kaybı sağlanabildiği, dokusuz yüzey kullanıldığında ise hava akış direncinin yüksek olmasından dolayı sesin yalıtımı konusunda önemli aşamalar kaydedilebileceği gibi sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan diğer bazı çalışmalarda, birim alana düşen kalınlık ve yoğunluk, kütle, hava geçirgenliği, gerilme mukavemeti gibi fiziksel özelliklerin, akustik özelliği ne yönde etkilediği test edilmeye çalışılmıştır. Testten elde edilen veriler, birim alandaki kütle artışının hava geçirgenliğini azalttığını göstermiştir. Ayrıca ses absorbe etme yeteneğinin minimum frekansta 100 Hz, maksimum frekansta ise 6300 Hz'de etkili olduğu belirlenmiştir. Otomotiv sektöründe geri dönüştürülmüş dokusuz yüzeylerin, akustik özelliklerinin iyi olmasının yanında maliyet açısından da avantaj sağladığı sonucuna varılmıştır.

Yapılan araştırmalar, düşük yaktılı hibrit elektrikli araçlarda, sesin emilimi için kullanılacak malzemelerle iletimin etkili bir şekilde azaltılabilmesi için gerekli tasarımların yapılmasının, ekonomik açıdan büyük öneme sahip olduğunu göstermiştir. Örne kumaşların yapısında boşlukların fazla miktarda olması nedeniyle, ses absorbe etmek açısından verimli sonuçlara ulaşılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ise gözenekli olan ve olmayan malzemeler karşılaştırıldığında, gözenekli yapıların hücresel yapılarından dolayı verimli düzeyde ses absorbe ettiği gösterilmiştir. Ayrıca çeşitli doğal liflerin ses yutma kapasitelerinin araştırıldığı çalışma, akustik frekans değerlerinin 125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz olduğunu belirtmiştir. Özellikle de 1000 Hz ve üzerindeki frekanslarda, titreşimi de engelleyecek şekilde absorbe niteliğinin de sağlandığı gösterilmiştir. Ayrıca doğal liflerin sağlık, çevresel ve ekonomik açıdan da önemli faydaları olduğu ortaya konulmuştur.

Gürültü önleyici olarak kullanılan akustik malzemeler geliştirilerek deneysel çalışmalar yapılabilir. Farklı yöntemlerle üretilen doğal ve sentetik lif türleriyle elde edilebilecek dokusuz yüzeyler, örme kumaşlar ve süngerimsi yapıların farklı kalınlık ve şekilleri için tasarımlar yapılarak akademik çalışmalar için çeşitli yaklaşımlar ortaya konulabilir. Bahsedilen tasarımların deneysel çalışmalarda kullanılarak özel programlar eşliğinde analizlerinin yapılmasıyla akustik malzemelerle gürültü absorbe etmede etkiyi artırma yönünde literatüre katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

1. Ses ve Gürültü Kontrolü. [kisi.deu.edu.tr > userweb > abdullah.secgin/](http://kisi.deu.edu.tr/userweb/abdullah.secgin/), E.T. 10.01.2020.
2. <http://www.muhsendislikbilgileri.com/?pnum=134&pt=G%C3%9CR%C3%9CLT%C3%9C>, E.T. 10.01.2020.
3. <https://www.sesizolasyonu.net/ses-izolasyonu/gurultu-kontrolu.html>, E.T. 10.01.2020.
4. <https://www.kenaryazari.com/desibel-nedir-zararli-ses-seviyesi-ne-kadardir/> E.T. 10.01.2020.
5. Toktas, A., Ustun, D., Yigit, E., Sabanci, K., & Tekbas, M. (2018, September). Optimally Synthesizing Multilayer Radar Absorbing Material (RAM) Using Artificial Bee Colony Algorithm. In *2018 XXIIIrd International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (pp. 237-241). IEEE.
6. Malawade, U. A., KJ, M., Madhavrao, G. J., & Virendra, K. B. (2006). Investigation Of Sound Loss Potential Of Natural Fibers and Their Compositions.
7. Zent, A., & Long, J. T. (2007). Automotive Sound Sbsorbing Material Survey Results (No. 2007-01-2186). SAE Technical Paper.
8. Kalebek, N. A. (2016). Sound Absorbing Polyester Recycled Nonwovens For The Automotive Industry. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (1 (115)), 107-113.
9. Liao, L., Zuo, Y., Meng, H., & Liao, X. (2018). Research On The Technology Of Noise Reduction In Hybrid Electric Vehicle With Composite Materials. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(3), 1687814018766916.
10. Öztürk, M. K., Nergis, B. U., & Candan, C. (2010). Akustik Özellikleri Geliştirilmiş Örme Kumaş Tasarımı. *Tekstil ve Mühendis*, 17(78).
11. Dahil, L., Başpınar, S., & Karabulut, A. (2011). Gözenekli Malzemelerin Sönümlemeye Etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 1-7.

12. Kaya, A. İ., & Dalgac, T. (2017). Ses Yalıtımı Açısından Doğal Liflerin Akustik Özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(Özel (Special) 1), 25-37.
13. <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/egitim-faaliyetleri/ytu-ses-sunumu-ayhan-cakir.pdf>, E.T. 12.01.2020.
14. <http://haliccevre.com/images/PDF/s-17.pdf>, E.T. 12.01.2020.
15. <http://www.sesyalitimsungeri.com.tr/akustik-kumas.html>, E.T. 12.01.2020.
16. <https://www.akustikkaplama.net/paneller/akustik-kumas.html>, E.T. 13.01.2020.
17. <https://www.teknikakustik.net/renkli-piramit-sunger.html>, E.T. 13.01.2020.
18. <https://www.yanmazsunger.com.tr/sesyalitimsungerleri/echobone-bondex-sunger-kirpinti-bondeks-ses-yalitim-sungeri.html>, E.T. 13.01.2020.
19. <https://www.vegaakustik.com/cam-yunu-akustik-panel/>, E.T. 13.01.2020.
20. Ece, F., Sümer, S. K., & Sabancı, A. (2003). Tekstil Fabrikalarında Gürültü Düzeyi ve Etkileri. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 4(15), 30-39.



The Antibacterial Effects of Çiriş (*Asphodelus aestivus* Brot.) on Some Foodborne Pathogenic Bacteria

Oktay Tomar^{1*}, Gökhan Akarca²

¹ Kocaeli Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Arslanbey Kampüsü 41285, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5761-7157)

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5055-2722)

(İlk Geliş Tarihi 25 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 13 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.650511)

ATIF/REFERENCE: Tomar, O. & Akarca, G. (2020). The Antibacterial Effects of Çiriş (*Asphodelus aestivus* Brot.) on Some Foodborne Pathogenic Bacteria. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 11-15.

Abstract

This study aimed to determine the antibacterial effects of Çiriş (*Asphodelus aestivus* Brot.) on eight important food-borne pathogenic bacteria by the disc diffusion method. The highest inhibition effect was determined on *Escherichia coli* with a 15.63 mm zone diameter, followed by, *Staphylococcus aureus* (14.78 mm), *Listeria monocytogenes* (10.72 mm), *Shigella flexneri* (10.06 mm), *Enterobacter aerogenes* (9.22 mm) and *Enterococcus faecalis* (8.15 mm) (P<0.05). On the other hand, Çiriş showed the lowest inhibition effect on *Salmonella Typhi* and *Salmonella Typhimurium*, with 7.28 and 6.42 mm zone diameters, respectively. Comparing the data obtained to the effects of the standard antibiotics on the same pathogens, it was found that *Escherichia coli* were susceptible while *Staphylococcus aureus* and *Shigella flexneri* were moderately susceptible to the ethanol extract of Çiriş. On the other hand, it was determined that *Salmonella Typhi*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella Typhimurium*, and *Enterobacter aerogenes* exhibited resistance.

Anahtar Kelimeler: *Asphodelus aestivus* Brot., Pathogens, Antibacterial effect, Disc diffusion.

Çirişin (*Asphodelus aestivus* Brot.) Bazı Gıda Kaynaklı Patojen Bakteriler Üzerindeki Antibakteriyel Etkisi

Öz

Bu çalışmada çirişin (*Asphodelus aestivus* Brot.) sekiz önemli gıda kaynaklı patojen bakteri üzerindeki antibakteriyel etkisinin disk difüzyon metodu ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda en fazla inhibisyon etkinin; 15.63 mm zon çapı *Escherichia coli* üzerinde olduğu, bunu sırasıyla *Staphylococcus aureus* (14.78 mm), *Listeria monocytogenes* (10.72 mm), *Shigella flexneri* (10.06 mm), *Enterobacter aerogenes* (9.22 mm) ve *Enterococcus faecalis* (8.15 mm) takip ettiği belirlenmiştir (P<0.05). Buna karşın en düşük inhibisyon etkinin ise; sırasıyla 7.28 ve 6.42 mm zon çaplarıyla *Salmonella Typhi* ve *Salmonella Typhimurium* üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler aynı patojenler üzerinde standart antibiyotiklerin etkileri ile kıyaslandığında çirişin etanol ekstraktına karşı; *Escherichia coli*'nin duyarlı, *Staphylococcus aureus* ve *Shigella flexneri*'nin orta duyarlı olduğu belirlenmiştir. Buna karşın; *Salmonella Typhi*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella Typhimurium* ve *Enterobacter aerogenes*'in ise, dirençli olduğu tespit edilmiştir.

Keywords: *Asphodelus aestivus* Brot., Patojen, Antibakteriyel etki, Disk difüzyon.

* Sorumlu Yazar: Kocaeli Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Arslanbey Kampüsü 41285, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5761-7157, oktaytomar@hotmail.com

1. Introduction

Today, foodborne diseases have reached a level that can pose a serious threat to public health. One of the most important causes of these diseases is the pathogenic bacteria that contaminated foods in various ways (Karatepe & Patir 2012). Most of the bacteria causing foodborne infections to have gained resistance to antimicrobial drugs, especially antibiotics due to reasons including misuse, unnecessary use, etc. As a result of this clinical problem, people started to prefer products with natural antimicrobial properties (Oskay et al, 2005). Natural products are increasingly accepted as they are better tolerated in the human body and, also, because of their unique advantages (Silva et al, 2017).

As is the case in all the world, plants that have important medical effects have been used for decades in the treatment of various diseases by the public in Turkey (Acibuda & Bostan Budak, 2018). Due to its location in the world, Turkey has a very rich flora and hosts about 12000 plant taxa (Akcicek & Vural, 2007).

Asphodelus aestivus Brot. is a member of the Liliaceae, *Asphodelus* L. genus. In Turkey, it is locally called “Çiriş” or “Yalancı Çiriş”. It has sword-shaped leaves with 35-45 cm length and 3 cm width. The plant yields pea-shaped fruits with 6 seeds, 7 mm in size. It grows naturally in arid, uncultured soils. Along with Turkey, it naturally grows in Africa, Arab countries and some parts of Europe (Baytop, 1999).

Çiriş is conventionally consumed fresh as well as it can be consumed as a cooked meal. Also, it is used in the traditional treatment due to its antirheumatic, wound healing, antihemorrhoidal, alopecia, eczema and abscess-curing effects (Baytop, 1999; Ugurlu et al, 2009).

This study aimed to determine the antibacterial effect of Çiriş on some important foodborne pathogenic bacteria by the disc diffusion method.

2. Material and Methods

2.1. Materials

Çiriş samples used in the study were provided by the Çakıroğlu Baharat (Afyonkarahisar/Turkey) company by collecting from the natural habitat of the plant (Aegean Coast-Aydin / TURKEY) in April-May.

2.2. Bacterial Strains Used in this Study

In the study; *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Salmonella Typhi* (ATCC 19430), *Listeria monocytogenes* (ATCC 51774), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212), *Salmonella Typhimurium* (ATCC 14028), *Enterobacter aerogenes* (ATCC 13048) and *Shigella flexneri* (ATCC 12022) species of bacteria were used.

2.3. Method

2.3.1. Preparation of Ethanol Extracts of the Plant

Çiriş samples used in the study were washed and cleaned and then dried at room temperature. The dried plants divided into small pieces were ground in a laboratory mill (D300, I Sundem, Turkey) until obtaining a powder form. Then, a 300 g sample was weighed in a precision balance (Radwag PS 510 R, Poland) and 400 mL 1:3 (w/v) 85% ethanol (Merck, 100983, Germany) was added. The prepared samples were shaken at 120 rpm for 24 hours using a shaker (Wiseshake SHO-2D, Witeg, Germany). After the extraction was filtered with a sterile filter paper (Whatman No. 32), the solvent in the filtrate was removed on a rotary evaporator (Heidolph, Germany). The extract was taken to a sterile glass vial and covered with an aluminum foil and stored in a cold environment.

2.3.2. Determination of Antibacterial Activity

Homogeneous turbidity was formed by suspending individual colonies from young cultures (24-48 h) produced on selective medium specific for each bacterial culture with a sterile loop in 9 mL sterile ringer (Merck, 115525, Germany). The density of the inoculum suspension (BIOS that, 1B, Turkey) was adjusted to 0.5 McFarland standard with densitometry. The inocula were taken using transport swap (Firatmed, Turkey) and uniformly inoculated onto the surface of freshly prepared Muller Hinton Agar (Merck 1.05437, Germany) (MHA) at 22 °C (Bauer et al, 1966; Akarca, 2019).

After letting the media impregnate the inoculate for 10 minutes, 10 ml Çiriş essential oil was impregnated. Then, blank antibiogram disks (Bio-Disk 316.010.001, Turkey) impregnated with 10 µL laurel essential oil were placed onto the surface of the medium provided that the zones that will be formed will not be in contact with each other and the Petri dishes were incubated under conditions specified by Akarca et al. (2019) (Incucell, MMM, Germany). The zones formed at the end of the period were measured with the help of a digital caliper (Mitutoyo, 500-181-30, Japan) under daylight.

2.3.3. Statistical Evaluation

SPSS 23.0.0. (SPSS Inc, USA) statistical package program was used to statistically analyze the results. The data obtained from the analyses were evaluated by variance analysis technique in a randomized block experimental design. The Duncan test was used to determine the level of difference between groups.

3. Results and Discussion

Table 1 shows the antibacterial effects of Çiriş ethanol extracts on eight different pathogenic bacteria according to the disc diffusion method.

Table 1. Antibacterial Effects of *Asphodelus aestivus* Brot. Ethanol Extract on Some Food Borne Pathogens (mm zone diameter)

Bacteria	Antibacterial Effect (mm Zone Diameter)
<i>Staphylococcus aureus</i>	14.78±1.75 ^{ab}
<i>Salmonella Typhi</i>	7.28±1.05 ^c
<i>Listeria monocytogenes</i>	10.72±1.90 ^{bc}
<i>Escherichia coli</i>	15.63±2.28 ^a
<i>Enterococcus faecalis</i>	8.15±2.79 ^c
<i>Salmonella Typhimurium</i>	6.42±1.15 ^c
<i>Shigella flexneri</i>	10.06±2.31 ^c
<i>Enterobacter aerogenes</i>	9.22±1.47 ^c

It was determined that, of the eight different food-origin pathogenic bacteria, Çiriş showed the highest inhibition effect on *Escherichia coli* with a 15.63±2.28 mm zone diameter, followed by *Staphylococcus aureus* (14.78±1.75 mm), *Listeria monocytogenes* (10.72±1.90 mm), *Shigella flexneri* (10.06±2.31 mm), *Enterobacter aerogenes* (9.22±1.47 mm) and *Enterococcus faecalis* (8.15±2.79 mm). Çiriş showed the lowest inhibition effect on *Salmonella Typhi* and *Salmonella Typhimurium*, with 7.28±1.05 ve 6.42±1.15 mm zone diameters, respectively.

Oskay et al. (2007) have reported the antimicrobial activity of Çiriş on various bacteria ranged from 2 to 15 mm zone diameter, with the highest activity being on *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Escherichia coli*. Fatal et al. (2016) have reported that the highest antibacterial effect of oil extracted from *Asphodelus aestivus* Brot. seeds were 9.3 mm and on *Klebsiella pneumonia*, whereas the lowest effect was on *Escherichia coli* with a 6.7 mm zone diameter.

Various studies have reported that *Asphodelus* species contained anthraquinone, naphthalene, polysaccharide (Li et al, 2000; Zhang et al, 2000), sesquiterpene, lactone, flavonoids, arylcoumarin and glycoside compounds (Peksel et al, 2012; Bayrak 2013). The antibacterial effect of Çiriş was associated with these components.

Comparing the zone diameters of the Çiriş ethanol extract on eight different foodborne pathogens to the zone diameters of standard antibiotics determined by Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) (2015) and European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST) (2018) (Table 2), it was found that only *Escherichia coli* were susceptible (S), *Staphylococcus aureus* and *Shigella flexneri* were moderately susceptible (I), whereas *Salmonella Typhi*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella Typhimurium* and *Enterobacter aerogenes* were found to be resistant (R) (Table 3).

4. Conclusion

The present study investigated the antibacterial effect of *Asphodelus aestivus* Brot. on eight different food-borne pathogenic bacteria and it was found that Çiriş had antibacterial effects particularly on *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Shigella flexneri*.

The resistance of bacteria to the antibiotics used today is increasing day by day. Therefore, studies on the search for alternative substances have gained momentum in recent years. Particularly, studies on the antimicrobial properties of the preparations obtained from different parts of many spices and plants yielded positive results.

The results obtained in the present study are of importance in terms of showing that Çiriş can be used for these purposes and constituting a source for future studies. As an advantage, this plant, unlike many other plants and spices, grows naturally in Turkey in abundance and can be purchased for very reasonable prices.

Table 2. CLSI and EUCAST Clinical Microbiological Zone Diameter Standards (mm) (CLSI, 2015; EUCAST, 2018)

Antibiotics	<i>Esherichia coli</i>			<i>Staphylococcus aureus</i>			<i>Salmonella Typhimurium</i>			<i>Enterobacter aerogenes</i>			<i>Listeria monocytogenes</i>			<i>Shigella flexneri</i>			<i>Salmonella Typhi</i>			<i>Enterococcus faecalis</i>		
	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R	S	I	R
Ampicilin	≥17	14-16	≤13	NT	NT	NT	≥17	14-16	≤13	≥17	14-16	≤13	NT	NT	NT	≥17	14-16	≤13	≥17	14-16	≤13	≥17	14-16	≤13
Benzylpenicillin	≥14	-	≤14	≥26	-	≤26	≥14	-	≤14	≥14	-	≤14	≥13	-	≤13	≥14	-	≤14	≥14	-	≤14	≥14	-	≤14
Amoxicillin-clavulanic acid	≥18	14-17	≤13	NT	NT	NT	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤13	NT	NT	NT	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤13
Gentamicin GN10	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	NT	NT	NT	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12
Penicilin	NT	NT	NT	≥29	-	≤28	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Netilmicin	≥15	13-14	≤12	≥18	-	≤18	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	NT	NT	NT	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12	≥15	13-14	≤12
Erythromycin	NT	NT	NT	≥23	14-22	≤13	NT	NT	NT	NT	NT	NT	≥25	-	≤25	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Streptomycin	≥15	12-14	≤11	NT	NT	NT	≥15	12-14	≤11	≥15	12-14	≤11	NT	NT	NT	≥15	12-14	≤11	≥15	12-14	≤11	≥15	12-14	≤11
Chloramphenicol	≥18	13-17	≤12	≥18	13-17	≤12	≥18	13-17	≤12	≥18	13-17	≤12	NT	NT	NT	≥18	13-17	≤12	≥18	13-17	≤12	≥18	13-17	≤12
Sulfonamides	≥17	13-16	≤12	≥17	13-16	≤12	≥17	13-16	≤12	≥17	13-16	≤12	NT	NT	NT	≥17	13-16	≤12	≥17	13-16	≤12	≥17	13-16	≤12
Kanamycin	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤12	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤13	NT	NT	NT	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤13	≥18	14-17	≤13
Tetracycline	NT	NT	NT	≥19	15-18	≤14	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Clindamycin	NT	NT	NT	≥21	15-20	≤14	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Fusidic Acid	NT	NT	NT	≥24	-	≤44	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
Penicilin	NT	NT	NT	≥29	-	≤28	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT

NT: No Test Record, S: Sensitive, R: Resistant, I: Medium Sensitive.

Table 3 Determination of the antibacterial effect of the extract of *Asphodelus aestivus* Brot. on eight different foodborne pathogenic bacteria according to the standard values determined by EUCAST (2018) and CLSI (2015)

Bacteria	Antibacterial Effect
<i>Staphylococcus aureus</i>	I
<i>Salmonella Typhi</i>	R
<i>Listeria monocytogenes</i>	R
<i>Escherichia coli</i>	S
<i>Enterococcus faecalis</i>	R
<i>Salmonella Typhimurium</i>	R
<i>Shigella flexneri</i>	R
<i>Enterobacter aerogenes</i>	R

S: Sensitive, R: Resistant, I: Moderate Sensitive

References

- Acibuda, V. & Bostan-Budak, D. (2018) The place and importance of medicinal and aromatic plants in the World and Turkey. *Cukurova Journal of Agricultural Food Sciences*, 33(1), 37-44.
- Akarca, G. (2019). Composition and antibacterial effect on food borne pathogens of *Hibiscus sarrattensis* L. calyces essential oil. *Industrial Crops & Products*, 137, 285-289. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.043>
- Akarca, G., Tomar, O., Guney, I., Erdur, S. & Gok, V. (2019) Determination of sensitivity of some food pathogens to spice extract. *Journal of Food Science and Technology*, 56(12), 5253-5261. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03994-1>
- Akcicek, E. & Vural, M. (2007). The endemic and rare non-endemic plants of Kumalar Mountain (Afyonkarahisar). *J. BAUN Inst. Sci. Technol*, 9(2),78-86.
- 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.
- Bayrak, B. B. (2013). Antioxidant activities of Çiriş (*Eremurus Spectabilis* Bieb.) and some sulfur compounds, Ph.D. Thesis, İstanbul University, Graduate school of natural and applied sciences, İstanbul, Turkey.
- Baytop, T. (1999). Treatment with plants in Turkey, Nobel Medical Bookstores, Istanbul, Turkey.
- CLSI. (2015). Clinical and Laboratory Standards Institute, Zone diameter and minimal inhibitory concentration (MIC) Standards.
- EUCAST. (2018). European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing, http://www.Eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/eucast_files/Breakpoint_tables/v_8.0_Breakpoint_Tables.pdf
- Fatal, T., Yilmaz, F. F., Birincioglu, S. S., Hosgor-Limoncu, M. & Kivrak, B. (2016). Fatty acid composition and antimicrobial activity of *Asphodelus aestivus* seeds. *Human & Veterinary Medicine, International Journal of the Bioflux Society*, 8(2), 103-107.
- Karatepe, P. & Patir, B. (2012). The effect of eugenol and thymol on chemical, microbiological and sensory quality of pasteurized butter. *Firat University Medical Journal of Health Sciences*, 26, 35-46.
- Li, C., Shi, J. G., Zhang, Y. P. & Zhang, C. Z. (2000). Constituents of *Eremurus chinensis*, *Journal of Natural Products*, 63, 653-656.
- Oskay, M., Tamer, A. U., Ay, G., Sari, D. & Akta, K. (2005) Antimicrobial activity of the leaves of *Lippia triphylla* (L'Her) O. Kuntze (Verbenaceae) against on bacteria and yeasts. *Journal of Biological Sciences*, 5, 620-622.
- Oskay, M., Aktas, K., Sari, D. & Azeri, C. A. (2007). Comparative study of antimicrobial activity using well and disk diffusion method on *Asphodelus aestivus* (Liliaceae). *Ekoloji*, 16, 62-65.
- Peksel, A., Altas-Kiyamaz, N. & Imamoglu, S. (2012). Evaluation of antioxidant and antifungal potential of *Asphodelus aestivus* Brot. growing in Turkey. *Journal of Medicinal Plants Research*, 62, 253-265.
- Silva, F. & Domingues, F. C. (2017). Antimicrobial activity of coriander oil and its effectiveness as food preservative. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*, 57, 35-47.
- Ugurlyu, I., Baslar, S., Yorek, N. & Dogan, Y. (2009). The investigation and quantitative ethnobotanical evaluation of medicinal plants used around Izmir province, Turkey. *J. Med. Plant Res*, 3(5), 345-367.
- Zhang, Y. P., Zhang, C. Z., Tao, B. Q. & Li, C. (2000). Chemical constituents from *Eremurus chinensis* Fedtsch. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 25, 355-356.



Yıkanmış Türk Linyit Kömürlerinin Üst Isıl Değerinin Destek Vektör Regresyonu ile Tahmini

Mustafa Açıkkar^{1*}, Osman Sivrikaya²

¹ Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8888-4987)

² Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8146-5747)

(İlk Geliş Tarihi 4 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.642676)

ATIF/REFERENCE: Açıkkar, M., & Sivrikaya, O. (2020). Yıkanmış Türk Linyit Kömürlerinin Üst Isıl Değerinin Destek Vektör Regresyonu ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 16-24.

Öz

Bu çalışmada yıkanmış Türk linyit kömürlerinin üst ısıl değeri (GCV), makine öğrenmesi yöntemleri ile kömür numunelerinin kuru baz kısa analiz sonuçları kullanılarak tahmin edilmiştir. Laboratuvar kömür analiz sonuçlarından elde edilen kül (A), uçucu madde (VM), kükürt (S) ve GCV değişkenleri kullanılarak veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesine, Destek Vektör Regresyonu (SVR) ile Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Genel Regresyon Sinir Ağı (GRNN) ve Radyal Temelli Fonksiyon Sinir Ağı (RBFN) olmak üzere üç farklı Yapay Sinir Ağı (ANN) uygulanarak GCV tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin performans genelleştirme kabiliyeti 10-katlı çapraz-doğrulama kullanılarak sağlanmış ve modellerin tahmin doğruluğu, performans ölçütleri Çoklu Korelasyon Katsayısı (R), Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, GCV tahmini için, tüm modeller arasında SVR tabanlı modelin ANN tabanlı modellere göre biraz daha iyi, ANN tabanlı modeller arasında ise RBFN tabanlı modelin MLP ve GRNN tabanlı modellere göre daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Üst ısıl değer, destek vektör regresyonu, çok katmanlı algılayıcı, genel regresyon sinir ağı, radyal temelli fonksiyon sinir ağı

Prediction of Gross Calorific Value of Washed Turkish Lignite Coals with Support Vector Regression

Abstract

In this study, the gross calorific value (GCV) of washed Turkish lignite coals was predicted by using dry-basis proximate analysis data of coal samples with machine learning methods. The data set was generated by using ash (A), volatile matter (VM), sulfur (S) and GCV variables obtained from the analysis results. The GCV prediction models were developed by applying Support Vector Regression (SVR) and three different Artificial Neural Networks (ANNs), namely Multi-Layer Perceptron (MLP), General Regression Neural Network (GRNN) and Radial Basis Function Neural Network (RBFN), separately to the data set. The generalization capability of the developed models was ensured by using 10-fold cross-validation, and the prediction accuracy of the models was calculated by using performance metrics Multiple Correlation Coefficient (R), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). For GCV prediction, the results reveal that the SVR-based model performed slightly better than the ANN-based models and among the ANN-based models, the RBFN-based model performed better than MLP- and GRNN-based models.

* Sorumlu Yazar: Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8888-4987, macikkar@atu.edu.tr

Keywords: Gross calorific value, support vector regression, multi-layer perceptron, general regression neural network, radial basis function neural network.

1. Giriş

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte dünya enerji tüketim ihtiyacı hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak üzere farklı enerji üretim yöntemleri uygulanmaktadır. Enerji üretimi konvansiyonel ve yenilikçi yöntemler ile yapılabilmektedir. Her ne kadar yenilikçi ve yenilenebilir enerji üretim yöntemleri ön plana çıkarılmaya çalışılsa da konvansiyonel yöntemlerden olan fosil yakıtlardan enerji üretimi hala dünya enerji üretiminin önemli bir kısmını karşılamaktadır (Sivrikaya, 2014).

Kömür, organik kökenli fosil bir yakıt olarak ısınma amaçlı ve enerji üretiminde en çok kullanılan kaynaklardan birisidir. Tüm çevresel çekincelere rağmen dünyadaki yüksek kömür rezervleri, teminindeki kolaylıklar ve kullanımındaki ekonomik avantajlar nedeniyle enerji üretiminde kömür kullanımı devam etmektedir. Kömürün son yıllardaki enerji üretimi incelendiğinde yakın gelecekte de kullanımı devam edeceği öngörülebilir (W. Chen & Xu, 2010; Tan, Zhang, Xia, Fang, & Chen, 2015). Dolayısıyla kömür kullanımından kaynaklı çevresel zararları azaltmak için hem akademik hem endüstriyel çapta temiz kömür üretimi çalışmaları yapılmaktadır.

Temiz kömür üretiminde düşük kaliteli kömürler direk kullanıma uygun olmadıkları ve çevresel zararları minimize etmek için üretimden sonra lavvarlarda yıkama işlemine tabi tutulurlar. Kömür yıkama işleminde düşük kaliteli linyit kömürlerinin kül yapıcı mineral maddeleri bazı teknikler ile kömürden uzaklaştırılarak kalitesi nispeten yükseltilmiş temiz yıkanmış kömür elde edilir (Nasir, Kucerik, & Mahmood, 2012; Tozsın, Acar, & Sivrikaya, 2018; Xia, Xie, & Peng, 2015). Bu tür çalışmalar neticesinde elde edilen kömürlerin kullanımı hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha uygundur.

Kömürlerin kullanım alanlarına uygunluklarını belirlemek amacıyla uluslararası kabul görmüş standart test yöntemleri uygulanarak kömür kalitesi belirlenir. Bu yöntemler temel olarak iki ana gruba ayrılır. Birincisi kısa kömür analizi, diğeri ise kömür elementel analizidir. Kömürün nem (M), kül (A), uçucu madde (VM), sabit karbon (FC) ve ısı değerleri kısa analiz ile belirlenir. Hidrojen (H), azot (N), kükürt (S), karbon (C) ve oksijen (O) içerikleri ise elementel analiz ile belirlenir (Akkaya, 2009; Patel et al., 2007). Ancak S elementel analiz sırasında belirlenen bir değişken olduğu halde, çevreye olan etkisi dolayısıyla kömür kısa analiz sırasında da belirlenir. Kömürün enerji kaynağı olarak kullanımında en önemli özelliği ısı değeridir. Kömürün enerji potansiyelini belirlemek, verimli bir kullanım alanı bulmak, fiyatını belirlemek ve termal sistemleri kömüre uygun şekilde tasarlayıp işletmek için kömürün üst ısı değerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir (Akkaya, 2009). Kömüre ait üst ısı değeri (GCV) karmaşık bir bomba kalorimetresi standart testi ile laboratuvarında belirlenebilir. Ancak, kömür üst ısı değeri, diğer kömür özelliklerine bağlı olarak değişen bir türev özelliğidir. Bu nedenle, kömürün üst ısı değeri nem, kül ve uçucu madde değerleri kullanılarak tahmin edilebilir.

Bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve sinirsel bulanık sistemler gibi makine öğrenmesi yöntemleri, genellikle daha yüksek teknoloji ürünlerinin tasarımında kullanılmakla birlikte şu anda farklı bilim dallarında ve teknolojilerde kullanılmaktadır ve popülerlikleri giderek artmaktadır (Yılmaz, Erik, & Kaynar, 2010). Bu teknikler genellikle tahmin çalışmalarında kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar, kömür özellikleri ve üst ısı değerleri arasındaki ilişkileri ya kısa analiz sonuçlarını kullanarak ya da elementel analiz sonuçlarını ya da bunların kombinasyonlarını kullanarak araştırmışlardır (Açıkkar & Sivrikaya, 2018b; Akhtar, Sheikh, & Munir, 2017; Akkaya, 2009; Channiwala & Parikh, 2002; Chelgani, Mesroghli, & Hower, 2010; Feng, Zhang, Zhang, & Wen, 2015; Majumder, Jain, Banerjee, & Barnwal, 2008; Matin & Chelgani, 2016; Mazumdar, 2000; Mesroghli, Jorjani, & Chehreh Chelgani, 2009; Ozbayoglu, Ozbayoglu, & Ozbayoglu, 2010; Parikh, Channiwala, & Ghosal, 2005; Patel et al., 2007; Tan et al., 2015; Wen, Jian, & Wang, 2017; Yalçın Erik & Yılmaz, 2011).

Bu çalışmada Manisa-Soma linyit kömür havzasından üretilen 3672 yıkanmış kömür numunesinin kuru baz kısa analiz sonuçlarından elde edilen veri kümesi GCV'nin tahmininde kullanılmıştır. Veri kümesine, GCV tahmin modeli oluşturmak için, Destek Vektör Regresyonu (SVR) ile Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Genel Regresyon Sinir Ağı (GRNN) ve Radyal Temelli Fonksiyon Sinir Ağı (RBFN) dâhil olmak üzere üç farklı Yapay Sinir Ağı (ANN) uygulanmıştır. Geliştirilen tahmin modellerinin genelleme kabiliyeti 10-katlı çapraz-doğrulama kullanılarak sağlanmıştır. Modellerinin tahmin doğruluğunu karşılaştırmak için performans ölçütleri olarak Çoklu Korelasyon Katsayısı (R), Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Kümesi

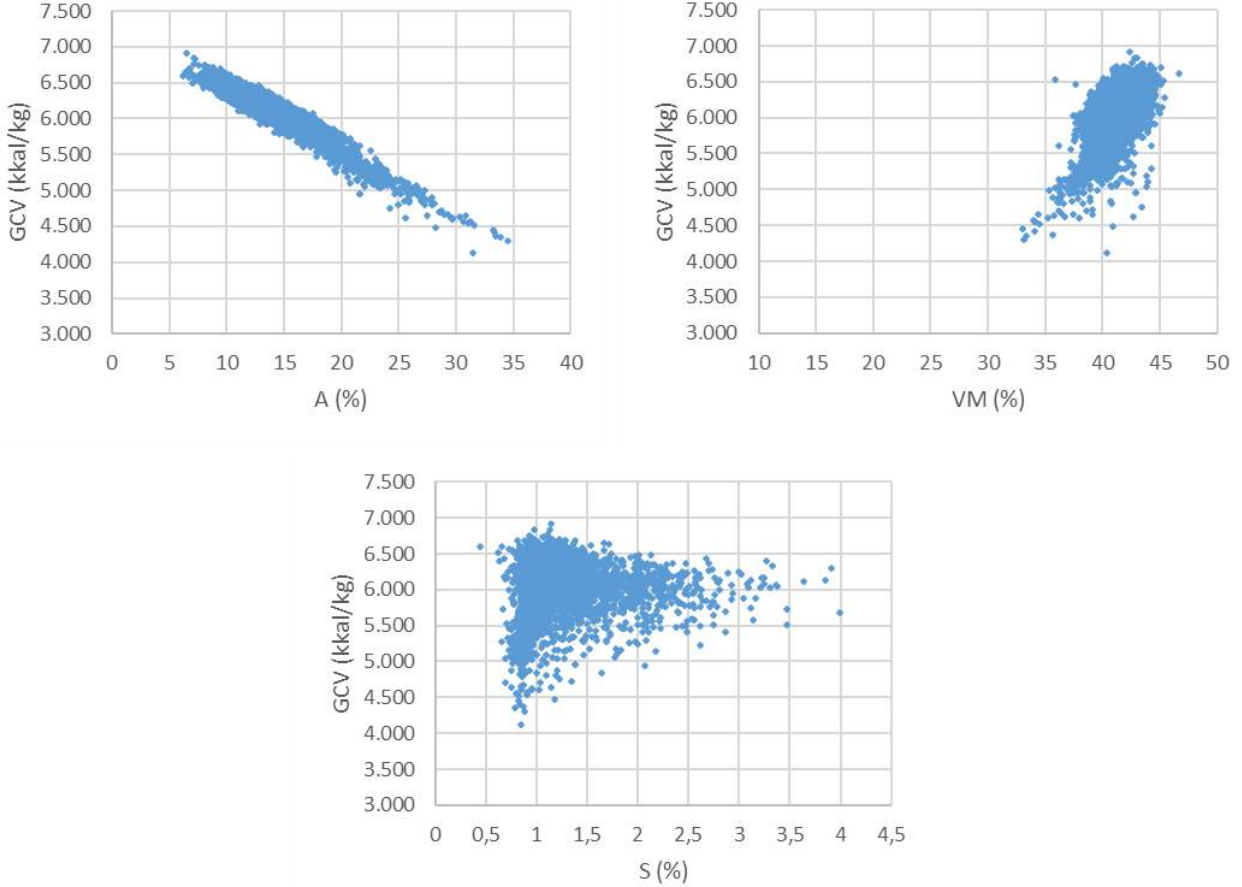
Bu çalışmada kullanılan veriler, Ocak 2016 - Mart 2017 tarihleri arasında Manisa-Soma linyit kömür havzasından üretilen linyit kömürlerinin laboratuvar analiz sonuçlarından elde edilmiştir. Kömür analizleri Türkiye Kömür İşletmeleri'ne (TKİ) bağlı Ege Linyit İşletmeleri Genel Müdürlüğü Akredite Laboratuvarlarında ASTM, ISO ve TSE standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Veri kümesi, 3672 yıkanmış kömür numunesinin kuru baz kısa analiz sonuçlarından elde edilen A, VM, S ve GCV değişkenleri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu veri kümesi için A, VM ve S tahmin edici değişkenler olarak ve GCV hedef değişken olarak seçilmiştir.

Tablo 1 veri setinin tanımlayıcı istatistiklerini, Şekil 1 ise hedef değişkenin her bir tahmin edici değişkene göre dağılım grafiklerini göstermektedir.

Tablo 1. Veri setinin tanımlayıcı istatistikleri

Kategori	Değişken Adı	En Küçük Değer	En Büyük Değer	Ortalama \pm Standart Sapma.
Tahmin Edici Değişkenler	A (%)	6,15	34,47	14,66 \pm 3,74
	VM (%)	32,99	46,68	41,16 \pm 1,55
	S (%)	0,44	3,99	1,29 \pm 0,39
Hedef Değişken	GCV (kkal/kg)	4124,81	6918,67	6054,02 \pm 357,02



Şekil 1. Hedef değişkenin tahmin edici değişkenlerine göre dağılım grafikleri

2.2. Metodoloji

Bu çalışmada, 3672 kömür numunesinin analiz sonuçlarından elde edilen ve bölüm 2.1.'de ayrıntılı olarak açıklanan veri kümesi deneysel amaçlar için kullanılmıştır. Veri kümesine, SVR'nin yanında MLP, GRNN ve RBFN olmak üzere üç farklı ANN de uygulanarak, 4 farklı GCV tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen SVR tabanlı modelin tahmin performansı ANN tabanlı modellerinin tahmin performansları ile karşılaştırılmıştır. GCV tahmininde, bahsedilen makine öğrenmesi yöntemlerinin seçilmesi birkaç temel faktöre dayanmaktadır. Literatürde, farklı problemler için SVR'nin diğer regresyon yöntemlerine üstünlüğünü gösteren birçok çalışma (Abut, Akay, & George, 2016; Akande, Owolabi, Twaha, & Olatunji, 2014; Quej, Almorox, Arnaldo, & Saito, 2017) yapılmıştır. Ayrıca, kömürün GCV'sini tahmin etmek için farklı veri kümeleri ve veri modelleri ile SVR'yi kullanan bazı çalışmalar da bulunmaktadır (Feng et al., 2015; Fu, 2016; Hadavandi, Hower, & Chelgani, 2017; Qi, Luo, Wei, & Fu, 2019; Tan et al., 2015). Diğer yandan, ANN'ler farklı alanlarda gerçek dünyada problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Açıkkar & Sivrikaya, 2018b; Huang, Liu, & Ren, 2018; Ren & Gao, 2011). Bu çalışmada daha önce ifade edildiği üzere SVR ile karşılaştırma yapmak amacıyla GCV tahmininde üç tip ANN, yani MLP, GRNN ve RBFN kullanılmıştır. MLP en iyi bilinen ve en sık kullanılan bir ANN yöntemidir. Ek olarak, GRNN ve RBFN diğer popüler ANN yöntemlerinden olup birçok alanda (Arliansyah & Hartono, 2015; Heydari, Garcia, Keynia, Bisegna, & Santoli, 2019; Ren & Gao, 2011) ve kısa analiz sonuçlarından kömürlerin GCV tahmininde de başarıyla kullanılmıştır (Açıkkar & Sivrikaya, 2018b, 2018a).

Geliştirilen tüm modellerin tahmin performansları R, RMSE, MAE ve MAPE kullanılarak hesaplanmıştır. Bu performans ölçütlerinin formülleri Denklem (1) - (4) ile gösterilmiştir.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - Y'_i| \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - Y'_i|}{Y_i} \quad (4)$$

Denklem (1) - (4)'te, analiz ile belirlenen GCV değeri Y , tahmin edilen GCV değeri Y' , GCV'nin analiz ile belirlenen değerlerinin ortalaması ise \bar{Y} ile gösterilmektedir ve test alt kümesindeki örneklerin sayısı n olarak verilmiştir.

Sunulan sonuçların kararlılığını ve güvenilirliğini güçlendirmek için veri setine 10-katlı çapraz-doğrulama uygulanmıştır. Tahmin modellerinin performansının geliştirilmesi için kullanılan k -katlı çapraz-doğrulama, özgün veri kümesi rastgele k tane eşit büyüklükte alt kümelere ayrılır. Elde edilen k tane alt kümeden, tek bir alt küme test kümesi ve geri kalan $k-1$ alt küme eğitim kümesi olarak kullanılır. Bu işlem k kez tekrarlandığında, k tane alt kümenin her biri test kümesi olarak bir kez kullanılır. Böylece tüm örneklerin hem eğitim hem de test kümesinde kullanılması sağlanır.

Her GCV tahmin modeli için veri setine 10-katlı çapraz-doğrulama uygulanarak yukarıda formülleri verilen performans ölçütleri her bir kat için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen tüm katlara ait sonuçların ortalaması alınarak performans ölçütlerinin nihai değeri elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan tüm deneyler (tahmin modellerinin geliştirilmesi ve sonuçların elde edilmesi), yaygın olarak kullanılan çeşitli makine öğrenme yöntemleri oluşturabilen bir tahmin modelleme yazılımı olan DTREG kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Sherrod, 2014).

2.2. SVR Tabanlı Tahmin Modelleri

Destek Vektör Makinaları (SVM), sınıflandırma ve regresyon için kullanılan eğitici istatistiksel öğrenme yöntemlerinden biridir. Vapnik (Vapnik, 1995) tarafından geliştirilen SVM, birçok etkin özelliğe sahip olması ve doğrusal olmayan problemleri çözmeye iyi performans sağlaması nedeniyle popülerlik kazanmıştır. SVM ilk olarak sınıflandırma problemlerini çözmek için tasarlanmış olsa da, regresyon problemlerini çözmek için yeniden yapılandırılmıştır (Vapnik, Golowich, & Smola, 1997). Bu yöntem ise Destek Vektör Regresyonu (SVR) olarak adlandırılmıştır (Açıkkar, Akay, Aktürk, & Güleç, 2013).

SVR tabanlı modelin tahmin performansı doğrudan SVR parametrelerinin değerleri ile ilgilidir. Epsilon değeri (ϵ), kapasite değeri (C), çekirdek fonksiyon türü ve varsa çekirdek fonksiyonun parametresi dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Çekirdek fonksiyon türünü seçmek ve bu fonksiyonun en uygun parametre değerlerini belirlemek SVR tabanlı modeller oluşturmak için çok önemlidir (Baydaroğlu & Koçak, 2014). SVR'de yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonları genellikle doğrusal, polinom, radyal temelli fonksiyon (RBF) ve sigmoid olarak dört kategori altında toplanabilir. Literatürde, diğer çekirdek fonksiyonları ile karşılaştırıldığında, RBF çekirdek fonksiyonu daha tatmin edici sonuçlar ürettiği için sıklıkla kullanılmıştır (Abut et al., 2016; Campbell, 2002; Kavzoglu & Colkesen, 2009). Bu nedenle, bu çalışmada, çekirdek fonksiyonu olarak RBF seçilmiştir. Ancak RBF çekirdek fonksiyonunun γ parametresi de optimize edilmelidir. Sonuç olarak, verilen regresyon problemi için, tatmin edici düzeyde tahmin doğruluğu sağlayan SVR tabanlı modeller geliştirmek için en uygun C , ϵ ve γ değerleri belirlenmelidir.

SVR'nin tahmin doğruluğu, parametrelerin seçimine karşı çok hassastır ve bu parametrelerin istenen değerlerini elde etmek için matematiksel bir modele dayanan bir kural ya da formül yoktur. Bu amaçla, SVR tabanlı modellerde kullanılan parametrelerin en uygun değerlerini bulmak için etkili bir arama algoritması gerekir, böylece en üst düzeyde model performansı elde edilebilir. Izgara arama (GS) (Hsu, Chang, & Lin, 2003), SVR parametrelerini optimize etmek için yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biridir. Her parametrenin önceden tanımlanmış bir değer aralığı vardır ve bu aralık logaritmik bir ölçekte eşit olarak adım sayısına bölünür. GS, her parametrenin tüm değerlerinin kombinasyonlarından elde edilen ve (C , ϵ , γ) üçlüsünden oluşan her bir parametre kümesini bir kez dener. Bu arama işleminin sonunda, en yüksek doğruluğu sağlayan parametre kümesi en uygun küme olarak kabul edilir.

SVR tabanlı tahmin modelinde kullanılan parametrelerin değer aralığı ve adım sayısı Tablo 2'te gösterilmektedir.

Tablo 2. SVR tabanlı tahmin modeli için kullanılan parametrelerin değer aralığı ve adım sayısı

Regresyon Yöntemi	Parametre	Değer Aralığı	Adım Sayısı
SVR	C	[0.1, 5000]	15
	ϵ	[0.0001, 100]	
	γ	[0.001, 50]	

2.4. ANN Tabanlı Tahmin Modelleri

Yapay Sinir Ağları (ANN), girdi ve çıktı verileri arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri belirleyebilen esnek bir matematiksel yapıdır. ANN'ler farklı alanlarda birçok zor sorunu çözmek için yaygın olarak uygulanmıştır. Problemlerin fonksiyon

yaklaşımını modellemek için birçok ANN türü vardır. Bu çalışmada önerilen GCV tahmin modellerinin kullanılabilirliğini doğrulamak için ANN yöntemlerinden MLP, GRNN ve RBFN kullanılmıştır.

2.4.1. MLP Tabanlı Tahmin Modelleri

Bir giriş katmanından, bir veya daha fazla gizli katmandan ve bir çıkış katmanından oluşan MLP, ANN yöntemleri arasında esnek, genel amaçlı ve en çok kullanılan bir ağıdır (Açıkkar & Sivrikaya, 2018b). Her gizli katmandaki en uygun nöron sayısını bulmak, MLP'nin çözümlenmesi gereken en önemli konularından biridir. Eğer yetersiz veya gereğinden fazla sayıda nöron kullanılıyorsa, oluşturulan ağ verileri modelleyemez ve beklenen performans elde edilemez. Tahmin probleminin türüne ve karmaşıklığına göre değişiklik gösteren gizli katmandaki nöron sayısını belirlemek için teorik bir yaklaşım yoktur (Abut et al., 2016).

Bu çalışmada, MLP ağı bir gizli katman kullanılarak oluşturulmuştur. Gizli katman transfer fonksiyonu olarak lojistik fonksiyon, çıkış katmanı transfer fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon kullanılmıştır. MLP ağının eğitim yöntemi, ölçeklenmiş eşlenik gradyan algoritmasıdır. Gizli katmandaki en uygun nöron sayısı, Tablo 3'te verilen nöron sayısı aralığında yer alan her bir değer kullanılarak geliştirilen modellerin tahmin performanslarının karşılaştırılmasıyla bulunmuştur. Bu yaklaşım, birçok model oluşturulması sebebi ile zaman alıcı bir işlem olsa da, en uygun nöron sayısını bulmak için oldukça etkili bir yöntemdir.

2.4.2. GRNN Tabanlı Tahmin Modelleri

Bellek tabanlı bir ağ olan GRNN bir giriş katmanı, bir desen katmanı, bir toplama katmanı ve bir çıkış katmanı olmak üzere dört katmandan oluşur. GRNN tek geçişli bir öğrenme algoritmasına dayalı olarak tasarlanmış olup ve eğitim verilerinin hatasını öğrenmek için geri yayılım algoritmasına ihtiyaç duymaz (Specht, 1991). Girdi katmanı ile desen katmanı birbirine tam bağlanır ve desen katmanı üzerindeki her düğüm çekirdek fonksiyonu olarak da bilinen bir RBF'yi temsil eder (Ren & Gao, 2011). Farklı RBF tipleri mevcut olmasına rağmen, en yaygın çekirdek fonksiyonu Gauss fonksiyonudur. Gauss fonksiyonunun genişliği, fonksiyonun yumuşaklığını kontrol eden bir parametredir ve yumuşatma faktörü (σ) olarak adlandırılır (Ren & Gao, 2011).

Bu çalışmada, desen katmanındaki her düğüm için en uygun yumuşatma faktörü, her model için bir yinelemeli işlem kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 3'te gösterilen yumuşatma faktörünün değerlerini kullanan farklı ağların tahmin performansları karşılaştırılarak bulunmuştur.

2.4.3. RBFN Tabanlı Tahmin Modelleri

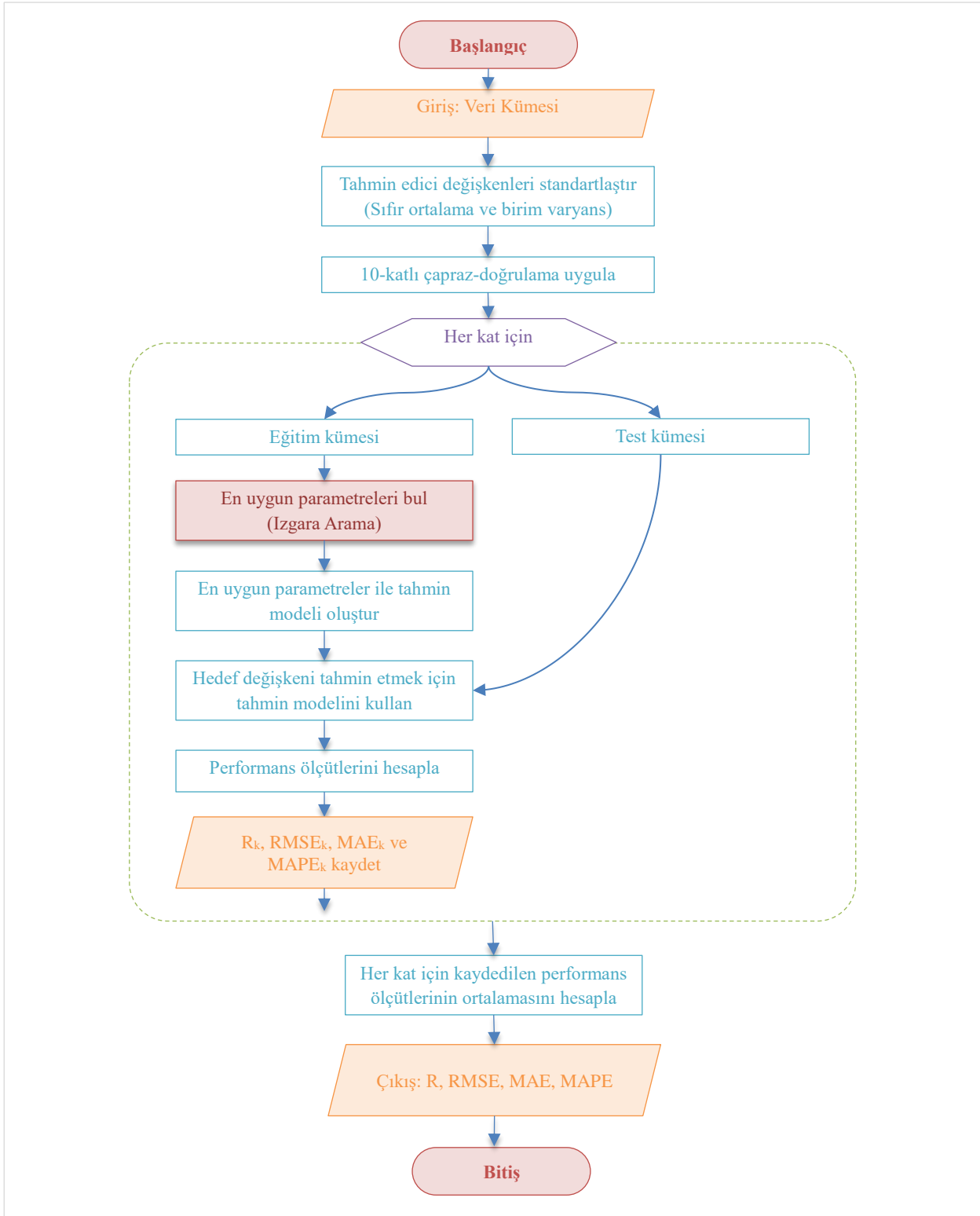
RBFN, bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşan çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağının özel bir durumu olmasının yanı sıra düğüm özellikleri ve öğrenme algoritması açısından farklılık göstermektedir (Arliansyah & Hartono, 2015). Gizli katmandaki nöronlar, çıkışları nöronun merkezinden uzaklıkla ters orantılı olan RBF transfer fonksiyonlarını içerir. RBFN modelinin eğitim aşamasında; gizli katmandaki nöronların sayısı, her gizli katmandaki RBF fonksiyonunun merkez noktası, her boyuttaki her RBF fonksiyonunun yarıçapı ve çıkış katmanına geçilirken RBF fonksiyonunun çıkışına uygulanan ağırlıklar olmak üzere dört farklı parametre belirlenir (Sherrod, 2014).

Bu çalışmada, MLP ağında olduğu gibi, gizli katmandaki en uygun nöron sayısı, Tablo 4'te verilen nöron sayısı aralığında yer alan her bir değer kullanılarak oluşturulan ağların tahmin performanslarının karşılaştırılmasıyla bulunmuştur. RBFN modelinin eğitim yöntemi olarak Sheng Chen ve ark. (S. Chen, Hong, & Harris, 2005) tarafından geliştirilen algoritma kullanılmıştır. Bu yöntem, her nöron için en uygun merkez noktalarını belirler ve evrimsel bir yaklaşımla yayılır. Ridge regresyonu, gizli katmanı nöronları ile çıkış katmanı nöronları arasındaki en uygun ağırlıkların hesaplanması için kullanılır. Genelleştirilmiş tahmin hatasını en aza indiren en uygun düzenleme parametresi (Lambda), Mark Orr (Orr, 1996) tarafından geliştirilen yinelemeli bir yöntem ile hesaplanmıştır (Sherrod, 2014).

Tablo 3, MLP, GRNN ve RBFN tabanlı tahmin modellerinin parametrelerinin değerini/değer aralıklarını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında sunulan regresyona dayalı tahmin modellerinin akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 3. ANN tabanlı tahmin modelleri için kullanılan parametrelerin değerleri/değer aralıkları

Regresyon Yöntemi	Parametre	Değer/Değer Aralığı
MLP	Gizli katmandaki nöron sayısı	[2, 25]
	Gizli katman transfer fonksiyonu	Lojistik
	Çıkış katmanı transfer fonksiyonu	Doğrusal
	Eğitim yöntemi	Ölçeklenmiş eşlenik gradyan
GRNN	Çekirdek fonksiyonu	Gauss
	Yumuşatma faktörü (σ) / Adım sayısı	[0.0001, 10] / 20
RBFN	Çekirdek fonksiyonu	Gauss
	Gizli katmandaki maksimum nöron sayısı	150
	Her boyuttaki her RBF fonksiyonunun yarıçapı	[0.01, 300]
	Düzenleme parametresi (Lambda)	[0.001, 8]
	Eğitim yöntemi	Ortogonal ileri seçim (S. Chen et al., 2005)



Şekil 2. GCV tahmin modellerinin akış şeması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Makine öğrenmesi yöntemlerinden SVR, MLP, GRNN ve RBFN kullanılarak linyit kömürlerine ait kısa analiz sonucunda elde edilen A, VM, S değerleri ile GCV tahmin modelleri oluşturulmuştur. Geliştirilen tahmin modellerinin performanslarını değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla performans ölçütleri olan R, RMSE, MAE ve MAPE hesaplanmıştır. Oluşturulan tahmin modellerinin performans ölçütlerinin değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Regresyon tabanlı tahmin modellerinin performans ölçütleri

Regresyon Yöntemi	R	RMSE (kkal/kg)	MAE (kkal/kg)	MAPE (%)
SVR	0,9940	87,50	65,87	1,19
MLP	0,9926	96,51	77,51	1,38
GRNN	0,9933	91,85	69,01	1,26
RBFN	0,9938	88,27	66,27	1,21

Tablo 4’de verilen tüm tahmin modellerine ait performans ölçütlerinin değerleri incelendiğinde, GCV tahmininde SVR tabanlı tahmin modelinin en başarılı tahmin modeli olduğu görülmüştür. Bu modelin performans ölçütleri R, RMSE, MAE ve MAPE değerleri ise sırasıyla 0,9940, 87,50 kkal/kg, 65,87 kkal/kg ve %1,19’dır. Geliştirilen tahmin modelleri tahmin performansına göre sıralandığında en iyiden en kötüye doğru SVR, RBFN, GRNN ve MLP olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen GCV tahmin modellerinin sonuçları ile literatürde önerilen benzer çalışmaların sonuçları arasında aşağıda belirtilen üç nedenden dolayı doğrudan ve ayrıntılı karşılaştırma yapmak mümkün olamamıştır. İlk olarak, her çalışmada farklı makine öğrenmesi yöntemleri ve farklı veri doğrulama yöntemleri kullanılmaktadır. İkincisi, her çalışma, farklı sayıda örnek içeren ve analiz türüne göre farklı tahmin edici değişkenleri olan farklı veri kümeleri kullanılmaktadır. Son olarak, GCV tahmini için oluşturulan her veri seti, örneğin kömürün kalitesi ve kömürün çıkarıldığı bölge gibi farklı veri özelliklerine sahip olabilmektedir.

Ancak bu çalışmada kullanılan veri kümesi Açıkkar ve Sivrikaya tarafından yapılan diğer bir çalışmada (Açıkkar & Sivrikaya, 2018a) kullanılan veri kümesinin sadece yıkanmış kömür örneklerini içeren bir alt kümesidir. Ayrıca söz konusu çalışmada 6875 kömür örneğine ait kısa analiz sonuçlarından oluşturulmuş veri kümesine MLP, GRNN ve RBFN uygulanmıştır. Geliştirilen ANN tabanlı tahmin modelleri arasında en başarılı model GRNN tabanlı model olup modelin R, RMSE ve MAPE değerleri sırasıyla 0,9840, 201,69 kkal/kg ve %2,97 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise ANN tabanlı tahmin modelleri arasında RBFN tabanlı model ile en iyi tahmin doğruluğu sağlanmış olup modelin R, RMSE ve MAPE değerleri sırasıyla 0,9938, 88,27 kkal/kg ve %1,21’dir. Bu iki çalışma performans ölçütlerinden RMSE değerine göre karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen RMSE değeri %56,23 oranında daha düşüktür. Bu bağlamda yüksek kalitedeki kömür örneklerinin oluşturduğu veri kümesinin tahmin edici değişkenlerinin ve hedef değişkeninin nispeten daha dar değişim aralığına sahip olmasından dolayı, bu çalışmada elde edilen tahmin sonuçlarının daha tutarlı olduğu değerlendirilmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmanın amacı, yıkanmış Türk linyit kömürlerinin GCV tahmini için yeni SVR tabanlı tahmin modeli geliştirmektir. SVR tabanlı tahmin modelinin performansını ortaya koymak ve karşılaştırma yapmak amacıyla ise ANN yöntemlerinden MLP, GRNN ve RBFN kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. TKİ’den alınan 3672 kömür örneğine ait kuru baz kısa analiz sonuçları veri setini oluşturmak için kullanılmıştır. Sonuçların genelleştirilmesi 10-katlı çapraz-doğrulama ile sağlanmış, tahmin modellerinin performansı R, RMSE, MAE ve MAPE değerleri hesaplanarak belirlenmiştir.

Sonuçlar, GCV tahmini için, tüm modeller arasında SVR tabanlı modelin ANN tabanlı modellere göre biraz daha iyi, ANN tabanlı modeller arasında ise RBFN tabanlı modelin MLP ve GRNN tabanlı modellere göre daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Ancak SVR ile RBFN tabanlı tahmin modelleri karşılaştırıldığında modellerin tahmin başarısı birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada önerilen tüm modellerin sonuçları göz önüne alındığında ise, bu veri kümesi üzerinde GCV tahmini için kullanılan regresyon yöntemlerinin performans sıralaması, azalan sıra ile SVR, RBFN, GRNN ve MLP olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma yıkanmış Türk linyit kömürlerinin GCV’lerinin SVR kullanarak kısa analiz sonuçlarından yüksek tahmin doğruluğu ile verimli bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi tarafından finansal olarak desteklenmiştir (Proje Numarası: 17119001).

Bu çalışmada kullanılan kömür analiz verileri Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) tarafından sağlanmıştır.

Kaynakça

- Abut, F., Akay, M. F., & George, J. (2016). Developing new VO₂max prediction models from maximal, submaximal and questionnaire variables using support vector machines combined with feature selection. *Computers in Biology and Medicine*, 79(October), 182–192. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2016.10.018>
- Açıkkar, M., Akay, M. F., Aktürk, E., & Güleç, M. (2013). Intelligent regression techniques for non-exercise prediction of VO₂max. 2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2013. <https://doi.org/10.1109/SIU.2013.6531534>
- Açıkkar, M., & Sivrikaya, O. (2018a). Artificial neural networks for estimation of the gross calorific value of Turkish lignite coals. 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), 1075–1079.

- Açıkkar, M., & Sivrikaya, O. (2018b). Prediction of gross calorific value of coal based on proximate analysis using multiple linear regression and artificial neural networks. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26(5), 2541–2552. <https://doi.org/10.3906/elk-1802-50>
- Akande, K. O., Owolabi, T. O., Twaha, S., & Olatunji, S. O. (2014). Performance Comparison of SVM and ANN in Predicting Compressive Strength of Concrete. In *IOSR Journal of Computer Engineering* (Vol. 16). <https://doi.org/10.9790/0661-16518894>
- Akhtar, J., Sheikh, N., & Munir, S. (2017). Linear regression-based correlations for estimation of high heating values of Pakistani lignite coals. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(10), 1063–1070. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1289283>
- Akkaya, A. V. (2009). Proximate analysis based multiple regression models for higher heating value estimation of low rank coals. *Fuel Processing Technology*, 90(2), 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.08.016>
- Arliansyah, J., & Hartono, Y. (2015). Trip Attraction Model Using Radial Basis Function Neural Networks. *Procedia Engineering*, 125, 445–451. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.11.117>
- Baydaroglu, Ö., & Koçak, K. (2014). SVR-based prediction of evaporation combined with chaotic approach. *Journal of Hydrology*, 508, 356–363. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2013.11.008>
- Campbell, C. (2002). Kernel methods: a survey of current techniques. In *Neurocomputing* (Vol. 48). Retrieved from www.elsevier.com/locate/neucom
- Channiwala, S. A., & Parikh, P. P. (2002). A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. *Fuel*, 81(8), 1051–1063. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(01\)00131-4](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(01)00131-4)
- Chelgani, S. C., Mesroghli, S., & Hower, J. C. (2010). Simultaneous prediction of coal rank parameters based on ultimate analysis using regression and artificial neural network. *International Journal of Coal Geology*, 83(1), 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.03.004>
- Chen, S., Hong, X., & Harris, C. J. (2005). Orthogonal Forward Selection for Constructing the Radial Basis Function Network with Tunable Nodes. https://doi.org/10.1007/11538059_81
- Chen, W., & Xu, R. (2010). Clean coal technology development in China. *Energy Policy*, 38(5), 2123–2130. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.003>
- Feng, Q., Zhang, J., Zhang, X., & Wen, S. (2015). Proximate analysis based prediction of gross calorific value of coals: A comparison of support vector machine, alternating conditional expectation and artificial neural network. *Fuel Processing Technology*, 129, 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.09.001>
- Fu, J. (2016). Application of SVM in the estimation of GCV of coal and a comparison study of the accuracy and robustness of SVM. 2016 International Conference on Management Science and Engineering (ICMSE), 553–560. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2016.8365486>
- Hadavandi, E., Hower, J. C., & Chelgani, S. Chehreh. (2017). Modeling of gross calorific value based on coal properties by support vector regression method. *Earth Syst. Environ.*, 3(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0270-7>
- Heydari, A., Garcia, D. A., Keynia, F., Bisegna, F., & Santoli, L. De. (2019). Renewable Energies Generation and Carbon Dioxide Emission Forecasting in Microgrids and National Grids using GRNN-GWO Methodology. *Energy Procedia*, 159, 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.044>
- Hsu, C.-W., Chang, C.-C., & Lin, C.-J. (2003). A Practical Guide to Support Vector Classification. Retrieved from <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin>
- Huang, X., Liu, X., & Ren, Y. (2018). Enterprise credit risk evaluation based on neural network algorithm. *Cognitive Systems Research*, 52, 317–324. <https://doi.org/10.1016/J.COGSYS.2018.07.023>
- Kavzoglu, T., & Colkesen, I. (2009). A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 352–359. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2009.06.002>
- Majumder, A. K., Jain, R., Banerjee, P., & Barnwal, J. P. (2008). Development of a new proximate analysis based correlation to predict calorific value of coal. *Fuel*, 87(13–14), 3077–3081. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.04.008>
- Matin, S. S., & Chelgani, S. C. (2016). Estimation of coal gross calorific value based on various analyses by random forest method. *Fuel*, 177, 274–278. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.031>
- Mazumdar, B. K. (2000). Theoretical oxygen requirement for coal combustion: relationship with its calorific value. *Fuel*, 79(11), 1413–1419. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00272-0](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00272-0)
- Mesroghli, S., Jorjani, E., & Chehreh Chelgani, S. (2009). Estimation of gross calorific value based on coal analysis using regression and artificial neural networks. *International Journal of Coal Geology*, 79(1–2), 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.04.002>
- Nasir, S., Kucerik, J., & Mahmood, Z. (2012). A study on the washability of the Azad Kashmir (Pakistan) coalfield. *Fuel Processing Technology*, 99, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.02.003>
- Orr, M. J. L. (1996). Introduction to Radial Basis Function Networks. Centre for Cognitive Science, University of Edinburgh, Scotland.
- Ozbayoglu, A. M., Ozbayoglu, M. E., & Ozbayoglu, G. (2010). Regression techniques and neural network for the estimation of gross calorific value of Turkish coals. *XIIIth International Mineral Processing Symposium*, 1175–1180. Nevşehir, Türkiye.
- Parikh, J., Channiwala, S. A., & Ghosal, G. K. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*, 84(5), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.010>
- Patel, S. U., Jeevan Kumar, B., Badhe, Y. P., Sharma, B. K., Saha, S., Biswas, S., ... Kulkarni, B. D. (2007). Estimation of gross calorific value of coals using artificial neural networks. *Fuel*, 86(3), 334–344. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.07.036>
- Qi, M., Luo, H., Wei, P., & Fu, Z. (2019). Estimation of low calorific value of blended coals based on support vector regression and sensitivity analysis in coal-fired power plants. *Fuel*, 236, 1400–1407. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.09.117>

- Quej, V. H., Almorox, J., Arnaldo, J. A., & Saito, L. (2017). ANFIS, SVM and ANN soft-computing techniques to estimate daily global solar radiation in a warm sub-humid environment. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 155, 62–70. <https://doi.org/10.1016/J.JASTP.2017.02.002>
- Ren, S., & Gao, L. (2011). Combining artificial neural networks with data fusion to analyze overlapping spectra of nitroaniline isomers. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 107(2), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2011.04.012>
- Sherrod, P. H. (2014). DTREG Predictive Modeling Software. Retrieved from www.dtreg.com
- Sivrikaya, O. (2014). Cleaning study of a low-rank lignite with DMS, Reichert spiral and flotation. *Fuel*, 119, 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.11.061>
- Specht, D. F. (1991). A General Regression Neural Network. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2(6), 568–576. <https://doi.org/10.1109/72.97934>
- Tan, P., Zhang, C., Xia, J., Fang, Q. Y., & Chen, G. (2015). Estimation of higher heating value of coal based on proximate analysis using support vector regression. *Fuel Processing Technology*, 138, 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.06.013>
- Tozsin, G., Acar, C., & Sivrikaya, O. (2018). Evaluation of a Turkish Lignite Coal Cleaning by Conventional and Enhanced Gravity Separation Techniques. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 38(3), 135–148. <https://doi.org/10.1080/19392699.2016.1209191>
- Vapnik, V. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer-Verlag.
- Vapnik, V., Golowich, S. E., & Smola, A. (1997). Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing. *Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*, 281–287. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33311-8_5
- Wen, X., Jian, S., & Wang, J. (2017). Prediction models of calorific value of coal based on wavelet neural networks. *Fuel*, 199, 512–522. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.03.012>
- Xia, W., Xie, G., & Peng, Y. (2015, June 1). Recent advances in beneficiation for low rank coals. *Powder Technology*, Vol. 277, pp. 206–221. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.03.003>
- Yalçın Erik, N., & Yılmaz, I. (2011). On the Use of Conventional and Soft Computing Models for Prediction of Gross Calorific Value (GCV) of Coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 31(1), 32–59. <https://doi.org/10.1080/19392699.2010.534683>
- Yılmaz, I., Erik, N. Y., & Kaynar, O. (2010). Different types of learning algorithms of artificial neural network (ANN) models for prediction of gross calorific value (GCV) of coals. *Scientific Research and Essays*, 5(16), 2242–2249.



MEMS Tabanlı Mikro Rezonatörün Tasarımı ve Analizi

İshak Ertuğrul^{1*}, Osman Ülker²

¹ Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8133-5889)

² Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9586-0377)

(İlk Geliş Tarihi 17 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.311590/ejosat.676368)

ATIF/REFERENCE: Ertuğrul, İ. & Ülker, O. (2020). MEMS Tabanlı Mikro Rezonatörün Tasarımı ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 25-29.

Öz

Mikro-Elektro-Mekanik (MEMS) rezonatörler uzun zamandır sensör tasarımı için kullanılmaktadır ve artık günümüzde güç elektroniği alanında osilatörler olarak giderek önem kazanmaktadır. Farklı metalik malzemeler kullanılarak COMSOL programı ile deformasyon analizi bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, bir mikro mekanik filtrenin parçası olarak tasarlanan bir yüzey mikro işlenmiş MEMS rezonatörü ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Geliştirilen model, uygulanan 100 V DC gerilim ile rezonatörün analizini gerçekleştirir. Mikro rezonatör içerisinden geçen akım, termal genişleme ile ısı enerjisini dağıtmaktadır. Bu genişleme, rezonatör içerisinden geçen akım ve yayılan sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. COMSOL yazılımı kullanılarak 400 µm uzunluğunda ve 50 µm kalınlığında dikdörtgen bir giriş olarak tasarlanan rezonatör için polikristalin silikon, demir, alüminyum, gümüş ve altın malzeme ataması yapılarak gerekli analizler yapılmıştır. Giriş potansiyeli rezonatörün hava boşluğu merkezinden uygulanarak y ekseninde meydana gelen deformasyonlar ölçülmüştür.

En yüksek deformasyon 0.062 µm ile alüminyum malzemede ortaya çıkarken; en düşük deformasyon 0.029 µm ile polikristalin silikon malzemede ölçülmüştür. Demir, gümüş ve altın malzemelerinde ise sırasıyla 0.030 µm, 0.052 µm ve 0.059 µm deformasyon verileri ölçülmüştür. Sonuç olarak, mikro rezonatör tasarımında kullanılan alüminyumun diğer metalik rezonatörler ile kıyaslandığı zaman önerilen geometri için önemli miktarda deformasyon verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikro rezonatör, Elektrik potansiyeli, COMSOL.

Design and Analysis of MEMS Based Micro Resonator

Abstract

Micro-Electro-Mechanical (MEMS) resonators have long been used for sensor design and are now becoming increasingly important as oscillators in the field of power electronics. Deformation analysis with COMSOL program using different metallic materials was carried out in this study.

In this study, a surface micromachined MEMS resonator designed as part of a micromechanical filter is analyzed in detail. The developed model performs the analysis of the resonator with the applied 100 V DC voltage. The current passing through the microresonator dissipates heat energy by thermal expansion. This expansion depends on the current flowing through the resonator and the radiated temperature. Using the COMSOL software, the resonator was designed as a rectangular beam with a length of 400 µm and a thickness of 50 µm. By applying the input potential from the centre of the air gap of the resonator, the deformations in the y-axis were measured. The highest deformation occurred in aluminium material with 0.062 µm; the lowest deformation was measured in polycrystalline silicon material with 0.029 µm. The deformation data of iron, silver and gold materials were measured as 0.030 µm, 0.052 µm and 0.059 µm, respectively. As a result, it is observed that aluminium used in microresonator design gives a significant amount of deformation for the proposed geometry when compared with other metallic resonators.

Keywords: Micro resonator, Electrical potential, COMSOL.

* Sorumlu Yazar: Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8133-5889, i.ertugrul@alparslan.edu.tr

1. Giriş

Mikro-Elektro-Mekanik-Sistemler (MEMS), sıcaklık, barometrik basınç, bağıl nem, ivme, titreşim gibi fiziksel dünyadan elektronik olmayan bilgileri toplayabilen minyatür, son derece hassas sensörler ve aktüatörler oluşturmak için kullanılır. Bu analog bilgi sayısallaştırılabilir ve sinyal işleme için bir mikro denetleyiciye iletilebilir. Zamansal modellerin çıkarılması gibi karmaşık sinyal analizi gerektiğinde, sinyal radyo frekansı yüksek kaliteli bir bilgisayara iletilebilir (Younis ve ark., 2003).

MEMS, bileşenlerin özellik boyutunun ve çalıştırılma aralığının mikro ölçekte olduğu bir elektromekanik entegre sistemidir. Geleneksel mekanik işlemenin aksine, MEMS cihazının üretimi, entegre bir devre ile uyumlu olabilen, yüzey mikro işleme ve toplu mikro işleme içeren yarı iletken üretim işlemini kullanır. Bu cihazlar veya sistemler mikro ölçekte algılama, kontrol etme, harekete geçirme ve makro ölçekte etkiler oluşturma yeteneğine sahiptir (Ertugrul ve Ark, 2019).

Giderek artan proses teknolojisi sayesinde, günümüzde çok sayıda karmaşık mikro yapısal ve fonksiyonel modül mevcuttur. Bu nedenle, cihazların daha iyi optimize edilmiş performansı geliştirilmiştir. Elektrostatik tahrikli MEMS cihazları hızlı tepki, daha düşük güç tüketimi ve entegre devre standart proses uyumluluğu avantajlarına sahiptir.

Sadece elektrik sinyalleri ile ilgilenen LSI cihazlarıyla karşılaştırıldığında, MEMS cihazları fiziksel (elektrik, mekanik, termal, optik vb.) , kimyasal ve biyolojik sinyaller gibi çok çeşitli sinyal tiplerinin dönüştürülmesi ve entegrasyonu ile ilgilidir (Lee ve ark., 2010). Genel olarak, silikon MEMS teknolojisi, otomotiv, biyomedikal ve telekomünikasyon endüstrileri, savunma ve benzeri gibi çok çeşitli tüketici ve endüstriyel uygulamalarda kullanım için düşük maliyetli, yüksek performanslı ve minyatür çok işlevli entegre cihazların imkanı sunar (Nisar ve ark., 2008; Ashraf ve ark., 2011).

MEMS rezonatörleri, yüksek stabilite, düşük güç tüketimi ve entegre devrelerle uyumluluk gibi çok faydalı özellikleri nedeniyle hem fizik hem de mühendislik topluluklarında yoğun bir şekilde incelenmiş ve dikkat çekmiştir. Quartz osilatörleri gibi geleneksel osilatörlere alternatif olarak tasarlanan MEMS rezonatörleri, zaman tutma ve senkronizasyon amaçlarının yanı sıra kuvvet, kütle, elektronik ve nükleer dönüşlerin algılanması için de uygulanır (Zhao ve ark., 2016). Bu uygulamalarda yüksek hassasiyet gerekliliği, yüksek kalite faktörü, düşük faz gürültüsü ve büyük sinyal/gürültü oranı dahil olmak üzere çeşitli performans gereksinimleri getirmektedir. Bu gereksinimleri karşılamak için, MEMS osilatörleri genellikle tipik olarak doğrusal olmamakla birlikte sınırlı olan büyük titreşim genliklerinde çalıştırılır (Hajjaj ve ark., 2017).

Son zamanlarda, tipik olarak bant geçiren filtrelerde ve dupleksleyicilerde kullanılmak üzere GHz aralığı MEMS rezonatörlerinde çok ilerleme kaydedilmiştir. Bu rezonatörler 1000'den fazla kalite faktörü gösterdiğinden, bu cihazlar düşük güçlü RF alıcı-vericilerin tasarımını kolaylaştırma potansiyeline sahiptir (Yang ve ark., 2017). Bir RF frekans referansının varlığı, sistemdeki kuvars kristallerine olan ihtiyacı ortadan kaldırabilir, bu da entegrasyon seviyesini büyük ölçüde artırır ve maliyeti azaltır.

İot (nesnelerin interneti) ve giyilebilir cihazlarının boyut ve güç tüketimini azaltmak için 32.768 kHz MEMS rezonatör geliştirilmiştir. Günümüzde birçok modern cihaz doğru zamanlamaya dayandığından, zamanlama sinyalleri sağlamak için sürekli çalışması gereken düşük güç tüketimi rezonatörlerine artan bir ihtiyaç söz konusudur. MEMS teknolojisine dayanan yeni rezonatörler, -30 ile 85 °C çalışma aralığında düşük sıcaklık kayması ile kararlı frekans özellikleri sergilemektedir. Silikon temelli ambalajlarda olan rezonatör, homojen yarı iletken malzemeden yapılmış bir IC'ye entegre edilebilmektedir (Kourani ve ark., 2017).

Termal genleşme, içinden geçen akım miktarına ve yayılan sıcaklığa bağlıdır. Mikro rezonatör uygulaması, iletken katmanlardan uygun büyüklükte akım ileterek tüm rezonatörü istenen mesafeye taşımak ve termal genleşme yoluyla yer değiştirmeye yol açan bir sıcaklık artışı oluşturmaktır. Bu çalışmada amaç, COMSOL yazılımı kullanılarak geliştirilen modelde farklı malzeme çeşitlerinin sabit gerilimde deformasyon üzerindeki etkisini araştırmaktır. COMSOL MultiFizik yazılımı sabit potansiyelde farklı malzemelerden yapılmış mikro rezonatörü modellemek ve simüle etmek için seçilmiştir. Bu yazılım mevcut tasarım için son derece gerekli olan termal, elektriksel ve yapısal analizlerin birleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

Mikromekanik rezonatörler, sensör sistemlerinin tasarımında uzun zamandır kullanılmaktadırlar (Zhao ve ark., 2017). Günümüzde elektronik cihazlarda osilatör olarak görev yapmaktadır. Bu çalışmada yüzey mikro işleme tekniğiyle üretilen Mems tabanlı mikro rezonatörün analizi ayrıntılı olarak yapılmıştır. Gerçekleştirilen analizler ile uygulanan elektriksel potansiyel karşı rezonatörün deformasyon performansı incelenmiştir.

Bu makalenin diğer çalışmalardan farkı; farklı malzemeler kullanılarak COMSOL ile deformasyon analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu analizi ile malzeme çeşitliliğinin mikro rezonatör deki deformasyon üzerindeki etkisi ilk defa bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmalar genellikle alüminyum ve bakır malzemelerin deformasyon karakteristiğini araştırmıştır.

Bu makalede; COMSOL yazılımı kullanılarak MEMS tabanlı mikro rezonatörün tasarımı ve analizi gerçekleştirilmiştir. Önerilen model de, uygulanan elektrik potansiyeli sonucunda deformasyon verileri analiz edilmiştir. Sabit gerilim altında polikristalin, demir, gümüş, alüminyum ve altın malzeme için mikro rezonatörde oluşan deformasyon değerleri incelenmiştir.

Bu makale şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde, mikro rezonatörün metalik malzemelerden tasarımı ve modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde, oluşturulan model üzerine sabit 100V gerilimde elektrik potansiyeli uygulanarak simülasyon çalışması yapılmıştır. Diğer bölümlerde ise yapılan analizler sonucu malzemelerde meydana gelen deformasyon verileri ve iletilebilecek çalışmalar sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Tasarım Koşulları

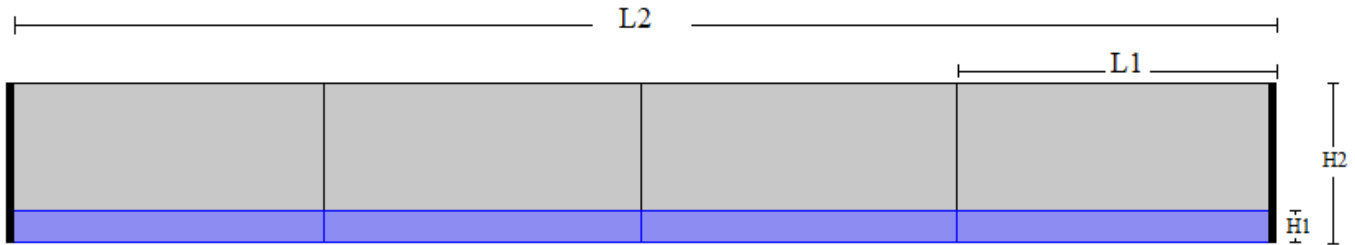
Yüze mikro işleme yöntemiyle üretilen rezonatörün model geometrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Önerilen geometrik yapıya malzeme ilavesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için malzeme tarayıcısından polikristalin silikon, demir, alüminyum, gümüş ve altın seçilmiştir. Bu malzemeler, önemli fiziksel ve elektriksel özellikleri nedeniyle MEMS alanında fonksiyonel malzeme olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin analiz aşamasında kullanılan fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1'de verilmiştir. COMSOL kullanılarak 2D (2 boyut düzlem) olarak tasarlanan çalışma için, 3D geometrisinin basitleştirilmiş bir versiyonu dikkate alınmıştır. Basitleştirilmiş tasarım için, rezonatör 400 µm uzunluğunda ve 50 µm kalınlığında dikdörtgen bir giriş olarak modellenmiştir.

Rezonatörün alt tabaka wafer'a sabitlendiği noktaların hareket edebilmesi için rezonatörün her bir ucuna kısıtlama sınırı uygulanır. Wafer substratı net bir biçimde modellenmemiştir. Bunun yerine rezonatör ve substrat arasında sadece 10 µm kalınlığında bir hava boşluğu bulunmaktadır. Geliştirilen modele farklı malzemeler tanımlanarak mikro rezonatörün deformasyon performansı gözlemlenmiştir. Malzeme olarak polikristalin silikon, demir, alüminyum, gümüş ve altın kullanılmıştır. Bu deformasyonun ortaya çıkması için rezonatörün hava boşluğu merkezinden 100V gerilim değerinde elektriksel potansiyel uygulanmıştır.

Tablo 1. Kullanılan Malzemelerin Fiziksel Özellikleri

Özellik	Polikristalin Silikon	Demir	Alüminyum	Gümüş	Altın	Birim
Termal genleşme katsayısı	2.6×10^{-6}	11.8×10^{-6}	23.1×10^{-6}	18.9×10^{-6}	14.2×10^{-6}	1/K
Yoğunluk	2320	7860	2700	10500	19300	Kg/m ³
Termal İletkenlik	34	80.2	237	429	317	W/(m*K)
Young modülü	160×10^9	152×10^9	70×10^9	83×10^9	70×10^9	Pa
Poisson oranı	0.22	0.27	0.35	0.37	0.44	-

Model geometrisi Şekil 1'de gösterilen dikdörtgen mikro rezonatör ve hava boşluğu sırasıyla gri ve mavi çerçeve ile vurgulanmıştır. Model sağ ve sol köşelerden sabitlenmiştir. Şekil üzerindeki L1 = 100 µm, L2 = 400 µm, H1 = 10, H2 = 50 olarak ölçeklendirilmiştir. Elektriksel potansiyel hava boşluğunun merkezi kısmından uygulanmıştır. Dikey bölme çizgileri rezonatörün fiziksel geometrisinin bir parçası değildir. Ancak uygun bir mesh kolayca oluşturulmasını sağlamak için dahil edilmiştir. Çalışma sırasında rezonatör topraklanır (etki alanı terminali özelliğini kullanarak) ve bir sürücü elektrotu, hava boşluğunun merkezi kısmına elektrik potansiyeli uygular.



Şekil 1. Tasarlanan mikro rezonatörün model geometrisi

2.2. Elektromekanik Kuvvetler

Vakumlu veya başka bir ortamda, yüklü cisimler arasındaki kuvvetler, alan içinde hayali bir gerilme durumunun var olduğu varsayımıyla hesaplanabilir. Elektromanyetik veya Maxwell gerilme tensörü, bir elektrik alanın sonucu olarak bir malzemede indüklenen gerilmelerin yanı sıra hava veya vakumdaki cisimlere etki eden yüzey kuvvetlerini hesaplamak için kullanılabilir. Bir materyalin içinde, COMSOL Multifizik, izotropik materyaller için uygun olan aşağıdaki stres tensörü $T_{EM,S}$ kullanır.

$$T_{EM,S} = -\frac{1}{2}(E \cdot D + a_2 E \cdot E)I + ED^T + \frac{1}{2}(a_2)EE^T$$

Burada E elektrik alanı, D elektrik yer değiştirme alanı ve I kimlik tensörüdür. a_1 ve a_2 , malzemenin elektrostriktif özelliklerini belirten malzeme parametreleridir (bu cihaz için $a_2 = a_2 = 0$ varsayalım çünkü alan malzeme içinde çok düşüktür). Bu ek gerilim, elektromekanik katı düğüm tarafından malzemeye uygulanır. Elektriksel alanın neden olduğu gerilime ek olarak, yüzeyde etkiyen net kuvvetlerin bir sonucu olarak genellikle malzemede mekanik gerilmelerin indüklendiğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Katı bir cismin yüzeyleri üzerindeki kuvvetler, formun boşluğuna benzer bir gerilim terimi uygulanarak hesaplanabilir.

$$T_{EM,V} = -\frac{1}{2}(E \cdot D)I + ED^T$$

Yüzey üzerindeki net kuvvet genel olarak arayüzdeki gerilim tensörünün süreksizliğinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, vakum boyunca bir gerilmenin uygulanması istenmediğinden, kuvvet sadece katı gövdelerin yüzeyinde, elektromekanik arayüz düğümü ile sağlanabilmektedir. Yüzey kuvveti aşağıdaki hesaplanmaktadır:

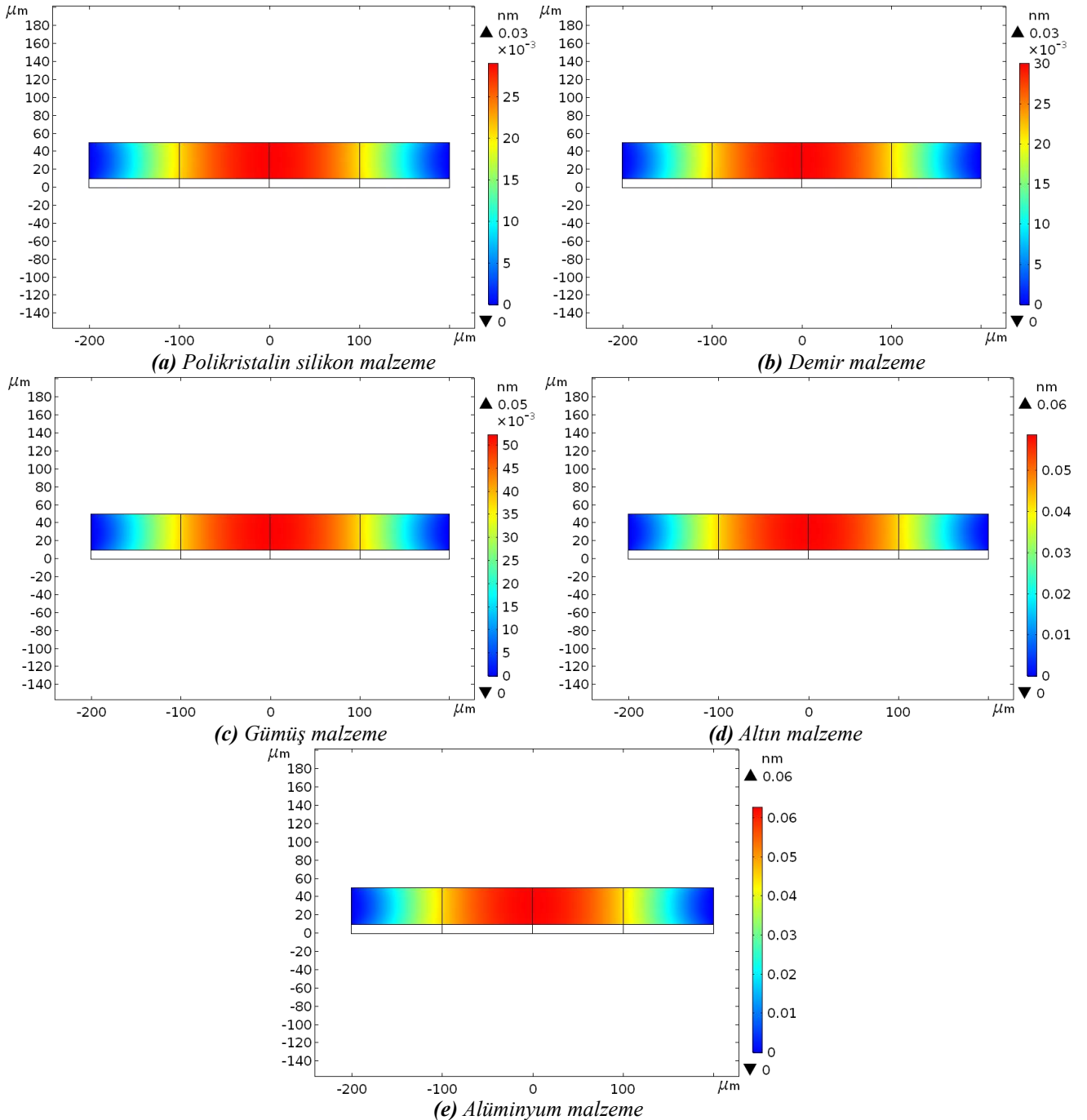
$$n_1 T_{EM,V} = -\frac{1}{2}(E \cdot D)n_1 + (n_1 \cdot E)D$$

Burada n_1 mekanik gövdeden dışarı bakacak biçimde tanımlanan normal yüzeydir.

3. Simülasyon

Mikro rezonatöre uygulanan sabit 100V elektriksel potansiyel ile y ekseninde oluşan deformasyonlar hesaplanmıştır. Rezonatör iki destek noktası bir substrata sabitlendi ve hava boşluğunun merkezine gerilim uygulandı. Uygulanan elektrik potansiyeli, mikro rezonatör de bir elektrik akımı indükler; yapıdan geçen akım, enerjinin ısı şeklinde yayıldığı elektronların akışında bir miktar yavaşlamaya neden olur. Bu üretilen ısı, rezonatör üzerindeki termal gerilimi indükler ve deformasyona neden olur.

Simülasyon işlemi Şekil 2 (a-e)'de de görüleceği üzere beş aşamada gerçekleştirildi. Başlangıçta 400 μm uzunluğunda ve 50 μm kalınlığında dikdörtgen bir kiriş olarak tasarlanan rezonatöre polikristalin silikon malzeme ataması yapılarak elektriksel potansiyel uygulandı. Benzer biçimde diğer aşamalarda ise rezonatöre sırasıyla demir, gümüş, altın ve alüminyum malzeme atamaları yapılarak 100V değerinde gerilim uygulanarak y ekseninde meydana gelen deformasyonlar ölçülmüştür. Şekil 2 (a-e)'de simülasyon sonucu ölçülen deformasyon miktarları gösterilmiştir. Beklendiği gibi, maksimum yer değiştirme geometrinin merkezinde oluşmuştur.



Şekil 2. Mikro rezonatörün farklı malzemeler kullanılarak elde edilen deformasyon verileri

Modellemesi gerçekleştirilen mikro rezonatörün polikristalin silikon, demir, gümüş, altın ve alüminyum malzemeleri uygulanarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz işlemleri her bir malzemeye uygulanan 100V sabit elektrik potansiyeli ile gerçekleştirilmiştir. Mikro rezonatöre uygulanan gerilim neticesinde ortaya çıkan deformasyon verileri gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. Polikristalin silikon malzemesi düşük genleşme katsayısı değeri nedeniyle diğer malzemelere kıyasla düşük deformasyon göstermiştir. Alüminyum malzemesi ise yüksek genleşme katsayısı nedeniyle önerilen geometri için önemli miktarda deformasyon verdiği tespit edilmiştir. Önerilen geometri, kırıktan geçen akımla ilişkili basit termal genleşme olgusu vasıtasıyla tüm mikro ölçekli kiriş yapılarının istenen yer değiştirmelerini üretmek için MEMS cihazlarının üretiminde faydalı olacaktır.

Tablo 2. Kullanılan Malzemelere Göre Elde Edilen Veriler

Malzeme	Deformasyon [μm]
Polikristalin Silikon	0.029
Demir	0.030
Gümüş	0.052
Altın	0.059
Alüminyum	0.062

4. Sonuç

MEMS tabanlı mikro rezonatör, COMSOL MultiFizik yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Kiriş içerisinde geçen akım termal genleşme yoluyla deformasyona neden olmuştur. Termal, elektriksel ve yapısal analizlerin birleştirilmesi, mikro rezonatörün deformasyona uğraması için gereken akım ve sıcaklık artışını tahmin etmeyi mümkün kılmaktadır. Tasarlanan model için polikristalin silikon, demir, gümüş, altın ve alüminyum malzeme ataması gerçekleştirilerek gerekli analizler yapılmıştır. Bu malzemeler, önemli fiziksel ve elektriksel özellikleri nedeniyle MEMS alanında çok sık kullanılan malzeme türleridir.

Bu çalışmada farklı malzemeler kullanılarak COMSOL programı ile deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı malzemeler kullanılarak bu malzemelerin kiriş üzerindeki etkisinin incelenmesi ve analizlerinin yapılması bu çalışmanın yeniliklerindedir.

Farklı malzemeler için mikro rezonatör için üretilen deformasyon değerleri, 100V gerilimde gerçekleştirilmiştir. En yüksek deformasyon 0.062 μm ile alüminyum malzemede ortaya çıkarken; en düşük deformasyon 0.029 μm ile polikristalin silikon malzemede ölçülmüştür. Demir, gümüş ve altın malzemelerinde ise sırasıyla 0.030 μm , 0.052 μm ve 0.059 μm deformasyon verileri ölçülmüştür. Sonuç olarak, mikro rezonatör tasarımında kullanılan alüminyumun diğer metalik rezonatörler ile kıyaslandığı zaman önerilen geometri için önemli miktarda deformasyon verdiği gözlemlenmiştir.

Kaynakça

- Ashraf, M. W., Tayyaba, S., & Afzulpurkar, N. (2011). Micro electromechanical systems (MEMS) based microfluidic devices for biomedical applications. *International journal of molecular sciences*, 12(6), 3648-3704.
- Ertugrul I., Akkus N. ve Yüce H., Fabrication of MEMS based electrothermal microactuators with additive manufacturing Technologies, *Materiali in tehnologije*, 53 (5), 665-670, 2019.
- Hajjaj, A. Z., Hafiz, M. A., & Younis, M. I. (2017). Mode coupling and nonlinear resonances of MEMS arch resonators for bandpass filters. *Scientific reports*, 7, 41820.
- Kourani, A., Song, Y. H., Arakawa, B., Lu, R., Guan, J., Gao, A., & Gong, S. (2017, June). A 150 MHz voltage controlled oscillator using lithium niobate RF-MEMS resonator. In 2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS) (pp. 1307-1310).
- Lee, K. W., Kanno, S., Kiyoyama, K., Fukushima, T., Tanaka, T., & Koyanagi, M. (2010). A cavity chip interconnection technology for thick MEMS chip integration in MEMS-LSI multichip module. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 19(6), 1284-1291.
- Nisar, A., Afzulpurkar, N., Mahaisavariya, B., & Tuantranont, A. (2008). MEMS-based micropumps in drug delivery and biomedical applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 130(2), 917-942.
- Yang, Y., Gao, A., Lu, R., & Gong, S. (2017, January). 5 GHz lithium niobate MEMS resonators with high FoM of 153. In 2017 IEEE 30th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) (pp. 942-945).
- Younis, M. I., Abdel-Rahman, E. M., & Nayfeh, A. (2003). A reduced-order model for electrically actuated microbeam-based MEMS. *Journal of Microelectromechanical systems*, 12(5), 672-680.
- Zhao, C., Montaseri, M. H., Wood, G. S., Pu, S. H., Seshia, A. A., & Kraft, M. (2016). A review on coupled MEMS resonators for sensing applications utilizing mode localization. *Sensors and Actuators A: Physical*, 249, 93-111.
- Zhao, C., Pandit, M., Sun, B., Sobreviela, G., Zou, X., & Seshia, A. (2017). A closed-loop readout configuration for mode-localized resonant MEMS sensors. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 26(3), 501-503.



Membran Biyoreaktör ve Dinamik Membran Biyoreaktör Performansının Aynı Koşullarda Kıyaslanması

Mehmet Akif Veral^{1,2}, Abdullah Kızılet³, Özer Çınar^{4,*}

¹ Istanbul Sabahattin Zaim University, Halal Food and R&D Center, Halkalı Campus, 34303, Küçükçekmece/ Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-5933-1598)

² Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Bioengineering, 34210, Esenler/ Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-5933-1598)

³ Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Institute of Science and Technology, Department of Bioengineering and Sciences, 46100, Kahramanmaraş, Turkey (ORCID: 0000-0002-5933-1598)

⁴ Yıldız Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, 34210, Esenler/ Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-3023-0734)

(İlk Geliş Tarihi 12 Eylül 2019 ve Kabul Tarihi 7 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.619539)

ATIF/REFERENCE: Veral, M. A., Kızılet, A. & Çınar, Ö. (2020). Membran Biyoreaktör ve Dinamik Membran Biyoreaktör Performansının Aynı Koşullarda Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 30-41.

Öz

Bu çalışma, sentetik atık su arıtımı için aerobik membran biyoreaktörde (AeMBR), 0,45 µm ve dokuma olmayan membran olmak üzere iki farklı membran modülünün karşılaştırmalı değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Her iki membran malzemesinin filtrasyon performansları aynı operasyonel şartlar altında karşılaştırılmıştır. Filtreleme işlemi boyunca, 0,45 µm ve dokuma olmayan membran olmak üzere sırasıyla %99 ve % 95 kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderim verimleri elde edilmiştir. AeMBR, 10 LMH'de başarıyla işletilmiş ve 30 gün boyunca hiçbir şekilde kimyasal yıkama uygulanmamıştır. Reaktör, 15 LMH akıya kadar mükemmel bir şekilde işletilmiş ve sonra 20 LMH'de işleme devam edilmiştir. 0.45 µm membranın bulanıklık ve trans-membran basıncı değerleri, dokuma olmayan membrana nispeten başlarda genellikle yüksek sonuçlar vermiştir. Membranlar üzerinde oluşan kek tabakasının karakteristik özelliklerini belirlemek üzere kapiler emme süresi (CST), çözünür mikrobiyal ürün (SMP), hücre dışı polimerik bileşenler (EPS), süzölmeye karşı spesifik direnç (SRF), fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ve denatüre gradyan jel elektroforezi (DGGE) analizleri yapılmıştır. 16S rDNA bölgesi, hava/ortam sıcaklığı değişikliği açısından önemli sonuç göstermiştir. Her iki membran modülü için, sırasıyla NaOCl ve sülfürik asit ile yapılan kimyasal temizleme istihdamı, neredeyse tamamen tıkanmaları ortadan kaldırmış ve kimyasal olarak yıkanmış membranların, yeni membranlarınkine yakın basınç gösterdiği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dinamik membran biyoreaktör, dokuma olmayan, 0.45 µm membrane, biyolojik arıtım, KOİ giderimi, PES

Membrane Bioreactor and Dynamic Membrane Bioreactor Performance Comparison under the Same Conditions

Abstract

This study aims comparative evaluation of two different membrane modules, 0.45 µm and non-woven dynamic membrane, in AeMBR for synthetic wastewater treatment. Filtration performances of both membrane materials were compared under same operational conditions. Throughout the filtration process, 99% and 95% chemical oxygen demand (COD) removal efficiencies were achieved relying upon 0.45 µm and non-woven dynamic membrane, respectively. AeMBR was successfully operated at 10 LMH and no chemical cleaning was employed for 30 days. It was perfectly operated up to 15 LMH and then 20 LMH. The turbidity and trans-membrane pressure (TMP) of 0.45 µm was usually higher at the begging compared with the dynamic membrane despite membrane clogging rates were comparable. Capillary suction time (CST), soluble microbial product (SMP), extracellular polymeric substances (EPS), specific resistance to filterability (SRF), attenuated total reflectance fourier transformed-infrared spectroscopy (ATR FT-IR) and denaturing

* Sorumlu Yazar: Yıldız Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, 34210, Esenler/ Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0002-3023-0734, ocinar@yildiz.edu.tr

gradient gel electrophoresis (DGGE) analyzes were performed to understand the characterization of the cake deposited on membranes. 16S rDNA region shown significant result in terms of air/ambient temperature change. For both membrane modules, offline chemical cleaning employment with NaOCl and sulfuric acid, respectively, almost completely eliminated foulants and it was found that chemically washed membranes showed pressure close to that of the new membrane.

Keywords: Dynamic membrane bioreactor, non-woven, 0.45 μm membrane, biological treatment, COD removal, PES

1. Introduction

Membrane bioreactor (MBR) systems are accepted as one of the most critical industries in terms of wastewater treatment operations and environmental health issues. The amount of wastewater utilized for treatment operation is increasing parallel to the world population. In this context, there has been growing rate of interest to the MBR systems to reduce the water pollution caused by not only mankind but also the industries. In the field of MBR technology, different types of membranes and support materials are employed for treatment processes for reuse of wastewater and resource convalesce. It is known that if the wastewater is discharged as a result of inadequate treatment, there are various problems show up in water resources.

Besides, being an excellent member in solid/liquid separation processes, it has also significant advantages such as small footprint and good permeate quality (Reid et al. 2006). In spite of its supremacy, there are some primary deficiencies like high operational cost, high membrane cost, low flux and getting membrane fouling under control. Thereby, dynamic membrane formation on the surface of the membrane is an encouraging approach in terms of generating appropriate solution for wastewater treatment operations. (Kiso et al. 2010; Ma et al. 2013). Dynamic membrane (DM), also called as secondary membrane, is generated on the surface of the support material which may be sometimes membrane or different types of textile materials such as mesh, non-woven fabric or filter cloth alternatively to the microfiltration (MF) or ultrafiltration (UF) membranes. When the wastewater is filtered, non-filterable colloidal constituents are confined over cake layer that hinders the fouling problem of membrane material; (Jeison and van Lier 2006; Sun et al. 2016). DM technology, as well as being easy and wide spread, is open for different types of operational modifications.

It is critical to indicate that, membrane itself cannot be necessarily required for the filtration processes, when the dynamic membrane formed over the surface of the support layer and act as a barrier to procure colloidal particle rejection. When the cake layer loses its permeability due to bacterial or colloidal intensity, membrane is exposed to the cleaning process that shouldn't be continuously implemented (S. Lee et al. 2011).

In several experiments, DM technology has been employed for treatment of municipal wastewater in anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) (H. Chu et al. 2014; Ersahin et al. 2014; Y. Chen and Ho 2016) and operational outcomes from the experiments represented that 98% permeate quality has been achieved in the process. After continuous treatment throughout the operation, membrane can come across intensive fouling problem and so that the DM tier can be supplied by different layer of residue.

In this article, two different membrane types, 0.45 μm and non-woven, have been employed for the treatment process. Membrane performances cake characteristics were compared in each other in terms of turbidity, ATR FT-IR, SMP/EPS, SRF, SF, DGGE, CST and TMP.

2. Material and Method

2.1. Membrane bioreactor and experimental setup

Two different membrane modules were developed and one lab scale AeMBR tank was designed. It was made of plexiglass at dimensions of 8x14x38 cm operated in total volume of 3L and active volume of 2.5L. Reactor was equipped with a water level sensor and an aeration device at the bottom. Inside of the tank, two different membrane types, non-woven flat-sheet polyethersulfone (PES) and 0.45 μm membranes were used for the operation and double-sided support layer was used for the membrane stablyness. Each membrane module, made of 12x12 cm plexiglass, had volume of 217 ml and the active surface area was adjusted to 7.5x7.5 cm² (Fig. 1).

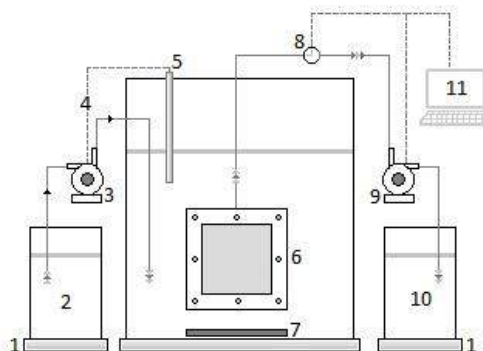


Fig. 1. Schematic of MBR system: 1. Balance, 2. Fee tank, 3. Feed pump, 4. Feed controller, 5. Level sensor, 6. Membrane module, 7. Air blower, 8. Digital manometer, 9. Suction Pump, 10. Permeate tank, 11. Data recording/reading.

2.2. Membrane bioreactor and experimental setup Membrane cleaning and fouling control

AeMBR system was fed with synthetic wastewater (Cinar et al. 2008) including 500 mg/L COD glucose and essential inorganic nutrients which are critical for microbial growth. At the outset of the operation, suspended solid (SS) concentration was stabilized at 4 g/L. Inoculated sludge was adopted from the last sedimentation tank of a full-scale wastewater treatment plant. MBR system was operated at room temperature with a level sensor and amount of the feed provided from tank.

Performance measurements of AeMBR system were considered with different flux parameters. The reactor was operated with infinite SRT for 137 days and therefore no sludge withdrawal was performed. System was initially operated at 11.11 LMH flux (10 LMH net flux). SADm value and flow rate was 1 nm³(air)/m².hr and 2.08 ml/min, respectively. Due to membrane fouling which is one of the most critical problem encountered throughout the filtration, the process was maintained discontinuously (4.5 min suction and 0.5 min relaxation) to manage reversible fouling could be reduced by physically washing the membrane (Arhin et al. 2016) or relaxation (J. Wu et al. 2008).

Operational performance of the MBR system was examined with different flux values during 30 days of stable working and additional 15 days of analysis for each individual periods. In the first period of the operation net flux maintained at 10 LMH and membrane and sludge-related data were recorded. In the second and third period of the operation, net flux increased to 15 and 20 LMH, respectively. Each individual period allowed comparison of collected data depending on the flux change.

2.3. Membrane cleaning and fouling control

Both membrane modules were operated at a constant flow and periodically these flow values were modified to examine membrane performance. The TMP values were recorded online for a certain period during the examination. Within the first 45 days of the study, the membranes surface was peeled off by applying physical cleaning with a pressure of 0.30-0.35 bars, at 10 LMH flux, followed by chemical cleaning. After day 45, membrane blockage began to occur more frequently with increased flux and with the pressure reaching 0.35 bars, first physical cleaning employed with a soft scouring pad under tap water then chemical cleaning employed. Within the first 45 days, chemical cleaning was applied only once, except for physical washing only. Physical cleaning ensures that the permeability of the membrane surface was maintained for a while. In this and following sections of the work, chemical cleaning was employed as physical cleaning (peeling off the cake layer on the surface of the membrane) and entreating the membrane to NaOCl (300 mg/L). Then membrane was gently washed with tap water and soaked into the sulfuric acid solution (pH=2) for an hour.

2.4. Membrane fouling characterization

Flux is the amount of water passing along the unit surface area of membrane per unit of time (J) (Judd 2010). It is known that the membranes are frequently blocked with increasing flux, which in turn leads to an increase in TMP values (Mohammadi et al. 2003; Hernandez Rojas et al. 2005). At the beginning of the operation, the flux was set to 10 LMH then performance of the operation was tested with 15 LMH and 20 LMH respectively.

TMP data, recorded with digital manometer, were used for characterization of the membrane fouling. Membrane filtration resistance was calculated with Darcy Equation to evaluate the degree of membrane fouling in AeMBR (Z. Wu et al. 2007).

$$R = \text{TMP} / (\mu J) \quad (1)$$

where J is the flux as m³/(m².s), TMP is the trans membrane pressure as Pa, μ is the permeate viscosity as Pa.s, and R is the membrane filtration resistance as 1/m. Throughout the intermittent operation of MBR system, 5 min. of filtration and 0.5 min. of relaxation employed. With the stop of the filtration process, aeration created an effective shear force over the membrane surface. Thus, it was assumed that there was no reversible fouling during its relaxation period.

During the MBR operation, the membrane was physically and chemically washed many times and it was found that after the washing process the pressure gradually starts from a certain level (irreversible fouling). R_f was called irreversible fouling (unrecoverable by physical interference). Even though chemical cleaning compensated a large part of the fouling, some of the foulants might not be eliminated (cannot be recovered) (Wang et al. 2014) which critically effects the performance of the membrane over the long run.

2.5. Microbiological analysis

Samples that were taken from first and last operational period as a mixed liquor were used for DNA extraction by using PowerSoil DNA isolation kit (MO BIO Laboratories Inc.) according to the extraction manual and stored at -20°C. PCR operations were performed with the universal 16S primers 27F, Bact-1492R, 357F-GC, R518 and PRB-357F. Primers and PCR amplification procedures of the microbial community were previously described (S.-Y. Lee et al. 2004; Liu et al. 2010). DGGE operation was performed with D-Code Universal Mutation Detection System (Bio-Rad, Netherlands).

Thermal Cycler using the PCR method amplified the 16S rDNA genes of the extracted DNA mixtures. Microbial species diversity was detected by DGGE and DNA sequence analysis (Özkaya and Demir 2011). Therefore, PCR1 and PCR2 procedures were edit according to the procedure made my Lee et al. (S.-Y. Lee et al. 2004).

2.5. Analytical Methods

Samples were picked up from influent, mixed liquor and permeate of the MBR system. Analyzes of COD (from permeate), CST, SRF/SF, SEM, FT-IR and DGGE samples were directly carried out without filtration. TMP, pH and ORP values were daily measured. COD was measured according to the Standard Methods [21]. Mixed liquor suspended solid concentration in the bioreactor was measured according to Standard Methods 2540 D/E [22]. For SMP/EPS analysis, mixed liquor was centrifuged at 4000 rpm for 10 min and supernatant was subjected to filtration with membrane pore size of 0.45 μm . SMP measurements were carried out from the supernatant in terms of protein and carbohydrates concentrations (Bradford and Dubois Methods). The remaining pellet portion from the centrifuge was washed twice and incubated in salty water (0.5% NaCl) for EPS analysis. The mixed liquor was incubated with heat (80 $^{\circ}\text{C}$, 1h) and then centrifuged once again. The supernatant was subjected to filtration by 0.45 μm pore sized filter paper and permeate EPS concentration was revised from previous researches [23]. For CST analysis, 2 ml of mixed liquor placed on a Whatman #17 filter paper to measure viscosity for each experimental phase. ATR-FTIR device (Thermo iS10) was used to characterize the sludge and to understand its chemical bond structure. Pellet of 2 ml centrifuged mixed liquor and membrane cake layers were subjected to exsiccation (60 $^{\circ}\text{C}$, 24 h). Dried samples were grinded fairly in mortar and placed to the device. SF and SRF work was done to measure 100 ml mixed liquor MBR sludge filterability and filtration resistance. Depending on the dead-end device (Sterlitech, P/N HP4750), the centrifuged (SF) and non-centrifuged samples (SRF) were filtered with pure nitrogen gas pressure with a stirrer and 0.45 μm membrane (Whatman, WHA7404004). SRF measurements were performed every 1 min on 1 hour measurement and SF measurements on every 1 sec on a minute. Filtered liquid was weighed online and the results were recorded. For SEM analysis (Zeiss EVO[®] LS 10), small dried (60 $^{\circ}\text{C}$, 24 h) sections of the membranes were performed in Gaziantep University-SEM Laboratory.

3. Results and Discussion

3.1. Membrane bioreactor performance

MBR system was operated through 137 days. Each period lasted for 45 days and the reactor was operated at steady state for 30 days. Nearly in a week, COD concentration in the permeate reached steady values. After 30 days of steady state operation, 15 days of data collection was carried out. Figures were presented with 15-day periods. In the first period (10 LMH), 0.45 μm and non-woven dynamic membrane average permeate COD concentrations were found 3.8 mg/L and 25 mg/L, respectively, likewise, 0.45 μm and non-woven dynamic membrane average COD removal efficiencies were 99.47% and 97.02%, respectively (Fig. 2).

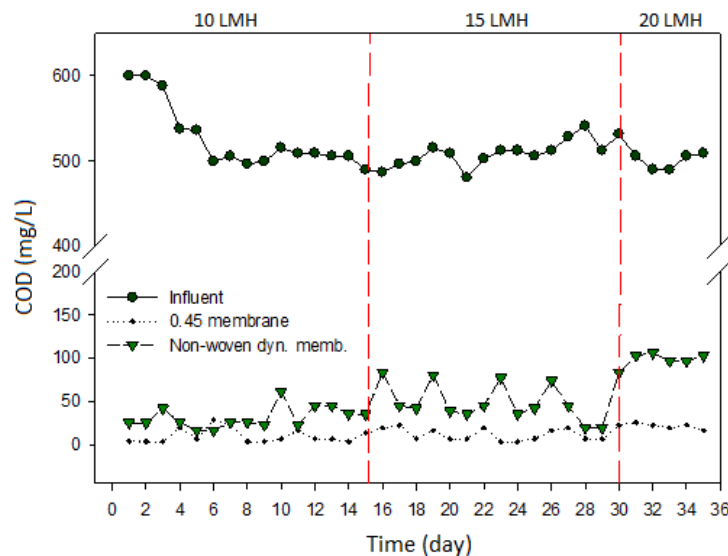


Fig. 2. COD removal performance of MBR.

In the second period (15 LMH), Average COD concentrations of the 0.45 μm and non-woven dynamic membrane permeates were 11.9 (96.05% efficiency) and 50.87 mg/L (82.89% efficiency), respectively. In addition, 0.45 μm and non-woven dynamic membrane performances also showed efficient treatment in terms of COD removal for the second period of the experiment. During the first phases of 30 days of steady state operation, low yield was obtained because no cake/gel layer was formed on the dynamic membrane. It was seen that a dense portion of synthetically supplied COD was removed in the proceeding phase and it exhibited effective filtration to reject particulate matter. Similar investigations were made in other operations (Fan and Huang 2002; L. Chu and Li 2006).

In the third period (20 LMH), with increasing flux, COD filtration quality of the dynamic membrane permeate decreased, while the permeate parameters of the 0.45 μm membrane was not changed much. This is due to the fact that there was no active cake layer on the membrane surface and immature cake layer cannot perform effective filtration. 0.45 μm and non-woven dynamic membrane average permeate COD concentrations were found to be 21.12 (95% yield) and 100.87 mg/L (79% yield), respectively.

However, permeate COD concentrations were lower than the COD concentration of filtered reactor mixed liquor. The reason is that both the SMPs of the cake and gel layer on the membrane are biodegraded and the effective pore diameter on the membrane decreases as the cake layer develops. Similar finding was also reported in the literature (Jiang et al. 2008).

3.2. SMP and EPS concentrations in MBR Flux, TMP and Turbidity changes

MLSS measurements were performed once a week for each period. The initial MLSS concentration was set at approximately 4000 mg/L. Throughout the 135-day operational period, MLSS concentration increased in very small quantities and the final concentration was measured as 4177 mg/L. Theoretically, no sludge was discharged from the reactor, meaning the reactor was operated at infinite SRT. Daily and weekly experimental work and the amount of sludge taken from the reactor as a result of the repetition of these studies compensated the SRT period of this study. It was reported in the literature that high-order biomass and high COD removal efficiency were obtained from MBR systems (Fu et al. 2009; Yurtsever et al. 2017) operated with infinite SRT and during this time, the effect of membrane fouling was evaluated.

In the literature, there are many studies on membrane fouling originating from SMP and EPS (Drews et al. 2006; Trussell et al. 2006; Jeong et al. 2007; Jiang et al. 2008; Meng et al. 2009). These parameters were analyzed according to periods were given in Table 1 and total SMP and EPS concentrations were represented in Fig. 3. In SMPs, there are many micro molecules such as humic acid, polysaccharides, protein complexes, and amino acids. It is mentioned in the literature that these molecules seriously affect the sludge kinetic activity (Azami et al. 2012). Three different SMP and EPS samples have been studied in our work. The average SMP concentrations of 0.45 µm and non-woven dynamic membrane permeates were found as 21.9626 mg/L and 31.5488 mg/L, respectively. However, average SMP concentration of centrifuged MBR sludge supernatant was found as 39.348 mg/L.

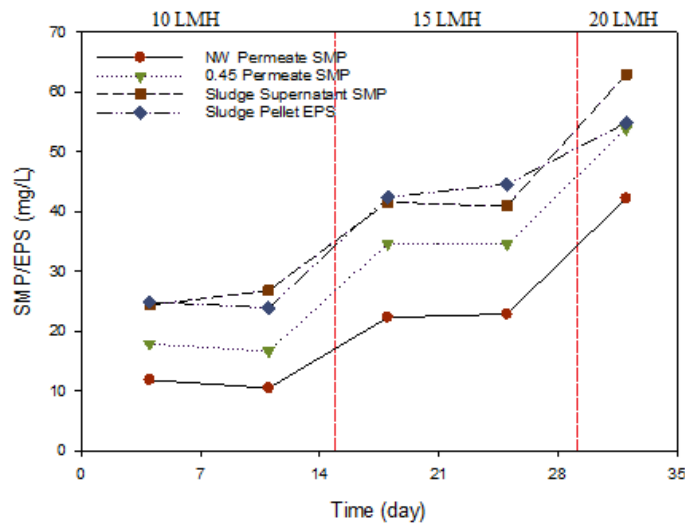


Fig. 3. SMP and EPS concentrations of the MBR operation.

It is important to indicate that SMP production in the reactor was found almost 3% and 4% of the biodegraded COD was converted into the SMP. Normalized SMP production in AeMBR systems (fed with glucose) was found as 3.1% ±0.4% in the literature (Barker and Stuckey 1999) and it was found in previous studies that the SMP value decreases with increasing SRT value (Katsuki et al. 2009). Permeate SMP value were found in the range of 4-5% (Kiser et al. 2010), which was a good agreement with our experimental findings, with high SRT.

The data obtained from the EPS analyzes are represented in Fig. 3. Throughout the reactor operation, it was seen that there are regular but small increases in EPS values, similar to the gradually increasing MLSS concentrations. Average centrifuged MBR sludge pellet EPS concentration was found as 38,1654 mg/L. One of the important inference might be the thickness of the cake/gel layer formed on the membrane surface and an effective filtration due to this thickening.

In bioreactor, EPS concentration increased consistently. This increase will cause the membrane clogged and the membrane resistance to increase rapidly in the progressive stages. It was reported in the literature that increased membrane pressure was observed due to wastewater characterization (Chae et al. 2006).

3.3. Flux, TMP and Turbidity changes

AeMBR system was operated throughout 135 days. During the operation, TMP values were recorded intermittently with a daily period. Flux and corresponding changes in TMP were shown in Fig. 4. In the system, the TMP reached a high value (0.3 bars) shortly after the start of the operation. The consequence for the TMP value being so unstable might be related with two possible reasons. First one is the acclimation of the sludge which changes the microbial community. Second one is the only offline physical cleaning application. Even though the TMP was fell down, the foulants were not efficiently removed. When the TPM reached high values membranes were subjected to chemical cleaning right after the cake/gel layer peeled off. With a steady increase in TMP value (0-0.3 bars) non-woven

and 0.45 μm membranes were subjected to chemical cleaning at day-10 and day-12 respectively. It was even efficient to clean the membrane with low concentration of NaOCl (300 mg/L) to remove fouling layer (Wang et al. 2014).

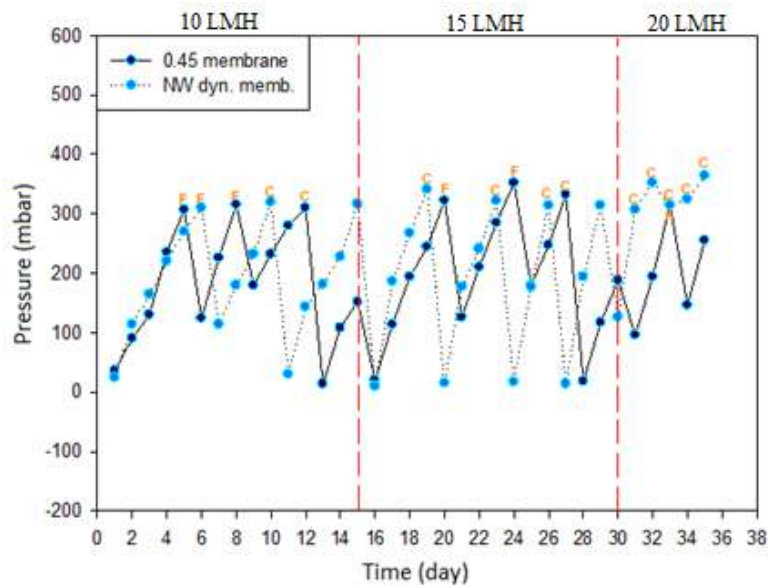


Fig. 4. TMP changes throughout the operational periods.

It should be deduced that the cause of the cleaning process was caused by the acclimation of the sludge. After cleaning, the pressure was close to zero for the dynamic membrane and 14 mbar for the 0.45 μm membrane. It was estimated that the sludge from the final settling tank was likely to contain biodegradable organic colloidal particles (increasing the pressure). The biodegradation of these particles may fall the pressure. During this time period, the average pressures were 124 and 194 mbars for 0.45 μm and non-woven dynamic membrane, respectively.

After Day-15 the flux was increased to 15 LMH. At this stage, the TMP value was above 0.3 bar for a very short time for both membranes (Fig. 4). The dynamic membrane was subjected to chemical cleaning (day 19, 23 and 26) while physical cleaning was sufficient for 0.45 μm membrane for a while, and was subjected to chemical washing at day 27. While physical washing was sufficient for 0.45 μm membrane for some time, it was exposed to chemical cleaning on day-27. In the last period of the operation the flux was increased to 20 LMH. At this stage, the dynamic membrane was seriously clogged and subject to daily chemical washing.

On the other hand, the pressure of 0.45 μm membrane increased over 0.3 bar within 3 days and exposed to physical cleaning with a sponge under tap water that was not influential for the fouling control (Fig. 4).

Daily turbidity values measured from the permeates were shown in Fig. 5. Turbidity is the loss of transparency of water and the presence of invisible solid matter in the particulate level (Judd 2010). The increase/decrease in turbidity was directly related to the filtration performances and the physical/chemical cleaning operations with increased pressure. In the first period of the MBR operation, average turbidity values of 0.45 μm and non-woven dynamic membranes were 0.2 and 3.3 NTU, respectively. Although, at the beginning of the first period, the dynamic membrane permeate turbidity values showed partial stability, these values rapidly fluctuated in the following periods. On the 10th (non-woven membrane) and 12th (0.45 μm) days, membranes were exposed to chemical cleaning due to high TMP variations and turbidity values were found to be 7.2 NTU and 0.2 NTU, respectively. In the second period (10 to 15 LMH), while the 0.45 μm membrane turbidity values were steady, dynamic membrane turbidity values frequently changed between 2-5 NTU. In the last period, with increasing flux, TMP reached around 0.4 bars and it almost stopped the filtration for dynamic membrane.

The daily increase in TMP, physical and chemical cleaning of the membrane, and increased turbidity values resulted in reduced efficiency. Although the membrane surface was quickly coated with bacteria, this was not a very healthy operation for MBR operation. It was reported that the microbial community in the reactor flocked on the membrane in very short time and the resulting turbidity values decreased (Ren et al. 2010) and with the formation of dynamic membranes, the turbidity values decreased by 99% (Ersahin et al. 2014). The low turbidity values of the 0.45 μm membrane and long-term high-flux operation might be a problem for average life-span of the membrane.

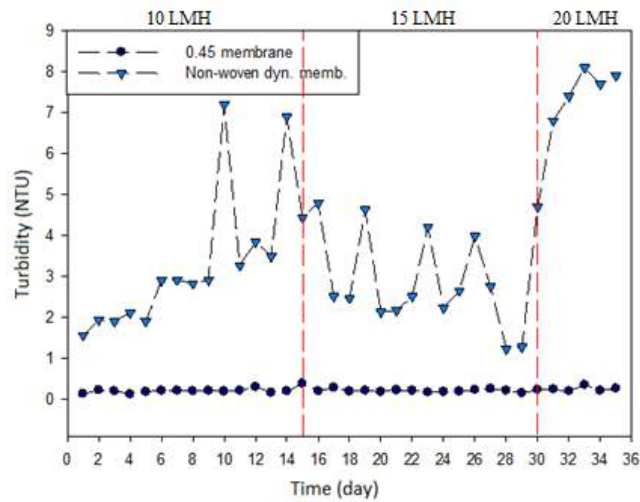


Fig. 5. Turbidity variations throughout the MBR operation.

3.4. Sludge fluidity, filterability and specific resistance to filtration results

CST was used to identify the sludge filterability characteristics and it measures the time of water drop from the sludge moved 1 cm path in a porous membrane (Judd 2010). For the analysis performed for each operational period, the initial CST value was measured as 54.9 sec. During the time period between period I and period II, the concentration of SMP, EPS and MLSS in the reactor increased. After the flux raised to 15 LMH, CST result of 57.2 sec. was obtained. Viscosity of the sludge directly affected by the increase in sludge concentration (Germain et al. 2005). In the final period of the experiment, CST value was found as 64.4 sec. After each study, it was determined that CST value increased in parallel with MLSS, SMP and EPS values. Wang et al. reported that CST, EPS, MLSS, carbohydrates and proteins had serious effects on membrane fouling which effects the filtration performance considerably (Wang et al. 2006). In another study, it was reported that high CST values would result in low filtration (G. W. Chen et al. 1996) which was a good agreement with our findings.

One of the most important factors illuminating the membrane fouling is SF and SRF values. The increase and decrease of these values also represent in Fig. 6. While SF samples were prepared with 10 min. centrifugation at 4000 rpm and poured into the dead-end chamber with a magnetic stirrer, SRF samples were prepared without centrifugation and magnetic stirrer. The sample in the dead-end device was weighed by the pressure (0.5 bars) created by the N₂ gas, filtered through the filter at the bottom of the device, and the results were recorded simultaneously. The initial SF and SRF results were found as 100 gr and 57 gr of permeate, respectively. As a result of the SF and SRF analyzes carried out in the second period of the study, the time elapsed during the filtration increased relatively to the previous work and the results in the second period were found as 96.6 gr and 48 gr, respectively. In the last phase of the experiment, SF and SRF results were recorded as 91.2 gr and 37.3 gr, respectively. As a result of periodic studies, SF and SRF values were found to be relatively lower than the previous study. This reduction was associated with an increase in the SMP, EPS (Fig. 3) and MLSS concentration of the reactor sludge which were parallel in accordance with the earlier studies (Rosenberger and Kraume 2003; Galil and Jacob 2009; Yu et al. 2009). The reduction in the amount of filtered sample was also indicative of changes in the sludge matrix with the change of the sludge characteristics.

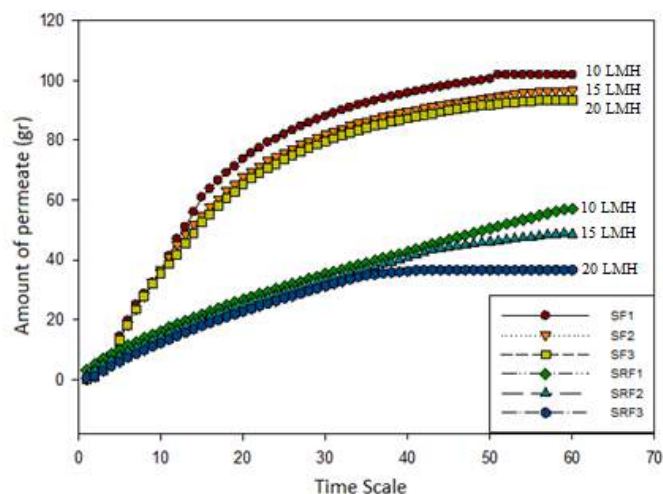


Fig. 6. SF and SRF Filtration results of the MBR mixed liquor.

3.5. Membrane Analysis

3.5.1. ATR FT-IR results of the virgin and used membrane

ATR FT-IR analysis was performed not only to analyze the fouling of membranes due to SMP, EPS and MLSS concentrations but also to clarify which chemical bonds are formed with the adherence of the components causing the clogging to the membrane surface. At the end of last periods, small cross-sections of 0.45 μm and non-woven dynamic membranes were stored (60 C, 24 hr.) and cake layer was used to measure the thickness of the gel. Comparison of the cake layer formed over 0.45 μm and non-woven dynamic membrane surface were examined. The peaks obtained in the FTIR analysis were shown in Fig. 7 for 0.45 μm and non-woven dynamic membrane, respectively.

It was found that the peak at 1027 and 1042 cm^{-1} (C–O) represented polysaccharide property (K. Kimura et al. 2005) and peak at 1634 cm^{-1} was represented as CO stretched proteins (amid I groups) (Croue et al. 2003). Similar results were also found by Kim et al. regarding upon 1634 cm^{-1} (Kim and Jang 2006). The peak 1722 cm^{-1} for non-woven dynamic membrane associated with carboxylic acids humic substances (Jarusutthirak 2003).

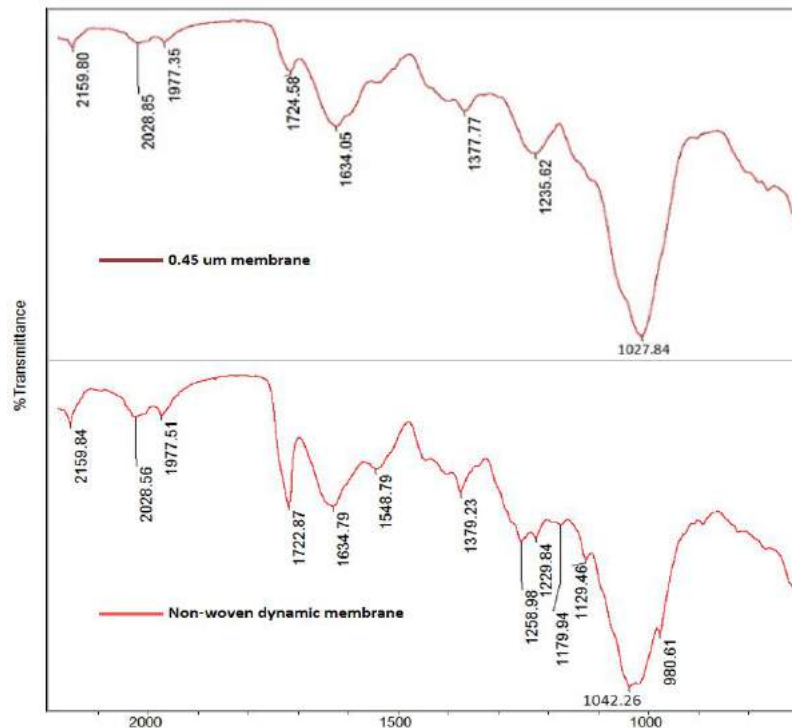


Fig. 7. 0.45 μm and non-woven dynamic membrane ATR-FTIR results.

3.5.2. Inorganic cake constituents and optical scanning

Scanned cross-section of fouled 0.45 μm and non-woven dynamic membranes SEM images were represented at Fig. 8. Thickness of the cake layers in the cross-sectional surface of the 0.45 μm and non-woven dynamic membranes were found around 121 μm and 317 μm , respectively. The cake layer over the surface of non-woven dynamic membrane was found thicker, less porous and rigid than 0.45 μm membrane. Due to large pore size of the non-woven dynamic membrane, it appeared coarse due to intensive organic foulants accumulation (An et al. 2009).

Fouling compositions of the foulants and concentrations, such as Na, Mg, Al, Si, S, Cl, Ca, Ni, Cr and Zn in the cake layer, were measured with SEM-EDS analysis (Fig. 9). The SEM-EDS analysis was performed for both membrane types and the ratios of organic and inorganic chemicals detected on the cake were determined more intensively on the dynamic membrane. Existence of S might occurred due to formation of elemental S. Even though, high oxygen concentration may caused sulfide to sulfite as a chemical reaction, small percentage of the sulfide might be oxidized to elemental S. Therefore, the S concentration was much higher in non-woven dynamic membrane. The Al, Ca and Si concentrations in the cake layer of 0.45 μm and non-woven dynamic membrane were found around 0.2, 0.8 and 1.5 mg/m^2 and 0.3, 1.4, and 1.1 mg/m^2 , respectively. C and O observed in the cake layer developed on the membranes were thought to originate from the bacterial mass (Fig. 9).

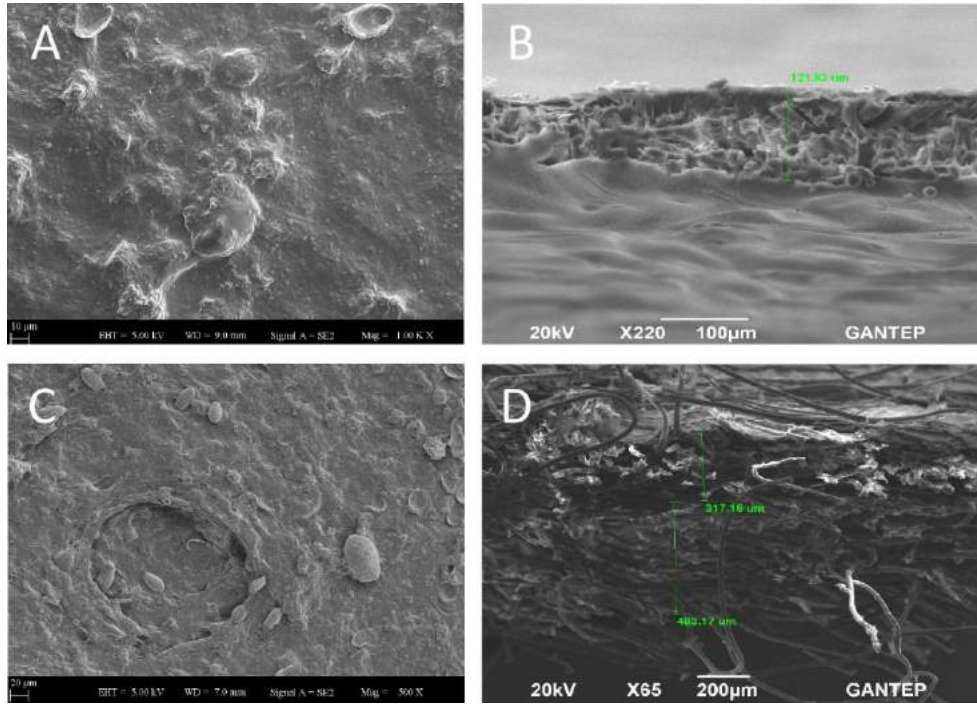


Fig. 8. Surface (A-C) and cross-sectional (B-D) SEM image of the 0.45 μm and non-woven dynamic membrane, respectively.

Experimental studies have shown that inorganic elements, such as Mg, Al, Si, Ca and Fe cause serious clogging that they can form a transition phase through contaminating layers, precipitated cells, and biopolymers. There was a possibility that these substances may cause clogging in the neglected level when passing over the membrane (Meng et al. 2007; Wang et al. 2008).

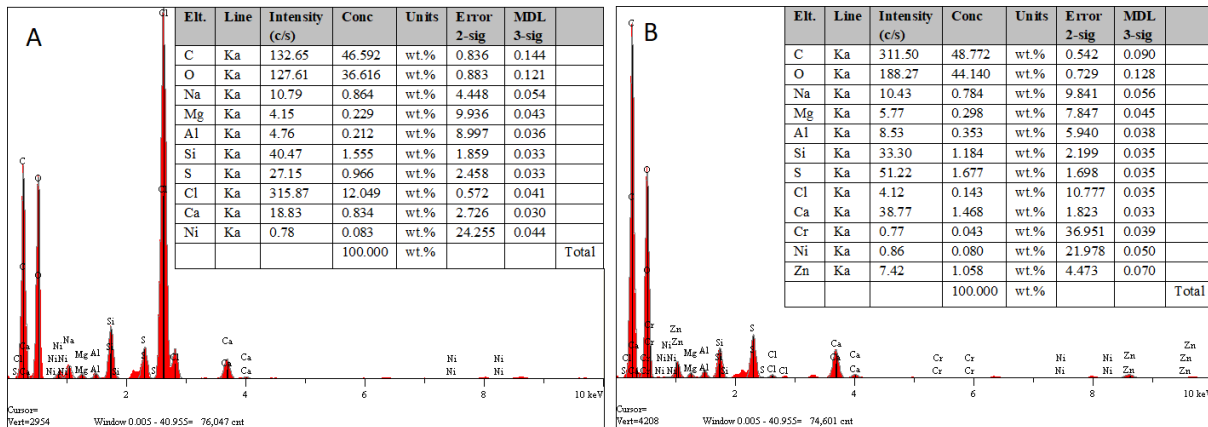


Fig. 9. Concentrations of organic and inorganic constituents on 0.45 μm (A) and non-woven (B) dynamic membranes.

3.6. Microbiological analysis of the sludge

In the first and the last period of the operation, DGGE analysis was performed to analyze the 16S rDNA fragments of bacteria and the amount of bacteria as a particular population in the reactor (Fig. 10). The microbial population in the sludge changed with the change of air temperature. In the first study, the number of microbial colonies was found as 26 and in the second study this number decreased to 24. In the literature it was reported that the bacterial flora in the reactor changes (due to non/resistance to heat) with the air temperature, room temperature and humidity change (S.-Y. Lee et al. 2004).

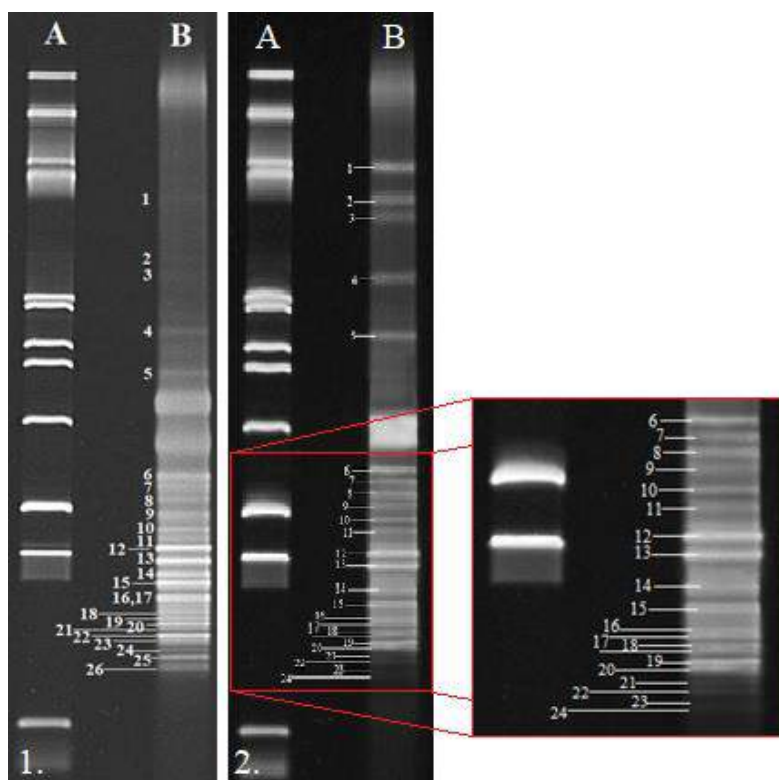


Fig. 10. DGGE results of the first period (1) and last period (2). (Sample A:1 kb marker, sample B: mixed liquor)

4. Results

Performance of 0.45 μm and non-woven dynamic membrane was investigated in terms of synthetic wastewater treatment in single MBR at room temperature, which changed relatively throughout the time. MBR was operated with infinite SRT and remarkable amount of COD was treated by 0.45 μm and non-woven dynamic membrane around 97% and 86%, respectively. Sludge concentration increased in each period, considering MLSS, SMP, EPS, SRF, SF, CST and Turbidity results. MBR was efficiently operated at 10 LMH for each membrane type and relatively sustainable at 20 LMH flux. Due to the dynamic membrane pore size ($\sim 250 \mu\text{m}$), it was accumulated more biomass than the 0.45 μm membrane. Offline chemical cleaning not only eliminated almost complete irreversible fouling but also reduced the resistance (due to pressure) that were close to those of new membranes. In fact, at modest fluxes (between 10-15 LMH), it was also possible to operate without chemical cleaning. When the price performance parity was evaluated, it was seen that dynamic membrane performance is fair enough to employ.

References

- An, Y., Wang, Z., Wu, Z., Yang, D., & Zhou, Q. 2009 Characterization of Membrane Foulants in an Anaerobic Non-Woven Fabric Membrane Bioreactor for Municipal Wastewater Treatment *Chemical Engineering Journal* **155**(3): 709–15.
- Arhin, S. G., Banadda, N., Komakech, A. J., Kabenge, I., & Wanyama, J. 2016 Membrane Fouling Control in Low Pressure Membranes: A Review on Pretreatment Techniques for Fouling Abatement. *Environmental Engineering Research* **21**(2): 109–20.
- Azami, Hamed, Mohammad Hossein Sarrafzadeh, and Mohammad Reza Mehrnia. 2012 Soluble Microbial Products (SMPs) Release in Activated Sludge Systems: A Review. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering* **9**(30).
- Barker, Duncan J., and David C. Stuckey. 1999 A Review of Soluble Microbial Products (SMP) in Wastewater Treatment Systems. *Water Research* **33**(14): 3063–82.
- Chae, So Ryong, Yong Tae Ahn, Seok Tae Kang, and Hang Sik Shin. 2006 Mitigated Membrane Fouling in a Vertical Submerged Membrane Bioreactor (VSMBR). *Journal of Membrane Science* **280**(1–2): 572–81.
- Chen, G. W., W. W. Lin, and D. J. Lee. 1996 Capillary Suction Time (CST) as a Measure of Sludge Dewaterability. *Water Science and Technology* **34**(3–4–4 pt 2): 443–48.
- Chen, Yuanxin, and W. S. Winston Ho. 2016 High-Molecular-Weight Polyvinylamine/Piperazine Glycinate Membranes for CO₂ capture from Flue Gas. *Journal of Membrane Science*.
- Chu, H., Zhang, Y., Zhou, X., Zhao, Y., Dong, B., & Zhang, H. 2014 Dynamic Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment: Operation, Critical Flux, and Dynamic Membrane Structure. *Journal of Membrane Science* **450**: 265–71.
- Chu, Libing, and Shuping Li. 2006 Filtration Capability and Operational Characteristics of Dynamic Membrane Bioreactor for Municipal Wastewater Treatment. *Separation and Purification Technology* **51**(2): 173–79.
- Çınar, Ö., Yaşar, S., Kertmen, M., Demiröz, K., Yigit, N. Ö., & Kitis, M. 2008 Effect of Cycle Time on Biodegradation of Azo Dye in Sequencing Batch Reactor. *Process Safety and Environmental Protection* **86**(6): 455–60.
- Croue, J. P., M. F. Benedetti, D. Violleau, and J. A. Leenheer. 2003 Characterization and Copper Binding of Humic and Nonhumic Organic Matter Isolated from the South Platte River: Evidence for the Presence of Nitrogenous Binding Site. *Environmental Science e-ISSN: 2148-2683*

- and Technology* **37**(2): 328–36.
- Drews, A., Vocks, M., Iversen, V., Lesjean, B., & Kraume, M. 2006 Influence of Unsteady Membrane Bioreactor Operation on EPS Formation and Filtration Resistance. *Desalination* **192**(1–3): 1–9.
- Ersahin, Mustafa Evren, Hale Ozgun, Yu Tao, and Jules B. van Lier. 2014 Applicability of Dynamic Membrane Technology in Anaerobic Membrane Bioreactors. *Water Research* **48**(1): 420–29.
- Fan, Bin, and Xia Huang. 2002 Characteristics of a Self-Forming Dynamic Membrane Coupled with a Bioreactor for Municipal Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology* **36**(23): 5245–51. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es025789n>.
- Fu, Zhimin, Fenglin Yang, Feifei Zhou, and Yuan Xue. 2009 Control of COD/N Ratio for Nutrient Removal in a Modified Membrane Bioreactor (MBR) Treating High Strength Wastewater. *Bioresource Technology* **100**(1): 136–41.
- Galil, N I, and L Jacob. 2009 Comparative Characterization of Biosolids from a Membrane Bioreactor and from a Sequencing Batch Reactor. *Environmental Engineering Science* **26**(5): 1001–8.
- Germain, Eve, Tom Stephenson, and Pete Pearce. 2005 Biomass Characteristics and Membrane Aeration: Toward a Better Understanding of Membrane Fouling in Submerged Membrane Bioreactors (MBRs). *Biotechnology and Bioengineering* **90**(3): 316–22.
- Hernandez Rojas, M. E., R. Van Kaam, S. Schetrite, and Claire Albasi. 2005 Role and Variations of Supernatant Compounds in Submerged Membrane Bioreactor Fouling. *Desalination* **179**(1–3 SPEC. ISS.): 95–107.
- Jarusutthirak, Chalor. 2003 Fouling and Flux Decline of Reverse Osmosis (RO), Nanofiltration (NF) and Ultrafiltration (UF) Membranes Associated with Effluent Organic Matter (EFOM) during Wastewater Reclamation/Reuse. PhD thesis, University of Colorado at Boulder, USA.
- Jeison, D., and J. B. van Lier. 2006 On-Line Cake-Layer Management by Trans-Membrane Pressure Steady State Assessment in Anaerobic Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. *Biochemical Engineering Journal* **29**(3): 204–9.
- Jeong, Tae Young, Gi Cheol Cha, Ik Keun Yoo, and Dong Jin Kim. 2007 Characteristics of Bio-Fouling in a Submerged MBR. *Desalination* **207**(1–3): 107–13.
- Jiang, T., Myngheer, S., De Pauw, D. J., Spanjers, H., Nopens, I., Kennedy, M. D., ... & Vanrolleghem, P. A. 2008 Modelling the Production and Degradation of Soluble Microbial Products (SMP) in Membrane Bioreactors (MBR). *Water Research* **42**(20): 4955–64.
- Judd, S. 2010. Elsevier *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. London, UK.
- Kim, In S., and Namjung Jang. 2006 The Effect of Calcium on the Membrane Biofouling in the Membrane Bioreactor (MBR). *Water Research* **40**(14): 2756–64.
- Kimura, K., Y. Hane, and Y. Watanabe. 2005 Effect of Pre-Coagulation on Mitigating Irreversible Fouling during Ultrafiltration of a Surface Water. *Water Science and Technology* **51**(6–7): 93–100.
- Kimura, Katsuki, Takuro Naruse, and Yoshimasa Watanabe. 2009 Changes in Characteristics of Soluble Microbial Products in Membrane Bioreactors Associated with Different Solid Retention Times: Relation to Membrane Fouling. *Water Research* **43**(4): 1033–39.
- Kiser, M. A., Oppenheimer, J., DeCarolis, J., Hirani, Z. M., & Rittmann, B. E. 2010 Quantitatively Understanding the Performance of Membrane Bioreactors. *Separation Science and Technology* **45**(7): 1003–13.
- Kiso, Y., Muroshige, K., Oguchi, T., Yamada, T., Hhirose, M., Ohara, T., & Shintani, T. 2010 Effect of Molecular Shape on Rejection of Uncharged Organic Compounds by Nanofiltration Membranes and on Calculated Pore Radii. *Journal of Membrane Science* **358**(1–2): 101–13.
- Lee, Sangyoun, Eunsu Lee, Menachem Elimelech, and Seungkwan Hong. 2011 Membrane Characterization by Dynamic Hysteresis: Measurements, Mechanisms, and Implications for Membrane Fouling. *Journal of Membrane Science* **366**(1–2): 17–24.
- Lee, Soo-Youn, Hyeon-Guk Kim, Jong Bok Park, and Yong Keun Park. 2004 Denaturing Gradient Gel Electrophoresis Analysis of Bacterial Populations in 5-Stage Biological Nutrient Removal Process with Step Feed System for Wastewater Treatment. *Journal of microbiology (Seoul, Korea)* **42**(1): 1–8.
- Liu, Yong Qiang, Benjamin Moy, Yun Hua Kong, and Joo Hwa Tay. 2010 Formation, Physical Characteristics and Microbial Community Structure of Aerobic Granules in a Pilot-Scale Sequencing Batch Reactor for Real Wastewater Treatment.” *Enzyme and Microbial Technology* **46**(6): 520–25.
- Ma, J., Wang, Z., Xu, Y., Wang, Q., Wu, Z., & Grasmick, A. 2013 Organic Matter Recovery from Municipal Wastewater by Using Dynamic Membrane Separation Process. *Chemical Engineering Journal* **219**: 190–99.
- Meng, F., Chae, S. R., Drews, A., Kraume, M., Shin, H. S., & Yang, F. 2009 Recent Advances in Membrane Bioreactors (MBRs): Membrane Fouling and Membrane Material. *Water Research* **43**(6): 1489–1512.
- Meng, Fangang, Hanmin Zhang, Fenglin Yang, and Lifen Liu. 2007 Characterization of Cake Layer in Submerged Membrane Bioreactor. *Environmental Science and Technology* **41**(11): 4065–70.
- Mohammadi, T., M. Kazemimoghadam, and M. Saadabadi. 2003 Modeling of Membrane Fouling and Flux Decline in Reverse Osmosis during Separation of Oil in Water Emulsions. *Desalination* **157**(1–3): 369–75.
- Özkaya, Bestami, and Ahmet Demir. 2011 Microbial Community Analysis with PCR DGGE-SEQUENCING Based Molecular Methods in Municipal Solid Waste Management. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* **3**: 219–27.
- Reid, E., Xingrong Liu, and S. J. Judd. 2006 Effect of High Salinity on Activated Sludge Characteristics and Membrane Permeability in an Immersed Membrane Bioreactor. *Journal of Membrane Science* **283**(1–2): 164–71.
- Ren, X., Shon, H. K., Jang, N., Lee, Y. G., Bae, M., Lee, J., ... & Kim, I. S. 2010 Novel Membrane Bioreactor (MBR) Coupled with a Nonwoven Fabric Filter for Household Wastewater Treatment. *Water Research* **44**(3): 751–60.
- Rosenberger, Sandra, and Matthias Kraume. 2003 Filterability of Activated Sludge in Membrane Bioreactors. *Desalination* **151**(2):

195–200.

- Sun, Yanmei, Yaoyao Fang, Peng Liang, and Xia Huang. 2016 Effects of Online Chemical Cleaning on Removing Biofouling and Resilient Microbes in a Pilot Membrane Bioreactor. *International Biodeterioration and Biodegradation* **112**: 119–27.
- Trussell, R. Shane, Rion P. Merlo, Slawomir W. Hermanowicz, and David Jenkins. 2006 The Effect of Organic Loading on Process Performance and Membrane Fouling in a Submerged Membrane Bioreactor Treating Municipal Wastewater. *Water Research* **40**(14): 2675–83.
- US APHA 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association (APHA), Washington DC, USA*.
- US APHA 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association (APHA), Washington DC, USA*.
- Wang, Z., Wu, Z., Yu, G., Liu, J., & Zhou, Z. 2006 Relationship between Sludge Characteristics and Membrane Flux Determination in Submerged Membrane Bioreactors. *Journal of Membrane Science* **284**(1–2): 87–94.
- Wang, Z., Ma, J., Tang, C. Y., Kimura, K., Wang, Q., & Han, X. 2014 Membrane Cleaning in Membrane Bioreactors: A Review. *Journal of Membrane Science* **468**: 276–307.
- Wang, Zhiwei, Zhichao Wu, Xing Yin, and Lumei Tian. 2008 Membrane Fouling in a Submerged Membrane Bioreactor (MBR) under Sub-Critical Flux Operation: Membrane Foulant and Gel Layer Characterization. *Journal of Membrane Science* **325**(1): 238–44.
- Wu, J., Le-Clech, P., Stuetz, R. M., Fane, A. G., & Chen, V. 2008 Effects of Relaxation and Backwashing Conditions on Fouling in Membrane Bioreactor. *Journal of Membrane Science* **324**(1–2): 26–32.
- Wu, Z., Wang, Z., Zhou, Z., Yu, G., & Gu, G. 2007 Sludge Rheological and Physiological Characteristics in a Pilot-Scale Submerged Membrane Bioreactor. *Desalination* **212**(1–3): 152–64.
- Yu, G. H., Juang, Y. C., Lee, D. J., He, P. J., & Shao, L. M. 2009 Filterability and Extracellular Polymeric Substances of Aerobic Granules for AGMBR Process. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* **40**(4): 479–83.
- Yurtsever, Adem, Beste Calimlioglu, and Erkan Sahinkaya. 2017 Impact of SRT on the Efficiency and Microbial Community of Sequential Anaerobic and Aerobic Membrane Bioreactors for the Treatment of Textile Industry Wastewater. *Chemical Engineering Journal* **314**: 378–87.
- Zhu, Xuefeng, Zhiwei Wang, and Zhichao Wu. 2011 Characterization of Membrane Foulants in a Full-Scale Membrane Bioreactor for Supermarket Wastewater Treatment. *Process Biochemistry* **46**(4): 1001–9.



PIDA Denetçilerin Bozucu Dışlama Performansının Teorik İncelenmesi

Necati Özbey^{1*}, Celaledin Yeroğlu², Barış Baykant Alagöz³

¹İnönü Üniversitesi, Malatya MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2205-8890)

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6106-2374)

³İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5238-6433)

(İlk Geliş Tarihi 21 Ağustos 2019 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.608644)

ATIF/REFERENCE: Özbey, N., Yeroğlu, C. & Alagöz, B. B. (2020). PIDA Denetçilerin Bozucu Dışlama Performansının Teorik İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 42-53.

Öz

Kontrol alanında ve endüstride çok yaygın kullanılan PID denetçiler yüksek dereceli sistemlerde bazen yetersiz kalmaktadırlar. Oransal Integral Türevsel İvme (Proportional Integral Derivative Acceleration/PIDA) denetçilerin, Oransal Integral Türevsel (Proportional Integral Derivative/PID) denetçiye göre yüksek dereceli sistemlerde daha etkin cevap verdiği bazı güncel çalışmalarda gösterilmiştir. Ancak PIDA denetçilerde de çevresel bozucular ve sistem tarafından oluşturulan iç gürültüler denetçi performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde referansa bozucu oranı (Reference to Disturbance Rate/RDR) ile gürültü bastırma kapasitesinin belirlenmesine, bozucu dışlama etkinliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir. RDR indeksi kapalı çevrim kontrol sistemlerinin çıkışında referans giriş sinyalinin eklemesini giriş bozucu sinyale oranını ifade eder. Bu yayında önerilen bozucu bastırma kontrolü, çevresel bozucu etmenlerin denetçi performansı üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasını sağlayan bir denetçi tasarımını hedeflenmektedir. Çalışmada kapalı çevrim birim geri beslemeli bir sistemde Rastgele Arama (Random Search/RS) algoritması ile tasarlanan PIDA denetçinin bozucu dışlama performansı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PIDA denetçi, Bozucu dışlayıcı kontrol, Rasgele arama algoritması.

Theoretical Investigation of Disturbance Rejection Performance of PIDA Controllers

Abstract

Proportional Integral Derivative (PID) controllers, which are the most widely used in the field of control and industry, sometimes become insufficient in higher order systems. Proportional Integral Derivative Acceleration (PIDA) controllers were suggested to respond more effectively than PID in high-order systems in some up-to-date references. But, environmental disturbances and internal noise generated by the system can seriously affect PIDA controller performance. In negative unity feedback closed-loop control systems, investigating the Disturbance Rejection Capacity with the Reference to Disturbance Rate (RDR) may contribute disturbance rejection performance. RDR defines the ratio of the output signal and the noise signal of the system. The control of disturbance rejection, proposed in this paper, aims to design a controller that reduces the negative effects of noise on control performance. The paper determines the disturbance rejection performance of PIDA controller designed with Random Search (RS) algorithm in a closed loop feedback system.

Keywords: PIDA Controller, Disturbance rejection control, Random search algorithm.

*Sorumlu Yazar: İnönü Üniversitesi, Malatya MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Malatya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2205-8890, necati.ozbey@inonu.edu.tr

1. Giriş

Kontrol bilimindeki gelişmeler hemen hemen her alanda hayatımızı olumlu yönde etkilemektedir [1-2]. Günümüzde oldukça yaygın kullanılan PI, PD ve PID denetçiler yüksek dereceli sistemlerde bazen yetersiz kalmaktadırlar. Son yıllarda, yüksek dereceli sistemlerin kontrolü için önerilen yöntemlerden biri de 1996'da Jung ve Dorf tarafından sunulan PIDA denetçilerdir. Bu sistemlerde PIDA denetçilerin PID'ye göre daha etkin cevap verdiği birçok çalışmada ileri sürülmektedir [3, 4]. Bu denetçilerin kolay kullanımının yanında bazı zayıf yanları da hala bulunmaktadır. Örneğin, çevresel bozucu etkiler ve sistem tarafından oluşturulan iç gürültüler denetçi performansını ciddi bir şekilde etkileyebilmektedir. Bu yayında önerilen bozucu dışlayıcı kontrol yapısı, gürültülerin denetçi performansı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltan bir denetçi tasarımı hedeflemektedir. Günümüze kadar PID denetçilerin bozucu dışlama kapasitesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılagelmiş ve birçok öneriler ileri sürülmüştür [5-15]. Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde RDR ile bozucu dışlama kapasitesinin belirlenmesi, kontrol sistemlerinin bozucu dışlama performansı açısından önemlidir [5-7]. RDR indeksi bazı çalışmalarda denetçi tasarımında [8,16] ve bozucu dışlama performansının incelenmesinde [9] uygulanmıştır.

Pratik kontrol uygulamalarında, çevresel etkiler ve sistem tarafından oluşturulan iç gürültüler denetçi performansını ciddi bir şekilde etkileyebilmektedir. Bozucu dışlayıcı kontrol yaygın olarak iki yöntemle uygulanmaktadır;

- Açık Yaklaşım Yöntemleri: Filtreler, gürültü ve durum gözleyiciler, gürültü tahmin ediciler, uyarlanabilir durum geri besleme denetçileri gibi ek ifadeler ve ek bloklar ekleyen yöntemler [17-20].
- Kapalı Yaklaşım Yöntemleri: Denetçilerin yapısal olarak RDR özelliklerini geliştirerek önceden tanımlı bir modele göre, kararlılık ve kutup yer değiştirmeye dayalı yöntemler [21, 22]. Öngörülemeyen bozucu etkilere karşı dayanıklı kontrol sistemleri için, kontrol sisteminin duyarlılık fonksiyonunun (sensitivity function) sınırlanması [10] ve RDR indeksi performansının artırılmasına dayanan tasarım yöntemleri öneren yaklaşımlar [5-7].

Bu yayında kapalı çevrim geri beslemeli bir sistemde RS algoritması ile RDR indeksini maksimize ederken yerleşme noktası kontrol (set-point kontrol) performansını iyileştiren çoklu-amaç fonksiyonlu PIDA denetçisi tasarım yöntemi sunulmuştur. Temelde, yerleşme noktası kontrol performansı ile bozucu dışlayıcı kontrol performansı arasında ters ilişki vardır [7]. Tasarım probleminin ana hedefi, hem bozucu dışlama performansı hemde yerleşme noktası kontrol performansının kabul edilebilir derecede iyi olmasını sağlayan bir PIDA denetçi katsayılarının belirlenmesidir. Bu probleme çözüm için uzaşlama eğrisi tabanlı bir pareto optimal çözüm yöntemi olan RS algoritması adapte edilmiştir. Bu amaçla, PIDA denetçi için RDR indeksi formülasyonu çıkarılmış, uzaşma eğrisi tabanlı çok amaçlı RS algoritması PIDA denetçi tasarımı için düzenlenmiştir. Önerilen bu tasarım yönteminin sonuçları ve etkinliği iki PIDA denetçi tasarım örneği ile incelenmiştir. Tasarlanan PIDA kontrol sistemlerinin bozucu dışlama kapasitesi ve giriş bozucularına karşı dayanıklılığı incelenmiştir.

Bu makalenin organizasyonu şöyledir: Gelecek bölümde tasarım yönteminde uygulanan teorik altyapı sunulmuştur. Üçüncü bölümde PIDA denetçi için RDR indeksi formülasyonu elde edilmiş ve bu formülasyonun uzaşma eğrisi tabanlı çok amaçlı RS algoritmasına uygulanması açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, düzenlenen RS algoritması ile iki PIDA denetçi tasarım örneği üzerinde sistemin bozucu dışlayıcı ve yerleşme noktası kontrol performansları incelenmiştir.

2. Teorik Altyapı

2.1. Rasgele Arama Algoritması

Sistemlerin istenen uygulama performanslarını ortaya koyabilmeleri için optimal olarak tasarıma gereksinim duyulur. Bu nedenle sistem tasarımında optimizasyon yöntemlerinin kullanılabilir. Sezgisel optimizasyon algoritmaları denetçi tasarımlarında yaygın olarak kullanım alanı bulurlar. Yapılacak tasarım işlemlerinin amacı ihtiyaç duyulan kontrol parametrelerinin değerlerini belirlemek ve en iyi değerleri bir optimizasyon algoritması ile bulup hedeflenen sonuca ulaşmaktır [23]. Model tabanlı kontrol sistemi tasarımında kontrol edilen sistemi temsil eden matematiksel model ve denetçi fonksiyonundan oluşan kontrol sistemi üzerinde optimizasyon algoritmaları yardımı ile istenen kontrol performansını sergileyen optimal denetçi katsayıları belirlenir. Sistem karmaşıklığı ve performans kriterleri arttıkça optimal denetçi tasarım problemi zorlaşır ve bu noktada sezgisel yöntemler kolaylık sağlar. Bunun temel nedeni sezgisel yöntemler ile uygun aday çözümlerin oluşturulması ve sistemde denenerek, her iterasyonda aday çözümlerin iyileştirilmesi prensibidir. Bu süreç temelde birbirini takip eden deneme-yanılma işlemlerine dayanır.

RS algoritması parametre uzayında rastgele arama için önerilen temel bir algoritmadır ve yerel minimum değerini rastgele arama sonucunda bulan düşük maliyetli bir yöntemdir [24]. Bu algoritmanın düşük işlem maliyeti donanımsal gerçeklemlerde sistem performansının ve hızının artmasına imkân sağlar. Dolayısı ile gerçek zamanlı uygulamalar için diğer karmaşık metasezgisel yöntemlere göre etkin ve kolay kullanım imkânı sağlar. Ayrıca, RS algoritması, sürü tabanlı yöntemlere göre deneme-yanılma işlemini daha tasarruflu kullanılır ve bu açıdan gerçek zamanlı pratik uygulama için daha avantajlıdır. Ayrıca, kontrol sistemlerinin zaman bölgesi optimizasyonlarında sürü tabanlı yöntemler sıklıkla kararsız çözümlere yol açarak optimizasyon sürecini zorlaştırmaktadır. Fakat aday sürüsü yerine tek bir çözümü rastgele adımlarla arayan RS algoritması kontrol sisteminin zaman bölgesi tasarım optimizasyonlarında daha düşük olasılıkla kararsız çözümleri denemesi nedeni ile çok daha uygundur. Bu yöntemin temel adımları şöyle özetlenebilir.

Adım 1: Rastgele bir başlangıç aday çözüm oluştur.

Adım2: Aday çözümü optimizasyon probleminde denenir ve uygunluk değeri alınır.

Adım3: Uygunluk değeri yeterince iyi veya maksimum iterasyon sayısına gelinmişse optimizasyonu durdurulur. Diğer durumlarda Adım 4'e gidilir.

Adım 4: Aday çözümü rastgele değiştirilir ve Adım 2'ye dönülür.

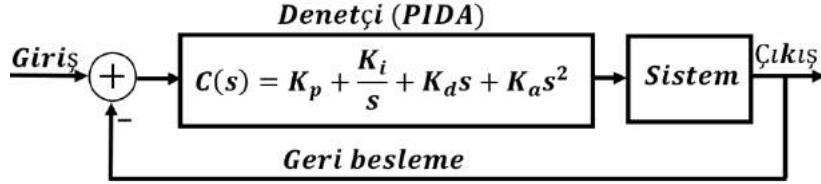
Üçüncü bölümde RS algoritmasının bozucu dışlayıcı PIDA denetçi tasarım probleminde uygulanması için uzlaşma eğrisi tabanlı çok amaçlı optimizasyon için geliştirilmesi gösterilmiştir.

2.2. PIDA Denetçi Yapısı

PIDA denetçiler klasik PID denetleyiciye ivme ilave edilerek elde edilir ve yüksek dereceli sistemlerde daha etkin cevap verdiği ileri sürülmektedir. Jung ve Dorf tarafından 1996'da önerilen [3], PIDA denetçinin geçiş fonksiyonu şöyle verilmektedir.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s + K_a s^2 \quad (1)$$

Bu denetçi tasarımı için önerilen Dorf Yaklaşımı [25], Katsayılı Diyagram Metodu [26], Kitti's Metodu [27] literatürde iyi bilinen yöntemler arasındadır. Ayrıca literatürde PIDA tasarımında bazı optimizasyon algoritmalarını kullanan çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, optimum PIDA denetçi, harmoni arama algoritması kullanılarak grafiksel olarak ve performans endeksleri ITAE, IAE ve ISE açısından değerlendirilmiştir [28]. PIDA denetçi tasarımı üzerine yapılan çalışmalardan bir diğeri de denetleyici parametrelerinin, çeşitli optimizasyon algoritmaları, kullanılarak elde edilmesi ve bazı performans endeksleri açısından değerlendirilmesidir [29-31]. PIDA denetçi ile kontrol edilen birim geri beslemeli bir sistem Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kapalı çevrim PIDA kontrol sistemi

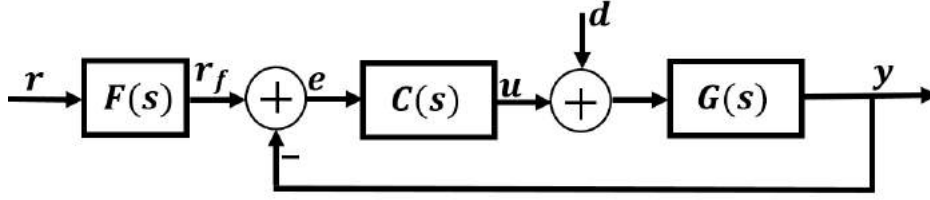
Bu çalışmada Şekil 1'de temsil edilen kapalı çevrim PIDA kontrol sisteminin bozucu dışlama performansı ve yerleşme noktası performansının optimal olarak kontrolünü sağlamak ve gürültü bastırma oranını belirlemek için RS algoritması geliştirilmiştir. Gerçek kontrol uygulamalarında bozucu etkilere karşı dayanıklı uygun denetçi parametrelerinin belirlenmesi kritik öneme sahiptir [13, 32]. Gerçek dünyada kontrol sistemleri genellikle tahmin edilemeyen çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Çeşitli denetçi yapılarının kontrol sisteminde bozucu etkilerini bastırdığı pek çok çalışma yapılmıştır. Bu nedenle, gerçek dünyadaki kontrol uygulamalarında sistemin bozucu dışlama performansı dikkate alınmalıdır. Kontrol mühendisliği uygulamalarında kapalı çevrim kontrol sistemi tasarımında bozucu dışlama performansı ve yerleşme noktası kontrol performansı arasında ters ilişki olduğu bilinmektedir. Bunun başlıca nedeni şöyle açıklanabilir; Kapalı çevrim kontrol sistemlerinin eksemel giriş bozucu dışlama performansı, kullanılan denetçinin daha güçlü olması ile sağlanır. Güçlü denetçi, yüksek kazançlı denetçi tasarımı ile mümkün olabilir. Bununla birlikte, yüksek kazançlı denetçiler referans girişin keskin değişikliklerinde çok yüksek aşım ve yerleşme noktasına kadar salınımlara neden olur. Bu durum yüksek aşım ve salımlı yerleşme, yerleşme noktası kontrol performansını düşürür. Hem güçlü denetçi ile bozucu etkilerin bastırılması hem de yerleşme noktası kontrol performansının iyileştirilebilmesi için alçak geçiren karakterde giriş filtresi referans işaretine uygulanır. Böylece, keskin değişimlere yol açan yüksek frekanslı bileşenler referans giriş işaretinden süzülerek kontrol sisteminde yüksek aşım ve yerleşme öncesi salınımlar önlenmeye çalışılır [7]. Bu tasarım yerleşme noktası filtreli iki-serbestlik dereceli kapalı çevrim kontrol olarak adlandırılır [7,33]. Tasarlanacak PIDA denetçinin yüksek kazanç katsayıları ile sistemin bozucu dışlama performansı artırılabilir.

2.3. RDR Analizi ve Bozucu Bastırma

Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde RDR ölçütü, giriş bozucusu dışlama kapasitesini açısız frekansa bağlı olarak ifade etmektedir ve kapalı çevrim kontrol sisteminin bozucu dışlama performansının iyileştirilmesini sağlamak için optimizasyon problemlerinde kıstas veya amaç fonksiyonu olarak uygulanmıştır [8, 16]. Bu çalışmada, PIDA denetçi ile kontrol edilen kapalı çevrim kontrol sisteminin bozucu dışlama kapasitesi ölçütü kullanılarak incelenmiştir. RDR analizi, sistem çıkışındaki referans sinyal enerjisinin sistem gürültü sinyalinin enerjisine oranını ile tanımlanır. $RDR \gg 1$ olması kontrol sisteminin gürültü bastırma performansının iyi olduğunu, $RDR \ll 1$ olması kontrol sisteminin gürültü bastırma performansının yetersiz olduğunu gösterir [5-7]. Bir önceki bölümde RDR ölçütü ile kontrol hatasının (yerleşme noktası performansı) ters ilişkili olduğu açıklanmıştır. İyi bir denetçi tasarımı optimizasyon işlemi RDR ölçütünün yüksek olmasını ancak kontrol hatasının (e) düşük olmasını sağlamalıdır. Bu nedenle, RS algoritmasında RDR ölçütü ile kontrol hatası arasında uzlaşmayı sağlayan bir eğri yardımı ile pareto optimal optimizasyon sağlanmıştır. Optimizasyon işlemi bu eğriye göre yönetilerek eğri üzerinde optimal bir performans noktasına ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Geri beslemeli kapalı çevrim kontrol sistemleri için bu güne kadar çok çeşitli gürültü bastırma ve bozucu dışlama yöntemleri önerilmiştir [18,32]. Ogata, bir kontrol sistemi çıkışında gürültünün bastırılması için gerekli koşulları denetçi, sistem ve kapalı çevrim transfer fonksiyonları bakımından ifade etmiştir. Birim geri beslemeli bir kapalı çevrim kontrol sisteminin gürültü bastırma performansını iyileştirmek için $|C(s)G(s)| \gg 1$ durumunun olması gerektiğini önermiştir [34]. Çünkü yüksek açık çevrim kazancı durumunda ($|C(s)G(s)| \gg 1$), gürültü girişli bir sistemin transfer fonksiyonu olan $P_d(s) = Q(s)/d(s)$ sıfır değerine yaklaşabilmektedir. Bozucu dışlama performansı kapalı çevrim sistemin duyarlılık fonksiyonunun minimize edilmesi ile iyileştirilmektedir [10]. Daha sonra, kontrol uygulamaları için kapalı çevrim kontrol sisteminin bozucu dışlama kapasitesi RDR ölçütü ile karakterize edilmiştir [5-7].

Şekil 2’de verilen girişine filtre ($F(s) = 0$) eklenmiş bir lineer sistem için $d(s) = 0$ durumunda referans girişinden sistem çıkışına referans işaret kanalı geçiş fonksiyonu $P_r(s)$ ve $r(s) = 0$ olması durumunda bozucu girişinden sistem çıkışına bozucu işaret kanalı geçiş fonksiyonları $P_d(s)$ şöyle yazılabilir [6,7]:



Şekil 2. Filtre eklenmiş PIDA kontrol sistemi.

$$P_r(s) = \frac{Q_r(s)|_{d=0}}{r(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1+C(s)G(s)} \quad (2)$$

$$P_d(s) = \frac{Q_d(s)|_{r=0}}{d(s)} = \frac{G(s)}{1+C(s)G(s)} \quad (3)$$

Bu geçiş fonksiyonları yardımı ile kapalı çevrim kontrol sisteminin çıkışındaki referans işaretin ve bozucu işaretin spektral gücü ise $s = j\omega$ dönüşümü uygulanarak şöyle ifade edilmiştir [6,7]:

$$|Q_r(j\omega)|_{d=0}^2 = |P_r(j\omega) \cdot r(j\omega)|^2 = |P_r(j\omega)|^2 \cdot |r(j\omega)|^2 \quad (4)$$

$$|Q_d(j\omega)|_{r=0}^2 = |P_d(j\omega) \cdot d(j\omega)|^2 = |P_d(j\omega)|^2 \cdot |d(j\omega)|^2 \quad (5)$$

Haberleşme kanallarının sinyal iletim kalitesini ifade eden Sinyal Gürültü Oranı (SNR) ölçütüne benzer şekilde, kapalı çevrim sistemlerin bozucu dışlama kapasitesi RDR ölçütü

$$RDR = \frac{|Q_r(j\omega)|^2}{|Q_d(j\omega)|^2} = \frac{|P_r(j\omega)|^2 \cdot |r(j\omega)|^2}{|P_d(j\omega)|^2 \cdot |d(j\omega)|^2} \quad (6)$$

ile ifade edilmiştir. Burada bozucu dışlama performansının doğru ölçülebilmesi için referans işaretin enerjisi $|r(j\omega)|^2$ ile bozucu işaretin enerjilerinin eşit olduğu $|d(j\omega)|^2$ varsayılmıştır. Bu durumda RDR ölçütü,

$$RDR = \frac{|P_r(j\omega)|^2}{|P_d(j\omega)|^2} = |C(j\omega)|^2 \quad (7)$$

İfadesi elde edilir. Burada, çok yüksek rakamsal değerleri nedeni ile RDR indeksinin desibel türünden ifade edilmesi tavsiye edilir.

$$RDR_{dB}(w) = 20 \log|C(jw)| \quad (8)$$

Açısal frekansa w bağlı ifade edilen RDR ölçütü her frekans bileşeni için kontrol sisteminin bozucu işareti referans giriş işaretine göre ne oranda dışlayacağını ifade eder. Pratik kontrol sistemleri genelde düşük frekans bölgesinde çalışan sistemlerdir. Bu nedenle kontrol sisteminin düşük frekans bölgesinde yüksek RDR değerlerine sahip olması bozucuya dışlama kapasitesinin yüksek olmasını sağlar. Bu nedenle bozucu dışlayıcı optimal denetçi tasarımı aşağıdaki kıstasa uyulması ile sağlanır [8,16].

$$\min\{RDR_{dB}(w)\} \geq M, w \in [w_{min}, w_{max}] \quad (9)$$

Bu kıstas $w \in [w_{min}, w_{max}]$ bölgesinde RDR performansının bir alt limit olan $M \in R$ değerinden yüksek olmasını garanti eder.

3. Önerilen Tasarım Yöntemi

3.1. PIDA Denetçi için RDR Ölçütünün Elde Edilmesi

Denklem 1’de verilen PIDA denetçinin frekans cevabı transfer fonksiyonunda $s = jw$ kullanılarak,

$$C(jw) = K_p + \frac{K_i}{jw} + K_d jw + K_a (jw)^2 \quad (10)$$

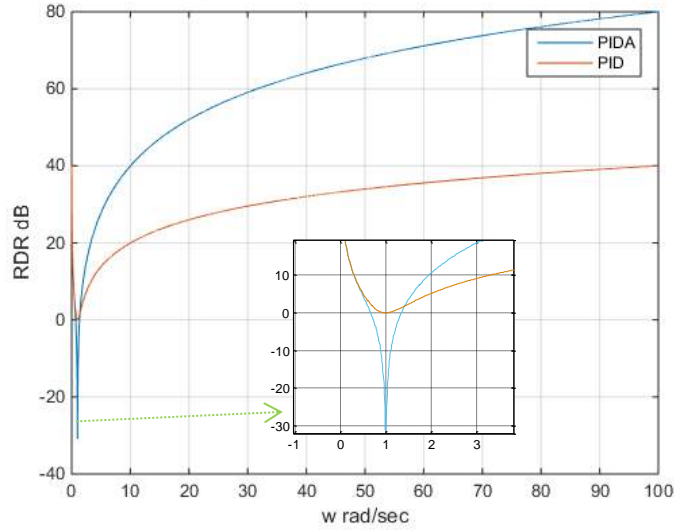
elde edilebilir. Gerekli düzenlemeler yapılırsa PIDA denetçinin genliği şöyle yazılır,

$$|C(jw)| = \sqrt{(k_p - k_a w^2)^2 + \left(k_d w - \frac{k_i}{w}\right)^2} \quad (11)$$

Buna göre PIDA denetçisi için RDR ölçütü denklem (7)’ye göre,

$$RDR_{PIDA}(w) = (k_p - k_a w^2)^2 + \left(k_d w - \frac{k_i}{w}\right)^2 \quad (12)$$

ile ifade edilir. Burada k_p , k_d , k_i ve k_a PIDA denetçisi kazanç katsayılarıdır. Bir PIDA denetçinin tasarımında istenilen kontrol cevabını elde etmek için bu 4 tasarım parametresi optimal olarak belirlenir. Şekil 3’de tasarım katsayıların 1 olması durumu için ($k_p = 1$, $k_d = 1$, $k_i = 1$ ve $k_a = 1$) PIDA ve PID denetçi RDR performansları, $0 < w < 1000$ rad/s bölgesinde incelenmiştir. Şekilde PIDA denetçi 1 rad/s frekansı civarında PID denetçiden daha düşük RDR performansı göstermesine rağmen düşük, orta ve yüksek frekans bölgelerinde genelde daha iyi RDR performansı sergilediği görülmektedir. Ancak, 1 rad/s frekansa sahip bir bozucunun gelmesi durumunda sistemin çıkışında güçlenerek RDR değerini -30 dB değerlerine düşürdüğü şekilde görülmektedir.



Şekil 3. Kapalı çevrim PIDA ve klasik PID kontrol sisteminin RDR spektrumları

3.2. Uzlaşma Eğrisi Tabanlı RS Algoritması Yardımı ile Bozucu Dışlayıcı PIDA Denetçi Tasarımı

Bu bölümde PIDA kontrol sisteminin, bozucu dışlama performansı dikkate alınarak, optimal tasarımı için uzlaşma eğrisi tabanlı RS algoritması uygulanmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi birim geri beslemeli PIDA denetçi sistemine yerleşme noktası filtresi $F(s)$ eklenmiştir. Ön filtre $F(s)$, girişteki çok yüksek frekans bileşenlerini filtrelemek üzere referans giriş sinyalini şekillendirmek için kullanılan birinci dereceden bir filtredir [21]. Bunun nedeni, RDR endeksleri yüksek olan denetçilerin referans girişindeki hızlı değişikliklere karşı çok güçlü ve duyarlı olmalarıdır. Denetçinin bu hassasiyeti birim basamak performansının azalmasına neden olur. Çünkü buradaki yüksek aşımalar yüksek frekans bileşenleri içerir. Bu yüksek aşımları azaltmak için, ön filtre, $F(s)$, birim basamak girişini düzeltir. Böylece birim basamak tepkisi bozulmadan kontrol sisteminin RDR’ı, daha da artırılabilir ve hem bozucu dışlama hemde yerleşme noktası kontrol performanslarının iyileştirilmesi sağlanır. Bu sistemde bozucu sinyal (d), kontrol edilen sisteme dışardan gelen ve kontrol sinyalinin üstüne ilave eklenen dış kaynaklı bir gürültü işareti olarak varsayılmıştır.

Şekil 2’de kullanılan ön filtre fonksiyonu şöyle yazılır,

$$F(s) = \frac{a}{s+a} \quad (13)$$

Burada $a = 1/\tau$ ve τ zaman sabitidir. Kontrol sisteminin birim basamak performansı, karesel hata toplamı ile şöyle değerlendirilir.

$$E = \frac{1}{T} \int_0^T e(t)^2 \cdot dt \quad (14)$$

T 'nin bir periyot içinde $e(t) = r_f(t) - y(t)$ kontrol hatasının genliğinin (e 'nin) en aza indirilmesi ve sistem çıkışının $y(t)$, referans girişe $r(t)$ yaklaştırılması kontrol sisteminin temel hedefidir. Öte yandan, kontrol sisteminin bozucu dışlama performansını artırmak için Denklem 9'da verilen minimum RDR şartının Denklem 12 ile ifade edilen PIDA denetçisi RDR ölçütü için sağlanması gerekmektedir. Önerilen bu kontrol tasarım yönteminin birincil amacı, sistemi kararlı tutmak ve ayar noktasını takip etmektir. İkincil amacı ise denetçinin minimum RDR seviyesinin birincil amacın sağlandığı koşulda artırılmasıdır. Aksi takdirde kontrol uygulaması için düşük kontrol edilebilirliğe sahip yüksek gürültü bastırma istenmez. Bu durum, çok amaçlı optimizasyon problemini gündeme getirir. Bu optimizasyon problemi minimum RDR kısıtlamalarının dinamik formu olan aşağıda verilen kısıt için çözülmüştür.

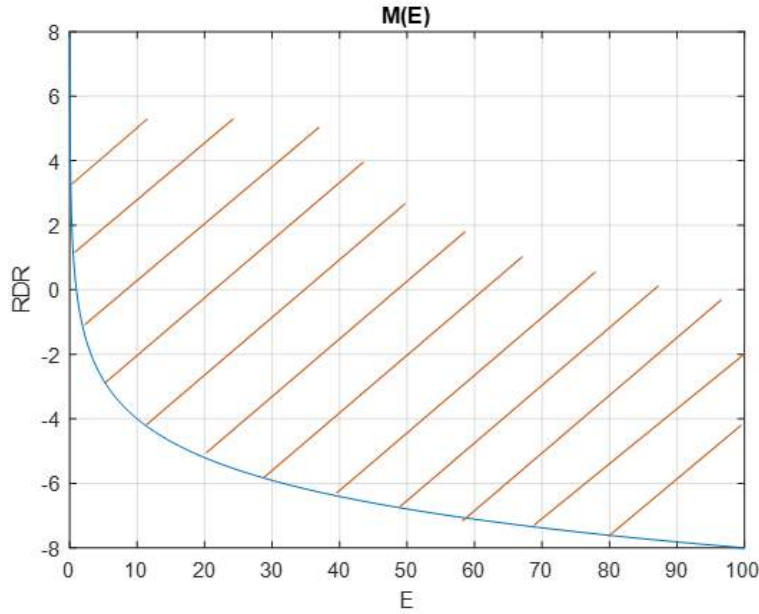
$$\min\{10\log(RDR_{PIDA}(w))\} \geq M(E), \quad (15)$$

$$M(E) = -\alpha \log_{10} E, \quad w \in [w_{min}, w_{max}] \quad (16)$$

Burada minimum RDR kısıtlaması için $M(E)$ dinamik alt sınırdır. E 'nin azalması bir α faktörü tarafından minimum alt sınırın $M(E)$ artmasına neden olur. Denklem 16 uzlaşma eğrisi olarak adlandırılır. Burada α parametresi kabul edilebilir bir minimum RDR ve istenilen bir E özelliğini karşılamak için kullanılan logaritmik bir konsensüs katsayısıdır ve aşağıdaki formda belirlenebilir,

$$\alpha = \frac{\min(10\log(RDR_{PIDA}(w)))}{\log_{10} E} \quad (17)$$

Şekil 4'de uzlaşma eğrisinin $M(E)$ 'nin α parametresinin 4 değeri için bir çizimi görülmektedir. Bu eğri optimizasyonda kabul edilebilir minimum RDR için bir dinamik alt sınır ifade eder ve kontrol karesel hata toplamı E ile RDR ölçütü arasında bir uzlaşma sağlar. Optimizasyon işlemine uzlaşma eğrisi üzerinde veya üstünde kalan taralı bölgede izin verilir.



Şekil 4. RDR ile karesel hata toplamı (E) ilişkisi.

Bu optimizasyon problemini çözmek için önerilen temel RS algoritmasının işlem basamakları şöyle özetlenebilir;

- Adım 1: k_p, k_d, k_i ve k_a denetçi parametrelerinin başlangıç değerleri, sistemi kararlı yapan herhangi bir değere ayarlanır. Filtre parametrelerinin başlangıç değerleri a ve E_{min} için yüksek bir değer belirlenir.
- Adım 2: Aşağıdaki verilen öz yinelemeli eşitliklerle arama uzayında rasgele yeni aday noktaları oluşturulur,

$$k_{pn} = k_p + (rand - 0.5)c_g;$$

$$k_{dn} = k_d + (rand - 0.5)c_g;$$

$$k_{in} = k_i + (rand - 0.5)c_g;$$

$$k_{an} = k_a + (rand - 0.5)c_g;$$

$$a_n = a + (rand - 0.5)c_f \quad (18)$$

- Adım 3: Çalışma frekans aralığını belirlemek için $w \in [w_{min}, w_{max}]$, $\min\{RDR_{dB}\}$ ve aralığı ile birim basamak tepkisi için E hata fonksiyonu hesaplanır.
- Adım 4: E_{min} minimum hata için $M(E_{min}) = -\alpha \log_{10} E_{min}$ dinamik RDR sınırı hesaplanır.
- Adım 5: Eğer $E < E_{min}$ ve $\min\{RDR_{dB}\} \geq M(E_{min})$ ise $k_p = k_{pn}$, $k_i = k_{in}$, $k_a = k_{an}$, $a = a_n$ değerlerini ve minimum enerji $E_{min} = E$ güncelleştirilir.
- Adım 6: E_{min} yeterince küçükse veya maksimum yenileme sayısı aşılsa, optimizasyon sonlanır. Aksi takdirde 2. adıma gidilir.

Burada c_g -kazanç katsayıları ve c_f -filtre katsayıları ilgili parametrelerin rasgele değişim aralığını belirler.

4. Simülasyon Örnekleri

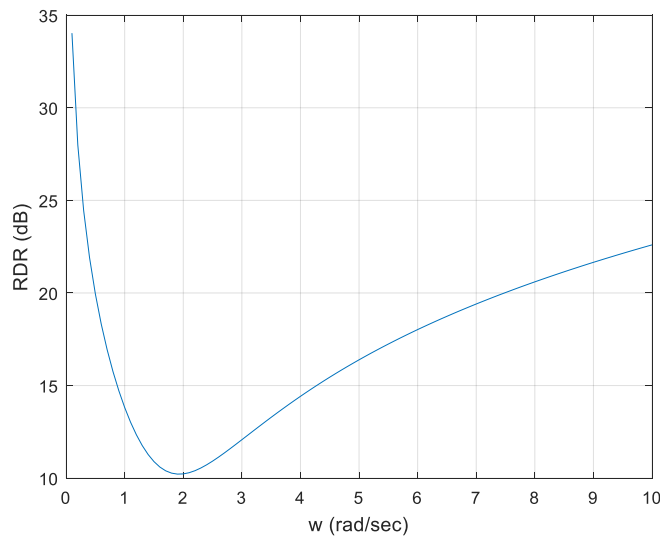
PIDA tasarım problemlerinde RDR performansının bir tasarım kriteri olarak kullanılması, kapalı çevrim kontrol sistemlerinin gürültü bastırma kapasitelerinin artırılmasına katkı sağlaması öngörülmüştür. RDR tasarım sınırlamasının kullanılması arama bölgelerini daraltması nedeni ile sezgisel optimizasyon algoritmalarının etkinliğini artırır. Bu bölüm teorik bilgileri doğrulamak için gürültü toleranslı PIDA denetçi örneklerini göstermektedir. Bu örneklerde Matlab Simulink kullanılmıştır. Optimizasyonda parametrelerin rastgele değişim aralığı $c_g = 0.05$ ve $c_f=0.2$ olarak alınmıştır.

Örnek 1 :

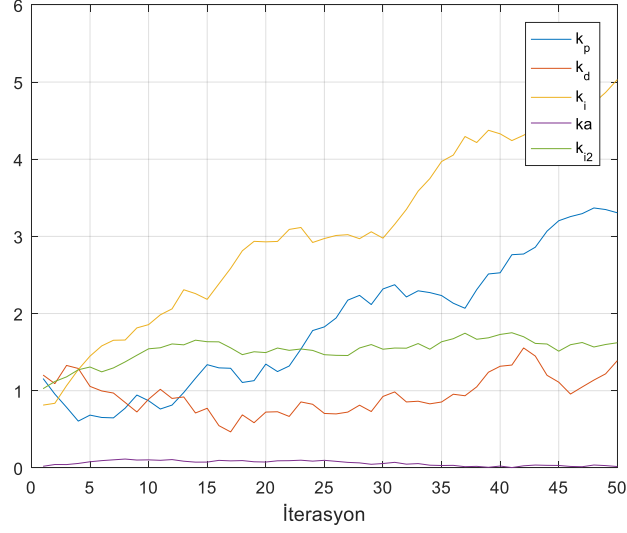
Bu örnekte $G(s) = 1/(s^2 + 4s + 3)$ olarak verilen kararlı ikinci dereceden bir sistemin transfer fonksiyonu için PIDA denetçi tasarımının yerleşme noktası ve bozucu dışlama performansı incelenmiştir. Bu sistem için tasarım adımları uygulanarak aşağıdaki PIDA denetçi elde edilmiş ve RDR performansı incelenmiştir.

$$C_{PIDA_1}(s) = 3.3058 + \frac{5.0320}{s} + 1.3897s + 0.0174s^2 \quad (19)$$

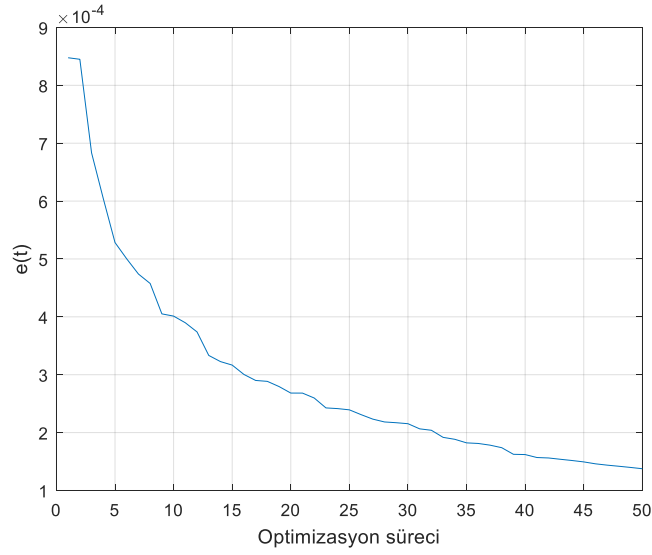
Şekli 5’de PIDA denetçi tasarımı için RDR spektrumu görülmektedir. Özellikle sıfır ve çok düşük frekans bölgesinde çok yüksek RDR performansı ortaya koymaktadır ve bu frekans bölgesinde referans işaretin kontrol sistemi çıkışında çok daha baskın olacağını ifade etmektedir. Açısal frekansı 1.8 rad/s civarında olan frekans bileşenleri için RDR performansının minimum olduğu görülmektedir ve bu frekansda çevresel bozuculara karşı bozucu dışlama performansı en kötü olacaktır. Yüksek frekans bölgesinde RDR indeksi tekrar yükselerek özellikle yüksek frekans bölgesinde etkili olan beyaz gürültüye karşı kontrol sisteminin dayanıklı olacağına işaret etmektedir. Şekil 6 PIDA denetçinin optimizasyonu esnasında tasarım parametrelerinin değişimini vermektedir. Şekil 7 ise amaç fonksiyonu olan kontrol hatasının optimizasyon süresince değişimini göstermektedir. Bu grafikte hata değerinin sıfıra yakınsaması ve asimptotik olması optimizasyonun gerçekleştiğini ve kontrol performansının minimum RDR alt sınır değeri ile uzlaşarak optimize edildiğini göstermektedir. Optimizasyon tamamlandığında $\min\{RDR_{dB}\} = 10.2192 \text{ dB}$ için $E_{min}0.0060$ değerine kadar kontrol hatasının düşmesi sağlanmıştır.



Şekil 5. PIDA denetçinin gürültü bastırma spektrumu.

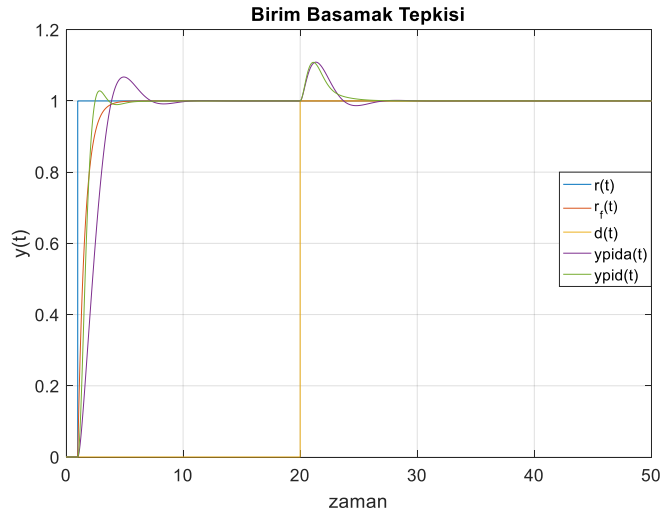


Şekil 6. Optimizasyon işlemi sırasında tasarım parametresinin değişimi.



Şekil 7. Optimizasyon sırasında E'nin değişimi

Şekil 8'de Denklem 19'daki PIDA kontrol sistemi ve klasik PID kontrol sisteminin ($k_p = 5.3211$; $k_i = 6.1205$; $k_d = 0.8199$) birim basamak cevabı ve bozucu cevapları simülasyon sonucu olarak sunulmuştur.



Şekil 8. Optimize edilmiş PIDA ve PID denetçilikontrol sisteminin birim basamak tepkisi

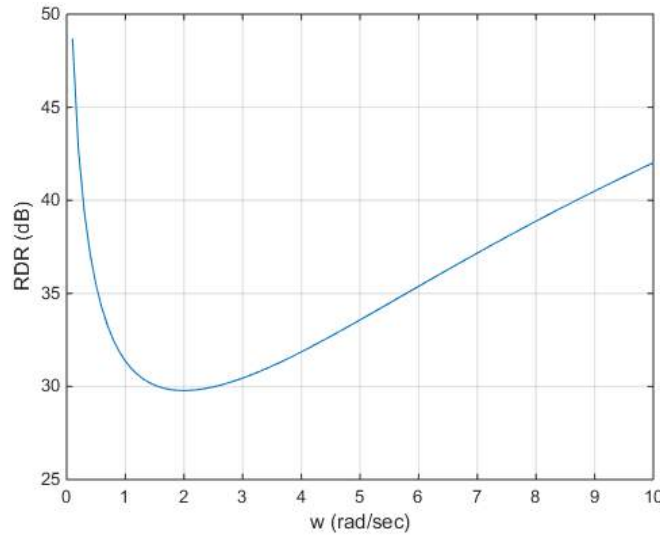
Burada 20. saniyede birim basamak formunda bozucu sinyal kontrol edilen sistem girişine uygulanmış ve her iki kontrol sistemi için birim basamak tepkisi elde edilmiştir. Şekillerde PIDA denetçinin klasik PID'ye göre daha iyi kontrol performansı sunabildiği açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar yerleşme noktası filtreli iki-serbestlik dereceli kapalı çevrim PIDA denetçi tasarımının hem yerleşme noktası kontrol performansını hemde bozucu dışlama performansını birlikte iyileştirebildiğini göstermiştir. Bu örnekte uygulanan uzlaşma eğrisi tabanlı RS algortimasının iyi performans sergilediği söylenebilir.

Örnek 2:

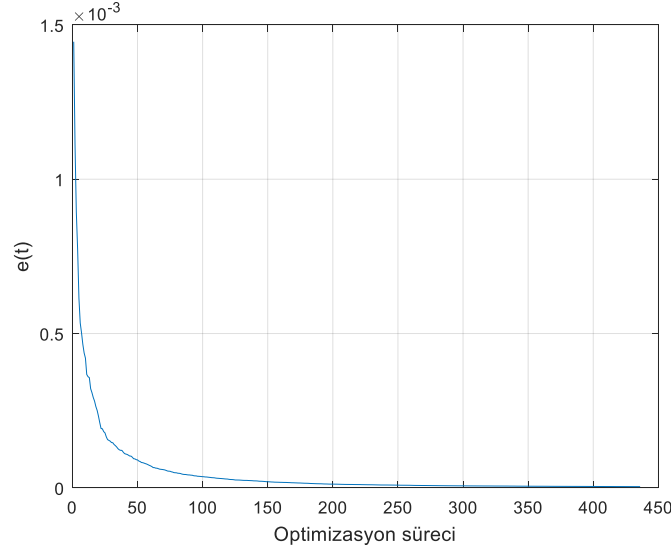
Bu örnekte yüksek dereceli $G(s) = 1/(s^4 + 4s^3 + 6s^2 + 4s + 1)$ olarak verilen bir sistemin transfer fonksiyonu için PIDA denetçi tasarımının yerleşme noktası ve bozucu dışlama performansı incelenmiştir. Uygulanan yöntemle elde edilen PIDA denetçi aşağıda verilmiştir.

$$C_{PIDA_2}(s) = 34.2243 + \frac{26.9797}{s} + 10.5161s + 1.0779s^2 \quad (20)$$

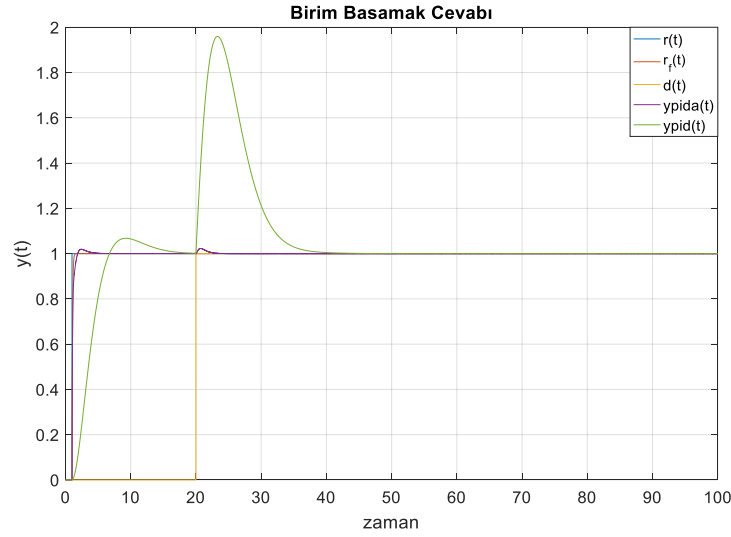
Şekli 9'da PIDA denetçi tasarımı için RDR spektrumu görülmektedir. Sıfır ve çok düşük frekans bölgesi RDR performansı oldukça yüksektir. Bu çıkışta referansın sıfır ve düşük frekans değişimlerinde baskın olacağını diğer bir ifade ile çıkışın referans girişe yakınsayacağını gösterir. En kötü RDR performansı 2 rad/s frekans civarında elde edilir. Çünkü burada RDR spektrumu minimum değerine sahiptir ve bu bölgede bozucu işaretin sistem çıkışındaki gücünün artması beklenir. Yüksek frekans bölgesinde RDR indeksinin yükselmesi özellikle yüksek frekans bölgesinde etkili olan beyaz gürültü gibi bozuculara karşı kontrol sisteminin dayanıklı olacağına işaret etmektedir. Şekil 10'daki optimizasyon süresince amaç fonksiyonun değişimi görülmektedir. Burada $\min\{RDR_{dB}\} = 29.7847$ dB için E_{min} 0.0002 değerine kadar inmektedir. Şekil 11'de Denklem 20'deki PIDA ve klasik PID denetçilerin ($kp = 2.0542$; $ki = 0.5001$; $kd = 2.0928$) birim basamak ve bozucu cevapları gösterilmiştir. Bu şekilde 20. saniyede bir birim basamak bozucu sinyal uygulanmış ve tasarlanan PIDA ve klasik PID denetçilerinin bu bozucuya cevapları incelenmiştir. Bu örnekte PIDA'nın hem yerleşme noktası kontrol performansı hemde bozucu dışlama performansının PID denetçiye göre çok daha üstün olabileceği görülmüştür. Bu örnekte uygulanan optimizasyon yönteminin hem birim basamak yerleşme noktası cevabını hem de bozucu dışlama performansını iyileştirebildiği ve klasik PID denetçiye kıyasla avantajlar sağlayabildiği görülmüştür.



Şekil 9. PIDA denetçinin gürültü bastırma spektrumu.



Şekil 10. Optimizasyon sırasında E' 'nin değişimi.



Şekil 11. Optimize edilmiş PIDA ve PID denetçilikontrol sisteminin birim basamak tepkisi.

8. Sonuç

Bu çalışmada, yerleşme noktası filtreli iki-serbestlik dereceli kapalı çevrim PIDA denetçi tasarımı için RDR performansı analizine dayalı çok amaçlı RS algoritmasının bir uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada tasarlanan PIDA denetçilerin performansları klasik PID denetçilere kıyasla incelenmiş ve kontrol simülasyonları sonucunda tasarlanan PIDA denetçilerin birim basamak yerleşme noktası kontrol performansı ile bozucu dışlama performanslarının birlikte iyileştirilebildiği gösterilmiştir. Bu sonuca ulaşabilmek için PIDA denetçisinin RDR indeksi matematiksel olarak elde edilmiş ve uzlaşma eğrisi tabanlı bir Pareto optimizasyonu yaklaşımı uygulanmıştır. Böylece, temel RS algoritmasının optimizasyonu önceden tanımlanan uzlaşma eğrisine göre yönlendirilmiş ve RDR performansının yeterince yüksek olduğu bölgede kontrol hatasının minimizasyonu sağlanmıştır. Makalede literatürdeki temel çalışmaların üzerinde PIDA denetçi için hem RDR indeks formülasyonu hemde uzlaşma eğrisi tabanlı RS algoritmasının uygulaması geliştirilmiştir. Bu yöntem ile tasarlanan denetçiler Matlab/Simulink ortamında geliştirilen simülasyonlarda test edilmiş ve bozucu dışlama performansları incelenmiştir. Bu çalışmada, birim geri beslemeli kontrol sistemlerinde denetçi fonksiyonunun enerji spektral yoğunluğu ile ifade edilen RDR performansının kontrol sistemlerinin bozucu dışlama performansının iyileştirilebilmesinde etkin bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür. Kontrol sistemin RDR analizi, denetçilerin gürültü bastırma kapasitesinin nitel olarak değerlendirilmesini sağlamanın yanında denetçi ayarlama sorunları için yararlı ve basit bir analitik çözüm sunduğu gösterilmiştir. Diğer taraftan, bu çalışmada PIDA denetçilerin bozucu dışlama kontrolü performansları RDR spektrumları ile detaylı olarak incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar kontrol tasarım uygulamalarında önerilen PIDA denetçi yapısının ve uygulanan optimizasyon yönteminin sistemlerin dayanıklı kontrol performansının artırılmasına katkı sağlayacağı öngörülmüştür.

Kaynakça

- [1] Kuo B. C., Golnaraghif.,(2010). Automatic Control Systems,9th Ed., Wiley Press, USA.
- [2] Dorf, R. C. Bishop, R. H., (2010). Modern Control Systems,12th Ed., Prentice Hall,New Jersey, USA.
- [3] Jung, S. Dorf, R. C., (1996).Analytic PIDA Controller Design Techniquefor A Third OrderSystem.*Proceedings of the 35th Conference on Decision and Control*, Kobe, Japan, pp. 2513–2518. DOI: 10.1109/CDC.1996.573472.
- [4] Ha, D-Y. Lee, I-Y. Cho, Y.S. LimY-D. Choi, B-K. (2001).The Design of PIDA Controller withPre-compensator.*Proceedings of the IEEE International Symposium ISIE* , Pusan, Korea, pp. 798-804, DOI:10.1109/ISIE.2001.931570.
- [5] Deniz, F. N., Keles, C., Alagoz, B. B., & Tan, N. (2014, June). Design of fractional-order PI controllers for disturbance rejection using RDR measure. In ICFDA'14 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications 2014 (pp. 1-6). IEEE.
- [6] Alagoz, B. B. Deniz, F. N. Keles, C. Tan, N. (2015). Disturbance Rejection Performance Analyses of Closed Loop Control Systems by Reference to Disturbance Ratio. *ISA Transactions*, vol. 55, pp. 63-71, DOI: 10.1016/j.isatra.2014.09.013.
- [7] Alagoz, B. B., Tan, N., Deniz, F. N., Keles, C. (2015). Implicit disturbance rejection performance analysis of closed loop control systems according to communication channel limitations. *IET Control Theory & Applications*, vol. 9(17), pp. 2522-2531.
- [8] Ates, A., Alagoz, B. B., Yeroğlu, C., Yuan, J., & Chen, Y. (2017, August). Disturbance rejection FOPID control of rotor by multi-objective BB-BC optimization algorithm. In ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (pp. V009T07A025-V009T07A025). American Society of Mechanical Engineers.
- [9] Tepljakov, A., Alagoz, B. B., Gonzalez, E., Petlenkov, E., & Yeroğlu, C. (2018). Model reference adaptive control scheme for retuning method-based fractional-order PID control with disturbance rejection applied to closed-loop control of a magnetic levitation system. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 27(11), 1850176.
- [10] Monje, C. A., Vinagre, B. M., Feliu, V., & Chen, Y. (2008). Tuning and auto-tuning of fractional order controllers for industry applications. *Control engineering practice*, 16(7), 798-812.
- [11] Vrancic, D. Strmcnik, S. Kocijan, Moura Oliveira, J. P. B. (2010). Improving Disturbance Rejection of PID Controllers by Means of the Magnitude Optimum Method. *ISA Transactions*, vol. 49, pp. 47-56, DOI:10.1016/j.isatra.2009.08.002.
- [12] Krohling, A. R. Rey, J. P. (2001). Design of Optimal Disturbance Rejection PID Controllers Using Genetic Algorithms *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 5, No. 1, pp. 78-82, DOI:10.1109/4235.910467.
- [13] Ahmad, A. A. Hussein, E. M. (2014). Effect of Disturbance on Closed-Loop Control System. *IJIREST*, Vol.3, Issue 8, pp.15672-15676, DOI:10.15680/IJIREST.2014.0308080
- [14] Chen, D. Seborg, D. E. (2002). PI/PID Controller Design Based on Direct Synthesis and Disturbance Rejection. *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 41, pp.4807-4822, <https://doi.org/10.1021/ie010756m>.
- [15] Vandeursen, J. E. Peperstraete, J. A. (1996). Model-basedand PID Controllers for Disturbance Rejection in Processes with Time Delay: A Comparison. *ISA Transaction* 35, pp. 225-236, [https://doi.org/10.1016/S0019-0578\(96\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0019-0578(96)00031-6).
- [16] Özbey, N. Yeroğlu, C. Alagoz, B.B. (2018). A Set-point Filter Type 2DOF Fractional Order PID Control System Design Scheme for Improved Disturbance Rejection Control. *The International Conference on Fractional Differentiation and its Applications (ICFDA)* ,16-18 July 2018, Amman. DOI:10.2139/ssrn.3273677.
- [17] Alsogkier, I. Bohu, C. (2017). Rejection and Compensation of Periodic Disturbance in Control Systems. *IJEIT*, Vol.4, No.1, pp.44-54.
- [18] Chang, J. L. (2011). Robust Output Feedback Disturbance Rejection Control by Simultaneously Estimating State and Disturbance. *Journal of Control Science and Engineering*, pp. 1-13, <http://dx.doi.org/10.1155/2011/568379>.
- [19] Busawon, K. K. Kabore, P. (2001). Disturbance Attenuation Using Proportional Integral Observers. *International Journal of Control* 74:6, pp. 618-627, <https://doi.org/10.1080/00207170010025249>.
- [20] Shamsuzzoha, M. Lee, M. (2009). Enhanced Disturbance Rejection for Open-loop Unstable Process with Time Delay. *ISA Transactions*, Vol.48, Issue 2, pp. 237-244, <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2008.10.010>.
- [21] Szita, G. Sanathanan, C. K. (1997). "Robust Design for Disturbance Rejection in Time Delay Systems. *J. Franklin Inst.*, Vol. 334B, No.4, pp. 611-629, [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(96\)00090-7](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(96)00090-7).
- [22] Koussiouris, T. G. Tzierakis, K.G. (1996). Frequency-domain Conditions for Disturbance Rejection and Decoupling with Stability or Pole Placement *Automatica*, Vol.32, No.2, pp. 229-234, [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(96\)85552-X](https://doi.org/10.1016/0005-1098(96)85552-X).
- [23] Price, W. L. (1983). Global Optimization by Controlled Random Search. *Journal Of Optimization Theory and Applications*, Vol. 40, No. 3, pp. 333-348, <https://doi.org/10.1007/BF00933504>.
- [24] Andradóttir, S. (1999). Accelerating the Convergence of Random Search Methods for Discrete Stochastic Optimization. *Journal of Association for Computing Machinery*, Vol. 9, No. 4, pp. 349–380, DOI: [10.1145/352222.352225](https://doi.org/10.1145/352222.352225).
- [25] Sambariya, D. K. Paliwal, D. (2016). Comparative Design and Analysis of PIDA Controller Using Kitti's and Jung-Dorf Approach for Third Order Practical Systems. *British Journal of Mathematics & Computer Science* Vol. 16, No. 5, pp.1-16, DOI : [10.9734/BJMCS/2016/26223](https://doi.org/10.9734/BJMCS/2016/26223)
- [26] Photong, P. Kampanaya, D. Komine, N. Ngamwiwit, J. (2000). Application of CDM to PIDA control. *ASCC 3rd*, July 3-7, Shanghai, TD-9-4, pp. 2073-2078.
- [27] Ukakimaparn, P. Pannil, P. Boonchuay, P. Trisuwannawat, T. (2009). PIDA Controller Designed by Kitti's Method. *ICROS-SICE, International Joint Conference*, August 18-21, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5335323>.
- [28] Sambariya, D. K. Paliwal, D. (2016). Optimal Design of PIDA Controller Using Harmony Search Algorithm for AVR Power System. *IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS)*, pp. 1-6. 4-6 March, DOI: [10.1109/ICPS.2016.7584219](https://doi.org/10.1109/ICPS.2016.7584219).
- [29] Sambariya, D. K. Paliwal, D. (2016). Optimal Design of PIDA Controller Using Firefly Algorithm for AVR Power System. *International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, pp. 987-992, DOI: [10.1109/CCAA.2016.7813859](https://doi.org/10.1109/CCAA.2016.7813859).

- [30] Donuk, K. Özbey, N. İnan, M. Yeroğlu, C. Hanbay, D. (2018). PIDA Denetçi Parametrelerinin PSO Algoritması ile Belirlenmesi. *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, 28-30 Sept. 2018 , pp. 107-112. DOI: 10.1109/IDAP.2018.8620871
- [31] Karadeniz, E. Özbey, N. Yeroğlu, C. Kahraman, H.T. (2018). SOS Algoritması ile Tasarlanan PIDA Denetçinin Bozucu Bastırma Etkisi. *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, 28-30 Sept. 2018, pp.549-553. DOI: 10.1109/IDAP.2018.8620800.
- [32] Rojas, A. J. (2009). Signal-to-noise Ratio Performance Limitations for Input Disturbance Rejection in Output Feedback Control. *Systems & Control Letters*, Vol.58:5, pp. 353–358, <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2009.01.001>.
- [33] Ateş, A., & Yeroğlu, C. (2016). Online tuning of two degrees of freedom fractional order control loops. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 4(1), 5-11.
- [34] Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*, 5th Ed., *Pearson Education*, New Jersey, USA.



Comparison of the Models for Solar Photovoltaic System Performance Calculations for Ankara (Middle Anatolia)

Talat Özden^{1*}, Abdullah Karaveli², Bülent Akınoğlu³

¹ Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Gümüşhane, Turkey (ORCID: 0000-0002-0781-2904)

² The Ministry of Energy and Natural Resources, Turkey (ORCID: 0000-0001-5836-2889)

³ Middle East Technical University, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0003-1987-6937)

(First received 9 December 2019 and in final form 7 February 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.653272)

ATIF/REFERENCE: Ozden, T., Karaveli, A.B., & Akinoglu, B.G. (2020). Comparison of the Models of Solar PV Performance Calculations for Ankara – Middle Anatolia. *European Journal of Science and Technology*, (18), 54-60.

Abstract

In a techno-economic analysis, to reach truthful feasibilities, accurate performance calculation of PV systems is a must. There are many models/calculation schemes to estimate PV module performances. In this study, we compare the estimation of three software (PV*Sol, PVSyst, HelioScope) using a whole year field data obtained in Ankara, for five-module types. The reason for these choices of the software is their common utilization by designers, financing bodies and investors. The results of the preliminary analysis showed that the calculation methods for the PV systems performances should be carefully evaluated and used as they contain quite many located dependent empirical parameters, and distinctions in the fabricated modules. Therefore, the present article focuses on the systems that use the module types of Mono-Si, Poly-Si, μ c-Si/a-Si, CIS, and HIT. The comparisons showed that the estimation accuracies of the software are reasonable, yet the software Helioscope performs better than the others for the weather conditions of Ankara, Middle Anatolia.

Keywords: Solar energy, photovoltaics, performance estimation, outdoor testing, PV*Sol, PVSyst, HelioScope.

Fotovoltaik Sistemlerde Performans Hesaplama Modellerinin Ankara (Orta Anadolu) için Karşılaştırılması

Öz

Tekno-ekonomik analizlerde doğru fizibilite sonuçlarına erişebilmek için FV sistemlerin performansı gerçeğe yakın hesaplanmak zorundadır. FV sistem performansını tahminlemek için birçok model/hesaplama yöntemi vardır. Bu çalışmada, tüm yıl boyunca beş modül için Ankara'da ölçülmüş açık alan test verileri ile üç yazılımın (PV*Sol, PVSyst, HelioScope) aynı yer için tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu yazılımların seçilme nedeni tasarımcılar, finansal uzmanlar ve yatırımcılar tarafından yaygın olarak kullanılmalarıdır. Sonuçların ilk analizleri, FV sistemler için performans hesaplama metodları çok sayıda bağımlı ampirik parametre ve üretilen modüllerdeki farklılıkları içerdiklerinden dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve kullanılması gerektiğini gösterdi. Bu sebepten ötürü bu makale Mono-Si, Poly-Si, μ c-Si/a-Si, CIS, ve HIT modül tiplerini kullanan sistemlere odaklanmaktadır. Karşılaştırma sonuçları yazılımların tahminleme doğruluklarının makul seviyede olduğunu ortaya çıkarmıştır ancak Helioscope Ankara'nın (Orta Anadolu) iklim koşulları için diğerlerinden daha iyi performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, fotovoltaikler, performans tahmini, açık alan testi, PV*Sol, PVSyst, HelioScope.

* Corresponding Author: Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Gümüşhane, Turkey, ORCID: 0000-0002-0781-2904, tozden@gumushane.edu.tr

1. Introduction

Solar photovoltaics (PV) has gained the utmost importance due to the decrease in the cost together with efficiency increase owing to technological developments (EIA, 2017; IRENA, 2018; Mayer, Philipps, Hussein, Schlegl, & Senkpiel, 2015; NREL, 2019; Solar Power Europe, 2017, 2018). Moreover, PV systems with all sub-technologies are also crucial for the achievement of sustainable development goals (i.e., SDG 7 – affordable and clean energy) and climate change mitigation (SDG 13 – Climate action) (Labouret & Viloz, 2010; United Nations, 2019).

The main component of PV power systems is the PV modules that convert Sun's energy directly into electricity. However, the Sun's energy is intermittent and variable over time. Consequently, how efficiently solar irradiation falling on the PV modules can be converted into electricity should be estimated in an appropriate manner (Abdullah Bugrahan Karaveli & Akinoglu, 2018). These estimations can be made by some software programs whose algorithms use satellite data or surface solar irradiation measurement and some assumptions and performance calculation algorithms. Software that uses artificial intelligence also exists in the calculation algorithms of PV performance estimations (Mellit, Kalogirou, Hontoria, & Shaari, 2009).

In a recent technical paper published by NREL, Guittet and Freeman reported that various software performs better than others deviating for different PV applications. They use measured data, and they mainly compare HelioScope with others and conclude its predictions are comparable with those of other tools. The annual normalized error range that they obtain is -7.0% to 4.3% with an hourly normalized RMSE range of 2.9% to 6.6% (Guittet & Freeman, 2018).

In another recent article, Ceylan and Tasdelen compare various software using the measured data of a power plant located in Isparta/Turkey. Their results showed that the software HelioScope gives the best performance giving the least error statistics. The authors argue that all software, in general, can provide performance prediction within acceptable accuracy. They listed the other software they compared in terms of their performance accuracy as PVGIS, Polysun Online, and PV*Sol (Ceylan & Tasdelen, 2018).

This study compares the results gathered from software tools by considering different PV sub-technologies. The algorithm/software programs used for performance estimation purposes for PV modules are PV*Sol, PVsyst, HelioScope, etc. The most appropriate way to define the most accurate estimations is to compare the results that were determined through the software mentioned above programs with on-site measurements. If the calculations are made through software tools and the comparison is made via statistical comparison models such as mean bias error (MBE), mean absolute error (MAE), root-mean-square error (RMSE), then the performance of the software tools can be evaluated.

The next section is the methodology followed in the present study. Section three gives our research results and discuss the main findings. The last section is on the conclusion and our future research plan.

2. Material and Methodology

We used the value of the power at maximum point (P_{MPP}), which is simply the product of current at maximum power point (I_{MPP}) and the potential at maximum power point (V_{MPP}) at every instant of measurement of the tested modules for comparisons in the present study. Thus, the energy yield is obtained using measured data of the above parameters during the used testing period of one year. We compared these measured data with the estimated values obtained by the software mentioned above.

The standard parameters measured at standard test conditions (STC: Irradiance: 1000 W/m², Module temperature: 25 °C, Air mass: 1.5 (AM 1.5) spectrum) tabulated in Table 1 are the datasheet values that are essentially supplied by the manufacturers through the datasheets. Mainly, these parameters are used in the yield estimations of the software. They are explained in the followings: Current and voltage to produce maximum power that can be extracted STC, I_{MAX} , and V_{MAX} ; the maximum power that can be extracted at STC, $P_{MAX} = I_{MAX} \times V_{MAX}$; Open circuit voltage at STC, V_{OC} ; Short circuit at STC, I_{SC} ; Efficiency calculated with per unit area values of input and yield at STC, η .

2.1. On-Site Measurements System

There is an on-site measurement system owned by The Center for Solar Energy Research and Applications (GÜNAM) within the campus of the Middle East Technical University (METU) (A B Karaveli, Ozden, & Akinoglu, 2018; Ogulgonen, Ozden, Yardim, Turan, & Kincal, 2015). This on-site measurement system is located in Ankara province in the Central Anatolia with a latitude of 39.895°. The measurement system consists of many different sub-technologies of PV modules such as Monocrystalline Silicon (Mono-Si), Polycrystalline Silicon (Poly-Si), Micro-Crystalline based Amorphous Silicon (μ -Si/a-Si), Copper Indium Selenide (CIS) and Heterojunction with Intrinsic Thin layer (HIT) that have been in operation for about seven years.

GÜNAM outdoor module test platform is computer-controlled with 16 testbeds where PV modules are tilted at 32 degrees. Figure 1 gives the outdoor test platform together with a schematic representation of the test facility. The facility is located in Ankara where the climate is cold and semi-arid (Climate Change & Infectious Diseases Group, 2019; Köppen, 1884; Rubel, Brugger, Haslinger, & Auer, 2017). The measured data is recorded in 10 minutes time interval. The parameters that have been measured within this facility are I-V characteristics, electrical properties, module temperatures, weather parameters. Thus, there are various short and long term accumulated data for different kinds of PV module sub-technologies.

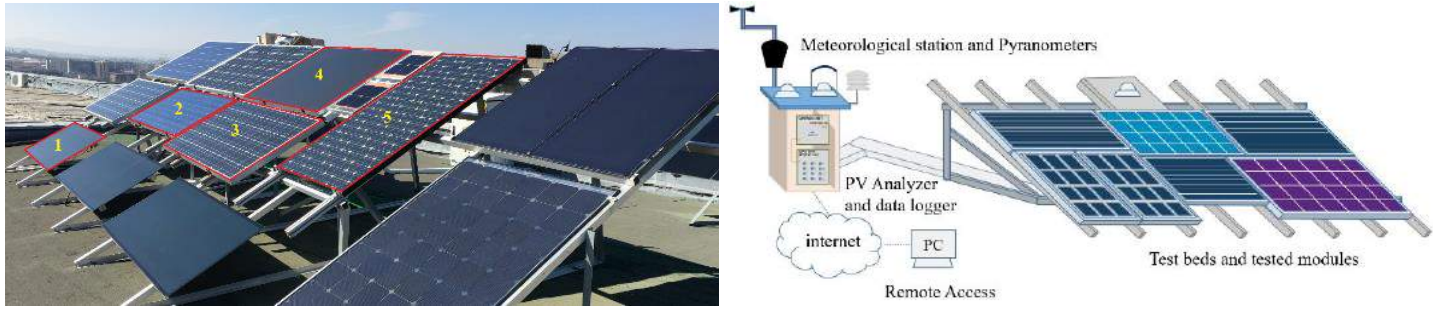


Figure 1. METU-GUNAM Outdoor Test Facilities and the modules evaluated in this study
(1: CIS, 2: Poly-Si, 3: Mono-Si, 4: μ c-Si / a-Si, 5: HIT)

To make estimations for electricity production of PV modules and evaluate PV performance, solar irradiation that incident on the PV module should be known accurately (Abdullah Bugrahan Karaveli, Soytaş, & Akinoglu, 2015). Then, using the module features (Table 1) and reference efficiency, efficiency variation with module temperature (temperature coefficient), and the ambient temperature, the electricity production of the system can be estimated (A B Karaveli et al., 2018).

Table 1. Properties of PV module on site measurement

Module Type	P_{MAX}	η	V_{OC}	I_{SC}	V_{MAX}	I_{MAX}	Area [m ²]	Testing Period	
	[W]	[%]	[V]	[A]	[V]	[A]		Started	Ended
μ c-Si / a-Si	128	9,14	59,8	3,45	45,4	2,82	1,4	Apr, 2012	Continue
CIS	130	12,38	59,5	3,28	44,9	2,90	1,05	Oct, 2014	Continue
Mono-Si	160	12,50	43,7	5,06	35,3	4,58	1,28	Aug, 2012	Continue
Poly-Si	130	12,75	21,7	8,18	17,8	7,30	1,02	May, 2012	Continue
HIT	230	16,55	42,3	7,22	34,3	6,71	1,39	Apr, 2012	Continue

2.2. Software Programs and Methodology

PV performance evaluations are carried out using the software mentioned above, namely PVsyst, PV*Sol, and HelioScope whose calculation methodology and procedures are given in Table 2.

Table 2. The used software programs and their performance and yield calculation methodologies

Procedure	PVsyst	PV*SOL	HelioScope
Modeling timestep	Hourly	Hourly	Hourly
Decomposition of global horizontal irradiance (GHI)*	Erbs	Reindl	N/A
Transposition to-plane-of-array*	Perez	Hay-Davies	Perez
Module Model	Shockley's single diode model	Enhances single diode	Shockley's single diode model
Thermal Model	Thermal balance equation	Thermal balance equation	Sandia National Laboratory
Albedo	0.2	0.2	0.2

* The correlations used are given in detail in Duffie and Beckman (Duffie & Beckman, 2013).

Within this study, the nameplate specifications of 5 different module types tested in the outdoor test facility are given in Table 1. The identical modules included within the library of the software mentioned above are chosen to evaluate the performances for comparisons. Installation of around 2 kWp is designed using PV modules within the software. The systems are hypothetically installed to the roof of the Department of Physics building where GÜNAM's outdoors test facility is located as free-standing. Then, the DC yield and performance data of the installations gathered from three software are reduced to per unit area outcomes. Similarly, we reduced also the DC yields of tested modules (Table 1 and Fig. 1) to per unit area. Thus, using the estimated values by the software and measured

data, the comparisons are carried out with statistical error measures of Mean Biased Error (MBE), Mean Absolute Error (MAE), and Root Mean Square Error (RMSE).

These statistical errors are calculated on a monthly based using the deviation between the measured and estimated values, $E_{error} = E_{measured} - E_{estimated}$, as follows:

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{error,i}) \tag{1}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_{error,i}| \tag{2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{error,i})^2} \tag{3}$$

MBE is a measure of over- or under-estimations of the measured values by the used methodology of the software. The other two, MAE and RMSE gives information on the overall accuracy of the estimations. While MAE gives an absolute accuracy, RMSE results in a large number if any one of the deviations gets an extreme value rather.

3. Results and Comparison

The overall software results for the per unit area yield of the modules are tabulated in Table 3. HIT module performance is much better than the others as expected. The yield reaches 30.5 kWh/m² for July for HIT while the lowest yield is around 14 kWp/m² for μ -Si / a-Si. A clear distinction in the yields can be observed between thin-film μ -Si / a-Si modules and crystalline modules Mono-Si, Poly-Si, and HIT. However, interestingly CIS module yield seems similar to that of Mono- and Poly-Si, which is unexpected and this can be attributed to rather newer technology used in producing CIS modules. It can also be observed in outdoor measurement results given in the last row of Table 3.

Table 3. The monthly yields of the modules estimated using three software and measured in the field (in kWh/m²).

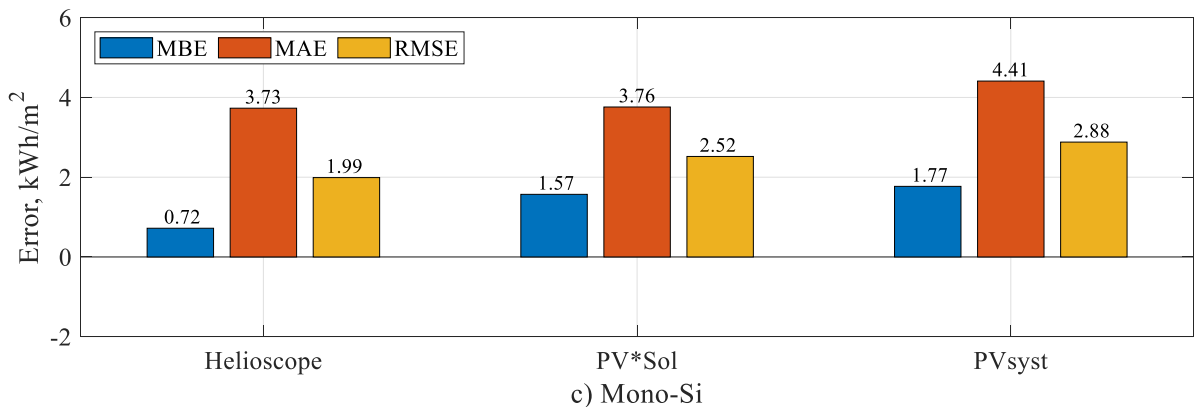
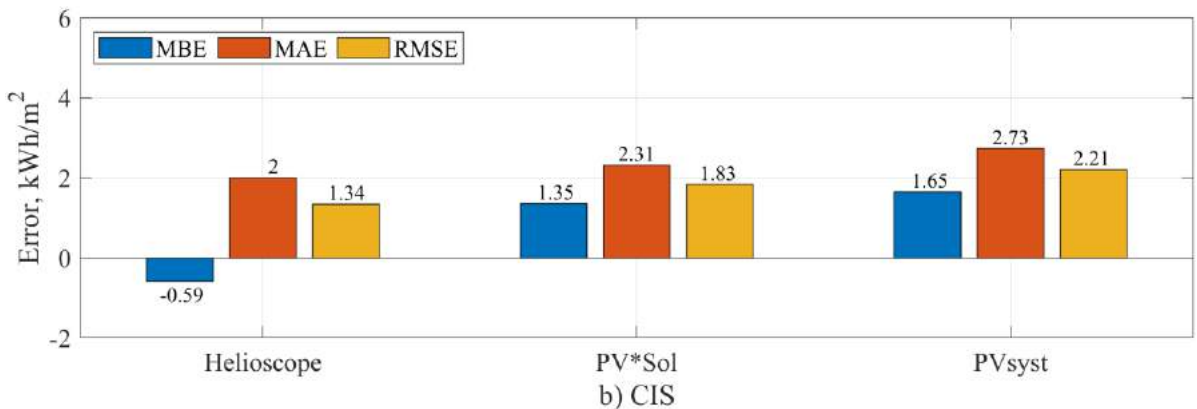
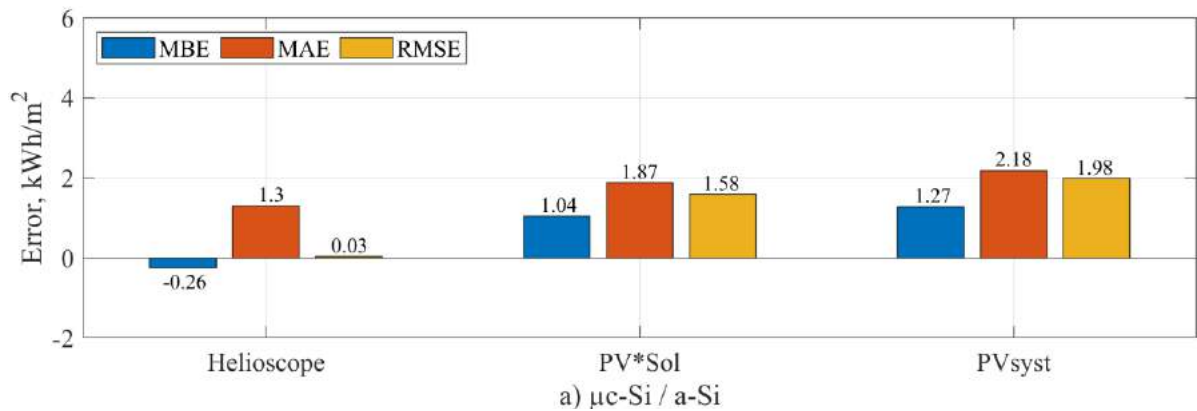
Months*		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
μ -Si / a-Si	PVsyst	9,4	7,9	10,0	12,8	13,6	14,7	15,0	15,0	11,8	10,0	8,2	7,6
	PV*Sol	6,5	7,3	8,9	11,3	11,8	13,2	14,0	13,5	10,6	9,0	7,7	7,3
	Helioscope	6,8	8,1	10,1	12,8	13,6	15,3	16,6	16,0	13,1	10,6	8,8	8,2
	Measured	5,1	8,5	9,6	10,4	12,9	15,9	17,1	15,7	15,0	11,8	8,4	6,2
CIS	PVsyst	9,1	10,7	13,2	16,7	17,6	19,0	19,2	19,4	15,4	13,3	11,2	10,6
	PV*Sol	9,3	10,3	12,5	15,7	16,3	18,0	18,9	18,1	14,5	12,4	10,8	10,5
	Helioscope	9,6	11,5	14,3	18,2	19,4	21,7	23,6	22,7	18,6	15,0	12,4	11,7
	Measured	9,4	13,0	14,1	14,7	17,7	21,2	22,4	20,2	19,8	16,5	12,8	9,7
Mono-Si	PVsyst	9,4	11,0	13,4	16,9	17,9	19,4	19,7	19,9	15,8	13,7	11,5	11,0
	PV*Sol	8,6	9,7	11,8	15,0	15,4	17,1	18,0	17,3	13,8	11,7	10,2	9,9
	Helioscope	9,4	11,3	14,0	17,8	19,0	21,3	23,1	22,3	18,2	14,8	12,2	11,4
	Measured	8,6	13,9	15,0	15,8	19,3	23,1	24,2	21,7	20,9	17,6	13,5	9,7
Poly-Si	PVsyst	9,3	10,9	13,2	16,6	17,6	19,0	19,2	19,3	15,5	13,4	11,4	10,9
	PV*Sol	9,4	10,0	12,1	14,9	15,3	16,8	17,6	16,8	13,8	11,8	10,7	10,6
	Helioscope	9,6	11,4	14,3	18,1	19,3	21,6	23,5	22,6	18,5	15,0	12,4	11,6
	Measured	7,8	13,0	14,0	14,7	18,0	21,1	21,7	19,5	19,0	16,3	12,6	9,3

HIT	PVsyst	11,9	14,0	17,3	22,0	23,3	25,4	25,9	26,1	20,5	17,6	14,7	13,9
	PV*Sol	12,0	13,3	16,3	20,4	21,3	23,6	24,9	23,9	19,1	16,2	14,0	13,6
	Helioscope	12,5	14,9	18,6	23,6	25,1	28,1	30,5	29,4	24,1	19,5	16,1	15,1
	Measured	11,2	18,0	19,6	20,6	24,9	30,2	32,0	29,0	28,2	23,4	18,1	12,8

*The comparisons are carried out using the data of the same year of 2017, for all the modules.

Estimation of the three-software compared to the measured values seem acceptable within some accuracy. However, Helioscope and PVsyst seem better than the other as can be observed in Table 3. In some of the months, the difference between estimations and measured values is rather high, which can be attributed to the uncommon weather condition of the specific months in the year of measurement.

For a detailed comparison Fig. 2 is presented on statistical errors. It can be observed that the software Helioscope performs better than the other two. The RMSE value reached to quite a high value of 5.14 kWh/m² for HIT with PV*Sol. Considering that the average value of the monthly yield of a 1 m² module to be around 20 kWh/m², the value of 5.14 kWh/m² for RMSE is large. It is due to the uncommon weather condition of some specific months as mentioned before. Another interesting result is that the two of the software PV*Sol and PVsyst underestimate, as can be observed from MBE values in Fig. 2.



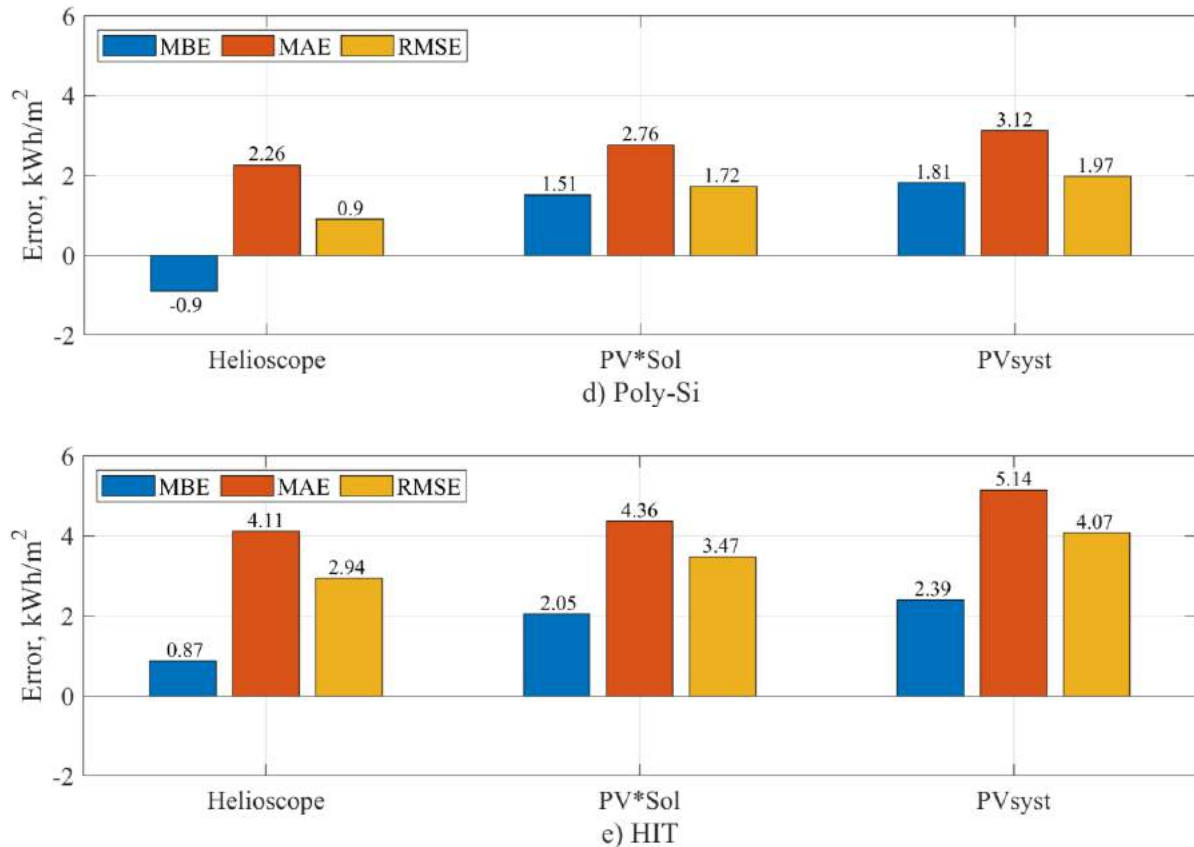


Figure 2. Results of statistical comparisons (in kWh/m²)

Conclusion

The installation of energy systems such as PV should be based on techno-economic feasibility analysis. To reach truthful feasibilities, the performance calculations of PV systems should be conducted with methodologies validated using field data. Consequently, the calculation schemes of the performance of PV modules should be carefully evaluated while the module types should be determined carefully.

In the present study, comparisons of performance predictions of PV modules are carried out using different software. They have quite differing performances. Predictions of the software depend mainly on estimating the input accurately. Although the performances are acceptable, they can further be modified. The best performing software is Helioscope, and the next is PVsyst.

Our further research plan is to extend these calculations to different types of modules commercially available. Besides, different climatic regions of the country will be considered for the techno-economic feasibility analyses that we carry out. Another future research of interest is to compare the results of software with a techno-economic feasibility algorithm that we recently developed (Abdullah Bugrahan Karaveli, 2018).

Acknowledgments

The authors acknowledge the support given by the Ministry of Development (New name: Presidency of Turkey, Presidency of Strategy and Budget) for the construction of the outdoor testing facility (Project number: BAP-08.11.2015K121200).

References

- Ceylan, O., & Tasdelen, K. (2018). Investigation of TheAccuracy of PhotovoltaicPrograms SimulationResultsfor Isparta City. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 895–903. <https://doi.org/10.5578/fmbd.67547>
- Climate Change & Infectious Diseases Group. (2019). World Maps of Köppen-Geiger climate classification. Retrieved from Climate Change & Infectious Diseases Group website: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- EIA. (2017). International Energy Outlook 2017 Overview. In *U.S. Energy Information Administration*. Retrieved from [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf)
- Guittet, D. L., & Freeman, J. M. (2018). Validation of Photovoltaic Modeling Tool HelioScope Against Measured Data. *National Renewable Energy Laboratory*, (November). Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72155.pdf>.

- IRENA. (2018). Renewable Power Generation Costs in 2017. In *International Renewable Energy Agency*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf
- Karaveli, A B, Ozden, T., & Akinoglu, B. G. (2018). Determining Photovoltaic Module Performance and Comparisons. *2018 International Conference on Photovoltaic Science and Technologies (PVCon)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PVCon.2018.8523868>
- Karaveli, Abdullah Bugrahan. (2018). Development of the Algorithm of Solar Turnkey: Solar Electricity Software for Turkey. METU, Earth System Science, Ph.D Thesis.
- Karaveli, Abdullah Bugrahan, & Akinoglu, B. G. (2018). Development of new monthly global and diffuse solar irradiation estimation methodologies and comparisons. *International Journal of Green Energy*, *15*(5), 333–346. <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1452744>
- Karaveli, Abdullah Bugrahan, Soytaş, U., & Akinoglu, B. G. (2015). Comparison of large scale solar PV (photovoltaic) and nuclear power plant investments in an emerging market. *Energy*, *84*, 656–665. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.025>
- Köppen, W. (1884). Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet (The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and of the impac. *Meteorologische Zeitschrift*, *1*, 215–226. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2011/105>
- Labouret, A., & Viloz, M. (2010). *Solar Photovoltaic Energy*. The Institution of Engineering and Technology.
- Mayer, J. N., Philipps, S., Hussein, N. S., Schlegl, T., & Senkpiel, C. (2015). Current and Future Cost of Photovoltaics. In *Agora Energiewende*. Retrieved from https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2014/Kosten-Photovoltaik-2050/AgoraEnergiewende_Current_and_Future_Cost_of_PV_Feb2015_web.pdf
- Mellit, A., Kalogirou, S. A., Hontoria, L., & Shaari, S. (2009). Artificial intelligence techniques for sizing photovoltaic systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(2), 406–419. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.01.006>
- NREL. (2019). Best Research-Cell Efficiency Chart. Retrieved from NREL website: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- Ogulgonen, G., Ozden, T., Yardim, U., Turan, R., & Kincal, S. (2015). A low cost outdoor testing facility for detailed photovoltaic device performance characterization. *Physica Status Solidi (C)*, *12*(9–11), 1267–1271. <https://doi.org/10.1002/pssc.201510110>
- Rubel, F., Brugger, K., Haslinger, K., & Auer, I. (2017). The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100. *Meteorologische Zeitschrift*, *26*(2), 115–125. <https://doi.org/10.1127/metz/2016/0816>
- Solar Power Europe. (2017). Digitalisation & Solar Task Force Report. In *Solar Power Europe*. Retrieved from https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Digitalisation_and_Solar_report_SolarPower_Europe_MEDIUM_RES.pdf
- Solar Power Europe. (2018). Global Market Outlook For Solar Power / 2018 - 2022. In *Solar Power Europe*. Retrieved from <http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Global-Market-Outlook-2018-2022.pdf>
- United Nations. (2019). Sustainable Development Goals: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>



Görev Temelli Yeni Bir Stokastik Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı Önerisi

Pelin Toktaş¹, Gülin Feryal Can^{2*}

¹ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6622-4646)

² Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7275-2012)

(İlk Geliş Tarihi 10 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.657719)

ATIF/REFERENCE: Toktaş, P. & Can, G. F. (2020). Görev Temelli Yeni Bir Stokastik Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 61-75.

Öz

Gerçek hayattaki karar problemlerinde genellikle, karar konusuyla ilgili yeterli düzeyde bilgi ve deneyime sahip sınırlı sayıda uzmanın görüşlerinden yararlanılarak sonuca ulaşılmaktadır. Çalışmada, karar verme süreçlerinde uzman sayılarının artırılmasıyla yeni görüşlerin elde edilebilmesine ve uzman değerlendirmelerindeki belirsizliğin rassallık dikkate alınarak gerçek hayata uygun bir şekilde modellenmesine imkan tanıyan yeni bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımı önerilmiştir. Bu kapsamda, farklı bakış açılarıyla alternatif sıralamalarını elde etmeyi sağlayan Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi (The Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis Method-MOORA) kapsamındaki iki farklı yöntem, sürekli düzgün dağılım kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, MOORA Oran ve MOORA Referans Noktası yaklaşımlarıdır. Sürekli düzgün dağılım, belirli bir aralıkta yer alan her bir değer için ortaya çıkma şansının eşit olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu durum, farklı uzman görüşlerinin her birine eşit şans verilmesi anlamını taşımaktadır. Buna göre, sınırlı sayıda uzmanın görüşleri kullanılarak, sürekli düzgün dağılımla rastgele sayılar üretilip; kriter ve alternatiflerin değerlendirmelerine ilişkin sonuçlar artırılabilir. Her bir farklı değerlendirme, bir uzmanı temsil etmektedir. Rastgele sayılar, mevcut uzmanların en yüksek ve en düşük değerlendirmeleri dikkate alınarak, söz konusu aralıkta üretilmiştir. Bunun sebebi ise, karar konusuna ilişkin bir ön değerlendirme elde etmektir. Bununla birlikte, önerilen yaklaşım görev temelli bir yaklaşım olup, karar vericiler alternatifleri değerlendirmeden önce ilgili alternatiflerin kullanımını gerçekleştirmektedirler. Bu kullanım esnasında, karar vericilere uygulamaya dönük farklı görevler verilmektedir. Görevlerin gerçekleştirilme etkinliği, karar vericilerin gerçek kullanıcıların ihtiyaçlarını anlamalarını sağlamakta ve farklı bir bakış açısıyla alternatifler değerlendirilebilmektedir. Çalışmada alışveriş merkezlerinin değerlendirilmesi kapsamında dikkate alınan evrensel tasarım prensipleri ve kullanıcı memnuniyeti kriterleri açısından da önerilen görev temelli ÇKKV yaklaşımı önem taşımaktadır. Geliştirilen iki farklı MOORA yaklaşımı, alışveriş merkezlerinin evrensel tasarım prensipleri ve kullanıcı memnuniyeti kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmesi için uygulanmış ve elde edilen alternatif sıralamaları tartışılmıştır. Ayrıca, söz konusu iki farklı yaklaşımın, kriterlerin önem ağırlıklarını da hesaplayabilecek şekilde geliştirilmesi de sağlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışma, önerilen yeni yaklaşım ve alışveriş merkezlerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan kriterler açısından orjinallik içermektedir.

Anahtar Kelimeler: MOORA Oran, MOORA Referans Noktası, Düzgün Dağılım.

A New Task-Based Stochastic Multi-Criteria Decision Making Approach

Abstract

In real life decision problems, the result is generally obtained by using the opinions of a limited number of experts who have sufficient knowledge and experience on the subject of the decision. In the study, a new Multi Criteria Decision Making (MCDM) approach was proposed, which enables new views to be obtained by increasing the number of experts in decision-making processes and modeling

* Sorumlu Yazar: Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7275-2012, efcan@baskent.edu.tr

uncertainty in expert evaluations in a real-life manner. In this context, two different methods, which are based on the The Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MOORA) Method, are developed using continuous uniform distribution. These approaches are MOORA Ratio and MOORA Reference Point approaches. Continuous uniform distribution was preferred because each value within a certain range had an equal chance of occurrence. This means that each expert opinion is given an equal chance. Accordingly, by using a limited number of experts' opinions, random numbers are generated with continuous uniform distribution; the results of the evaluation of criteria and alternatives can be increased. Each different assessment represents an expert. Random numbers were generated within this range, taking into account the highest and lowest assessments of current experts. The reason for this is to obtain a preliminary assessment of the decision. However, the proposed approach is a task-based approach and decision-makers make use of relevant alternatives before evaluating them. During this use, decision makers are given different practical tasks. The efficiency of performing tasks enables decision-makers to understand the needs of real users and can be evaluated from a different perspective. The task-based MCDM approach is also important in terms of universal design principles and user satisfaction criteria considered in the evaluation of shopping centers in the study. Two different MOORA approaches have been applied in order to evaluate the shopping centers considering universal design principles and user satisfaction criteria and the alternative rankings obtained have been discussed. In addition, these two different approaches were developed to calculate the importance weights of the criteria. The study involves originality in terms of the proposed new approach and the criteria considered in the evaluation of shopping centers.

Keywords: MOORA Ratio, MOORA Reference Point, Uniform Distribution.

1. Giriş

Alışveriş merkezleri, insanların her türlü ihtiyacını karşılamaya yönelik kurulmuş olan yaşam alanları olarak kabul edilmektedir. Bu alanlarda çocuklar, yaşlılar, engelliler gibi farklı özelliklere sahip birçok insan için kaliteli bir şekilde zaman geçirmeyi sağlayan birçok imkân bir arada bulunmaktadır. Bununla birlikte, içerisinde yer alan çok sayıda mağazada, toplumun farklı kesimlerinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek ürünler yer almaktadır. İnsanlar, alışveriş merkezlerinde hem ihtiyaç duydukları ürünlere ulaşabilmekte, hem eğlenebilmekte ve dinlenebilmektedirler. Bu nedenle alışveriş merkezleri, toplumun geneli ile etkileşim içerisinde olan kamusal alanlar arasındadırlar. Alışveriş merkezlerinin devamlılığı, çok sayıda kişi tarafından ziyaret edilebilmelerine bağlıdır. Bu açıdan, alan tasarımının engelli, yaşlı, çocuk, hamile ve gençlerin bir bütün olarak düşünülmesiyle yapılması önem taşımaktadır. Aksi halde, toplumun geneline hitap edemeyeceklerdir. Bu durum, perakende pazarındaki başarılarını olumsuz etkileyecek ve ekonomik mevcudiyetlerini de tehlikeye sokacaktır. Bunu önlemek için, toplumda var olan farklı özelliklerdeki bütün insanların kolaylıkla erişebileceği ve kullanabileceği alan tasarımlarına sahip olmaları gerekmektedir. Bununla birlikte, farklı engelleri olan insanların sosyal hayata kazandırılabilmesi açısından da, alan tasarımı önemli bir yere sahiptir.

Engelli insanlar, doğumla ilgili hatalar, trafik kazaları, iş kazaları veya hastalık gibi nedenlerle, normal insanların işlevlerini gerçekleştirememektedir. Zihinsel, ruhsal, duygusal veya sosyal açılardan yaşamlarını bir engelle birlikte sürdürmektedirler. Birtakım yardımcı alet ve cihazların desteğiyle gerçekleştiremedikleri işlevlerini yerine getirmeleri mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, sadece engelli bireyler değil yaşlı bireyler için de gün içerisindeki birçok aktiviteyi gerçekleştirmek zor olmaktadır. Aynı durum, çocuklar ve hamileler için de geçerlidir. Bu açıdan, toplumun bir parçası olan bu tür insanların ihtiyaçlarını da gözeterek kullanılan her türlü, alan, cihaz, eşya vb. nin tasarımı gerçekleştirilmelidir. Söz konusu çok boyutlu tasarım yaklaşımının temelleri 1980'lerin ortalarında hayat bulmaya başlayan, "evrensel tasarım", "herkes için tasarım" konseptidir. Evrensel tasarım, tüm ürünlerin ve çevrelerin, yaş, beceri ve durum farkı gözetmeksizin bütün insanlar tarafından kullanılabilmesini sağlayan bir tasarım yaklaşımıdır (Meyer ve Fourie, 2016). Evrensel tasarım, yedi prensip dikkate alınarak gerçekleştirilir. Bu prensipler, eşitlikçi kullanım (EK), kullanımda esneklik (KE), basit ve sezgisel kullanım (BSK), algılanabilir bilgi (AB), hata için tolerans (HT), düşük fiziksel güç gereksinimi (DFGG), yaklaşım ve kullanım için uygun boyut ve mekân (YKUBM)'dir (Story, 1998). EK prensibi, farklı özellikteki ve yetkinlikteki kullanıcılar için tasarımda eşit şartların sağlanması anlamını taşımaktadır. Güvenlik ve mahremiyet ile ilgili kurallar tüm kullanıcıları kapsamlı ve farklı özellikteki kullanıcılar damgalanmamalıdır. KE prensibinde tasarımın, farklı kullanım biçimlerini içerisinde barındırması hedeflenmektedir. Örneğin bir ürünün, sağ ve sol elini kullananlar için aynı derecede kolay kullanılabilir olması gibi ya da ürünün, kullanıcının farklı hızda algılamasına olanak sağlaması gibi. BSK, tasarımın kullanıcının tecrübe, bilgi, dil becerisi ve anlık odaklanma düzeyinden bağımsız olarak kolay anlaşılabilir olmasını gerektirmektedir. Ürün karmaşık bir kullanım sürecine sahip olmamalı, insan algı ve sezgilerine ters yönde işlememelidir. Ürün üzerinde yer alan simge, renk, yazı vs., farklı özellikteki insanların okuma düzeyi ve dil becerisini kapsamlı ve geri bildirim sağlayabilen bir tasarım olmalıdır. AB'de, tasarımın kullanıcı için gerekli bilgiyi etkin bir biçimde sunması beklenmektedir. Tasarım üzerindeki temel bilgiler kolaylıkla okunabilir olmalıdır. Ürünün özellikleri kullanıcının kolay anlayabileceği şekilde farklılaştırılmış olmalıdır. Ürün, özellikle duyuşal engelleri olan kullanıcılar için, uyumu sağlayacak teknikleri ya da ara yüzleri içermelidir. HT'de, tasarımın kullanım sonucu ortaya çıkabilecek tehlikeli ve kötü sonuçları en aza indirmesine dikkat edilmektedir. Buna göre, kaza ve hatalara sebep olabilecek uygulama şekilleri ve tasarım bileşenleri açık olarak belirtilmiş olmalıdır. Hataların ortaya çıkmasını engelleyen tasarım özellikleri sağlanmalıdır. DFGG kapsamında, tasarımın rahatlıkla kullanılabilir olması, kullanım sürecinde yorgunluğu en alt seviyeye indirmesi amaçlanmıştır. Ürün, kişileri zorlamayacak seviyede güç kullanarak çalıştırılabilir. YKUBM ise, kullanıcının vücut ölçüleri, duruş pozisyonu ve hareketlilik seviyesine bağlı olmadan yaklaşma, uzanabilme, elle kullanım ve genel kullanım için uygun boyut ve alanın sağlanması anlamını taşımaktadır. Ayrıca, tekerlekli sandalye, yürüme gereçleri, vb. destek araçlarının veya yardımcı olacak kişilerin hareketi için de yeterli alan sağlanmalıdır (Story, 1998).

Çalışmada, birbirine yakın lokasyonlarda konumlanan dört alışveriş merkezi, evrensel tasarım prensipleri ve kullanıcı memnuniyeti (KM) açılarından değerlendirilerek karşılaştırılmıştır. Değerlendirmede, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yapısından yararlanılmıştır. Bu yapıda, alışveriş merkezi alternatifleri, evrensel tasarım prensipleri ve KM ise kriterleri oluşturmaktadır. Bu

kapsamda, Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon (The Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis Method-MOORA) yönteminin farklı versiyonlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla, MOORA Oran, MOORA Referans Noktası yaklaşımları uygulanmıştır. Böylece, birden fazla farklı ÇKKV yaklaşımı ile alışveriş merkezleri için elde edilen sıralamaların geçerliliği de analiz edilmiştir. MOORA, Brauers ve Zavadskas (2006) tarafından geliştirilmiştir. MOORA yöntemi ve farklı versiyonlarının çalışmada tercih edilmesinin sebepleri, basit matematiksel bir işlem sürecine sahip olmaları, subjektif ağırlıklı normalleştirme yerine subjektif olmayan yönsüz değerler kullanmaları, literatürde yaygın olarak kullanılmalarıdır. Ayrıca MOORA, farklı yaklaşımları içermesi nedeniyle alternatif sıralamalarının karşılaştırılabilmesini de sağlamaktadır.

Her karar probleminde olduğu gibi, alışveriş merkezlerinin değerlendirilmesinde de uzman görüşleri alternatif sıralamalarını etkilemektedir. Gerçek hayattaki karar problemlerinde genellikle, karar konusuyla ilgili yeterli düzeyde bilgi ve deneyime sahip birkaç uzmanın görüşlerinden yararlanılarak sonuca ulaşılmaktadır. Ancak, uzmanların sayısı arttıkça, farklı görüşlere sahip uzmanların da karar sürecinde yer alabileceği bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, her bir uzman, kararı etkileyebilecek farklı bir bakış açısı ortaya koyabilir. Uzman sayısı artarsa, MOORA ile değerlendirme sürecinin performansı da artacaktır. Geleneksel MOORA'da kriterlerin ağırlıkları ve alternatiflerin sıralanması birkaç uzman tarafından gerçekleştirilir ve rassallığın beraberinde getirdiği belirsizlik özelliği dikkate alınmaz. Bununla birlikte, gerçek hayattaki karar süreçlerinde belirsizlik hakimdir. Geleneksel MOORA'da kullanılan kesin skalalar, söz konusu belirsizliği modelleyemezler. Ayrıca, MOORA kendi içerisinde bir ağırlıklandırma prosedürü de uygulamamaktadır. Kriter ağırlıkları, farklı yöntemlerden elde edilir. Buna göre çalışmada, sürekli düzgün dağılımdan yararlanılarak MOORA yöntemi geliştirilmiştir. Sürekli düzgün dağılımın kullanılmasıyla; uzmanların değerlendirmelerindeki belirsizlik modellenerek, uzman sayısına bağımlılık ta ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca, yine sürekli düzgün dağılım temelinde bir algoritma oluşturularak MOORA'da kriter ağırlıklarının da hesaplanması sağlanmıştır. Böylece, geliştirilmiş MOORA hem kriter ağırlığı hesaplayabilen hem de alternatif sıralamalarını belirleyebilen bir formata dönüştürülmüştür. Sürekli düzgün dağılım, belirli bir aralıkta yer alan her bir değer için ortaya çıkma şansının eşit olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu durum, farklı uzman görüşlerinin her birine eşit şans verilmesi anlamını taşımaktadır. Ayrıca, çalışmada kullanılan 1-5 skalası için de, ara değerler (1,2 veya 4,9 vb.) sürekli düzgün dağılım ile elde edilebilmektedir. Böylece, belirsizlik te modellenebilmektedir. Gerçek hayatta bir uzman değerlendirme yaparken örneğin; 1 ile 2 skoru arasında kararsız kalabilir. Bu belirsizlikten ötürü, rassallık meydana gelir ve kesin skalalar rassallık sonucu oluşan belirsizlikleri değerlendirmede başarısız olurlar. Buna göre, sınırlı sayıda uzmanın görüşleri kullanılarak, sürekli düzgün dağılımı rastgele sayılar üretilip; kriter ve alternatiflerin değerlendirmelerine ilişkin sonuçlar arttırılabilir. Buna göre, uzman sayısı da arttırılmış olacaktır. Her bir farklı değerlendirme, bir uzmanı temsil etmektedir. Rastgele sayılar, mevcut uzmanların en yüksek ve en düşük değerlendirmeleri dikkate alınarak, söz konusu aralıkta üretilir. Önerilen yöntem öznel olarak değerlendirmenin yapıldığı tüm karar süreçlerine uygulanabilir.

Çalışmanın kalan bölümlerinin organizasyonu ise şu şekildedir. İkinci bölümde MOORA ve evrensel tasarıma ilişkin literatür çalışmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, önerilen yaklaşımın algoritması ve uygulama süreci bir arada sunulmuştur. Dördüncü bölümde, elde edilen bulgular anlatılmış, beşinci bölümde, tartışma, altıncı bölümde ise sonuçlara değinilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Aslaksen, Bergh, Bringa ve Heggem (1997), profesyoneller ve politikacılar için evrensel tasarım uygulamaları hakkında bilgi vermeye amaçlamıştır. Vanderheiden ve Tobias (2000) kapsamlı görüşmeler ve kapsamlı bir anket uygulaması yaparak evrensel tasarıma ilişkin kilit niteliğindeki kolaylaştırma stratejilerinin etkilerinin izlenmesini sağlamıştır. Beecher ve Paquet (2005), ürünlerin, tüketicilerin bakış açılarından evrensel tasarım ilkelerine ne kadar uygun olduğunu araştırmak için kullanılabilirlik testi şeklinde bir anket geliştirmişlerdir. Afacan ve Erbug (2009), mevcut bina tasarım pratiğinin kullanılabilirliğini evrensel tasarım prensipleri açısından analiz etmek için sezgisel değerlendirmeyi kullanmışlardır. Mackelprang ve Clute (2009), evrensel erişim kavramını ve felsefesini, istihdam başarısını arttırmada bir planlama paradigması olarak tanımlamışlardır. Imrie (2012), evrensel tasarım ilkelerinin kuramsal ve kavramsal bileşenlerini tartışarak eksik yönlerini belirlemiştir. Pittman ve Heiselt (2014), evrensel tasarım ilkelerini, sezgisel değerlendirmeyi kullanarak; engelli öğrenciler için çevrimiçi öğrenme ortamında uygulamaya koymuşlardır. Steen-Hansen, Lundh ve Chen (2014), 3D baskı programlarının ara yüzlerinin kullanılabilirliğini evrensel tasarım prensiplerini dikkate alarak değerlendirmişlerdir. Swaine, Labbé, Poldma, Barile, Fichten, Havel ve Rochette (2014) alışveriş merkezlerine sosyal katılımın önündeki engeller açısından evrensel kullanılabilirliği değerlendirmişlerdir. Myerson ve West (2015), sağlık hizmeti alabilmek için yapılması gerekenleri evrensel tasarım prensipleri açısından incelemişlerdir. Liu, You, Lin ve Li (2015) ve Liu, Lee, Kascak ve Sanford (2015), evrensel tasarım prensiplerine uygun bir oylama sistemi geliştirmişlerdir. Rieh ve Lee (2016), ilköğretim okulları için iç ve dış tasarım ilkelerini, evrensel tasarım açısından karşılaştırmıştır. Yılmaz Kaya ve Dağdeviren (2016), iş güvenliği ekipmanları seçiminde evrensel tasarım ilkelerini göz önüne alan bir ÇKKV çalışması gerçekleştirmişlerdir. Mustaqim and Nyström (2017), sürdürülebilir bilgi teknolojileri sistemini evrensel tasarım ilkeleri açısından değerlendirmiştir. Mustaqim ve Nyström (2017), evrensel tasarımın bazı özelliklerinin sürdürülebilirlik için yeniden tasarım stratejisi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Meşhur ve Tekin (2018), evrensel tasarımı şehir planlama disiplini bakış açısı ile değerlendirerek, farklı bireylerin kent hayatında yaşadıkları sorunlar üzerinde durmuşlardır. Ökten (2018) tarafından, engelli kullanıcıların ihtiyaçlarına özel, üniversite kampüslerinin tasarımları üzerinde durulmuştur. Hahn, Nattapon, Dilinazi, Jiang ve Takahashi (2018), çöp bidonlarının tasarımlarını evrensel tasarım prensiplerine göre inceleyerek, farklı atıklar için insanların her bir çöp kutusu açısından psikolojik tercihlerini belirlemişlerdir. Terece (2019) tarafından, bir alışveriş merkezinin fiziki konfor ölçütlerinin evrensel tasarıma uygunluğu tespit edilmiş, fiziksel konfor bilincini etkileyen ve fiziksel konfor bilincini oluşturan faktörler belirlenmiştir.

MOORA yöntemi açısından literatür incelendiğinde ise, yöntemin farklı versiyonları kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma olduğu görülmüştür. Bu kapsamda, geçmiş dönemlerde yapılan çalışmalardan örneklere yer verilmekle birlikte ağırlıklı olarak; Türkçe ve yabancı literatürde 2018-2019 yıllarına ait çalışmalar incelenmiştir. Karande ve Chakraborty (2012), ERP yazılımı seçiminde e-ISSN: 2148-2683

Bulanık MOORA (Fuzzy MOORA-F-MOORA) yöntemini uygulamıştır. Archana ve Sujatha (2012), en iyi ağ bağlantısını seçmek için F-MOORA-Gray entegrasyonunu önermişlerdir. Vatansver ve Uluköy (2013), bir şirket için Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Fuzzy Analytic Hierarchy Process-F-AHP) ve F-MOORA yöntemlerini kullanarak ERP yazılım sistemini seçmişlerdir. Baležentis ve Baležentis (2014), MULTIMOORA ve MOORA yöntemleri için bir anket çalışması yapmıştır. MOORA ve MULTIMOORA yöntemlerinin yaygın olarak teknolojik gelişme ve ekonomik araştırmalar için mühendislik karar desteği kapsamında kullanıldığını belirlemişlerdir. Akkaya, Turanoğlu ve Öztaş (2015), endüstri mühendisliği öğrencileri ve mezunlarının sektör seçimlerini F-AHP ve F-MOORA kullanarak araştırmışlardır. Akhavan, Barak, Maghsoudlou ve Antuchevičienė (2015), Bulanık Ek Katılma Oranı Değerlendirmesi (Fuzzy Additive Ratio Assessment-ARAS-F), Bulanık Karmaşık Oransal Değerlendirme (Complex Proportional Assessment-F-COPRAS), F-MOORA ve Bulanık İdeal Çözümle Benzerliğe göre Sipariş Tercih Tekniği (Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution-F-TOPSIS) kullanarak stratejik ortak seçimi için sistematik bir yaklaşım önermişlerdir. Bu dört yöntemin sonuçlarını birleştirmek için Borda yöntemi kullanmışlardır. Zavadskas, Antuchevičienė, Razavi Hajiagha ve Hashemi (2015), aralık değerli sezgisel bulanık kümeleri ve MOORA'yı, mühendislikte grup karar verme alanında belirsizliği etkin bir şekilde modellemek için birleştirmişlerdir. Stanujkic (2016), MOORA yönteminin oran sistemi yaklaşımının aralık-değerli üçgensel bulanık sayıları kullanarak geliştirilmesini önermiştir. Ohlan (2016), sezgisel bulanık ortamlarda ÇKKV problemlerini çözmek için sezgisel bulanık üstel bir ayrıştırma ölçümünü önererek TOPSIS ve MOORA yöntemlerinin kullanılmasyla karşılaştırmalı bir çalışma yürütmüştür. Stanujkic, Zavadskas, Smarandache, Brauers and Karabasevic (2017), nötrosofik kümelerle dayanan yeni bir MULTIMOORA yöntemi geliştirmişlerdir. Atalay ve Can (2018), sezgisel bulanık AHP (Intuitionistic Fuzzy AHP-IF-AHP) ve sezgisel bulanık MOORA'yı (Intuitionistic Fuzzy MOORA-IF-MOORA) birleştiren, yeni ürün seçimi için yeni bir hibrid yaklaşım önermişlerdir. Oral, Karagöz, Tecim ve Ergül (2019) tarafından, Linux tabanlı fiziksel bir sunucu içerisinde 4 adet sanal sunucu oluşturulmuş ve her bir sunucuya aynı öğrenim yönetim sistemi kurulmuştur. Gelen istemcilerin bu 4 sanal sunucuya yönlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu yönlendirmeyi yaparken, COPRAS, MOORA ve TOPSIS yöntemlerinden yararlanan bir ara yüz inşa edilmiştir. Yönetici, bu 3 yöntemden herhangi birini seçerek dağıtım işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Karar kriterleri olarak; sunucunun bellek kullanımı, CPU kullanımı ve sunucu içerisindeki anlık kişi sayısı seçilmiştir. Önerilen bu yöntemle, anlık kullanıcı yoğunluklarının ortaya çıkardığı dezavantajlı durumlar giderilmiştir. Karayel, Atmaca, Yalçın ve Burçak (2018), savunma sanayinde yer alan bir firmanın üretim bölümündeki taşıma problemlerine çözüm üretmek ve uygun taşıma yönteminin seçimini amaçlamışlardır. Üretimi aksatan problemleri ortadan kaldırmak amacıyla öncelikle imalat ortamına özgü olarak taşımada önem arz eden kriterler (araç kapasitesi, satın alma maliyeti, taşıma hassasiyeti, araç hızı, üretim ortamına uygulanabilirlik, taşıma kolaylığı, bakım-onarım sıklığı, ergonomi olmak üzere sekiz farklı kriter) belirlenmiş ve kriterlerin önem ağırlıkları AHP ile hesaplanmıştır. Sonrasında ise, yine imalat ortamına uygun dört farklı taşıma alternatifi (el arabası, römorklu çekici tren, çatallı yük arabası ve otomatik yönlendirmeli araçlar) belirlenerek; bu alternatifler içerisinde en uygun olanın seçimi Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) ve MOORA yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Canbazoglu, Ercan ve Çetin (2018), 667 adet ticari taksi alternatifinin sıralamasını yapabilecek, android ve IOS işletim sistemine sahip, cep telefonu ve tabletlerden kolaylıkla ulaşılabilen bir karar destek sisteminin mobil uygulamasını tasarlamışlardır. Mobil uygulamada kriter ağırlıklandırma için AHP, ticari araçları sıralamak için MOORA tekniği kullanılmıştır. Bircan, Arslan, ve Eleroğlu (2018), Kayseri bölgesinde açığa çıkan hayvansal (büyükbaş ve kanatlı hayvan gübresi) ve kesimhane atıklarının değerlendirilmesi için kurulan biyogaz tesislerinin optimal uygunluk sıralamalarının yapılması amacıyla MOORA ve COPRAS yöntemlerini kullanmışlardır. Konak, Elbir, Yılmaz, Karataş, Durman ve Düzakın (2018), 2010-2015 döneminde, hisse senetleri Borsa İstanbul (BIST)'da işlem gören ve tekstil sektöründe faaliyette bulunan 23 şirketin finansal performanslarının karşılaştırılması için bu şirketlere ait mali tablolardan elde edilen veriler kapsamında belirlenen 10 kriteri esas alarak; TOPSIS ve MOORA yöntemleriyle firmaların sıralamasını elde etmişlerdir. Analiz sonucunda, tekstil sektöründe faaliyette bulunan şirketlerin performans puanlarının 2014 analiz döneminde genel olarak benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ömürbek ve Eren (2019), gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın 13 finansal oran çerçevesinde, 2005-2014 yılları arasındaki performansını PROMETHEE, MOORA ve COPRAS yöntemleri ile değerlendirmiş ve yıllara göre firmaların sıralaması her üç yönetime göre yapılarak karşılaştırılmıştır. Performans değerlendirilmesinde, cari oran, nakit oran, asit test oranı, stoklar/toplam aktif, öz kaynak/toplam aktif, borçlanma oranı, finansal kaldıraç oranı, öz kaynak karlılığı, net kar marjı, fiyat kazanç oranı, net çalışma sermayesi devir hızı, stok devir hızı ve alacak devir hızı kriterleri dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, en iyi performans yılının 2014 olduğu görülmüştür. Orhan ve Kenger (2018), Osmaniye ilinde uzun zamandır faaliyet gösteren yerel bir zincir market için işe alınacak personelin seçiminde F-AHP ve F-MOORA yöntemlerini uygulayarak; en uygun tercihi yapmaya çalışılmışlardır. Çelikbilek (2018), personel seçimi için bütünleşik Gri AHP-MOORA yaklaşımı önerisinde bulunmuştur. Gri sayıların tercih edilmesinin nedeni, kişisel yargıları temsil yeteneğindeki başarısı ve seçimler sırasında, kişisel yargılardan kaynaklı yanlılıkların minimize edilerek işlemlere dahil edilmesidir. Pérez-Domínguez (2018), Pisagor bulanık kümeleri ile MOORA yöntemini birleştirmiştir ve önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini iki farklı karar problemi üzerinde göstermiştir. Arabsheybani, Paydar ve Safaei (2018), Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Modes and Effects Analysis-FMEA) ile F-MOORA'yı, miktar indirimleri ve tedarikçinin riskini de göz önünde bulundurarak sürdürülebilir tedarikçi seçimi için birleştirmişlerdir. Chawla, Agrawal ve Singari (2019), MOORA ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak; müşteri ihtiyaçlarına göre en iyi bisikleti müşteri bakışıyla belirlemişlerdir. Erdoğan (2018), Türkiye'de faaliyet gösteren beş katılım bankasının finansal performanslarını, 2016 ve 2017 yılları aralığında, 3 aylık bilanço rasyolarını dikkate alarak MULTIMOORA Tekniği ile analiz etmiştir. Gümüş (2019), çalışmada, ulaştırma sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin finansal performanslarını, VIKOR ve MOORA yöntemleri ile analiz etmiştir. Karakaş ve Kırmızı (2019), MOORA (Oran ve Referans Noktası yaklaşımları) ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak; Kuzey Hazar Denizi'nde çalışmak amacıyla en uygun olan AHT gemisinin seçimini gerçekleştirmişlerdir. Söz konusu üç yöntemin ürettiği sonuçlar arasındaki uyum, Kendall'ın Eşleşme Katsayısı (Kendall'ın W) tarafından test edilmiştir. Kuşakçı, Ayvaz, Öztürk ve Sofu (2019), personel seçimi sürecindeki belirsizliği ve subjektifliği dikkate alarak; problemin çözümü için bulanık MULTIMOORA metodunu önermişlerdir. Havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilen bu çalışmada, İnsan kaynakları uzmanları ile yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkan veriler kullanılarak; MULTIMOORA yöntemiyle en iyi aday belirlenmeye çalışılmıştır. Bulguların

geçerliliğini test etmek ve önerilen yöntemin kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla adaylar, ayrıca bütünlük AHP-TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiş ve iki modelin aynı sonucu verdiği görülmüştür. İç (2019) tarafından, ticari bankacılıkta sıkça karşılaşılan şirketler için kredi borç verme karar verme problemlerini çözmek için MOORA ve hedef programlama entegrasyonuna dayanan çok amaçlı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Ghouschi, Yousefi ve Khazaeili (2019), FMEA tekniğinin bazı eksik yönlerinin geliştirilmesi amacıyla üç aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Birinci aşamada, FMEA, hata türlerini tanımlamak ve Risk Öncelik Numarasını (RPN) belirlemek için kullanılmıştır. İkinci aşamada, uzmanların görüşlerine dayanan Bulanık En İyi En Kötü Yöntemi (Fuzzy Best-Worst Method-FBWM) faktörlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılmıştır. Üçüncü aşamada, önceki iki aşamanın çıktıları, Z sayı teorisine dayanan Oran Analizi (Z-MOORA) ile Çok Amaçlı Optimizasyon kullanılarak hata türleri önceliklendirilmiştir. Hanifatulqolbi, Ismail, Hammad ve Al-Hooti (2019) tarafından, MOORA yönteminin kullanılmasıyla öğretmen performanslarının değerlendirilmesi için web tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Evrensel tasarım ve MOORA'ya ilişkin gerçekleştirilen çalışmalardan da görüldüğü gibi; MOORA yönteminin işleyiş prosedürüne ilişkin herhangi bir geliştirme çalışması bugüne kadar yapılmamış olup, evrensel tasarım prensipleri ve KM dikkate alınarak alışveriş merkezleri ÇKKV yaklaşımları ile değerlendirilmemiştir. Bu açılarından, yapılan çalışma literatüre katkı sağlayabilecek bir orijinalliktedir. Çalışmanın alışveriş merkezi inşalarına farklı bir bakış açısı getirerek, bu merkezlerin yöneticilerinin yapılar, kamunun hizmetine sunulduğu an itibarıyla oluşabilecek ihtiyaçları daha farklı şekilde görebilmeleri konusunda da destek sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, sürekli düzgün dağılım kullanılarak MOORA yönteminin geliştirilmesi kapsamında da herhangi bir çalışmanın bulunmadığı da belirlenmiştir. Bu açıdan da yapılan çalışma, MOORA yöntemini fonksiyonel olarak da daha güçlü bir hale getirmektedir.

3. Materyal ve Uygulama

Bu bölümde, sürekli düzgün dağılım kullanılarak geliştirilen MOORA yönteminin farklı versiyonlarına ilişkin önerilen algoritma ile ilgili algoritmanın uygulandığı, evrensel tasarım prensipleri ve KM dikkate alınarak en iyi alışveriş merkezinin belirlenmesi probleminin çözümüne yer verilmiştir.

Birinci aşama: Sürekli düzgün dağılım kullanılarak kriter önem ağırlıklarının hesaplanması

Adım 1: Kriterleri ve alternatifleri belirleyerek uzman grubunu oluştur.

Kriterler, alternatifleri sıralarken dikkate alınacak ölçütleri oluşturmaktadır ve $K_j; j = 1, \dots, J$ ile ifade edilir. Alternatifler ise, uzmanların seçim portföyünü oluşturan unsurlardır ve $A_i; i = 1, \dots, I$ olarak tanımlanırlar. Uzman grubunu, karar probleminin konusuna bağlı olarak, deneyim ve bilgi sahibi kişiler oluşturmaktadır. Söz konusu kişiler, karar vericilerdir ve bu grup $U_l; l = 1, \dots, L$ ile gösterilir.

Çalışmada, dört alışveriş merkezi evrensel tasarım prensipleri ve KM dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, karar problemi dört alternatiften $A_i; i = 1, 2, 3, 4$ ve sekiz kriterden $K_j; j = 1, \dots, 8$ oluşmaktadır. Bu kriterler, EK (K_1), KE (K_2), BSK (K_3), AB (K_4), HT (K_5), DFGG (K_6), YKUBM (K_7) ve KM (K_8)'dir. Uzman grubu ise, üç karar vericiden $U_l; l = 1, 2, 3$ meydana gelmektedir. Söz konusu uzmanlardan birincisi, 8 yıllık iş deneyimine sahip bir iç mimar, diğeri 15 yıllık iş deneyimine sahip bir inşaat mühendisi, sonuncusu ise 22 yıllık iş deneyimine sahip bir şehir planlamacıdır. Üç uzmanın da ortak özelliği, daha önce büyük alışveriş merkezi inşaatlarında çalışmış olmalarıdır. KM'yi değerlendirmek için uzmanlara, alışveriş merkezleri ile ilgili gerçekleştirebilecekleri beş farklı görev verilerek; sonrasında bu görevleri gerçekleştirirken alışveriş merkezi alan tasarımlarından ne kadar memnun kaldıklarını Tablo 2'deki skalayı kullanarak belirlemeleri istenmiştir. Uzmanlara verilen görevler aşağıda Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Uzmanlara verilen görevler

Görev Numarası	Görev Tanımı
1	Asansörü kullanarak an alt kata ininiz.
2	Arabanızı kapalı otoparka park ediniz.
3	Alışveriş merkezinin çıkış ve giriş kapılarını kullanınız.
4	Alışveriş merkezindeki bankomatları bulunuz.
5	Yürüyen merdivenleri kullanarak en üst kata çıkınız.

Dört alışveriş merkezinde de, yüzün üzerinde mağaza, otopark, çocuklar ve yetişkinler için etkinlik alanları, yemek alanı, bankalar, acil durumlar için tıbbi birimler, bebek arabaları, ödemeli telefonlar, kasalar, bebek bakım odaları, danışma masaları, kablosuz internet erişimi vs. imkanlar bulunmaktadır. Birinci alışveriş merkezi (A_1), 50.000 m^2 'lik bir alana, 150'den fazla mağazaya ve 2300 araç kapasiteli bir otoparka sahiptir. İkinci alışveriş merkezi (A_2), 75.760 m^2 'lik bir alana, 180'den fazla mağazaya ve 2600 araç kapasiteli bir otoparka sahiptir. Üçüncü alışveriş merkezi (A_3), 80.000 m^2 'lik bir alana, 230 adet mağazaya ve 1700 araç kapasiteli bir otoparka sahiptir. Dördüncü alışveriş merkezi (A_4), 25.560 m^2 'lik alana, 250 mağazaya ve 2200 araç kapasiteli bir otoparka sahiptir.

Adım 2. Kriterlerin önem düzeylerini belirle.

Her bir uzman, her bir kriteri Tablo 2’de verilen skalayı kullanarak önem düzeylerine göre değerlendirir.

Tablo 2. Değerlendirme skalası

Skor	Açıklama
1	Çok önemsiz/Hiç memnun değilim
2	Önemsiz/Memnun değilim
3	Orta derecede önemli/Orta düzeyde memnunum
4	Önemli/Memnunum
5	Çok önemli/Çok memnunum

Her bir uzmanın kriterlere ilişkin önem düzeyi değerlendirmesi x_{lj} (l . uzmanın j . kritere atadığı önem) olarak ifade edilir. Üç uzmanın kriterler için gerçekleştirdikleri değerlendirmeler Tablo 3’de sunulmaktadır.

Tablo 3. Üç uzmanın kriterlerin önem düzeylerine ilişkin değerlendirmeleri

	U_1	U_2	U_3
K_j	x_{1j}	x_{2j}	x_{3j}
K_1	5	5	3
K_2	4	3	2
K_3	5	3	4
K_4	3	2	1
K_5	4	3	2
K_6	4	2	3
K_7	5	4	2
K_8	4	1	3

Adım 3. Kriterlerin önem düzeyleri için maksimum ve minimum değerleri belirle.

Her bir kriter için bütün uzmanların yaptıkları değerlendirmeler dikkate alınarak; en yüksek önem değeri olan $(x_j)_{max}$ ve en düşük önem değeri olan $(x_j)_{min}$ belirlenir. Alışveriş merkezlerini değerlendirmek için dikkate alınan kriterlere ait $(x_j)_{max}$ ve $(x_j)_{min}$ değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Kriterlerin önem düzeylerine ilişkin $(x_j)_{min}$ ve $(x_j)_{max}$ değerleri

K_j	$(x_j)_{min}$	$(x_j)_{max}$
K_1	3	5
K_2	2	4
K_3	3	5
K_4	1	3
K_5	2	4
K_6	2	4
K_7	2	5
K_8	1	4

Adım 4. Alternatiflerin kriterlere göre performans değerlerini belirle.

Her bir uzman, her bir alternatifi, her bir kritere göre Tablo 2’de verilen skalayı kullanarak değerlendirir. Bu değerlendirmeler, y_{ij} olarak tanımlanır. Aşağıda yer alan Tablo 5’te birinci uzmanın, alternatifler için belirlediği performans değerleri yer almaktadır.

Tablo 5. Birinci uzmana ait y_{1ij} değerleri

A_i	K_j							
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
	y_{1i1}	y_{1i2}	y_{1i3}	y_{1i4}	y_{1i5}	y_{1i6}	y_{1i7}	y_{1i8}
A_1	5	3	1	3	5	3	4	1
A_2	3	2	2	5	3	3	2	2
A_3	2	5	2	4	4	2	3	4
A_4	5	2	3	3	3	3	5	3

Adım 5. Alternatiflere ait performans değerlerinin maksimum ve minimumunu belirle.

Her bir uzmanın belirlediği alternatif performans değerleri dikkate alınarak, her bir alternatif için en yüksek ve en düşük performans değerleri belirlenir. Bu değerler sırasıyla $(y_{ij})_{max}$ ve $(y_{ij})_{min}$ olarak ifade edilir. Aşağıda, Tablo 6’da alternatiflere ilişkin sırasıyla $(y_{ij})_{max}$ ve $(y_{ij})_{min}$ değerleri yer almaktadır.

Tablo 6. Her bir alternatif için en yüksek ve en düşük performans değeri

A_i	K_j															
	K_1		K_2		K_3		K_4		K_5		K_6		K_7		K_8	
	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ji})_{max}$	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ij})_{max}$	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ij})_{max}$	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ij})_{max}$	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ij})_{max}$	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ij})_{max}$	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ij})_{max}$	$(y_{ij})_{min}$	$(y_{ij})_{max}$
A_1	3	5	2	4	1	3	3	5	3	5	1	3	3	5	1	4
A_2	2	4	2	4	2	4	3	5	3	5	3	5	2	4	2	4
A_3	2	4	3	5	2	5	2	4	3	4	2	4	3	5	3	4
A_4	3	5	2	4	2	3	3	5	3	5	3	4	4	5	2	3

Adım 6. Kriterler için rastgele sayıları üret ve satır toplamı al.

Her bir kriter için $(x_j)_{min}$ ve $(x_j)_{max}$ arasında, sürekli düzgün dağılımdan 30 tane rastgele sayı üretilir. Burada, uzmanların belirledikleri en yüksek önem düzeyi ve en düşük önem düzeyi arasında kalmak şartıyla uzman sayısı 30'a çıkarılmaktadır. Tablo 7'de, bütün kriterler için üretilen rastgele sayılar ve satır toplamları yer almaktadır.

Tablo 7. Kriterler için üretilen rastgele sayılar ve satır toplamları

U_l	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	$\sum_{j=1}^8 x_{lj}$
	x_{l1}	x_{l2}	x_{l3}	x_{l4}	x_{l5}	x_{l6}	x_{l7}	x_{l8}	
U_1	4,136	3,785	4,456	2,464	2,690	3,048	4,908	1,345	26,832
U_2	4,097	2,847	4,758	2,269	2,965	2,973	2,147	1,762	23,818
U_3	3,706	2,348	4,462	2,580	2,985	3,832	3,452	2,005	25,370
U_4	4,802	2,162	4,616	2,445	2,451	2,445	4,208	2,641	25,770
U_5	4,451	2,377	3,959	1,594	3,127	2,607	2,930	2,090	23,135
U_6	4,465	2,003	4,467	2,079	3,269	3,553	2,536	1,697	24,069
U_7	4,702	3,506	3,348	1,699	3,108	3,976	4,501	3,981	28,821
U_8	4,016	2,726	3,501	1,499	3,568	2,917	2,500	3,615	24,342
U_9	4,345	2,010	3,297	1,980	2,567	3,457	4,462	3,997	26,115
U_{10}	3,451	2,991	4,655	2,191	3,145	2,877	4,048	3,712	27,070
U_{11}	3,247	2,709	3,819	2,938	3,986	2,836	4,155	1,463	25,153
U_{12}	3,616	2,154	4,212	1,826	2,236	2,102	4,822	3,402	24,370
U_{13}	4,471	2,707	4,130	2,946	3,045	2,390	4,714	2,636	27,039
U_{14}	4,934	2,031	4,888	2,188	3,637	3,359	3,969	3,405	28,411
U_{15}	4,907	2,379	3,009	2,999	2,336	2,654	2,468	3,864	24,616
U_{16}	3,734	3,602	4,061	2,498	2,329	3,700	3,222	3,613	26,759

U_{17}	3,641	3,904	4,371	2,550	2,805	2,620	4,838	2,487	27,216
U_{18}	3,187	3,312	4,593	2,334	2,626	2,805	4,969	3,243	27,069
U_{19}	4,215	2,260	4,688	2,639	2,160	2,754	2,913	2,891	24,520
U_{20}	3,347	2,722	3,645	1,144	2,551	2,875	2,038	3,779	22,101
U_{21}	3,092	2,403	4,274	2,811	2,140	2,984	4,371	1,877	23,952
U_{22}	3,094	3,440	3,943	1,073	3,659	3,504	4,329	2,598	25,640
U_{23}	4,169	3,869	4,500	2,382	3,652	3,946	2,678	1,018	26,214
U_{24}	3,112	3,550	3,004	2,063	2,925	3,394	4,332	2,277	24,657
U_{25}	3,185	2,942	3,208	1,909	2,241	2,153	2,879	3,585	22,102
U_{26}	4,292	3,841	3,186	2,393	3,184	2,258	2,886	3,555	25,595
U_{27}	4,040	3,180	3,235	2,353	3,865	2,720	2,789	2,158	24,340
U_{28}	4,480	3,667	3,630	2,662	2,091	3,602	3,160	2,960	26,252
U_{29}	3,646	2,691	3,494	2,506	2,680	2,191	3,828	2,603	23,639
U_{30}	4,286	3,708	4,783	2,745	2,861	3,726	4,762	1,809	28,680
w_j	0,156	0,115	0,158	0,089	0,114	0,118	0,143	0,108	0,156

Adım 7. Kriterler için üretilen rastgele sayıların satır normalizasyonunu yap ve kriter önem ağırlıklarını hesapla.

Sürekli düzgün dağılımdan üretilen 30 tane rastgele sayının satır normalizasyonu Eşitlik (1) kullanılarak yapılır ve kriter önem ağırlıkları hesaplanır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^J x_{ij}} \quad (1)$$

Burada;

x_{ij}^* ; l . uzmanın j . kritere ilişkin normalize önem değeridir.

Her bir kriter için x_{ij}^* değerlerinin ortalaması, Eşitlik (2)'deki gibi alınarak, kriter önem ağırlıkları w_j elde edilir. w_j değerleri Tablo 7'de gösterilmektedir.

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^I x_{ij}^*}{I}; \sum_{j=1}^J w_j = 1 \quad (2)$$

Adım 8. Alternatifler için rastgele sayıları üret ve başlangıç karar matrisini oluştur.

Her bir alternatif için $(y_{ij})_{min}$ ve $(y_{ij})_{max}$ arasında, sürekli düzgün dağılımdan, 30 tane rastgele sayı üretilir. Burada, uzmanların belirledikleri en yüksek önem düzeyi ve en düşük önem düzeyi arasında kalmak şartıyla uzman sayısı 30'a çıkarılmaktadır. 30 uzmanın, her bir alternatif için kriterler kapsamında belirledikleri performans değerlerinin ortalaması \bar{y}_{ij} alınarak, söz konusu uzmanların görüşleri birleştirilir. Tablo 8'de A_1 için, bütün kriterler dikkate alınarak üretilen rastgele sayılar ve sütun ortalamaları örnek olarak yer almaktadır. Sütun ortalamaları alternatiflerin herbir kriter için performans değerlerini göstermektedir.

Tablo 8. A_1 için üretilen rastgele sayılar ve sütun ortalamaları

U_l	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
	y_{l11}	y_{l12}	y_{l13}	y_{l14}	y_{l15}	y_{l16}	y_{l17}	y_{l18}
U_1	4,979	3,638	1,007	4,579	4,566	2,487	3,006	2,082
U_2	3,103	2,306	2,717	4,244	3,071	2,007	4,422	2,347
U_3	3,918	2,734	1,356	3,863	3,897	2,797	3,324	2,867
U_4	3,333	2,882	2,601	4,854	3,891	2,822	4,520	3,112
U_5	3,301	3,459	1,448	3,444	3,635	1,325	4,755	2,400
U_6	4,790	3,210	1,421	3,941	3,775	1,269	3,121	2,442
U_7	4,966	3,811	2,869	4,142	4,959	1,852	3,116	2,935
U_8	3,429	2,442	2,219	3,759	3,034	2,896	3,061	2,640
U_9	4,020	3,307	2,644	4,795	4,160	2,077	3,837	3,687
U_{10}	3,145	3,101	1,295	4,240	3,305	1,367	4,341	2,412
U_{11}	4,621	3,409	2,475	4,756	3,637	2,375	4,692	3,380
U_{12}	3,627	3,501	2,043	3,486	4,554	2,647	3,246	1,322
U_{13}	4,930	3,124	2,242	4,133	3,695	2,961	3,401	2,146
U_{14}	3,254	3,541	2,940	4,220	4,063	2,529	3,980	2,167
U_{15}	4,423	3,181	2,385	3,919	3,859	1,922	4,740	2,241
U_{16}	4,364	2,615	1,560	3,271	3,267	2,496	3,200	2,061
U_{17}	3,445	2,365	2,912	3,195	3,551	1,363	3,025	3,165
U_{18}	3,850	3,746	2,633	3,497	4,495	2,288	4,852	3,610
U_{19}	4,728	3,405	1,637	3,185	3,975	1,219	4,359	1,578
U_{20}	4,548	2,773	2,255	3,910	4,767	1,943	3,070	1,352
U_{21}	3,841	3,108	2,599	3,548	3,754	1,808	3,703	2,846
U_{22}	4,208	3,431	2,019	3,947	4,394	1,442	4,237	2,585
U_{23}	3,530	3,558	2,920	3,799	3,123	1,202	3,691	1,883
U_{24}	3,462	2,404	2,303	3,828	4,735	1,031	3,827	2,604
U_{25}	4,289	2,542	2,054	4,031	4,581	1,266	4,181	2,570
U_{26}	3,102	3,883	1,907	4,396	4,631	1,127	4,104	2,177
U_{27}	4,205	3,849	1,818	4,397	3,446	1,508	4,588	1,775

U_{28}	3,249	2,692	1,410	3,012	4,343	2,454	4,414	1,471
U_{29}	4,531	2,055	1,231	4,802	4,287	2,530	4,246	2,904
U_{30}	4,739	3,761	1,203	3,483	4,227	1,116	4,817	3,648
\bar{y}_{1j}	3,998	3,128	2,071	3,956	3,989	1,938	3,929	2,480

Her bir alternatif için \bar{y}_{ij} değerleri birleştirilerek başlangıç karar matrisi $[B]$ oluşturulur. Dört alışveriş merkezinin kriterlere göre performans değerlerinin bulunduğu $[B]$, Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Başlangıç karar matrisi

A_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
	\bar{y}_{i1}	\bar{y}_{i2}	\bar{y}_{i3}	\bar{y}_{i4}	\bar{y}_{i5}	\bar{y}_{i6}	\bar{y}_{i7}	\bar{y}_{i8}
A_1	3,998	3,128	2,071	3,956	3,989	1,938	3,929	2,480
A_2	2,906	2,910	2,873	4,040	3,925	4,004	3,000	3,034
A_3	2,884	3,989	3,648	3,087	3,406	2,894	4,010	3,496
A_4	3,948	3,043	2,623	4,009	4,172	3,528	4,511	2,431

Adım 9. Başlangıç karar matrisini MOORA yöntemini uygulayarak normalize et.

Başlangıç karar matrisi $[B]$, MOORA prosedürüne uygun olarak; Eşitlik (3)’ün kullanılmasıyla normalize edilir ve normalize başlangıç karar matrisi $[N]$, elde edilir. $[N]$ ’in her bir elemanı y_{ij}^* ile tanımlanır. Alışveriş merkezleri için normalize başlangıç karar matrisi Tablo 10’da sunulmaktadır.

$$y_{ij}^* = \bar{y}_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^I (\bar{y}_{ij})^2}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (3)$$

Tablo 10. Normalize başlangıç karar matrisi

A_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
	y_{i1}^*	y_{i2}^*	y_{i3}^*	y_{i4}^*	y_{i5}^*	y_{i6}^*	y_{i7}^*	y_{i8}^*
A_1	0,575	0,475	0,362	0,521	0,514	0,304	0,504	0,429
A_2	0,418	0,442	0,502	0,532	0,505	0,628	0,385	0,524
A_3	0,415	0,605	0,638	0,407	0,438	0,454	0,514	0,604
A_4	0,568	0,462	0,458	0,528	0,537	0,554	0,578	0,420

Adım 10. Ağırlıklı normalize karar matrisini oluştur.

Adım 7’de hesaplanan w_j değerleri ile y_{ij}^* değerleri çarpılarak; ağırlıklı normalize karar matrisi $[K]$ elde edilir. $[K]$ ’nın her bir elemanı y'_{ij} ile tanımlanır. Alışveriş merkezlerine ait $[K]$, Tablo 11’de verilmektedir.

Tablo 11. Ağırlıklı Normalize karar matrisi

A_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
	y'_{i1}	y'_{i2}	y'_{i3}	y'_{i4}	y'_{i5}	y'_{i6}	y'_{i7}	y'_{i8}
A_1	0,090	0,055	0,057	0,046	0,059	0,036	0,072	0,046
A_2	0,065	0,051	0,079	0,047	0,058	0,074	0,055	0,057
A_3	0,065	0,070	0,100	0,036	0,050	0,054	0,073	0,065
A_4	0,089	0,053	0,072	0,047	0,061	0,065	0,083	0,045

Adım 11. MOORA Oran, MOORA referans noktası yöntemlerini uygulayarak alternatif sıralamalarını belirle.

MOORA Oran yönteminde Eşitlik (4) kullanılarak her bir alternatifin tercih değeri, t_i^* hesaplanır ve alternatifler t_i^* değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanırlar.

$$t_i^* = w_j \sum_{j=1}^g y_{ij}^* - w_j \sum_{j=g+1}^J y_{ij}^* \quad (4)$$

Burada, $j = 1, \dots, g$ fayda türü kriterleri, $j = g + 1, \dots, J$ maliyet türü kriterleri göstermektedir. Çalışmada dikkate alınan kriterlerin hepsi fayda türü kriterler oldukları için $\sum_{j=g+1}^J y_{ij}^* = 0$ alınmıştır.

MOORA referans yönteminde, Eşitlik (5) kullanılarak her bir alternatifin tercih değeri t_i^* hesaplanır ve alternatifler t_i^* değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanırlar. Burada kriterler fayda yapılı ise, alternatifler arasında her bir kriter için belirlenen en yüksek performans değeri belirlenir. Maliyet yapılı kriterler için ise, alternatiflerin aynı kriter için aldıkları performans değerleri arasındaki en küçük değer belirlenir. Daha sonra, her bir kriter için her bir alternatifin performans değeri fayda türü bir kriterse maksimum değerden, maliyet türü bir kriter ise minimum değerden çıkarılır. Söz konusu maksimum ve minimum değerler, referans noktaları, r_{ij} olarak tanımlanır. Alternatifler t_i^* değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanırlar.

$$t_i^* = \min_j \{ \max_i (w_j |r_{ij} - y_{ij}^*|) \} \quad (5)$$

Alışveriş merkezlerinin MOORA oran ve MOORA referans yöntemlerine göre sıralamaları Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo 12. MOORA Oran ve MOORA Referans Noktası Yöntemlerine Göre Sıralama Sonuçları

A_i	t_i^*	Önem Katsayısı MOORA Oran	t_i^*	Önem Katsayısı MOORA Referans
A_1	0,460	4	9,02707E-11	4
A_2	0,486	3	1,64257E-10	3
A_3	0,513	2	2,09436E-10	2
A_4	0,515	1	2,38601E-10	1

4. Araştırma Sonuçları

Çalışmada, sürekli düzgün dağılım kullanılarak MOORA yöntemi kapsamındaki iki farklı yaklaşımın uygulanmasıyla; dört farklı alışveriş merkezi, sekiz kriterle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uzmanların alışveriş merkezleri açısından en önemli gördükleri kriterin BSK (K_3) (0,158) kriteri olduğu belirlenmiştir. En düşük önem ağırlığına sahip olan kriterin ise, AB (K_4) (0,089) kriteri olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, MOORA Oran ve MOORA Referans Noktası yaklaşımlarına göre, alışveriş merkezlerinin sıralamalarında herhangi bir farklılaşma olmamıştır. Her iki yaklaşıma göre, dördüncü alışveriş merkezi (A_4) dikkate alınan kriterler açısından en iyi alışveriş merkezi olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, birinci alışveriş merkezi (A_1), kriterler açısından en az tercih edilen alışveriş merkezi olmuştur.

5. Sonuç ve Tartışma

Çalışmada sürekli düzgün dağılım desteğiyle geliştirilen iki farklı MOORA yaklaşımında da A_4 en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, uzmanlar tarafından da mantıklı bir sonuç olarak görülmüştür. Çünkü dördüncü alışveriş merkezi diğer alternatiflere göre daha küçük ancak konum olarak daha merkezi bir yerde bulunmaktadır. Söz konusu alışveriş merkezinde, mağazalar daha organize bir şekilde yerleştirilmiştir ve asansörler ile yürüyen merdivenler arasındaki mesafeler daha kısadır. Bununla birlikte, daha fazla yürüyen merdiven ve asansöre sahiptir. Asansörler daha geniştir ve yürüyen merdivenlerde sensörler vardır. Asansörlerde işitsel ve yazılı olmak üzere iki farklı uyarı sistemi bulunmaktadır. Bütün bu özellikler, uzmanlar açısından dördüncü alışveriş merkezini en iyi alternatif yapmıştır. Alışveriş merkezinin daha küçük bir alana sahip olması kullanımını da kolaylaştıran bir etki olarak ortaya çıkmıştır. Çalışmada, en önemli kriter olarak belirlenen BSK kriterini de, söz konusu alışveriş merkezi özellikleriyle desteklemektedir.

Çalışmada, sürekli düzgün dağılımın MOORA kapsamındaki iki farklı yaklaşım için kullanılması, hem birkaç karar vericinin değerlendirmesine bağlılık durumunu ortadan kaldırmış hem de uzman değerlendirmelerindeki belirsizliğin modellenmesini de sağlamıştır. Böylece, uzmanların kesin değerli skalalara bağlı kalmadan ara değerleri de kullanabilmeleri sağlanmıştır. Uzman sayısının artırılmasıyla birlikte, karar konusuna ilişkin farklı değerlendirmeler de dikkate alınabilmiştir. Bununla birlikte, iki farklı yaklaşımın da aynı sıralama sonuçlarını vermesi, önerilen sürekli düzgün dağılım temelli MOORA yönteminin mantıklı ve stabil sonuçlar üretebildiğini de göstermektedir. Çalışmanın, alışveriş merkezlerinin tercih edilme durumlarına ilişkin dikkate aldığı kriterler ve uygulanan yöntemler açısından yeni bir bakış açısı sağladığı değerlendirilmektedir.

Gelecek dönem çalışmalarında, sürekli düzgün dağılım, farklı ÇKKV yöntemlerine uygulanabilir. Uzman değerlendirmelerine uygun olabilecek farklı dağılımlar kullanılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

Kaynakça

- Afacan, Y., & Erbug, C. (2009). An interdisciplinary heuristic evaluation method for universal building design. *Applied Ergonomics*, 40(4), 731-744.
- Akhavan, P., Barak, S., Maghsoudlou, H., & Antuchevičienė, J. (2015). FQSPM-SWOT for strategic alliance planning and partner selection; case study in a holding car manufacturer company. *Technological and Economic Development of Economy*, 21(2), 165-185.
- Akkaya, G., Turanoğlu, B., & Öztaş, S. (2015). An integrated fuzzy AHP and fuzzy MOORA approach to the problem of industrial engineering sector choosing. *Expert Systems with Applications*, 42(24), 9565-9573.
- Arabsheybani, A., Paydar, M. M., & Safaei, A. S. (2018). An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. *Journal of cleaner production*, 190, 577-591.
- Archana, M., & Sujatha, V. (2012). Application of fuzzy moora and gra in multi-criterion decision making problems. *International Journal of Computer Applications*, 53(9).
- Aslaksen, F., Bergh, S., Bringa, O. R., & Heggem, E. K. (1997). Universal design: Planning and design for all.
- Atalay, K. D., & Can, G. F. (2018). A new hybrid intuitionistic approach for new product selection. *Soft Computing*, 22(8), 2633-2640.
- Baležentis, T., & Baležentis, A. (2014). A survey on development and applications of the multi-criteria decision making method MULTIMOORA. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 21(3-4), 209-222.
- Beecher, V., & Paquet, V. (2005). Survey instrument for the universal design of consumer products. *Applied Ergonomics*, 36(3), 363-372.
- Bircan, H., Arslan, R., & Eleroğlu, H. (2018, October). MOORA ve COPRAS yöntemleriyle Kayseri ilinde kurulabilecek biyogaz tesislerinin optimallik sıralaması. In *ICPESS (International Congress on Politic, Economic and Social Studies)* (No. 5).
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35, 445-469.
- Canbazoğlu, E., Ercan, U., & Çetin, E. İ. (2018). ticari taksi araç yenilemelerinde ahs ve moora yöntemlerine dayalı karar destek mobil uygulaması. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 117-134.
- Chawla, S., Agrawal, S., & Singari, R. M. (2019). Integrated TOPSIS-MOORA Model for Prioritization of New Bike Selection. In *Advances in Engineering Design* (pp. 755-765). Springer, Singapore.
- Çelikkilek, Y. (2018). Personel Seçimi için Bütünleşik Gri AHP-MOORA Yaklaşımının Kullanılması: Sağlık Sektöründe Yönetici Seçimi Üzerine Bir Uygulama. *Alphanumeric Journal*, 6(1), 69-82.
- Erdoğan, A. (2018). Katılım Bankalarının Performans Analizlerine MULTIMOORA Yöntemi ile Bir Bakış. *Ekonomi, Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(2), 99-111.
- Ghoushchi, S. J., Yousefi, S., & Khazaeili, M. (2019). An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures. *Applied Soft Computing*, 81, 105505.
- Gümüş, U. T. (2019). bist'de işlem gören ulaştırma sektöründeki firmaların finansal performans analizleri: MOORA ve VIKOR uygulama. *TURAN-SAM*, 11(41), 275-284.
- Hahn, J., Nattapon, L., Dilinazi, D., Jiang, Q., & Takahashi, F. (2018). Potential Universal Design of Rubbish Bins for Visually Impaired People and Their Psychological Preference Analysis. In *Proceedings of the Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management The 29th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management* (p. 527). Japan Society of Material Cycles and Waste Management.

- Hanifatulqolbi, D., Ismail, I. E., Hammad, J., & Al-Hooti, M. H. (2019, April). Decision support system for considering the best teacher performance using MOORA method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1193, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Imrie, R. (2012). Universalism, universal design and equitable access to the built environment. *Disability and rehabilitation*, 34(10), 873-882.
- İç, Y. T. (2019). A Multi-Objective Credit Evaluation Model Using MOORA Method and Goal Programming. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-14.
- Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). A Fuzzy-MOORA approach for ERP system selection. *Decision Science Letters*, 1(1), 11-21.
- Karakaş, S., & Kırmızı, M. (2019). Multi-purpose TUGBOAT/AHT selection for Northern Caspian Sea with TOPSIS and MOORA methods. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 15(1), 21-38.
- Karayel, S. D., Atmaca, E., Yalçın, C., & Burçak, E. R. O. L. (2018). VIKOR ve MOORA yöntemleri ile malzeme taşıma sistemi seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 695-708.
- Konak, T., Elbir, G., Yılmaz, S., Karataş, B. M., Durman, Y., & Düzakın, H. (2018). Borsa İstanbul'da İşlem Gören Tekstil Firmalarının TOPSIS ve MOORA Yöntemi ile Analizi. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 11-44.
- Kuşakçı, A. O., Ayvaz, B., Öztürk, F., & Feyza, S. O. F. U. Bulanık MULTIMOORA İle personel seçimi: havacılık sektöründe bir uygulama. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 96-110.
- Liu, H. C., You, J. X., Lin, Q. L., & Li, H. (2015). Risk assessment in system FMEA combining fuzzy weighted average with fuzzy decision-making trial and evaluation laboratory. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(7), 701-714.
- Liu, Y. E., Lee, S. T., Kascak, L. R., & Sanford, J. A. (2015, August). The bridge connecting theory to practice-A case study of universal design process. In *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction* (pp. 64-73). Springer, Cham.
- Mackelprang, R. W., & Clute, M. A. (2009). Access for all: universal design and the employment of people with disabilities. *Journal of social work in disability & rehabilitation*, 8(3-4), 205-221.
- Meşhur, H. F. A., & Tekin, M. (2018). Evrensel Tasarım Yaklaşımının Şehir Planlama Disiplini Bakış Açısı ile Değerlendirilmesi. *Online Journal of Art and Design*, 6(5).
- Meyer, A., & Fourie, I. (2016). Make the makers' voices count: combining universal design and participatory ergonomics to create accessible makerspaces for individuals with (physical) disabilities. In *15th Eahil Conference, Spain*.
- Mustaquim, M. M., & Nyström, T. (2017). Some aspects of using universal design as a redesign strategy for sustainability. In *Advances and New Trends in Environmental Informatics* (pp. 49-60). Springer, Cham.
- Myerson, J., & West, J. (2015). Make It Better: how universal design principles can have an impact on healthcare services to improve the patient experience.
- Ohlan, A. (2016). Intuitionistic fuzzy exponential divergence: application in multi-attribute decision making. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(3), 1519-1530.
- Oral, L. O., Karagöz, E., Tecim, V., & Ergül, A. V. (2019). TOPSIS, MOORA ve COPRAS Tekniklerine Dayalı Etkin Sunucu Yönlendirme Sistemi: Mobil Uygulama.
- Organ, A., & Kenger, M. D. (2018). Bütünleşik Bulanık AHP-Bulanık MOORA Yaklaşımının Market Personeli Seçimi Problemine Uygulanması. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(ICEESS'18), 271-280.
- Ökten, G. (2018). Evrensel Tasarım İlkeleri Doğrultusunda Engelsiz Üniversite Kampüslerinin Tasarlanması ve Biçimlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü.
- Ömrübek, N., & Eren, H. (2019). PROMETHEE, MOORA ve COPRAS Yöntemleri İle Oran Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi: Bir Uygulama-Evaluation of the results of the rate analysis with PROMETHEE, MOORA and COPRAS Methods: An Application. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(16), 174-187.
- Pérez-Domínguez, L., Rodríguez-Picón, L. A., Alvarado-Iniesta, A., Luviano Cruz, D., & Xu, Z. (2018). MOORA under Pythagorean fuzzy set for multiple criteria decision making. *Complexity*.
- Pittman, C. N., & Heiselt, A. K. (2014). Increasing accessibility: Using Universal Design principles to address disability impairments in the online learning environment. *Online Journal of Distance Learning Administration*, 17(3), 1-11.
- Rieh, S. Y., & Lee, M. W. (2016). A study on the universal design in elementary school facilities-focused on analysis of design guidelines. *The Journal of Korean Institute of Educational Facilities*, 23(2), 19-29.
- Stanujkic, D. (2016). An extension of the ratio system approach of MOORA method for group decision-making based on interval-valued triangular fuzzy numbers. *Technological and Economic Development of Economy*, 22(1), 122-141.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Smarandache, F., Brauers, W. K., & Karabasevic, D. (2017). A neutrosophic extension of the MULTIMOORA method. *Informatica*, 28(1), 181-192.
- Steen-Hansen, L., Gine Lundh, M. V., & Chen, W. (2014). How universal design principles can enhance the interface of 3D printing programs. In *DS 78: Proceedings of the 16th International conference on Engineering and Product Design Education (E&PDE14), Design Education and Human Technology Relations, University of Twente, The Netherlands, 04-05.09. 2014* (pp. 123-128).
- Story, M. F. (1998). Maximizing usability: the principles of universal design. *Assistive technology*, 10(1), 4-12.
- Swaine, B., Labbé, D., Poldma, T., Barile, M., Fichten, C., Havel, A., ... & Rochette, A. (2014). Exploring the facilitators and barriers to shopping mall use by persons with disabilities and strategies for improvements: Perspectives from persons with disabilities, rehabilitation professionals and shopkeepers. *ALTER-European Journal of Disability Research/Revue Européenne de Recherche sur le Handicap*, 8(3), 217-229.

- Terece, T., & Berkin, G. (2019). Alışveriş Merkezlerinde Evrensel Tasarım ve Konfor: İstanbul'da Geniş Programlı Bir Alışveriş Merkezi Deneyimi. *FSM İlmî Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, (13), 211-236.
- Vanderheiden, G., & Tobias, J. (2000, July). Universal design of consumer products: current industry practice and perceptions. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 44, No. 32, pp. 6-19). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Yılmaz Kaya, B., & Dağdeviren, M. (2016). Selecting occupational safety equipment by MCDM approach considering universal design principles. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(2), 224-242.
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Hajiagha, R., Hossein, S., & Hashemi, S. S. (2015). The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.



İnovasyonun Çalışma Performansı Üzerine Etkisi

Hüseyin Eriş^{1*}, Feray Kabalcıoğlu²

¹ Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1685-9819)

² Harran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü (ORCID: 0000-0002-2453-8310)

(İlk Geliş Tarihi 21 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 13 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.662069)

ATIF/REFERENCE: Eriş. H., Bucak. F. K., (2020). İnovasyonun Çalışma Performansı Üzerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 76-80.

Öz

Hemşirelerde performans konusu sağlık sektörü içerisinde incelenen konuların başında gelmektedir. Son yıllarda tüm sektörlerde olduğu gibi sağlık sektöründe de inovasyon konusu incelenmekte ve inovasyon ile performans arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, hemşirelerin inovatif yaklaşımlarının çalışma performansları üzerine etkisinin olup olmadığını tespit etmektir. Araştırmanın evrenini Şanlıurfa ili Merkezde yer alan 3 hastanede çalışan yaklaşık 2.150 hemşire oluşturmaktadır. Basit tesadüfi örneklem yoluyla 0,95 güven aralığında araştırmanın örnekleme 326 olarak tespit edilmiştir. Araştırma 07.06.2019 – 22.09.2019 tarihleri arasında yapılmış ve araştırmaya 414 hemşire anket doldurarak katılmıştır. Elde edilen bulgulara göre çalışan performansının güvenilirliği, 843, inovasyon ölçeğinin güvenilirliği ise, 887 olarak tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan inovasyon ve performans ölçekleri arasındaki korelasyon katsayıları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca araştırmada tespit edilmeye çalışılan inovasyonun performans üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan standart regresyon katsayısına göre inovasyon değişkenindeki 1 birim artışın çalışan performansı değişkeninde 0,486 birim artışa neden olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hemşire, İnovasyon, Performans

The Effect of Innovation on Work Performance

Abstract

The issue of performance in nurses is one of the topics examined in the health sector. In recent years, as in all sectors, the issue of innovation in the health sector has been examined and a relationship between innovation and performance has been tried to be determined. The aim of this study is to determine whether nurses' innovative approaches have an impact on their performance. The population of the study consists of approximately 2,150 nurses working in 3 hospitals located in the center of Şanlıurfa. The sample of the study was determined as 326 in the 0.95 confidence interval by simple random sampling. The study was conducted between 07.06.2019 and 22.09.2019 and 414 nurses completed the survey. According to the findings, the reliability of the employee performance was found to be 843 and the reliability of the innovation scale was 887. The correlation coefficients between the innovation and performance scales used in the study were statistically significant. In addition, according to the standard regression coefficient made to determine the effect of innovation on performance, it is expected that 1 unit increase in innovation variable will cause 0.486 units increase in employee performance variable.

Keywords: Nurse, Innovation, Performance.

* Sorumlu yazar: Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Şanlıurfa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1685-9819, erisharran@hotmail.com

1. Giriş

Hizmet sektörü ile ilgili son yıllarda ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler birer hizmet toplumuna dönüşmüş ve hizmet ağırlıklı bir ekonomik yapı haline gelmiştir (Öztürk, 2011). Sağlık hizmetleri ise bu gelişen ve büyüyen hizmet yapısı içerisinde ayrı bir öneme sahiptir. Doğrudan insanların sağlığıyla ilgilenmesi, hastaların tedavilerinin aciliyeti veya alternatifinin olmaması, ekonomik büyüklük gibi özelliklerinden dolayı toplumun tüm kesimleri tarafından yakından takip edilmekte, hatta devlet politikalarının en önemli göstergelerinden birisi haline gelmiş bulunmaktadır.

Sağlık hizmetleri sunumu içerisinde en önemli kaynak, nitelikli insan gücüdür. Bu insan gücünün içerisinde ise hastalara doğrudan sağlık hizmeti sunan ve en çok vakit geçiren grup, hemşirelerdir. Hemşireler, haftanın 7 günü ve 24 saat kesintisiz bir şekilde sağlık kurumlarında ve hastaları için zor sorunları çözmek için çalışırlar. Hemşireler için temel amaç her zaman aynıdır: Daha iyi hasta bakımı (<https://www.nursingworld.org/globalassets/ana/innovations-roadmap-english.pdf>). Bunu sağlayabilmek için hemşirelerin iyi bir performans göstermeleri gerekmektedir. Hemşireler, daha iyi bir çalışma performansı gösterebilmek için sürekli olarak inovatif çalışmaları yakından takip ederler. Bu çalışmanın amacı, hemşirelerin inovatif yaklaşımlarının performansları üzerine etkisinin olup olmadığını tespit etmektir.

1.1. Hemşirelikte İnovasyon ve Performans

Milenyum çağında hızla gelişen teknoloji tüm sektörleri yakından etkilediği gibi sağlık sektörünü ve çalışanlarını da derinden etkilemektedir. Dünya nüfusunun yaşlanması, akut hastalıkların kronikleşmesi ve bunlara bağlı olarak tedavi yöntemlerinin hızla değişmesi, hasta bakımına ve bakımın niteliğine olan bakış açısını da değiştirmiştir. Bilgi çağında yaratıcılık ekonomisine geçişin simgesi haline gelen inovasyon, yeni yaklaşımların, teknolojinin ve çalışma şekillerinin gelişim sürecidir (Şengün, 2016). İnovasyon kelimesi Latince “Innovare” kökünden türemiş olup “yeni ve değişik bir şey yapmak” anlamına gelmektedir (Merih ve Arkadaşları, 2019). İnovasyon (yenileşim), ürünleri, hizmetleri, iş yapma şekillerini, dağıtım ve pazarlama faaliyetlerini kapsayan çok yönlü bir kavramdır (Kartal ve Kantek, 2018). İnovasyon, bilim ve teknolojinin ekonomik ve toplumsal yarar sağlayacak şekilde yenilenmesi, buluş yaratması gibi farklı şekilde tanımlanmaktadır (Dil ve Arkadaşları, 2012). Başka bir tanımda inovasyon, yenileşim, yenilik, yenileme/ yenilenme, yenilikçi gibi anlamlara gelmektedir (TDK, 2019). İnovasyon sonucunda bilim ve teknoloji ekonomik ve toplumsal yarar sağlayacak şekilde yenilenmekte, bir buluş ortaya konmakta, farklı bir durum yaşanmaktadır (Dil ve Arkadaşları, 2012). İnovasyon, yeniyi oluşturmak için eskiyi geliştirerek veya yeni bir fikir ortaya koyarak yeni ürünlerin araştırılması, bulunması, denenmesi, geliştirilmesi, izlenmesi ve benimsenmesidir (Başoğlu ve Edeer, 2017). İnovasyon sadece teknolojik yeniliği değil, bireysel, yönetsel, üretim ve pazarlama alanlarına yönelik yenilikleri de ifade etmektedir (Dil ve Arkadaşları, 2012).

Sağlık hizmetlerinde bilimsel bilginin önemi giderek artmakta ve sağlık bakım uygulamaları hızla gelişmektedir. Bu değişim ortamında hemşirelerin etkin ve istendik sonuçları yakalayabilmeleri ancak inovasyon sürecini hemşirelik hizmetlerine entegre etmeleri ile mümkün olabilmektedir (Özbey ve Başdaş, 2018). Hemşirelerde inovasyon, hasta ihtiyaçlarının karşılanması, hizmet maliyetlerinin azaltılması ve hemşirelikte verimliliğin artırılmasına yönelik yeni düşüncelerin, yöntemlerin ve metodların geliştirilmesini sağlayan uygulamaları içermektedir (Kılıçarslan, Sarioğlu, 2014; OECD, 2015; Herdman ve Yazıcı, 2009; Kartal ve Kantek, 2018). Hemşireler, sağlık hizmetleri sunumunda verimli olmak ve beklenen sonuçları elde edebilmek için yenilikleri takip etmek ve inovasyon sürecini kendi çalışma birimlerine entegre etmek zorundadırlar. Hemşirelik hizmetlerinde inovasyon sürecini takip etmek, hasta bakım maliyetlerini düşürürken, sağlık bakım hizmeti kalitesini de artırmaktadır (Merih ve Arkadaşları, 2019).

Performans, çok boyutlu bir kavram olduğundan, literatürde farklı tanımları bulunmaktadır (Aktaş ve Şimşek, 2014). Performans, İngilizce “performance” kelimesinden gelmekte ve Türkçe sözlüklerde; beceri, başarı, kapasite, yetenek gibi anlamlara gelmektedir. Performans kelimesi “bir işin yerine getiriliş düzeyi” olarak tanımlanabilir (Çankaya, 2017; Ateş ve Arkadaşları, 2007). Performans, çalışan personelin, işletmenin belirlediği hedefler doğrultusunda, yaptığı işle ilgili olarak neleri başarabildiğini sayısal ve nitelik olarak belirtilmesi olarak tanımlanmaktadır (Parmaksız ve Arkadaşları, 2018). Başka bir tanımda performans, herhangi bir görevin gereği olarak önceden belirlenen standartlara uygun davranışların gösterilmesi ve beklenen amaçlara yaklaşma derecesi olarak tanımlanabilir (Aksoy, 2001).

Sağlık hizmet sunucularının büyük çoğunluğunu oluşturan hemşirelerin mesleki bilgilerinin, hasta bakımındaki başarılarının değerlendirilmesi, gerekli durumlarda yöneticilerin hemşirelere mesleki gelişimini artıracak geri bildirimler vermesi gerekmektedir. Hemşireler sağlık kurumları için önemli bir kaynaktır ve sağlık kurumlarının performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Hee ve Arkadaşları, 2016). Hemşireler hastalarla diğer sağlık hizmeti sağlayıcılarından daha fazla zaman geçirmekte ve sunulan sağlık hizmetlerinin çıktıları, hemşirelik bakımı kalitesinden doğrudan etkilenmektedir. Böylece, hemşirelerin performansını arttırarak, hasta güvenliğinde ve kaliteli sağlık hizmeti sunumunda iyileşmeler artırılarak sağlanabilir (Delucia ve Arkadaşları, 2009). Ancak Türkiye’deki uygulamalarda hemşirelik hizmetlerine özgü olarak geliştirilen performans değerlendirme sistemleri sınırlı sayıda olduğu görülmektedir (Dost, 2016).

2. Materyal ve Metod

2.1. Araştırmanın amacı

Bu araştırmanın amacı, hemşirelerin inovasyon düşünceleri hakkındaki görüşlerinin iş doyumlarına ve performansları üzerine etkisini tespit etmektir.

2.2.Araştırmanın Evren Ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini Şanlıurfa ili Merkezde yer alan 3 hastanede çalışan yaklaşık 2.150 hemşire oluşturmaktadır. Basit tesadüfi örneklem yoluyla %95 güven aralığında araştırmanın örneklemini 326 olarak tespit edilmiştir. Araştırma 07.06.2019 – 22.09.2019 tarihleri arasında yapılmış ve araştırmaya 414 hemşire anket doldurarak katılmıştır.

2.3.Veri Toplama Araçları

Araştırmada kullanılan anket iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde hemşirelerin sosyo demografik özelliklerini belirleyebilmek için 7 soru bulunmaktadır. İkinci bölümde ise hemşirelerin inovasyon düşüncelerini tespit edebilmek için Ayşegül Sarıoğlu'nun "Bireysel Yenilikçilik Ölçeği" ile Şehitoğlu'nun (2010) doktora tezinde kullandığı "Çalışan Performansı Ölçeği" kullanılmıştır.

Araştırmada kullanılan inovasyon ve çalışan performansı ölçeklerinin güvenilirlik analizleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Araştırmada kullanılan ölçekler için güvenilirlik analizi bulguları

	Madde sayısı	Cronbach's Alpha
Çalışan performansı	7	,843
İnovasyon	18	,887

Tablo 1'de elde edilen bulgulara göre çalışan performansının güvenilirliği ,843, inovasyon ölçeğinin güvenilirliği ise ,887 olarak tespit edilmiştir. Bu verilere göre ölçeklerin güvenilirlikleri "oldukça güvenilir" olarak bulunmuştur.

2.4. Bulgular

Araştırmanın bu bölümünde, araştırmaya ait bulgular vermiştir. Tablo 2'de araştırmaya katılan hemşirelere ait sosyo demografik özellikler verilmiştir.

Tablo 2 Araştırmaya Katılan Hemşirelerin Sosyo Demografik Özellikleri

Cinsiyet	N	%	Hastanede çalışma süresi	N	%
Kadın	251	65,0	2 yıl ve daha az	274	61,9
Erkek	163	35,0	3 yıl ve daha fazla	170	38,1
Toplam	414	100,0	Toplam	414	100,0
Yaş grupları	N	%	Çalışma şekli	N	%
21 yaş ve altı	268	64,7	Sürekli Gündüz	180	40,5
25-28 yaş	146	35,3	Sürekli Gece	25	5,8
Toplam	414	100,0	Değişen Vardiya	239	53,8
Eğitim	N	%	Toplam	414	100,0
Lise	143	33,8	Haftalık çalışma süresi	N	%
Önlisans	60	14,6	40 saat	160	36,1
Lisans	199	48,4	40 Saat Üzeri	284	63,9
Y.lisans /doktora	12	3,1	Toplam	414	100,0
Toplam	414	100,0			
Meslekte Çalışma süresi	N	%			
3 yıl ve daha az	296	66,8			
4 yıl ve üstü	148	33,2			
Toplam	414	100,0			

Araştırmaya katılan hemşirelerin sosyo demografik özelliklerine bakıldığında hemşirelerin %65'i kadın, %64,7'si 21 yaş ve altı grubunda, %48,4'ü lisans mezunu, %66,8'i meslekte 3 yıl ve daha az çalışmakta, %61,9'u şu anki hastanede 2 yıl ve daha az çalışmakta, hemşirelerin %53,8'i değişen vardiyalarda çalışmakta ve %63,9'u haftalık 40 saat ve üzeri grupta çalıştıkları belirlenmiştir.

Tablo 3 Çalışan Performansı Ve İnovasyon Arasındaki Korelasyon Katsayıları

		Çalışan performansı	İnovasyon
Çalışan performansı	Korelasyon kat.	1,000	,486
	p		,000
İnovasyon	Korelasyon kat.	,486	1,000
	p	,000	

Araştırmada kullanılan ölçekler aralarındaki ilişkiler için korelasyon katsayıları Tablo 3’de verilmiştir. Çalışan performansı ve inovasyon arasındaki korelasyon katsayıları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bütün katsayıların pozitif olması bu ölçekler arasında olumlu (pozitif) yönde ilişki olduğu şeklinde yorumlanır. Yani değişkenlerden herhangi birisinde artma olduğunda diğer değişkenlerde de artma olması beklenir.

Tablo 4 İnovasyonun Performans Üzerindeki Etkisi İçin Regresyon Analizi Bulguları

	Regresyon katsayıları	Standard regresyon katsayıları	t	p
Sabit	1,647		10,237	0,000
İnovasyon	0,607	0,486	13,249	0,000
R	R kare	Düzeltilmiş R kare	F	p
,486 ^a	0,236	0,235	175,536	0,000

Açıklayıcı değişken (bağımsız değişken) İnovasyon, açıklanan değişken (bağımlı değişken) çalışan performansı alınarak oluşturulan doğrusal regresyon modelinin bulguları Tablo 4’de verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca modelin belirleme katsayısı (düzeltilmiş) 0,235 olarak hesaplanmıştır. Buna göre çalışan performansındaki değişkenindeki değişkenliğin %23,5’i doğrusal regresyon modeli aracılığıyla inovasyon değişkeni tarafından açıklanmaktadır. Regresyon modelinin katsayılarının anlamlılığı için yapılan student-t testine göre her iki katsayı da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Standart regresyon katsayısına göre inovasyon değişkenindeki 1 birim artışın çalışan performansı değişkeninde 0,486 birim artışa neden olması beklenir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sağlık hizmetlerinde önemli bir insan gücü kaynağı olan hemşireler, çalışma performansları ile sağlık kurumlarının performanslarını doğrudan etkilemektedirler. Hemşirelerin çalışma performanslarını etkileyen değişkenlerden birisinin de inovasyon olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, hemşirelerin inovatif yaklaşımlarının, çalışma performansları üzerine etkisinin olup olmadığını tespit etmek amacıyla bu araştırma yapılmıştır. Araştırmaya 414 hemşire dahil edilmiştir. Araştırmada kullanılan ölçeklerin güvenilirlikleri yüksek tespit edilmiştir. İnovasyon ve performans arasındaki korelasyon katsayıları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Araştırmada inovasyonun hemşirelerin çalışma performansı üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılan standart regresyon katsayısına göre inovasyon değişkenindeki 1 birim artışın çalışan performansı değişkeninde 0,486 birim artışa neden olması beklenmektedir. Yani hemşirelerin inovasyon konusunda kendilerini geliştirmeleri, hemşirelerin sağlık kurumlarındaki çalışma performansları üzerinde %50 gibi yüksek bir artışa sebep olacaktır.

Literatür taramalarında hemşirelerin inovatif yaklaşımlarının iş performansı üzerine yapılmış sınırlı sayıda araştırmaya rastlanılmıştır. Chang ve Liu (2008) tarafından hemşireler üzerinde yapılan bir araştırmada, inovatif davranışların iş performansı üzerinde olumlu fakat küçük bir oranda etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Awan ve Javed tarafından (2015) temizlik ürünleri satışı gerçekleştirilen bir firmada yapılan araştırmada benzer sonuçlar elde edilmiş ve inovasyonun çalışma performansı üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Osman ve arkadaşları tarafından (2016) yapılan araştırmada da inovasyonun çalışma performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir.

Literatür taramalarında hemşireler ile ilgili inovasyon ve iş performans çalışmaları genelde ayrı ayrı yapıldığı görülmektedir (Platis ve Arkadaşları, 2015; Clement ve Arkadaşları, 2011; Kemer ve Altuntaş, 2017; Dost, 2016; Şengün, 2016; Başoğlu ve Edeer, 2017; Merih ve Arkadaşları, 2019; Herdmen ve Yazısı, 2009; Kanter, 2006; Özbey ve Baydaş, 2018). Hemşirelerin motivasyon ile çalışma performansı (Hee ve Arkadaşları, 2016) veya hemşirelerin inovasyon konusundaki görüşlerini etkileyen faktörlere yönelik (Sönmez ve Yıldırım, 2014) araştırmalar yapılmıştır. Türkiye’de, hemşirelerde inovasyon ile performans arasındaki ilişkiyi tespit etmeye yönelik yapılan herhangi bir araştırmaya rastlanılmamıştır.

Bu araştırma hemşirelikte inovasyonunun çalışma performansı üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla yapılmış öncü çalışmalardan biridir. Hemşirelerin inovatif düşünme ve inovatif uygulamaları hayata geçirmeleri, hemşirelerin çalışma performansı üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Hemşirelerin çalışma performanslarının, sağlık kurumunun performansını, yani sağlık hizmeti kalitesinin yüksek olmasını doğrudan etkilediği unutulmamalıdır. Bu konuda, hemşirelerin kendilerini inovasyon konusunda geliştirme çabalarının yanısıra özellikle sağlık kurumlarındaki yöneticilerin üzerine önemli görevler düşmektedir.

- Hemşirelere, inovasyona yönelik eğitimlerin verilmesi, gerekli durumlarda kurum dışından profesyonel eğitimler sağlanmalı, hemşirelerin düzenlenen bilimsel kongre, toplantılara katılmaları teşvik edilmelidir.
- Hemşirelerde inovasyon düşüncesinin geliştirilmesi ve hayata geçirilebilmesi için hemşirelerin yenilikçi düşüncelerini destekleyen ve ödüllendiren kurum kültürü oluşturulmalıdır.
- Hemşirelerin inovasyon konusundaki düşüncelerinin desteklenmesi, motivasyonlarının artırılması ve geliştirdikleri ürün ya da hizmeti rahatça sunabilmesi için olanakların tanınması ve geliştirilmesi gerekmektedir.
- İnovasyon çalışmaları konusunda ödüllendirme yapılmalı.

Kaynakça

- Aksoy, B. (2001), "Hastanelerde Hekim Performansının Değerlendirilmesi", Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara
- Aktaş, H., Şimşek, E., (2014) Örgütsel Sessizlik İle Algılanan Bireysel Performans, Örgüt Kültürü ve Demografik Değişkenler Arasındaki Etkileşim, Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi (28), 24 - 52
- Ateş, H., Kırılmaz, H. ve Aydın, S. (2007), "Sağlık Sektöründe Performans Yönetimi Türkiye Örneği", (1. Basım), Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Awan. A. G., Javed. A. (2015) Impact of Innovation on the Performance of Employees, Industrial Engineering Letters, Vol.5, No.12 <https://pdfs.semanticscholar.org/99cd/67e9765060552c7d56c001dfe1dfecda6d8b.pdf>
- Ayşegül Sarioğlu (2014) "Bireysel Yenilikçilik Ölçeğinin Hemşirelikte Geçerlik Ve Güvenirliği" Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Başoğlu. M., Edeer. E.D. (2017) X ve Y Kuşağındaki Hemşirelerin ve Hemşirelik Öğrencilerinin Bireysel Yenilikçilik Farkındalıklarının Karşılaştırılması, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, GÜSBD; 6(4): 77-84
- Chan. L.C., Liu. C., (2008) Employee Empowerment, Innovative Behavior And Job Productivity Of Public Health Nurses: A Cross-Sectional Questionnaire Survey, International Journal of Nursing Studies Volume 45, Issue 10, October, Pages 1442-1448
- Clement O-Brien K, Polit FD, Fitzpatrick JJ. (2011) Innovativeness of nurse leaders. Journal of Nursing Management, 19:431-438
- Çankaya. M., (2017) Hastane Çalışanlarının Performansa Dayalı Ek Ödeme Sistemine İlişkin Görüşleri Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Ve Araştırma Hastanesi'nde Bir Araştırma, Sağlık Akademisyenleri Dergisi, Cilt 4. Sayı 4. DOI: 10.5455/sad.13-1505661548
- Delucia PR, Ott TE, (2009) Palmieri PA. Performance in nursing. Rev Hum Fact Ergono 5(1):1-40
- Dil S, Uzun M, Aykanat B. Hemşirelik eğitiminde inovasyon. International Journal of Human Sciences, 9: 1217-1228.
- Dost. A., (2016) Hemşirelik Hizmetleri Yönetiminde Performans Değerlemenin Önemi, ÇKÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Cilt: 7, Sayı:2, 228-238
- Hee. O. C., Kamaludin. H. H., Ping. L. L., (2016) Motivation and Job Performance among Nurses in the Health Tourism Hospital in Malaysia, International Review of Management and Marketing, 6-4, 668-672
- Herdman, AE. Yazıcı, KÖ. Hemşirelik ve Yenilikçilik. Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi. 6:2-4 http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&view=bts&kategori=veritbn&kelim_esec=170144 <https://www.nursingworld.org/globalassets/ana/innovations-roadmap-english.pdf> 16.12.2019
- International Council of Nurses. Delivering quality, serving communities: nurses leading care innovations. <http://www.icn.ch/publications/2009>. 29 Nisan 2013
- Kanter. R.M. (2006) Innovation the classic traps. Harvard Business Review,11:1-13
- Kartal. H., Kantek. F., (2018) Hemşirelikte İnovasyon Örnekleri, Sağlık ve Hemşirelik Yönetim Dergisi, Sayı 1, Cilt 5
- Kemer. A. S., Altuntaş. S., (2017) Bireysel Yenilikçilik Ölçeği'nin Hemşireliğe Uyarlanması: Türkçe Geçerlik - Güvenirlik Çalışması, Hemşirelikte Eğitim Ve Araştırma Dergisi 14 (1): 52-61, doi:10.5222/HEAD.2017.052
- Kılıçarslan, M., (2017) Innovaiton in Health Sector, Studies on Balkan and Near Eastern Social Sciences, (ed. Rasim Yılmaz), Volume 2, 95-105. Friedberg ISBN 978-3-631-74727-8, DOI 10.3726/b13866
- Merih. Y. D., Alioğulları. A., Kocabey. M.Y., Gülşen. Ç., Sezer. A. (2019) Hemşirelikte İnovasyon Kültürü Oluşturma; Bir Başarı Öyküsü, ZEYNEP KAMİL TIP BÜLTENİ;50(3):175-181
- OECD (2015) Thr Innovation Imperative: Contrubiting to productivity, Growth and Well-Being https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/the-innovation-imperative_9789264239814-en#page1 16.12.2019
- Osman. S., Shariff. S.H., Lajin. M.N.A., (2016) Does Innovation Contribute To Employee Performance? Procedia-Social and Behavioral Sciences, 219, 571-579 doi: 10.1016/j.sbspro.2016.05.036
- Özbey. H., Başdaş. Ö., (2018) Hemşirelikte İnovasyon Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi Cilt 5 Sayı 1 (2018)
- Öztürk. S. A. (2011) Hizmet Pazarlaması, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa
- Platis C., Reklitis. P., Zimeras. S. (2015) Relation Between Job Satisfaction And Job Performance İn Healthcare Services, Procedia - Social and Behavioral Sciences 175 (2015) 480 – 487 doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.1226
- Sarioğlu, A., (2014) "Bireysel Yenilikçilik Ölçeğinin Hemşirelikte Geçerlik ve Güvenirliği" Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Şehitoğlu. Y. (2010) Örgütsel Sessizlik Örgütsel Vatandaşlık Davranışı ve Algılanan Çalışan Performansı İlişkisi, T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi
- Şengün. H., (2016) Sağlık Hizmetleri Sunumunda İnovasyon, Med Bull Haseki ;54:194-8, DOI: 10.4274/haseki.3057
- Uzkurt C. Pazarlamada Değer Yaratma Aracı Olarak Yenilik Yönetimi ve Yenilikçi Örgüt Kültürü, İstanbul, Beta Yayınları, 2008: 17-20



Yenilenebilir Enerji Üretim Birimleri İçeren Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Yüklü Sistem Arama Algoritması ile Çözümü

Serdar Özyön^{1*}

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4469-3908)

(İlk Geliş Tarihi 2 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.669543)

ATIF/REFERENCE: Özyön, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Üretim Birimleri İçeren Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Yüklü Sistem Arama Algoritması ile Çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 81-90.

Öz

Elektrik mühendisliği için çözümü büyük bir öneme sahip ve literatürde birçok çalışmada ele alınan çevresel-ekonomik güç dağıtım problemi, sistem tarafından talep edilen gücü, sistem kısıtları altında en düşük yakıt maliyeti ve emisyon miktarı ile karşılamak olarak tanımlanır. Elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için genellikle tükenbilir fosil kaynaklı yakıtların kullanılması hem yakıt maliyetini hem de çevreye salınan emisyon miktarlarını ciddi oranda artırmaktadır. Bu maliyet ve emisyon değerlerini azaltmanın diğer bir yolu da elektrik enerjisi üretimi için yakıt maliyeti ve emisyon miktarı sıfır olan yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemlerden en önemli ikisi rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemleridir. Günümüzde rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemlerinin kullanımı giderek artsa da bu sistemler birçok uygulamada yerel yükü beslemektedir. Bu çalışmada termik üretim birimleri bulunan bir güç sistemine, rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimleri eklenerek sistemin aynı yük talebi için maliyet, emisyon ve iletim hattı kayıpları hesaplanmıştır. Çalışmada çevresel-ekonomik güç dağıtım probleminin optimizasyonu yüklü sistem arama (CSS) algoritmasıyla yapılmıştır. Örnek sistem olarak belirlenen IEEE 30-bara 6-generatörlü güç sistemi, CSS algoritması ile iki kez çözülmüştür. İlk çözümde sistemdeki güç talebi sadece termik üretim birimleri tarafından karşılanırken, ikinci çözümde ise sistemdeki iki yük barasına, o baralardaki yükü besleyecek rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimi eklenmiştir. Problemin çözümünde birbirinden farklı birimdeki hem yakıt maliyeti hem de emisyon miktarının aynı anda minimizasyonu yer aldığından, bu iki amaç ağırlıklı toplam metodu ile tek bir amaç fonksiyonunda birleştirilmiştir. Örnek güç sisteminin iletim hattı kayıpları B-kayıp matrisleri kullanılarak yaklaşık hesaplanmıştır. Her iki çözüm içinde bulunan maliyet değerleri, emisyon miktarları ve iletim hattı kayıpları karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel-ekonomik güç dağıtım, Yenilenebilir enerji üretim sistemleri, Yakıt maliyeti, Emisyon miktarı, Yüklü sistem arama (CSS) algoritması.

The Solution of Environmental-Economic Power Dispatch Problem Including Renewable Power Generation Units with Charged System Search Algorithm

Abstract

Environmental-economic power dispatch problem the solution of which has a great importance for electrical engineering and which is handled in many studies in literature, is defined as the meeting of the demanded power by the system, with the lowest fuel cost and emission amount under the system constraints. The use of exhaustible fossil-based fuels in order to meet the electrical power need

* Sorumlu Yazar: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye. ORCID: 0000-0002-4469-3908, serdar.ozyon@dpu.edu.tr

increases both the fuel cost and the emission amount spread to the environment seriously. Another way to decrease these cost and emission values is the use of renewable power generation systems for power generation, the fuel cost and the emission amount of which is zero. The most important two of these systems are wind and solar power generation systems. Today, although the use of wind and solar power generation systems increases, these systems feed the local load in many applications. In this study, by adding wind and solar power generation units to a power system having thermal generation units, the cost, emission and transmission line losses of the system for the same load demand have been calculated. In the study, the optimization of environmental-economic power dispatch problem has been done with charged system search (CSS) algorithm. IEEE 30-bus 6-generator power system, which was defined as the sample system, has been solved with CSS algorithm twice. While the power need in the system has been only met by the thermal generation units in the first solution, in the second solution, wind and solar power generation unit has been added to the two load buses feeding the load in these buses. In the solution of the problem since the minimization of both the fuel cost and the emission amount in different units from each other, takes place at the same time, these two aims have been united in one purpose function with weighted sum method. The transmission line losses of the sample system have been calculated approximately by using B-loss matrices. The cost values, emission amounts and transmission line losses found for both solutions have been compared and the results have been discussed.

Keywords: Environmental-economic power dispatch, Renewable power generation systems, Fuel cost, Emission amount, Charged system search (CSS) algorithm.

1. Giriş

Elektrik mühendisliği alanında çözülmesi gereken önemli problemlerden biri de çevresel-ekonomik güç dağıtım problemi. Ekonomik güç dağıtım, sistem kısıtları altında minimum maliyetle talep edilen gücün üretim birimleri tarafından karşılanması olarak tanımlanır. Termik üretim birimleri tarafından çevreye salınan zararlı gazların minimizasyonu da probleme eklendiğinde ise problem çevresel-ekonomik güç dağıtım olarak isimlendirilir. Tanımlanan problem çok amaçlı, kısıtlı ve karmaşık yapıdadır. Bu tür problemlerin nümerik yöntemlerle çözümü zor ya da uzun süreler almaktadır. Çevresel-ekonomik güç dağıtımının ana fikri, yakıt maliyeti daha ucuz ve emisyon salınımı daha olan üretim birimlerini, enerji üretiminde daha fazla kullanmaktır [Özyön ve ark. 2015; Basu, 2015].

Son yıllarda bu tür problemlerin çözümünde sıklıkla sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Farklı yapıda ve değişik kısıtlar altında çevresel/ekonomik güç dağıtım problemleri literatürde birçok optimizasyon algoritması ile çözülmüştür. Bunlardan bazıları genetik algoritma [Özyön ve ark. 2015], evrimsel algoritma [Zhu ve ark. 2014], nokta kestirim metodu [Abarghooee ve ark. 2012], hibrid çiçek tozlaşma algoritması [Dubey ve ark. 2015], parçacık sürü optimizasyonu [Jiang ve ark. 2015], yapay arı koloni algoritması [Jadhav ve Roy, 2013], güve sürüsü algoritması [Jevtic ve ark. 2017] ve diferansiyel gelişim algoritması [Bhattacharya ve Chattopadhyay, 2011] olarak sıralanabilir.

Güç üretiminde termik yakıt kullanan üretim birimlerinin artması hem yakıt maliyetlerini hem de emisyon miktarlarını artırmaktadır. Bu değerlerin azaltılması için güç sistemlerinde yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin (YEÜS) kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. YEÜS'ler yakıt maliyetleri ve emisyonları olmayan enerji üretim birimleridir. Yaygın olarak kullanılan ve teknolojik olarak gelişimleri hızla ilerleyen rüzgâr enerji santralleri ve güneş enerji santralleri başlıca yenilenebilir enerji üretim sistemleri olarak sayılabilir.

Yapılan çalışmada termik üretim birimleri bulunan bir güç sistemine, rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimleri eklenerek sistemin aynı yük talebi için maliyet, emisyon ve iletim hattı kayıpları hesaplanmıştır. Çalışmada çevresel-ekonomik güç dağıtım probleminin optimizasyonu yüklü sistem arama (CSS) algoritmasıyla yapılmıştır. Örnek sistem olarak belirlenen IEEE 30-bara 6-generatörlü güç sistemi, CSS algoritması ile iki kez çözülmüştür. İlk çözümde sistemdeki güç talebi sadece termik üretim birimleri tarafından karşılanırken, ikinci çözümde ise sistemdeki iki yük barasına, o baralardaki yükü besleyecek rüzgâr ve güneş enerjisi üretim birimi eklenmiştir. Problemin çözümünde birbirinden farklı birimdeki hem yakıt maliyeti hem de emisyon miktarının aynı anda minimizasyonu yer aldığından, bu iki amaç ağırlıklı toplam metodu ile tek bir amaç fonksiyonunda birleştirilmiştir. Örnek güç sisteminin iletim hattı kayıpları B-kayıp matrisleri kullanılarak yaklaşık hesaplanmıştır. Her iki çözüm içinde bulunan maliyet değerleri, emisyon miktarları ve iletim hattı kayıpları karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

2. Yüklü Sistem Arama Algoritması (CSS)

Yüklü sistem arama adı verilen yeni bir meta-sezgisel algoritma türü Kaveh ve Talatahari tarafından ortaya konulmuştur. Yüklü sistem arama (CSS) algoritmasının temeli Newton hareket kanunları ve elektrik fiziğinden Coulomb ve Gauss kanunlarına dayalıdır. Bu algoritmada her ajan yüklü bir parçacıktır (CP). Her CP, Coulomb ve Gauss kanunlarına göre diğer yüklü parçacıklar üzerine elektrik gücü uygulayan yüklü bir küre olarak düşünülür. Sonuç olarak ortaya çıkan güçler ve hareket kanunları yüklü parçacıkların (CPs) yeni konumlarını belirler. Birinci iterasyondaki yüklü parçacıkların yeni konumları rastgele belirlenir ve sonraki iterasyonlar için yeni konum ve hız vektörleri aşağıdaki gibi elde edilir [Kaveh ve Talatahari, 2010; Özyön ve ark. 2012; Tabrizian ve ark. 2014].

$$X_{j,yeni} = rand_{j,1} \cdot k_a \cdot \frac{F_j}{m_j} \cdot \Delta t^2 + rand_{j,2} \cdot k_v \cdot V_{j,eski} \cdot \Delta t + X_{j,eski} \quad (1)$$

$$V_{j,yeni} = \frac{X_{j,yeni} - X_{j,eski}}{\Delta t} \quad (2)$$

Burada k_a ve k_v sırasıyla ivme ve hız katsayıları, $rand_{j,1}$ ve $rand_{j,2}$ (0,1), aralığında uniform yayılmış iki rastgele sayıdır. j . CP için ortaya çıkan güç vektörleri F_j , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_j = q_j \sum_{i,i \neq j} \left(\frac{q_i}{a^3} r_{ij} i_1 + \frac{q_i}{r_{ij}^2} i_2 \right) p_{ij} (X_i - X_j) \begin{cases} j = 1, 2, \dots, N \\ i_1 = 1, i_2 = 0 \Leftrightarrow r_{ij} < a \\ i_1 = 0, i_2 = 1 \Leftrightarrow r_{ij} > a \end{cases} \quad (3)$$

Burada her bir CP için yükün büyüklüğü q_i , ve a değeri aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$q_i = \frac{fit(i) - fit_{worst}}{fit_{best} - fit_{worst}}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$a = 0,10x \max(\{x_{i,max} - x_{i,min} \mid i = 1, 2, \dots, n\}) \quad (5)$$

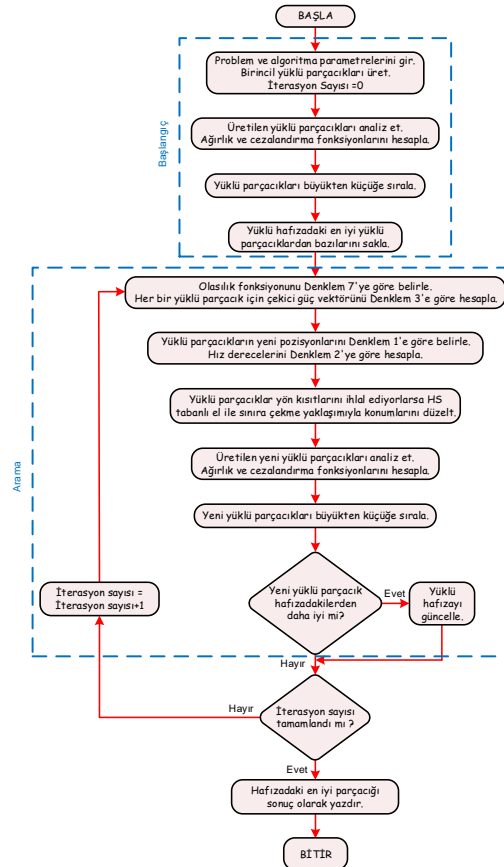
Burada fit_{best} ve fit_{worst} bütün CP'lerin en iyi ve en kötü uygunluğudur. $fit(i)$ ajan i 'nin uygunluğu, ve N ise yüklü parçacıkların toplam sayısıdır. İki CP arasındaki ayrılma mesafesi r_{ij} , aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{\|X_i - X_j\|}{\|(X_i - X_j) / 2 - X_{eniye}\| + \varepsilon} \quad (6)$$

Burada X_i ve X_j , i . ve j . CP'lerin konumlarıdır, X_{eniye} en iyi şimdiki CP'nin konumudur ve ε küçük pozitif bir rakamdır. Her bir CP'yi diğer CP'lere doğru hareket ettirme olasılığı aşağıdaki denklemi kullanarak belirlenir.

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \frac{fit(i) - fit_{best}}{fit(j) - fit(i)} > rand \vee fit(j) > fit(i) \\ 0, & \text{değilse} \end{cases} \quad (7)$$

CP'lerin yeni konumlarının belirlenmesinden sonra, çözüm vektörünün herhangi bir parçası izin verilen sınırlardan saparsa, elle düzeltme yaklaşımı kullanılarak düzeltilir. Yüklü hafıza (CM) son iterasyona kadar bir dizi en iyi çözümü saklamak için kullanılır. Daha iyi yeni çözümler CM'ye dahil edilir ve en kötüler CM'den çıkarılır. CSS algoritmasının akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir [Kaveh ve Talatahari, 2010; Özyön ve ark. 2012; Tabrizian ve ark. 2014].



Şekil 1. CSS algoritmasının akış diyagramı

3. Çevresel-Ekonomik Güç Dağıtımı

Sistemin kısıtları altında, ağırlıklı toplam metoduyla (ATM) birleştirilmiş amaç fonksiyonunun (toplam termik yakıt maliyeti ve toplam NO_x emisyon miktarı) minimize edilmesi çevresel-ekonomik güç dağıtım problemi olarak tanımlanır. Üretim birimlerine ait konveks yakıt maliyet fonksiyonu denklem (8)'de verilmiştir [Jevtis ve ark. 2017; Özyön ve ark. 2012].

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2, \quad (\$/h) \quad (8)$$

Denklemden $F_i(P_i)$, i . üretim biriminin yakıt maliyet fonksiyonunu, a_i , b_i ve c_i i . üretim biriminin maliyet fonksiyonu katsayılarını, P_i ise i . üretim biriminin çıkış gücünü göstermektedir ve birimi MW olarak alınmaktadır. Her bir termik üretim birimi tarafından çevreye salınan NO_x emisyon miktarı, üretim birimi tarafından üretilen aktif güç cinsinden denklem (9)'da tanımlanmıştır.

$$E_i(P_i) = d_i + e_i P_i + f_i P_i^2 + g_i \exp(h_i P_i), \quad (ton/h) \quad (9)$$

Denklemden yer alan $E_i(P_i)$, i . üretim biriminin NO_x emisyon miktarı fonksiyonunu, d_i , e_i , f_i , g_i ve h_i i . üretim biriminin emisyon fonksiyonu katsayılarını göstermektedir. Kayıplı bir güç sistemindeki, güç eşitlik kısıtı denklem (3)'de verilmiştir.

$$\sum_{i \in N_G} P_i - P_{yük} - P_{kayıp} = 0 \quad (10)$$

Denklemden $P_{yük}$ sistemin talep ettiği yük miktarını, $P_{kayıp}$ ise iletim hattı kayıplarını göstermektedir. Termik üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri denklem (11)'de gösterilmiştir.

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad (i \in N_G) \quad (11)$$

Denklemden N_G sistemdeki tüm termik üretim birimlerin kümesini temsil etmektedir. Sistemin iletim hatlarında meydana gelen güç kayıpları ($P_{kayıp}$), yaklaşık olarak B kayıp matrisleri kullanılarak denklem (12) ile hesaplanmıştır.

$$P_{kayıp} = \sum_{i \in N_G} \sum_{j \in N_G} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i \in N_G} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (12)$$

Çevresel-ekonomik güç dağıtım probleminde birbirinden bağımsız iki amaç vardır. Bu amaçlar ATM ile birleştirilmiş ve minimize edilecek amaç fonksiyonu AF , denklem (13)'de verilmiştir [Jevtis ve ark. 2017; Özyön ve ark. 2012].

$$AF = w \sum_{i \in N_G} F_i(P_i) + (1-w) \gamma \sum_{i \in N_G} E_i(P_i) \quad (13)$$

Denklemden γ , iki amaç arasındaki dengeyi sağlamak için kullanılan ölçekleme faktörünü, w ise $0 \leq w \leq 1$ aralığında $0,1$ aralıklı değişen ağırlık faktörünü göstermektedir. Burada $w=1,0$ değeri sadece termik yakıt maliyetinin, $w=0,0$ değeri ise sadece NO_x emisyon miktarının minimize edilmesine karşılık gelmektedir. Sistemdeki toplam termik yakıt maliyeti $F_T(P_i)$ ve toplam NO_x emisyon miktarı $E_T(P_i)$ sırasıyla denklem (14) ve (15) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_T(P_i) = \sum_{i \in N_G} F_i(P_i), \quad (\$/h) \quad (14)$$

$$E_T(P_i) = \sum_{i \in N_G} E_i(P_i), \quad (ton/h) \quad (15)$$

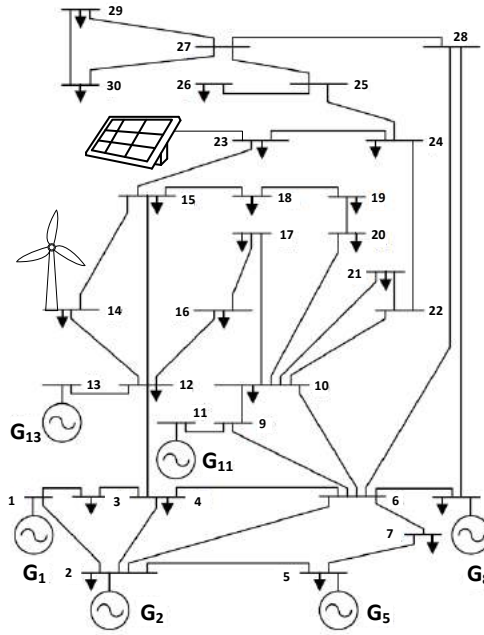
4. Örnek Güç Sistemi ve Çözümü

CSS algoritması IEEE 30-baralı 6-generatörlü çevresel-ekonomik güç dağıtım problemine $2,834 pu$ yük talebi için iletim hattı kayıpları dikkate alınarak iki farklı durumda uygulanmıştır. İlk durumda Tablo 1'de verilen sistemdeki yük talebi sadece termik üretim birimleri tarafından karşılanmıştır. İkinci durumda ise 14. baradaki $0,062 pu$ 'luk yük yerel bir rüzgar enerji santrali tarafından ve 11. baradaki $0,032 pu$ 'luk yük talebi ise yerel bir güneş enerji santrali tarafından karşılandığı varsayılarak sistem tekrar çözülmüştür. Bu baraların seçilme nedenleri, bu baralar tarafından talep edilen güç miktarının, bir rüzgar enerji santrali tarafından karşılanabilecek olmasıdır. Her iki durum içinde algoritma 30 kez koşturulmuştur. Test sisteminde 41 adet iletim hattı ve 21 adet yük barası bulunmaktadır. Test sisteminde bir 1 nolu generatörün bağlı olduğu bara salınım barası ve baz değerler ise $S_{baz}=100 MVA$, $V_{baz}=230 kV$ ve $Z_{baz}=529 Ohm$ olarak alınmıştır. Sistemin tek hat diyagramı Şekil 3'de verilmiştir. Yapılan çalışmada CSS parametreleri, iterasyon sayısı 300, popülasyon büyüklüğü 40, $kv_{ilk} 0,5$, $kv_{son} 0$, $ka_{ilk} 0,5$, $ka_{son} 0$ ve $r 0,01$ olarak alınmıştır. Çalışmada ölçekleme faktörü $\gamma=1000$ olarak alınmıştır. CSS algoritması, ekonomik dağıtım probleminin çözümü için Intel Xeon E5-2637 v4 3.50 GHz işlemcili ve 128 GB RAM bellekli iş istasyonunda çalıştırılmıştır. Test sistemindeki termik üretim birimlerine ait maliyet

fonksiyonu katsayıları ve bu birimlerin aktif güç üretim sınırları Tablo 2’de, iletim hatlarında meydana gelen aktif güç kayıplarının hesaplanmasında kullanılan *B*-kayıp matrisi değerleri ise Tablo 3’de verilmiştir [Jevtis ve ark. 2017; Özyön ve ark. 2012].

Tablo 1. Örnek sistemdeki yük değerleri

Bara No	<i>P</i> (pu)	<i>Q</i> (pu)	Bara No	<i>P</i> (pu)	<i>Q</i> (pu)
1	0	0	16	0,035	0,018
2	0,217	0,127	17	0,090	0,058
3	0,024	0,012	18	0,032	0,009
4	0,076	0,016	19	0,095	0,034
5	0,942	0,190	20	0,022	0,007
6	0	0	21	0,175	0,112
7	0,228	0,109	22	0	0
8	0,3	0,300	23	0,032	0,016
9	0	0	24	0,087	0,067
10	0,058	0,020	25	0	0
11	0	0	26	0,035	0,023
12	0,112	0,075	27	0	0
13	0	0	28	0	0
14	0,062	0,016	29	0,024	0,009
15	0,082	0,025	30	0,106	0,019



Şekil 2. Örnek sisteme ait tek hat diyagramı

Tablo 2. Örnek sistemlere ait üretim birimlerinin maliyet katsayıları ve aktif güç üretim sınırları

Bara No	1	2	5	8	11	13
<i>a</i>	10	10	20	10	20	10
<i>b</i>	200	150	180	100	180	150
<i>c</i>	100	120	40	60	40	100
<i>d</i>	4,091e-2	2,543e-2	4,258e-2	5,326e-2	4,258e-2	6,131e-2
<i>e</i>	-5,554e-2	-6,047e-2	-5,094e-2	-3,550e-2	-5,094e-2	-5,555e-2
<i>f</i>	6,49e-2	5,638e-2	4,586e-2	3,38e-2	4,586e-2	5,151e-2
<i>g</i>	2,0E-4	5,0E-4	1,0E-6	2,0E-3	1,0E-6	1,0E-5
<i>h</i>	2,857	3,333	8,0	2,0	8,0	6,667
<i>P</i> _{min} (pu)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<i>P</i> _{max} (pu)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

Tablo 3. Örnek sistemlere ait B-kayıp matrisi değerleri

$[B]=$	0,1382	-0,0299	0,0044	-0,0022	-0,0010	-0,0008
	-0,0299	0,0487	-0,0025	0,0004	0,0016	0,0041
	0,0044	-0,0025	0,0182	-0,0070	-0,0066	-0,0066
	-0,0022	0,0004	-0,0070	0,0137	0,0050	0,0033
	-0,0010	0,0016	-0,0066	0,0050	0,0109	0,0005
	-0,0008	0,0041	-0,0066	0,0033	0,0005	0,0244
$[B_0]=$	-0,0107	0,0060	-0,0017	0,0009	0,0002	0,0030
	$B_{00} = 0,00098573$					

Birinci ve ikinci durumda test sistemi, farklı ağırlık değerleri için CSS ile 30’ar kez çözülmüştür. Çözümlerden elde edilen istatistiki değerleri Tablo 4’te ve bu çözümlerden eniyi yakıt maliyeti değerine sahip çözümlere ait üretilen toplam güçler, toplam yakıt maliyetleri, toplam NO_x emisyon miktarları ve iletim hattı kayıpları ise YEÜS’süz durum için Tablo 5’te, YEÜS’lü durum için Tablo 6’da verilmiştir.

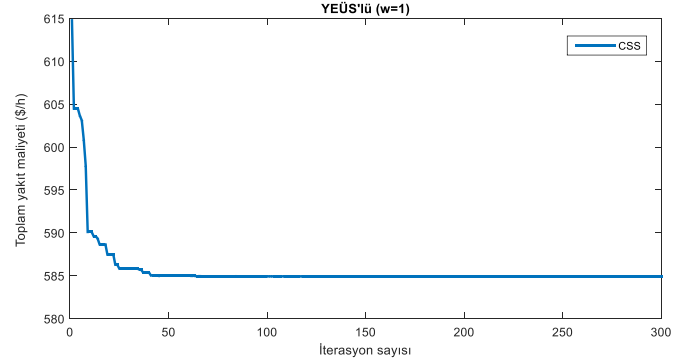
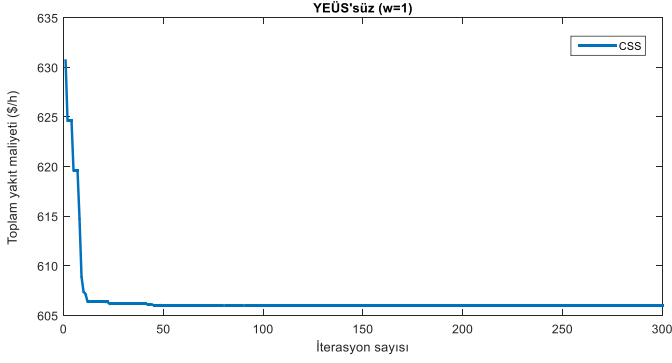
Tablo 4. CSS ile 30 çözüm için elde edilen veriler

		YEÜS’süz	YEÜS’lü
$w=1,0$	En kötü F (\$/h)	605,998369	584,923977
	Ortalama F (\$/h)	605,998369	584,923971
	En İyi F (\$/h)	605,998369	584,923971
	St. Sapma	0,000000	0,000001
	Süre (s)	6,97118	6,94812
$w=0,0$	En kötü E (ton/h)	0,194178	0,194297
	Ortalama E (ton/h)	0,194178	0,194297
	En İyi E (ton/h)	0,194178	0,194297
	St. Sapma	0,000000	0,000000
	Süre (s)	7,71113	7,53539

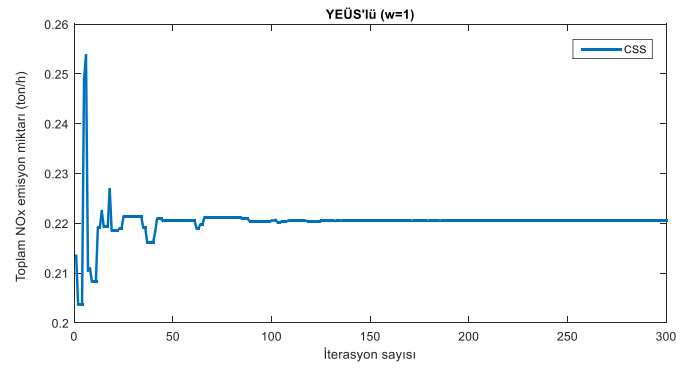
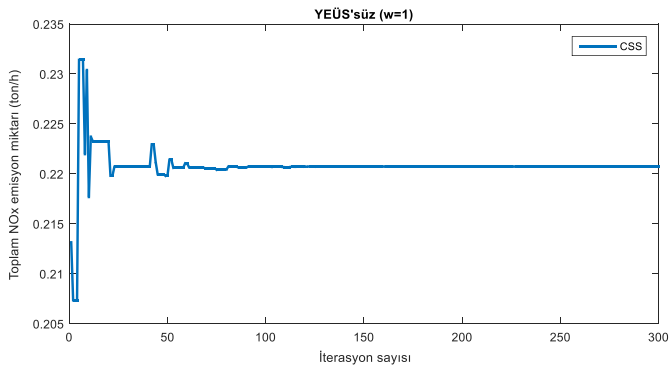
Tablo 5. CSS ile elde edilen eniyi çözümlere ait sonuçlar (YEÜS’süz)

YEÜS’süz	$w=1,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,859562
		F_T (\$/h)	605,998369
		E_T (ton/h)	0,220729
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,025562
	$w=0,5$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,859327
		F_T (\$/h)	612,252793
		E_T (ton/h)	0,203570
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,025327
	$w=0,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,869330
		F_T (\$/h)	646,207000
		E_T (ton/h)	0,194179
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,035330
YEÜS’lü	$w=1,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,764417
		F_T (\$/h)	584,923971
		E_T (ton/h)	0,220501
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,024417
	$w=0,5$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,763869
		F_T (\$/h)	591,091415
		E_T (ton/h)	0,203600
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,023869
	$w=0,0$	$P_{\text{üretilen}} (pu)$	2,773254
		F_T (\$/h)	624,801621
		E_T (ton/h)	0,194297
		$P_{\text{kayıp}} (pu)$	0,033254

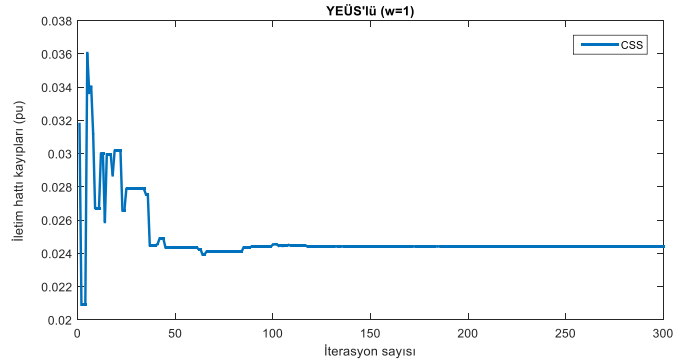
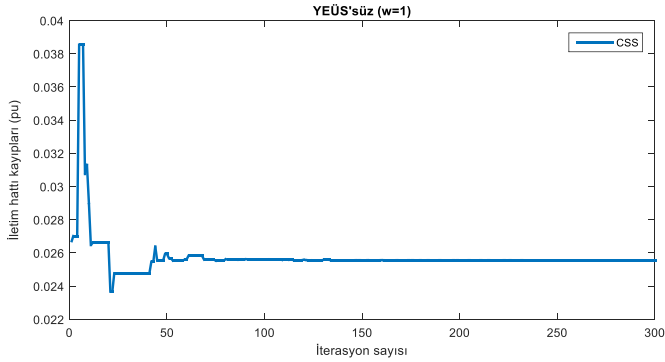
CSS algoritması, birinci ve ikinci durum için sadece yakıt maliyeti göz önüne alınarak ($w=1,0$) örnek güç sistemine uygulandığında elde edilen sırasıyla toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 3'te, toplam NO_x emisyon miktarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 4'te, sistemde üretilen güçlerin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 5'de, iletim hattı kayıplarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 6'de ve kutu grafikleri ise Şekil 7'de verilmiştir.



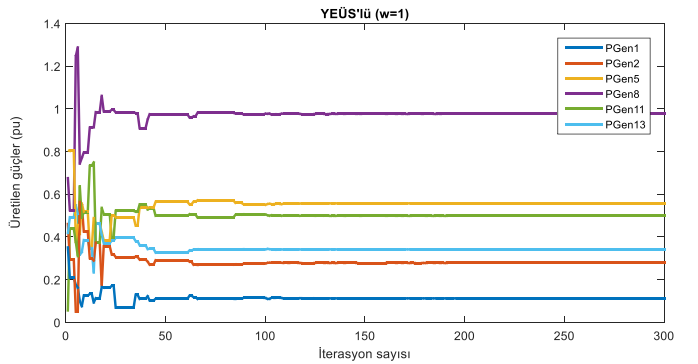
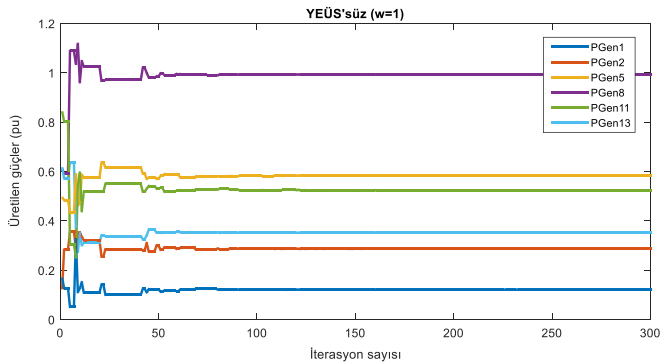
Şekil 3. İterasyon sayısına göre toplam yakıt maliyetlerindeki değişimler



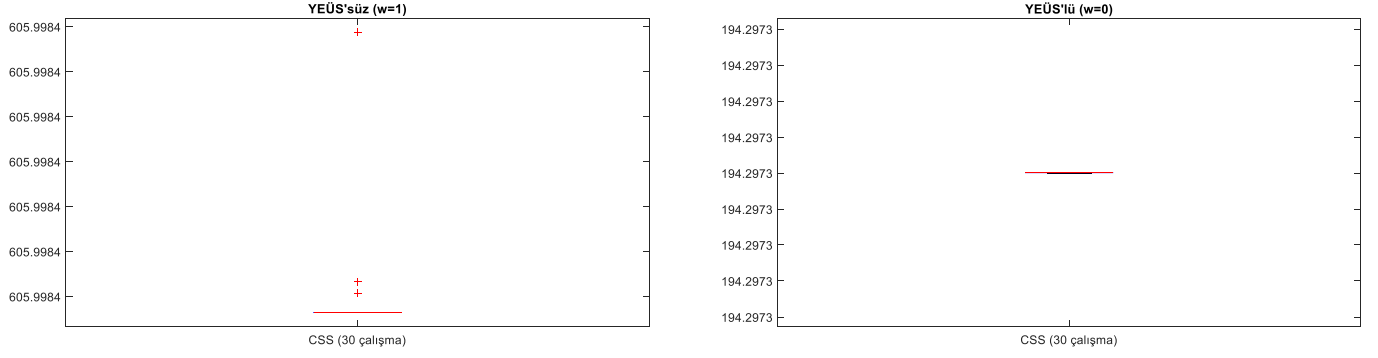
Şekil 4. İterasyon sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarlarındaki değişimler



Şekil 5. İterasyon sayısına göre iletim hattı kayıplarındaki değişimler



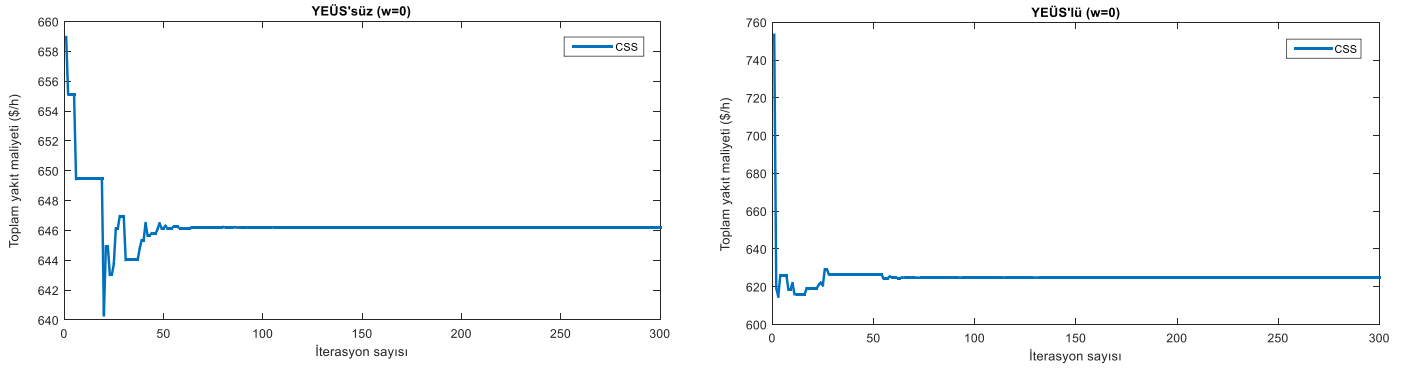
Şekil 6. İterasyon sayısına göre üretilen aktif güçlerdeki değişimler



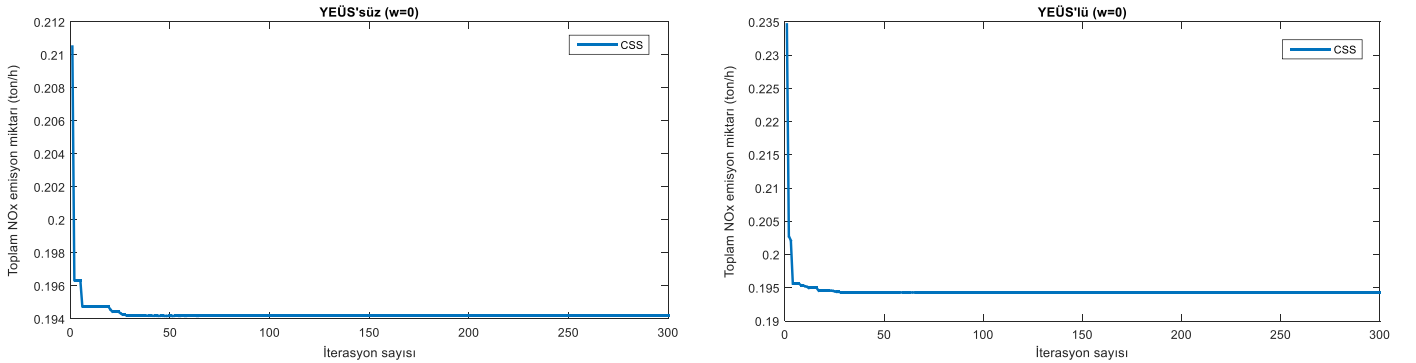
Şekil 7. 30'ar çözüme ait kutu grafikleri

Şekil 3'e bakıldığında yakıt maliyetindeki değişimlerin hem YEÜS'süz hem de YEÜS'lü durum için yaklaşık 45. iterasyonda en iyi değerlerine yakınsadığı görülmektedir. YEÜS'süz durumda toplam yakıt maliyeti değeri $w=1,0$ için 605,998369 \$/h olarak elde edilmiştir. YEÜS'lü durumda ise toplam yakıt maliyeti değeri $w=1,0$ için 584,923971 \$/h olarak elde edilmiştir ve iki durum arasında $w=1,0$ için yaklaşık 21 \$/h'lık, ekonomik fayda sağlanmıştır. İletim hattı kayıplarına bakıldığında da YEÜS'lü sistemin iletim hattı kayıpları daha azdır. Kutu grafiklerine bakıldığında ise YEÜS'lü durumda daha kararlı bir arama yapılmıştır, YEÜS'süz durumda 30 çalışmada üç adet sapan değer mevcuttur.

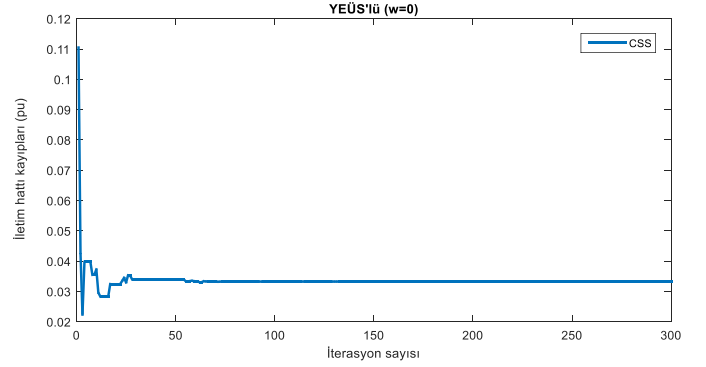
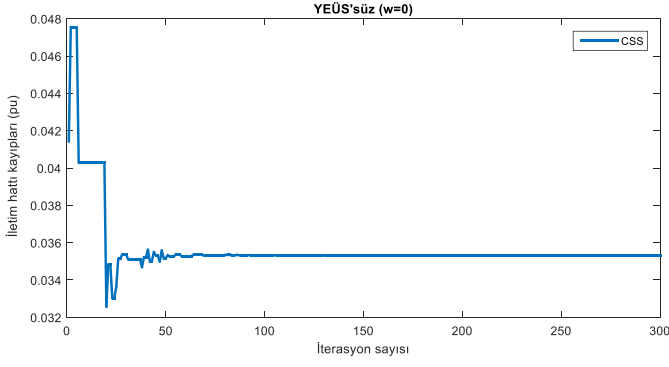
CSS algoritması, birinci ve ikinci durum için sadece toplam NO_x emisyon miktarı göz önüne alınarak ($w=0,0$) örnek güç sistemine uygulandığında elde edilen sırasıyla toplam yakıt maliyetinin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 8'de, toplam NO_x emisyon miktarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 9'da, sistemde üretilen güçlerin iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 10'da, iletim hattı kayıplarının iterasyon sayılarına göre değişimleri Şekil 11'de ve kutu grafikleri ise Şekil 12'de verilmiştir.



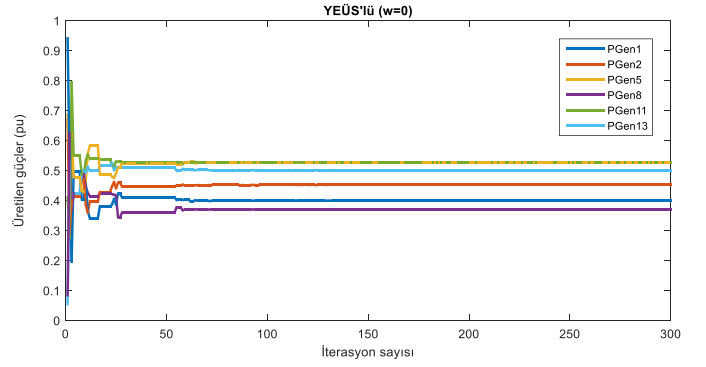
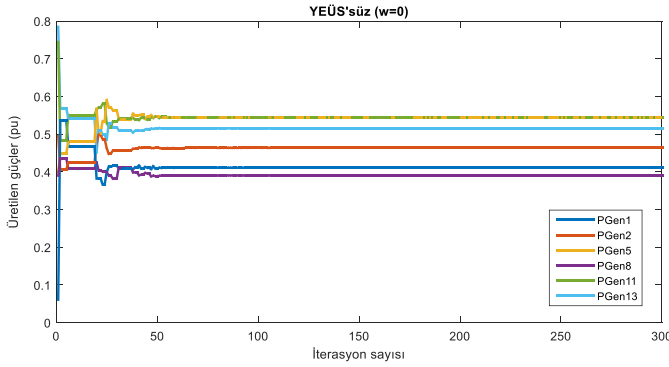
Şekil 8. İterasyon sayısına göre toplam yakıt maliyetlerindeki değişimler



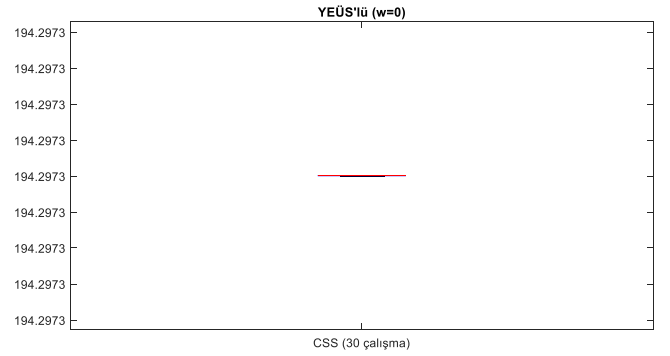
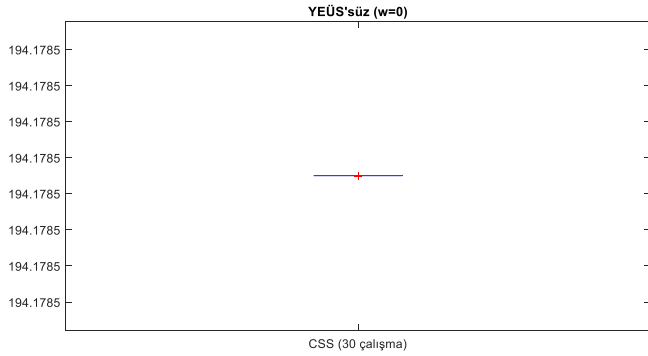
Şekil 9. İterasyon sayısına göre toplam NO_x emisyon miktarlarındaki değişimler



Şekil 10. İterasyon sayısına göre iletim hattı kayıplarındaki değişimler



Şekil 11. İterasyon sayısına göre üretilen aktif güçlerdeki değişimler



Şekil 12. 30'ar çözüme ait kutu grafikleri

$w=0,0$ için verilen grafiklerden Şekil 8 incelendiğinde yakıt maliyetindeki değişimlerin hem YEÜS'süz hem de YEÜS'lü durum için yaklaşık 60. iterasyonda en iyi değerlerine yakınsadığı görülmektedir. YEÜS'süz durumda toplam yakıt maliyeti değeri $w=0,0$ için $646,207000 \text{ \$/h}$, YEÜS'lü durumda ise $624,801621 \text{ \$/h}$ olarak elde edilmiştir. Bu durumda elde edilen ekonomik fayda yaklaşık $22 \text{ \$/h}$ 'dir. İletim hattı kayıplarına bakıldığında da iki sisteminde iletim hattı kayıpları yaklaşık aynıdır. Şekil 12'de verilen kutu grafiklerine bakıldığında her iki durum için de kararlı bir arama yapıldığı görülmektedir.

4. Sonuç

Enerji üretim sistemlerinin doğru planlanması ve üretim sırasında çevreye salınan zararlı gazların azaltılması için çevresel/ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümü, elektrik mühendisliğinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. Çalışmada konveks yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip bir güç sistemi için iki kez çevresel/ekonomik güç dağıtım yapılmıştır. Parasal ve çevresel iki farklı amaç, ağırlıklı toplam metodu kullanılarak aynı amaç fonksiyonunda birleştirilmiştir. İlk durumda mevcut yükün tamamının termik üretim birimleri tarafından karşılandığı kabul edilmiş, ikinci durumda ise belirlenen baralara bağlı yüklerin yenilenebilir enerji üretim sistemleri tarafından beslendiği varsayılmıştır. İki durum içinde aynı güç sistemi, farklı ağırlık değerleriyle CSS algoritması ile 30'ar kez çözülmüştür. Yapılan çözümlerde CSS algoritması birinci durumda $w=1,0$ için $605,998369 \text{ \$/h}$ 'lik yakıt maliyeti değerine $6,97118 \text{ sn}$ 'de, $w=0,0$ için $0,194178 \text{ ton/h}$ 'lik toplam NO_x emisyon miktarı değerine $7,71113 \text{ sn}$ 'de yakınsamıştır. Bu durum için iletim hatlarında meydana gelen ve B-kayıp matrisleri ile hesaplanan kayıp aktif güç değeri $w=1,0$ için $0,025562 \text{ pu}$, $w=0,0$ için $0,035330 \text{ pu}$ olmuştur. Sisteme yenilenebilir enerji santrallerinin eklendiği durumda ise CSS algoritması $w=1,0$ için $584,6239719 \text{ \$/h}$ 'lik yakıt maliyeti değerine $6,94812 \text{ sn}$ 'de, $w=0,0$ için $0,194297 \text{ ton/h}$ 'lik toplam NO_x emisyon miktarı değerine ise

7,53539 sn'de yakınsamıştır. Bu durum için iletim hatlarında meydana gelen kayıp aktif güç değeri $w=1,0$ için 0,024417 pu, $w=0,0$ için 0,033254 pu olmuştur.

Çalışmanın yapılmasındaki amaç yenilenebilir enerji santrallerinin çevresel/ekonomik güç dağıtım problemiinde toplam yakıt maliyeti, toplam NOx emisyon miktarı ve iletim hattı kayıpları üzerine etkilerinin yaklaşık olarak hesaplanmasıdır. Daha sonra yapılacak çalışmalarda iletim hattı kayıplarının yük akışı ile daha doğru olarak hesaplanması, sisteme entegre edilecek yenilenebilir enerji santrallerinin şebekeye güç sağladığı varsayılarak etkilerin daha gerçekçi bir yaklaşımla belirlenmesi düşünülmektedir.

Bilgilendirmeler

Bu çalışma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi destekleriyle Burdur'da düzenlenen 2. Uluslararası Teknoloji ve Bilim (Techno-Science 2019) sempozyumunda özet metin bildirisi olarak sözlü sunulmuştur.

Kaynakça

- Abarghoee, R.A., Niknam, T., Roosta, A., Malekpour, A.R., Zare, M., (2012). Probabilistic multiobjective wind-thermal economic emission dispatch based on point estimated method. *Energy*, 37(1), 322-335.
- Basu, M., (2019). Multi-area dynamic economic emission dispatch of hydro-wind-thermal power system. *Renewable Energy Focus*, 28, 11-35.
- Bhattacharya, A., Chattopadhyay, P.K., (2011). Solving economic emission load problems using hybrid differential evolution. *Applied Soft Computing*, 11, 2526-2537.
- Dubey, H.M., Pandit, M., Roosta, A., Panigrahi, B.K., (2015). Hybrid flower pollination algorithm with time-varying fuzzy selection mechanism for integrated multi-objective dynamic economic dispatch. *Renewable Energy*, 83, 188-202.
- Jadhav, H.T., Roy, R., (2013). Gbest guided artificial bee colony algorithm for environmental/economic dispatch considering wind power, *Expert Systems with Applications*, 40, 6385-6399.
- Jevtic, M., Jovanovic, N., Radosavljevic, J., Klimenta, D., (2017). Moth swarm algorithm for solving combined economic and emission dispatch problem. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 23(5), 21-28.
- Jiang, S., Ji, Z., Wang, Y., (2015). A novel gravitational acceleration enhanced particle swarm optimization algorithm for wind-thermal economic emission dispatch problem considering wind power availability, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 1035-1050.
- Kaveh, A., Talatahari, S., (2010). A novel heuristic optimization method: charged system search. *Acta Mechanica*, 213(3-4), 267-289.
- Özyön, S., Temurtaş, H., Durmuş, B., Kuvat, G., (2012). Charged system search algorithm for emission constrained economic power dispatch problem. *Energy*, 46(1), 420-430.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., (2015). Hibrit (Rüzgâr-Güneş) enerji sistemlerinin çevresel ekonomik güç dağıtım üzerine etkilerinin incelenmesi. *International Multidisciplinary Congree of Eurasia (IMCOFE'15)*, 1-5 September 2015, Üsküp, 364-377.
- Tabrizian, Z., Amiri, G.G., Beigy, M.H.A., (2014). Charged system search algorithm utilized for structural damage detection. *Shock and Vibration*, 2014, 1-13.
- Zhu, C., Wang, J., Qu, B., (2014). Multi-objective economic emission dispatch considering wind power using evolutionary algorithm based on decomposition. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 434-445.



Venturimetre Deneyinde Gerçek ve Teorik Debi İlişkisi İçin Debi Düzeltme Katsayısının Belirlenmesi

Halil İbrahim Burgan^{1*}

¹ İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6018-3521)

(İlk Geliş Tarihi 03 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.669941)

ATIF/REFERENCE: Burgan, H. İ. (2020). Venturimetre Deneyinde Gerçek ve Teorik Debi İlişkisi İçin Debi Düzeltme Katsayısının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 91-98.

Öz

Akışkanlar mekaniğinde basınçlı borularda kesitten geçen debinin hesaplanması her zaman pratik olmamaktadır. Bu nedenle deneysel yöntemlerle elde edilen denklemler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada venturimetre deney setinde ölçülen gerçek debi ile süreklilik ve Bernoulli denklemleri kullanılarak hesaplanan teorik debi karşılaştırılmıştır. Literatürde teorik debiyi gerçek debi olarak kullanabilmek için debi düzeltme katsayısından (C_d) yararlanılmaktadır. Bunun nedeni teorik debi hesabında sürekli ve yersel yük kayıplarının dikkate alınmamasıdır. Debi düzeltme katsayısı 0.8-1.0 aralığında önerilmektedir. Gerçek debinin teorik debiye bölünmesi ile C_d katsayısı elde edilir. Diğer bir ifadeyle teorik debinin formülüne C_d katsayısının eklenmesi ile akışkanın gerçek debisi bulunur. Boruda meydana gelen akımda sürekli ve yersel yük kayıpları deneysel olarak hesaplanmaktadır. Sürekli yük kayıpları için Darcy-Weisbach eşitliği ve yersel yük kayıpları için de kayıp katsayıları kullanılmaktadır. Borudaki akımın yük kayıplarını hesaplamak her zaman pratik olmamaktadır. Bu nedenle hassas sonuçların gerekmediği pratik olarak debi hesabı durumlarında debi düzeltme katsayısı tercih edilmektedir.

Bu çalışmada venturimetre deneyinde gerçek debi için altı farklı gözlem yapılmıştır. Öncelikle deney setine maksimum debiler verilmiş, daha sonra vana yardımıyla debi azaltılmıştır. Boru içerisindeki akışkan olarak su seçilmiştir. Debi ölçümü için hazneye su doldurularak birim zamanda biriken su hacmi hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre debi düzeltme katsayısı daha dar bir aralık 0.939-0.975 olarak elde edilmiştir. Ayrıca debi düzeltme katsayısı ve teorik debi arasında güçlü bir ilişki gözlenmiştir. Bu amaçla determinasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Bu sayede boru içerisindeki akım için akışkan su seçilmiş ve debi düzeltme katsayısı bu tip çalışmalar için revize edilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda süt, yağ gibi viskozitesi daha yüksek akışkanlar kullanılarak debi düzeltme katsayıları incelenebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Bernoulli denklemi, Debi düzeltme katsayısı, Gerçek debi, Teorik debi, Venturimetre.

The Determination of Discharge Coefficient for the Relationship between Real and Theoretical Discharge in Venturimeter Experiment

Abstract

It is not always practical to calculate the discharge through the pressure pipes in fluid mechanics. Therefore, empirical equations obtained by experimental methods are widely used. Real discharge measured in the venturimeter experiment is compared with theoretical discharge calculated using the continuity and Bernoulli equations in this study. Discharge coefficient (C_d) is used in order to use theoretical discharge as real discharge in the literature. The reason for this is that the major and minor head losses are not taken

* Sorumlu Yazar: İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6018-3521, h.burgan@iku.edu.tr

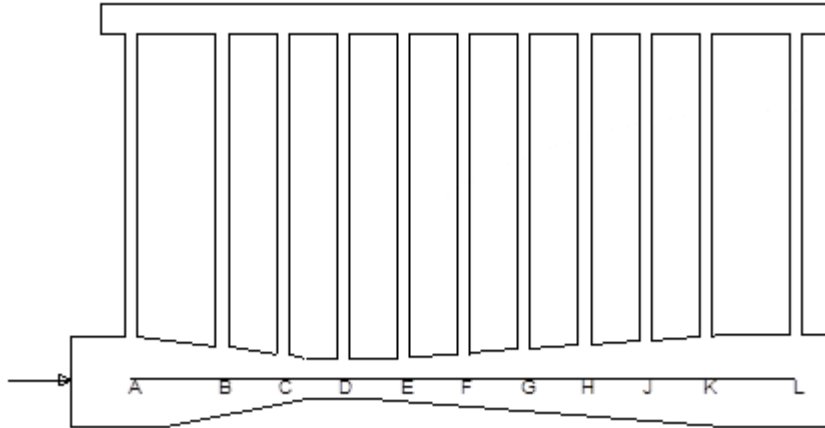
into account in theoretical discharge calculation. Discharge coefficient is recommended in the range of 0.8-1.0. C_d coefficient is obtained by dividing the real discharge by theoretical discharge. In other words, real discharge of the fluid is found by adding C_d coefficient to the formula of theoretical discharge. Major and minor head losses in flow occurring in the pipe are calculated empirically. Darcy-Weisbach equation is used for major head losses and loss coefficients are used for minor head losses. It is not always practical to calculate head losses of flow in the pipe. Consequently, discharge coefficient is preferred in cases where discharge calculation is practically not required.

Six different observations are made for real discharge in venturimeter experiment in this study. Firstly, maximum discharges are given to the experiment set and then discharge is reduced with the help of the valve. Water is selected as the fluid in the pipe. The volume of water accumulated per unit time is calculated by filling the reservoir with water for discharge measurement. According to the findings, the discharge coefficient is obtained as a narrower range 0.939-0.975. In addition, a strong relationship between the discharge coefficient and theoretical discharge is observed. For this purpose, the determination coefficient (R^2) is calculated. Thus, fluid water is selected for the flow in the pipe and the discharge coefficient is revised for this type of work. Discharge coefficients can be examined by using higher viscosity fluids such as milk and oil for future studies.

Keywords: Bernoulli equation, Discharge coefficient, Real discharge, Theoretical discharge, Venturimeter.

1. Giriş

Venturimetre ve orifismetre gibi ölçüm teknikleri basınçlı bir boru akımında debi ölçümüne imkan sağlamaktadır. Bu tekniklerde kullanılan deney düzeneği, herhangi şekil ve boyuttaki boru hattına kurularak ele alınan kesitlerdeki basınç farkları yardımıyla debi hesaplanabilir. Venturimetreden geçen akış, geniş ve dar kesit arasında bir basınç farkına yol açarken orifismetrede memba kesiti ile daralan akış kesiti arasında bir basınç farkı vardır. Bernoulli denkleminde elde edilen basınç farkı kullanılarak boru kesitindeki debi hesaplanır. Bu debiölçerlerin hareketli parçası olmadığından kolay aşınma ve yıpranma gözlenmez (Swamee 2005). Venturimetre, anlık debiyi göstermekle beraber debinin entegrasyonu da elde edilebilir. Venturimetrede debinin hesaplanması amacıyla akımın karakteristiğini ortaya koyan Reynolds (Re) sayısına bağlı debi düzeltme katsayısının (C_d) belirlenmesi gereklidir. Venturimetreye ait sematik gösterim Şekil 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Venturimetrenin sematik gösterimi.

Diğer tüm basınç farkı ölçen cihazlar gibi sıvı ve gaz akışının gerçekleştiği basınçlı boru akımında venturimetrede ölçülen değerler sıvı varlığından dolayı olumsuz etkilenir. Yani sıvının varlığı, venturimetre tarafından memba kesiti ve daralan kesit arasındaki okunan basınç farkını doğrudan etkiler (Steven 2002). Bu nedenle literatürde, akım hızını doğru bir şekilde elde etmek için gözlenen debi değerine bir düzeltme uygulanması önerilmektedir.

Venturimetrenin ilk kullanımı 1800’lü yıllara dayanmaktadır. Basınçlı boruda doğru debinin ölçüm zorlukları nedeniyle, debinin teorik olarak hesaplanması tercih edilir. Bu konuda yapılan deneyler neticesinde ilk pratik uygulama Clemens Herschel tarafından yapılmış ve deney düzeneğinin adı aletin teorisini geliştiren Giovanni Batista Venturi’ye dayanarak Venturimetre olarak kullanılmıştır. Herschel-konik tip ölçüm cihazında elde edilen sonuçlarda gözlenen ve hesaplanan debi değerleri arasında fark olmakla birlikte aralarında pozitif bir ilişki gözlenmiştir (Hutton 1954). Debi düzeltme katsayısı (C_d) bire yakın olup borudaki basınç kaybının memba kesiti ile daralan kesit arasındaki basınç farkına oranı genellikle 0.05-0.25 aralığındadır (Harris 2015).

Venturimetrelerin çok geniş ve yaygın kullanım alanları bulunmaktadır. Başta inşaat, kimya, makine ve uçak mühendisliği olmak üzere birçok mühendislik alanında ve enerji, tıp gibi diğer alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle akışkanlar mekaniğinde süreklilik ve Bernoulli denklemlerine dayalı venturimetreler, su jeti pompası ve dip tarama problemlerinde (Yeşilmen ve Göğüş 2004), dalgıç pompa performans testlerinde (Korkmaz ve ark. 2009), su alma borusunun tabandan olan mesafesinin tayininde (Kocabaş ve Ülker 2004), tesisat hataları nedeniyle yaşanan debi ölçüm sorunlarında (Akyol ve ark. 2011), damarda kan debisinin ölçülmesinde (Wagoner ve Livingston 1928), yaş-gaz akışının modellenmesinde ele alınmıştır (Xu ve ark. 2011).

Venturimetre deney düzeneğinde hem sıvıların hem de gazların akışkan olarak kullanıldığı bilinmektedir. Çeşitli disiplinlerde kullanımı bulunan venturimetrenin güncel kullanımı enerji, ısı ve kütle transferi gibi konulardadır. Bu kapsamda dairesel düşey kesitte

gerçekleşen gaz akışı için basınç düşmesi Venturimetre yardımıyla hesaplanabilmektedir (Wang ve ark. 2020). Ayrıca çalışmada elde edilen deneysel sonuçların %98.5 güven düzeyinde %10 rölaf hata sınırları içerisinde kaldığı gözlenmiştir. Diğer bir çalışmada, yeni tip pürüzlülük elemanının Havacılık Ulusal Danışma Komitesi (NACA) 0040 ters yerleştirilmiş profil kanatlarına güneş enerjili hava ısıtıcısının performansı incelenmiştir. Rölaf pürüzlülük alanı ve rölaf pürüzlülük yüksekliğinin etkileri, Reynolds (Re) sayısının 6000 – 18000 olduğu aralıkta araştırılmıştır. Hava akımının ölçümünde venturimetre deney düzeneği kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal yöntemler karşılaştırıldığında rölaf pürüzlülük yüksekliği ve Re sayısının $\pm\%3$ hata payına sahip olduğu belirlenmiştir (Patel ve ark. 2020). Venturimetre sayesinde gerçekleştirilen kapsamlı ve detaylı uygulamaların yanında yukarıda belirtilen mühendislik programları akışkanlar mekaniği temel dersinde Bernoulli ve enerji denklemlerinin deneysel ve sayısal uygulamaları yapılabilmektedir (Mandavgane 2020).

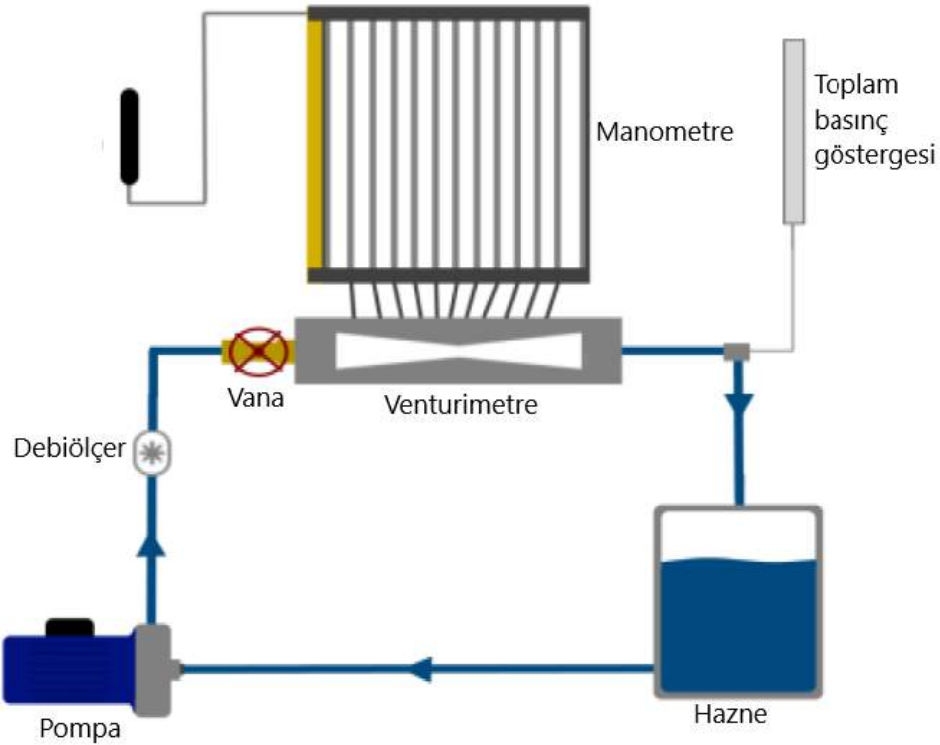
Bu çalışmada, teorik olarak elde edilen debi değerleri debi düzeltme katsayısı (C_d) arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda bire yakın çıkması beklenen C_d katsayısı için daha dar bir aralık sunulmuştur. Ayrıca akışkan olarak su belirlenmiş ve elde edilen doğrusal ilişki için bir denklem önerilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi amacıyla da determinasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Venturimetre deney düzeneği

Venturimetre, daralan ve genişleyen akış bölgesine sahip boru ve kanallarda akış hızını ölçerek boru içinden geçen debinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Venturimetre, basınçlı bir boru devresine bağlanmıştır (Şekil 2). Kütleli ve hacimsel debi, pompa hızınının değişmediği durumda sistem kapalı olduğu için sabittir. Sistem, süreklilik ve Bernoulli denklemleri esasına göre çalışmaktadır.

Boru içinde akan akışkan tedricen daralan bir kesit boyunca mansap tarafındaki daha küçük çaplı bir kesitten geçerken, dar kesit içindeki akımın hızı, memba kesitindeki akım hızından daha büyük olur. Bu hız artışıyla birlikte basınçta düşüş görülür. Böylece basınç değişimi ölçülerek akışkanın debisi hesaplanabilir. Dar kesitin mansap tarafında akım hızı azalır ve hız düşerken basınç artar. Venturimetre boyunca 11 noktada (Şekil 1, A-L noktaları) basınç ölçümü için manometre (piyezometre) tüpleri bağlanmıştır.



Şekil 2. Venturimetre deney düzeneği (OGEN 2014a).

2.2. Teorik debinin hesaplanması

Bir akım çizgisi boyunca daimi, sürtünmesiz, sıkıştırılmaz akış için herhangi iki farklı kesitte Bernoulli denklemi aşağıdaki gibidir. Bernoulli denklemi sürtünmesiz bir akışta kesitsel ortalama akım hızı, basınç ve kot farkı arasındaki ilişkiyi verir.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (1)$$

Yatay bir sistem ($z_1 = z_2$) için Bernoulli denklemi,

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (2)$$

(2) denklemi yeniden düzenlendiğinde,

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = h_p \quad (3)$$

haline dönüşür. Burada h_p basınç farkı yüksekliğini vermektedir. V_2^2 ifadesi denklemin sol tarafına çekildiğinde,

$$V_2^2 = 2gh_p + V_1^2 \quad (4)$$

Akımın süreklilik denklemi,

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q \quad (5)$$

V_1 hızı çekildiğinde,

$$V_1 = V_2 \frac{A_2}{A_1} \quad (6)$$

V_1 akım hızı (4) denkleminde yerine konulduğunda,

$$V_2^2 = 2gh_p + \left(V_2 \frac{A_2}{A_1}\right)^2 \quad (7)$$

(7) denklemi yeniden düzenlendiğinde

$$V_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right) = 2gh_p \quad (8)$$

V_2 hızı,

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gh_p}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (9)$$

Sistemin teorik debisi ise süreklilik denkleminde (5),

$$Q_{\text{teorik}} = A_2 \sqrt{\frac{2gh_p}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (10)$$

hesaplanır. Gerçek debiyi hesaplayabilmek için teorik debinin debi düzeltme katsayısı (C_d) ile çarpılması gerekmektedir. Bu çalışmada debi düzeltme katsayısı (C_d),

$$C_d = \frac{Q_{\text{gerçek}}}{Q_{\text{teorik}}} \quad (11)$$

denklemlerle elde edilmiştir.

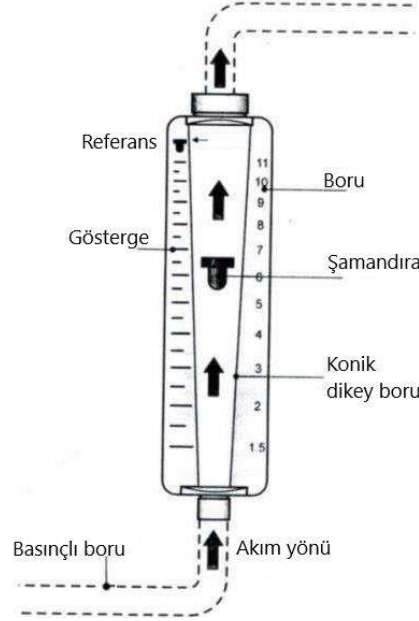
2.3. Gerçek debinin hesaplanması

Venturimetre deney düzeneğinde gerçek debi ($Q_{\text{gerçek}}$) Şekil 2'deki debimetre yardımıyla ölçülebilmektedir. Debimetreler basınçlı boru akımlarında debi ölçümlerinde kullanılmaktadır. Debimetre, yukarıya doğru konik olarak genişleyen şamandıralı bir

cihaz olup şamandıra hareketiyle okuma yapılabilecek bir göstergesi bulunmaktadır (Şekil 3). Çalışma prensibi debiye bağlı olup akım hızı yani debi arttığında şamandıra yukarıya doğru hareket ederek şamandıra üst kotuna karşı gelen göstergedeki değer deneyden ölçülen gerçek debi değeridir. Debimetreler akışkan debisinin belirlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda vana yardımıyla akışkanın debisi ayarlanabilmektedir (Yıllancı ve ark. 2019).

Bununla birlikte debimetrenin bulunmadığı durumlarda gerçek debinin ölçülmesi için hazne ve süreölçer yeterli olmaktadır. Pompa yardımıyla basınçlı boruya su iletilirken pompanın su aldığı hazne kapatılarak süreölçer başlatılır. Hazne içerisindeki belirli bir hacim ya da seviye gösterge çizgisine kadar su doldurulduğunda süreölçer durdurularak hacim/zaman oranından debi kolayca bulunabilir. Her iki sistemde de debinin ayarlanabilmesi için vana bulunmaktadır.

Sistemin debisinin belirlenmesinde diğer bir yöntem olarak da ölçme savakları kullanılmaktadır. Burada haznede biriktirilen akışkan, savak üzerinden geçirilir. Savağın tipine göre (üçgen, keskin kenarlı, dikdörtgen) savak yüksekliği ölçülür. Savak yüksekliği ve savağın ağız açısına bağlı olarak sistemin debisi deneysel olarak elde edilebilir.



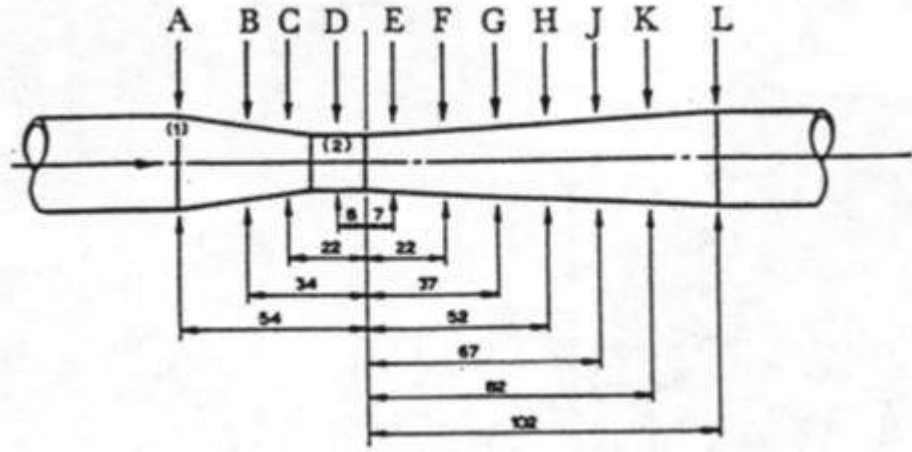
Şekil 3. Debi ölçümünde kullanılan debimetrenin temsili gösterimi (OGEN 2014b).

A-L noktaları arasında herhangi iki nokta için Bernoulli ve süreklilik denklemleri yazılarak seçilen noktalarda ölçülen basınç yükseklikleri farkıyla debi hesaplanabilir. Süreklilik denklemiyle gözlenen kesitteki hız değerini bulmak amacıyla gözlenen kesit alanları hesaplanırken Tablo 1'de yer alan çap değerleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan venturimetre gözlem noktalarına ait kesitteki çap değerleri

Kesit numarası	Çap (mm)
1 (A)	26.00
2 (B)	23.20
3 (C)	18.40
4 (D)	16.00
5 (E)	16.80
6 (F)	18.47
7 (G)	20.16
8 (H)	21.84
9 (J)	23.53
10 (K)	25.24
11 (L)	26.00

Venturimetrede gözlem yapılan gözlem noktaları arasında belirli bir mesafe bulunmalıdır. Gözlem yapılan kesitler arasındaki mesafeler Şekil 4'te sunulmaktadır. Ayarlanan tüm piyezometre tüplerinin okumaları yapılarak venturimetre boyunca basınç dağılımı bu sayede belirlenmiş olur. Basınçlı boru sisteminde basınç yüksekliklerinin doğru bir şekilde okunabilmesi amacıyla hava kabarcığı bulunmamasına dikkat edilir.



Şekil 4. Piyezometre seviyelerinin ölçümünde kullanılan gözlem noktalarının mesafeleri (mm).

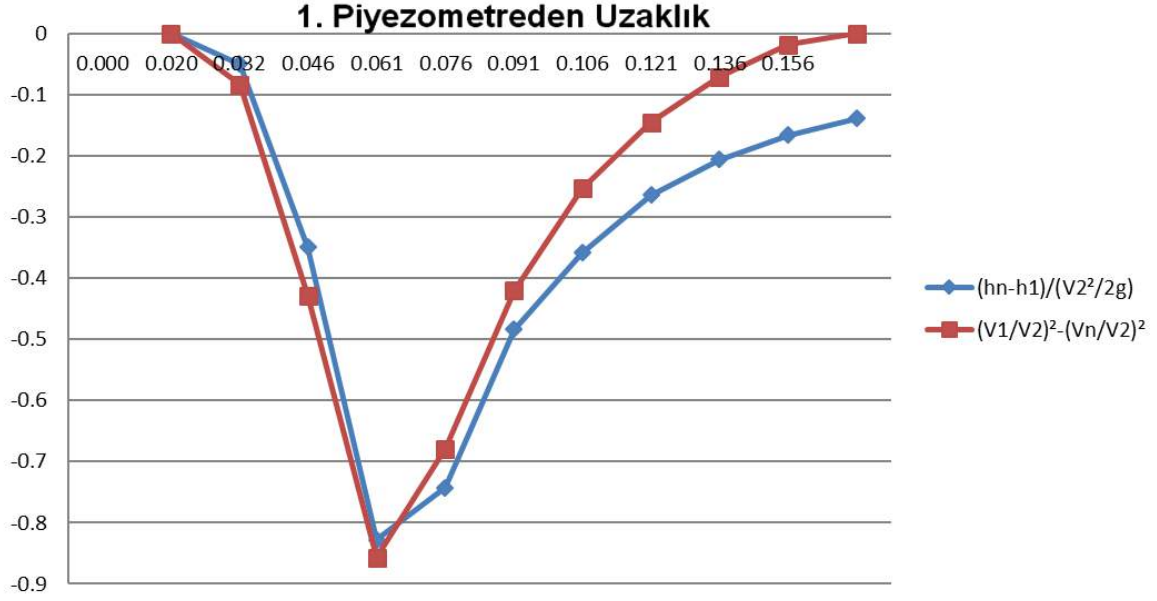
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapılan deneyler sonucunda A-L gözlem kesitlerine bağlı piyezometre tüplerinde bulunan su seviyeleri ölçülerek basınç yükseklikleri belirlenmiştir (Şekil 5). Bu sayede ele alınan memba kesiti (A noktası) ile en dar kesit (D noktası) arasında gerekli hesaplar yapılmıştır. Hesaplanan debi, süreklilik ve Bernoulli denklemlerinde kullanılarak kesitlerdeki hız değerleri elde edilmiştir.



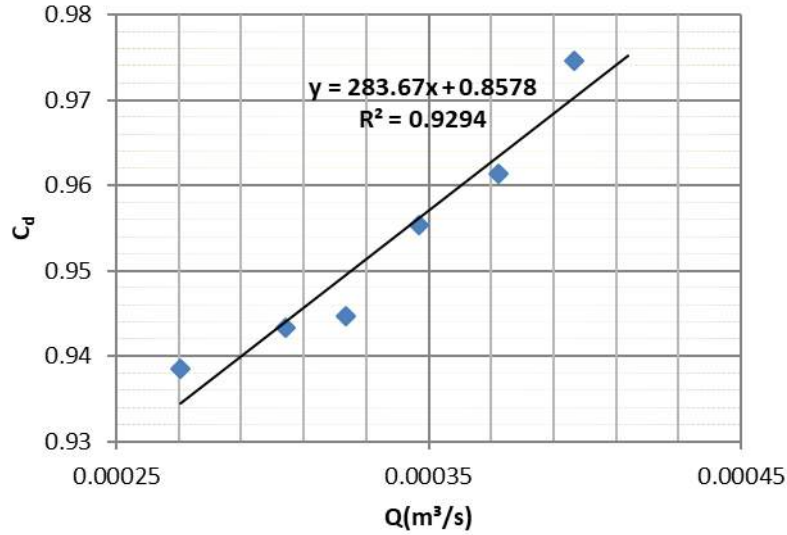
Şekil 5. Deneyde kullanılan venturimetre deney düzeneği ve piyezometre tüpleri.

Deneyde ölçülen ve teorik olarak hesaplanan piyezometre çizgileri Şekil 6'dadır. Piyezometre tüplerinin başlangıç noktasına olan mesafeleri dikkate alınarak venturimetre boyunca ölçülmüş olan basınç değerleri ile ideal basınç değerleri aynı grafik üzerinde çizilmiştir. $(h_n - h_1)/(V_2^2/2g)$ ile ifade edilen piyezometre çizgileri ölçülen basınç değerlerini ve $(V_1/V_2)^2 - (V_n/V_2)^2$ ile ifade edilen piyezometre çizgileri ise hesaplanan ideal basınç değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 6. Teorik ve deneysel piyezometre çizgileri.

Çalışmada, debi düzeltme katsayısı (C_d) denklem (11) ile elde edilmiştir. Teorik debi ile C_d arasındaki ilişki ise Şekil 7’de verilmektedir. İki değişken arasındaki ilişkiyi göstermek için çeşitli denklem tipleri denenebilmektedir (Burgan ve Aksoy 2018). Doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkiler bulunabileceği gibi bu çalışmada teorik debi ve C_d arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir. Şekil üzerinde edilen denklemin performansının değerlendirilmesi amacıyla determinasyon katsayısı hesaplanmış ve $R^2 = 0.9294$ olarak bir çok bir değer hesaplanmıştır. Bu durum geliştirilen model için elde edilen sonuçların kabul edilebilir mertebede olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Teorik debi ile debi düzeltme katsayısı arasındaki doğrusal ilişki.

Bu deneysel çalışmanın geliştirilerek debi düzeltme katsayısının belirlenmesinde daha hassas sonuçların elde edilmesi mümkündür. Bu aşamada teorik debinin yanında venturimetre deney düzeneğinde kullanılan diğer değişkenler kullanılabilir. Bu değişkenler, boru pürüzlülüğü ile ilgili rölatif pürüzlülük alanı, rölatif pürüz yüksekliği; akışkan ve akım koşullarıyla ilgili akışkanın özgül ağırlığı, viskozitesi gibi seçilebilecektir. Bu çalışmada teorik debi ve debi düzeltme katsayısı arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Diğer değişkenler de dikkate alındığında debi düzeltme katsayısı ve değişkenler arasında doğrusal olmayan bir ilişki elde edilmesi düşünülmektedir.

4. Sonuç

Basınçlı bir boruda akışkan debisinin ölçülmesi her zaman pratik olmamaktadır. Küçük çaplı borularda kararlı akım koşulları kısa sürede sağlanabilirken büyük çaplı borularda bu süre saatleri bulabilmektedir. Basınçlı borularda yersel ve sürekli yük kayıplarının olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda ölçülen gerçek debi ile teorik debi arasında az da olsa farklılık gözlenecektir. Teorik debinin gerçek debi olarak alınabilmesi amacıyla (11) denklemi ve Şekil 7’de elde edilen debi düzeltme katsayıları kullanılabilir.

A-L noktaları arasında yapılan gözlem değerlerine göre A-D noktaları arasındaki yatay mesafenin kısa olması ve kesitin daralması neticesinde meydana gelen yersel yük kaybının küçük olması nedeniyle teorik ve deneysel hesaplanan hızlar arasındaki farkın küçük olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan D-L noktaları arasındaki mesafenin akımın memba kısmındaki A-D bölümüne göre daha uzun olması nedeniyle sürekli yük kaybı daha büyük olacaktır. Sonuç olarak akımın mansap kısmında ölçülen kesitsel ortalama akım hız değerleri teorik olarak hesaplanan değerlerden daha küçük çıkmıştır.

Her koşulda deney yapmanın zorluğu ve elde edilecek gözlemlerin kısıtlı olması nedeniyle ilerideki çalışmalarda bu çalışmadan elde edilen teorik debi ve debi düzeltme katsayısı ilişkisinin kullanılması beklenmektedir. Aynı zamanda basınçlı boruda akımın hız profili ve değerleri boru pürüzlülüğü ile de ilişkili olduğundan akımın Reynolds (Re) sayısı da dikkate alınmalıdır.

Kaynakça

- Akyol, T., Aslan, A., Yüksel, B. (2011). Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin enerji analizlerinde tesisat hataları nedeniyle yaşanan debi ölçüm sorunları. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir.
- Burgan, H. I., Aksoy, H. (2018). Annual flow duration curve model for ungauged basins. *Hydrology Research*, 49(5), 1684-1695.
- Hutton, S. P. (1954). The prediction of Venturi-meter coefficients and their variation with roughness and age. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 3(2), 216-241.
- Kocabaş, F., Ülker, Ş. (2004). Tabakalı sıvı ortamında ölçek etkisinin ve su alma borusunun tabandan olan mesafesinin kritik batıklık üzerine etkisi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi*, 15-17 Nisan 2004, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Korkmaz, E., Gölcü, M., Kurbanoglu, C. (2009). Dalgıç pompa performans testlerinde kullanılan yeni teknolojiler. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
- Mandavgane, S. (2020). Fun with fluid: An innovative assignment in fluid mechanics. *Education for Chemical Engineers*, 30, 40-48.
- OGEN (2014a). OAG-140 Bernoulli deney seti.
- OGEN (2014b). OAG-144 Akış ölçümleri deney seti.
- Patel, Y. M., Jain, S. V., Lakhera, V. J. (2020). Thermo-hydraulic performance analysis of a solar air heater roughened with reverse NACA profile ribs. *Applied Thermal Engineering*, 170, 114940.
- Reader-Harris, M. (2015). Venturi Tube Design. Chapter 3 in *Orifice Plates and Venturi Tubes*, Springer, 77-96.
- Steven, R. N. (2002). Wet gas metering with a horizontally mounted Venturi meter. *Flow Measurement and Instrumentation*, 12, 361-372.
- Swamee, P. K. (2005). Discharge equations for venturimeter and orificemeter. *Journal of Hydraulic Research*, 43(4), 417-420.
- Wagoner, G. W., Livingston, A. E. (1928). Application of the venturi meter to measurement of blood flow in vessels. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 32(3), 171-180.
- Wang, J., Xu, Y., Zhang, T., Wu, H., Wang, H., Huo, X. (2020). A pressure drop model for the annular-mist flow in vertical Venturi. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 76, 103168.
- Xu, L., Zhou, W., Li, X., Wang, M. (2011). Wet-gas flow modeling for the straight section of throat-extended venturi meter. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(6), 2011.
- Yeşilmen, B., Göğüş, M. (2004). Su jeti pompası ve dip tarama problemlerine uygulanması. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi*, 15-17 Nisan 2004, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yılandı, A., Atalay, Ö., Koçar, G., Eryaşar, A. (2019). Dinamik test metodu ile bir güneş kolektörünün ısı performansının belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 417-422.



Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Bucak Havzası Yeraltısuyu Sertlik Haritasının Hazırlanması ve Kayaç-Su Etkileşiminin Yorumlanması

İ. İskender Soyaslan^{1*}, Kerem Hepdeniz²

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5282-8094)

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak E.G. Tek. Bil. MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Burdur, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4182-5570)

(İlk Geliş Tarihi 4 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.670303)

ATIF/REFERENCE: Soyaslan, İ., İ., & Hepdeniz, K., (2020). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Bucak Havzası Yeraltısuyu Sertlik Haritasının Hazırlanması ve Kayaç-Su Etkileşiminin Yorumlanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 99-108.

Öz

Batı Akdeniz Bölgesi'nde Burdur İli güneyinde bulunan Bucak Havzası, ülkemizin en önemli karstik alanlarından biri olan Toros Karst Kuşağı üzerine konumlanmıştır. Farklı tektonik birliklerin bir araya gelmesinden oluşan Toros Karst Kuşağı, Batı Toros ve Orta Toros Karst alanı olmak üzere iki farklı bölgeye ayrılmaktadır. Bucak Havzası, iç ve yüzeysel karstlaşmanın iyi geliştiği Batı Toros Karst alanı içinde yer almaktadır. Havzanın kuzey, batı ve orta bölümünde allohton Akdağ Kireçtaşı ve güneyinde ise otokton Davraz Kireçtaşı bulunur. Bu iki birim kırıklı-çatlaklı ve erime boşluklu yapılarından dolayı karstik akiferi özelliği taşımaktadır. Aynı zamanda Bucak Havzasının komşu Antalya Havzası ile olan hidrodinamik bağlantısı, beslenme alanı içinden ve genellikle alüvyon tabanında bulunan bu akifer ile sağlanmaktadır. Türkiye'nin güneybatısında Burdur-Antalya karayolunun içerisinde bulunduğu havzada Bucak ve Çeltikçi yerleşim alanları ve çok sayıda köy bulunmaktadır. Bucak ilçesi içme suyu ihtiyacı, havza içerisindeki iki kaynak ile ovada açılmış sondaj kuyuları aracılığıyla yeraltısuyundan karşılanmaktadır. Bucak havzası içerisinde yer alan 20 adet kuyudan 2011-2012 yıllarında alınan yeraltısuyu örneklerinde CaCO₃ ve Fransız su sertlik değerleri tespit edilmiştir. Sertlik değerleri Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamına işlenmiş, Kriging interpolasyon yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve tematik haritalar hazırlanmıştır. Ulusal ve uluslararası sınır değerleri kullanılarak sertlik değerleri karşılaştırılmış ve havzadaki yeraltısularının sert-çok, sert su sınıfında yer aldığı görülmüştür. Analizi gerçekleştirilen CaCO₃ ve Fransız su sertlik değerlerine göre; çalışma alanının batısından doğusuna doğru sertlik değerleri artmaktadır. Özellikle havzanın doğusunda yer alan Davraz Kireçtaşlarının bulunduğu alanlarda belirgin sertlik anomalileri tespit edilmiştir. Yüksek sertlik değerlerinin sebebinin karstik Davraz Kireçtaşı akiferini oluşturan formasyonlar ile yeraltısuları arasındaki kayaç-su etkileşimi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bucak Havzası, Yeraltısuyu, Sertlik, CBS, Kaya-su etkileşimi.

Using a Geographic Information System (GIS) to Mapping Groundwater Hardness in Bucak Basin and Interpretation of Rock-Water Interaction

Abstract

Bucak Basin, located in the south of Burdur in the Western Mediterranean Region, is located on the Taurus Karst Belt, one of the most important karstic areas of our country. The Taurus Karst Belt, which is composed of different tectonic units, is divided into two different

* Sorumlu Yazar: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5282-8094, soyaslan@gmail.com

regions as West Taurus and Middle Taurus Karst areas. The Bucak Basin is located within the Western Taurus Karst area, where internal and superficial karstification develops well. In the north, west and middle part of the basin, there is an allochthonous Akdağ limestone and in the south, the autochthonous Davraz limestone. These two units have the characteristics of karstic aquifer due to their fracture-cracked and melt-capped structures. At the same time, the hydrodynamic connection of the Bucak Basin to the neighboring Antalya Basin is provided by this aquifer, which is generally located at the alluvial floor through the feeding area. Burdur-Antalya in southwest Turkey late in the basin Çeltikçi highway districts and residential areas and there are many villages. The drinking water requirement of the district of Bucak is met from the groundwater by means of two wells in the basin and drilling wells in the plain. CaCO₃ and French water hardness values of groundwater samples taken from 20 wells in Bucak basin in 2011-2012 were determined. Hardness values were processed into Geographical Information Systems, analyzed using Kriging interpolation method and thematic maps were prepared. Hardness values were compared by using national and international limit values and it was found that groundwater in the basin was classified as hard-very hard water. According to CaCO₃ and French water hardness values; hardness values increase from west to east of the study area. Significant hardness anomalies were detected especially at the points of Davraz limestones located to the east of the basin. It was concluded that the rock-water interaction between groundwater and the formations forming the karstic Davraz limestone aquifer is the reason for the high hardness values.

Keywords: Bucak Basin, Groundwater, Hardness, GIS, Rock-water interaction.

1. Giriş

CBS'ni çok farklı bilim dallarından farklı alanlardaki kullanıcılar tarafından farklı amaçlarla kullanılmasından dolayı, kabul gören tek bir tanımlaması bulunmamaktadır. En genel hali ile CBS, dünya üzerindeki konumsal olarak ifade edilebilen tüm bilgilerin toplanması, depolanması, karşılıklı sorgulanması ve görüntülenmesi işlemlerini sağlayan bilgisayar yazılım destekli bir araçtır. Ayrıca CBS, koordinatlandırılarak konumsal referanslı olarak ifade edilebilen farklı yöntemler kullanılarak verilerin analizi, sorgulanması ve elde edilen sonuçların tematik haritalar aracılığıyla görüntülenmesini sağlayan bilgisayar destekli veri tabanı yönetim sistemidir (Yomralıoğlu, 2000).

Son yıllarda gelişen teknoloji sayesinde, giderek önemi artan harita tabanlı verilerin depolanması ve analizinin kolaylaşması, kullanıcılara büyük imkânlar sağlamıştır. CBS teknolojisi, haritalardaki mekânsal unsurlara ait bilgileri içeren öznel tablolara sayesinde sorgulamalar yapabilmektedir. Böylece çalışılan bölgelere ait oluşturulan tablolarla sorgulama yapmak yerine tematik haritalar üretilmeye başlanmıştır. CBS'nin tüm bu özellikleri sayesinde, kolayca yorumlanabilen tematik haritalar üzerinden ekonomik, hızlı ve doğru karar alınabilme imkânı sağlanmıştır (Dinç, 2000).

CBS, yeraltısuyunun kalite parametrelerinin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesi olup yerli ve yabancı literatürde bu konuda çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Kavurmacı ve ark., 2010; Öztürk ve Çelik, 2008; Çemek ve ark., 2005; George ve ark., 2015; Mantzafleri ve ark., 2009; Adnan ve Iqbal, 2014; Oroji, 2018; Mane ve ark., 2015; Jehouni ve ark., 2014; İleri ve ark., 2007). Kullanılabilir nitelikteki tatlı su, dünyadaki tüm canlıların hayatta kalabilmeleri için gerekli olan temel ihtiyaçtır. Canlılar bu ihtiyaçlarını yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarından karşılamaktadırlar. Bu kaynaklar özellikle son yıllardaki artan nüfus ve endüstrileşmeye bağlı olarak; evsel, endüstriyel ve tarımsal kirlilik tehditleri altında kullanım koşulları giderek sınırlanmaktadır. Özellikle yüzey suları kirlilik risklerinden çok daha hızlı bir şekilde etkilenmekte ve kaliteleri geri dönülemez bir noktaya gelmektedir. Bundan dolayı günümüzde tatlı su kaynağı olarak yeraltısularının önemi giderek artmaktadır (George ve ark., 2015).

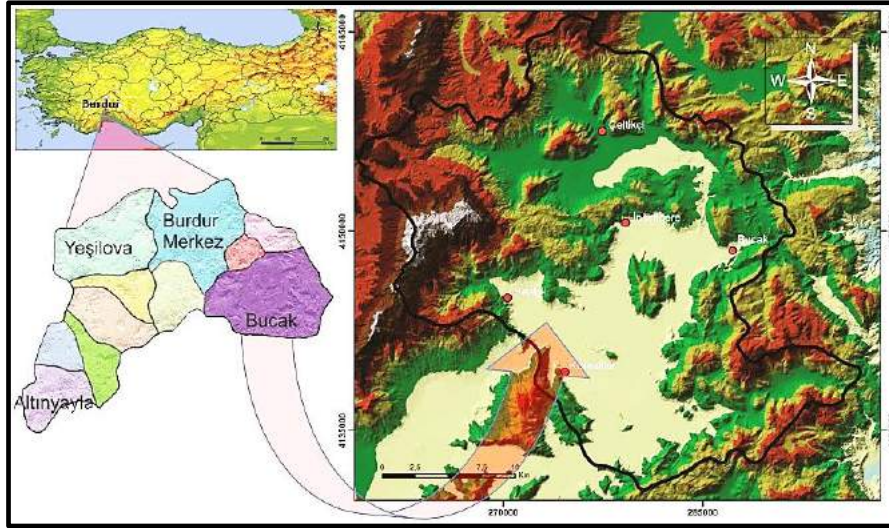
Özellikle son on yıl içerisinde kardiyovasküler ölüm nedenleri ile ilgili çevresel faktörler üzerine yapılan çalışmalar, içme suyu sertliğinin etkili bir faktör olduğunu göstermiştir (Sengupta ve ark., 2013). Özellikle epidemiolojik araştırmalar kalp damar hastalığı riski, büyüme geriliği, üreme yetersizliği, diyabet, sinir hastalıkları ve böbrek fonksiyonu bozuklukları ile su içerisinde çözünmüş kalsiyum (Ca⁺⁺) ve magnezyum (Mg⁺⁺) içeriğinin ilişkisini ortaya koymaktadır. Bunun yanında sert suların kullanımı sonucunda; aşırı sabun tüketimi, hassas ciltlerde kaşıntı, tahriş ve hatta ekzema görülmektedir (McNally ve ark., 1998). Sert suların kullanımı sonrası başta estetik sorunlar olmak üzere; sıcak su borularında ve ısıtıcı cihazlarda kireçlenme ve kabuklanma, giysilerde yıpranma, porselen ve cam mutfak eşyalarında kireç lekeleri ve çizilmeler görülebilmektedir (Nas ve Berktaş, 2001; Şengül veKüçükgül, 1995).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bucak Havzası, Burdur ilinin güneyinde Burdur-Antalya karayolu güzergâhı üzerine yaklaşık 684,41 km²'lik bir alana sahiptir (Şekil 1). Genel olarak topoğrafya çok engebeli olup, sarp dağlar bölgeye hâkim, düzlük alanları ise ovaları oluşturmaktadır. Havzanın doğu ve batısı boyunca kuzeyden güneye doğru yüksek jeomorfolojik yapı hâkimken, güney ve orta kesimlerinde ise daha düşük kotalı penepren jeomorfolojisi görülmektedir.

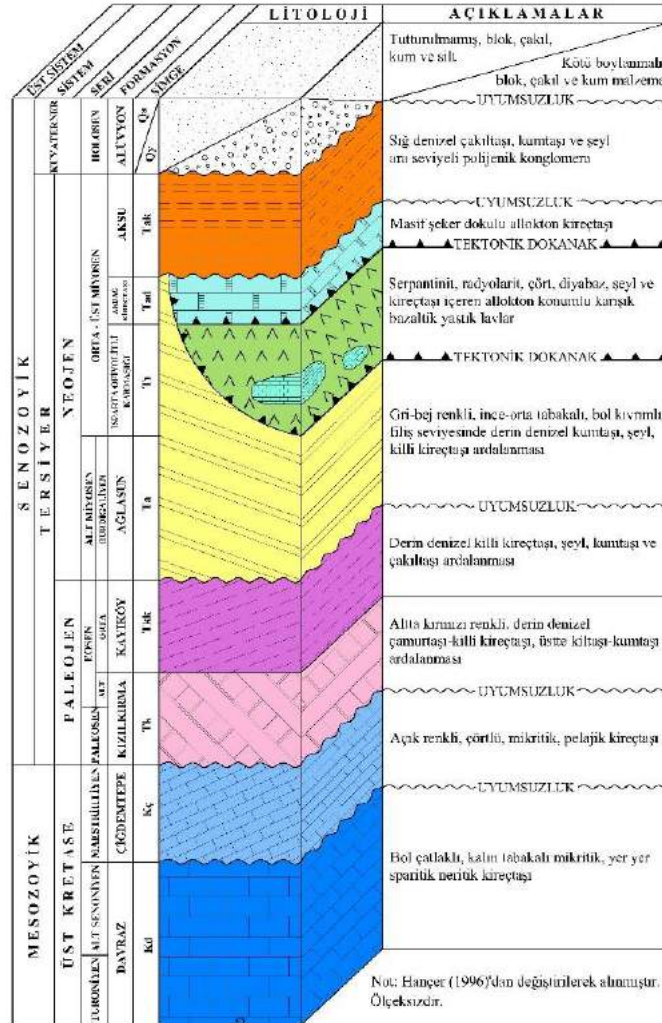
Güneybatı Anadolu'da Batı Toroslar'da bulunan Bucak Havzası, Isparta büklümü olarak bilinen tektonik bölgenin batı kesiminde yer almaktadır. Isparta büklümünün doğu kanadı Batı Toroslar'a, batı kanadı ise Likya Torosları olarak adlandırılır. Büklümün her iki kanadı kuzeydoğu ve kuzeybatı uzanımına Eğirdir-Hoyran Gölü kuzeyinde kesişmişlerdir. Bu tektonik kuşak Blumenthal (1951)'in "Coubure d' Isparta-Isparta Büklümü" olarak isimlendirdiği Isparta açısını meydana getirmiştir (Blumenthal, 1951; Bozcu, 1996). Bölgede otokton konumlu istifler; Beydağları otoktonunu ve Anamas-Akseki otoktonudur. Allohton konumlu istifleri ise, Antalya, Beşehir-Hoyran ve Likya naplarından oluşur (Brunn ve ark., 1971).



Şekil 1. Çalışma alanının yer buldur haritası

2.1.1. Genel Jeoloji

Çalışma alanında bulunan Mesozoik ve Senozoik'e ait kaya birimleri temelde otokton birimler ve allokton birimler olarak iki grup altında toplanırlar. Otokton birimler yaşlıdan gence doğru sırayla Turoniyen-Alt Senoniyen yaşlı Davraz Kireçtaşı, Maestrihtiyen yaşlı Çiğdemtepe Formasyonu, Paleosen-Alt Eosen yaşlı Kızılkırma Formasyonu, Orta Eosen yaşlı Kayıköy Formasyonu, Burdigaliyen yaşlı Ağlasun Formasyonu, Orta-Üst Miyosen yaşlı Aksu Formasyonu, ile Kuvaterner yaşlı Alüvyon olarak verilebilir. Allokton birimler ise Mesozoik yaşlı Akdağ Kireçtaşı ile Isparta ofiyolitik melanj olup, bölgeye yerleşim yapı olan Mesozoik bölümünde tektonostratigrafik olarak incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının geliştirilmiş tektonostratigrafik sütun kesiti

Kayaç su etkileşimi çerçevesinden yeraltısularına sertlik özelliği kazandıran en önemli litolojiler Davraz Kireçtaşı ve Akdağ Kireçtaşı'dır. Davraz Kireçtaşı, Batı Toroslar'daki Mesozoyik karbonat platformunun bir parçası olup platformun daha ziyade üst seviyelerini oluşturur. Birim aynı zamanda Beydağları otokton kuşağı olarak adlandırılmıştır (Ersoy, 1990).

Davraz Kireçtaşı, Güneybatı Türkiye'de Lias'dan Alt Senoniyen'e kadar devam eden transgresyon (Koçyiğit, 1981) sırasında çökelen karbonatların üst kesimlerini oluşturan sığ denizel, neritik ortamı karakterize etmekte ve lagüner ortamı temsil etmektedir. Woodcock ve Robertson'un (1977) Beydağları zonu; Yılmaz ve ark., 'nın (1981) Beydağları masifi olarak belirttiği kuşağın Isparta güneyindeki devamı olan Davraz Kireçtaşı otokton konumludur (Woodcock ve Robertson, 1977; Yılmaz ve ark., 1981).

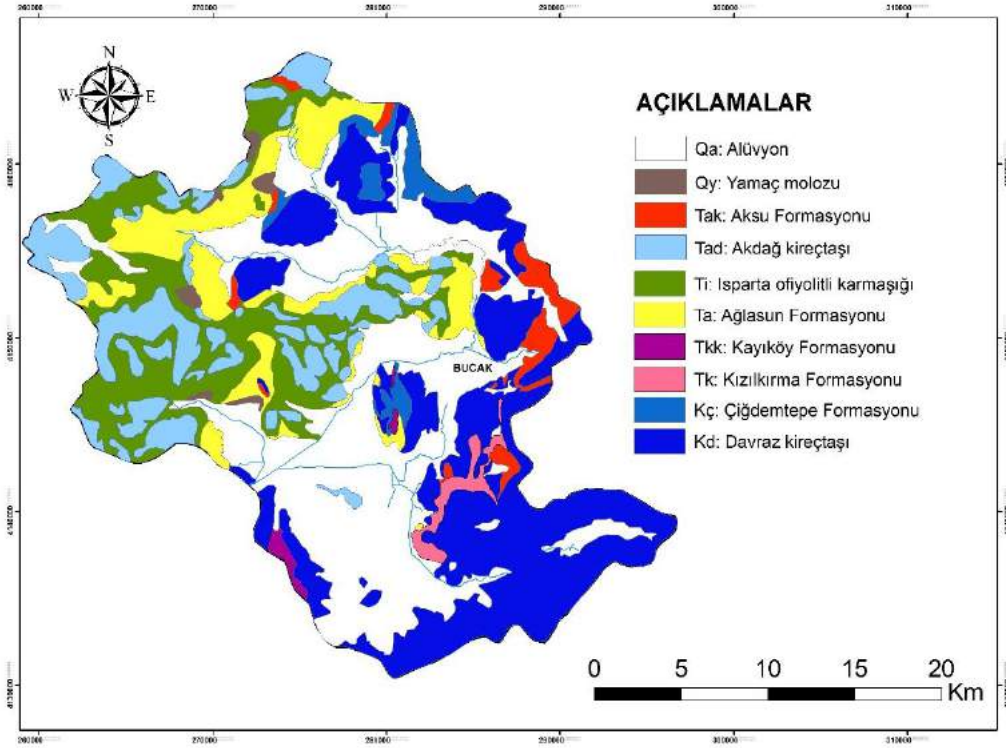
Davraz Kireçtaşı; gri, beyaz ve krem renkli sert ve bol çatlaklı olup çatlaklar ikincil kalsit dolgulu, 10 cm ile 1 m arasında kalınlıkta, orta-kalın tabakalı litolojiye sahiptir. Neotektonik dönemde etkili olan tektonizma sonucunda birimde, kırıklı ve ezilmiş breşik zonlar dikkati çekmektedir. Çalışma alanında birime ait karstik erime yapılarından polyeler özellikle de morfolojik olarak üst kotlarda, uvalalar özellikle Kuyubaşı civarında, daha küçük boyutlu lapiyeler ise birimin yüzeylendiği tüm noktalarda sıklıkla gözlenmektedir. Davraz kireçtaşlarında karstik yapılardan özellikle düdenler hâkim olarak gözlenmektedir. Bölgede bulunan Kestel Gölü'nün kurutulması sırasında da ova kenarında yer alan çok sayıda düdenlerden faydalanılmıştır. Onaç Barajından bırakılan sulardan beslenen Onaç Deresinde Kestel Düdenine boşalmaktadır (Şekil 3). Bucak ilçesi kanalizasyonu arıtma tesisi yapılmadan önce Onaç Deresi aracılığıyla Kestel Düdenine bırakılmıştır. Karstik bir morfolojinin gelişmesi için tüm şartlara sahip olan Davraz Kireçtaşı karstik litolojilerin tüm karakteristik özelliklerini taşımaktadırlar. Davraz Kireçtaşı'nın tabanı inceleme alanında görülemediğinden dolayı en yaşlı birim olarak en altta bulunmaktadır. Birimin üzerinde ise uyumsuz olarak Çiğdemtepe Formasyonu yer almaktadır (Hançer, 1996).



Şekil 3. Onaç deresinin boşaldığı Kestel Polyesi

Allokton konumlu Akdağ Kireçtaşı birimi Isparta ofiyolitik melanjı ile birlikte tektonik kökenli kuvvetlerce Burdigaliyen'de Ağlasun Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak konumlanmıştır. Birim beyaz, açık gri renkli, 1-25 cm arasında değişen boyutlarda bol çatlaklı, kalsit dolgulu masif kireçtaşından oluşmaktadır. Tabakalı bir yapı göstermeyen birimde çok düzgün çatlak düzlemleri gelişmiş olup, arazi çalışmalarında uzaktan tabakayı andırmaktadır. Davraz Kireçtaşı'nda görünen karstik erime yapılarının tamamı Akdağ Kireçtaşı'nda yaygın olarak gözlenmektedir. Birim Isparta ofiyolitik melanjı ile birlikte allokton konumlu olarak Ağlasun Formasyonu üzerine bindirmeli dokanakla gelmişlerdir. Birimin alt dokanağında tektonostratigrafik olarak Isparta ofiyolitik melanjı, üstünde ise uyumsuz olarak Aksu Formasyonu bulunmaktadır (Hançer, 1996).

Bucak Havzasının doğu ve güney kesiminde geniş alanlarda Beydağları otoktonuna Davraz Kireçtaşı, batısında ise allokton konumlu Akdağ Kireçtaşı yüzeylenmektedir (Şekil 4). Ova genelinde allokton konumlu Akdağ Kireçtaşı ile Isparta ofiyolitik melanj dokanağından boşalan kaynaklar ve yağıştan beslenen alüvyon akifer boşalımının otokton konumlu karstik Davraz Kireçtaşı'na olmaktadır (Karagüzel ve ark., 1995).



Şekil 4. Çalışma alanının jeoloji haritası

2.1.1. Su Sertliği

İçme suyunda sertlik, suda çözülmüş doğal minerallerden Ca^{++} ve Mg^{++} konsantrasyonuna bağlı olarak oluşur ve litre başına çözülmüş kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) (mg / L) olarak ifade edilir. Bu mineraller toprak, kireçtaşı, kalsit, bazı volkanik bazaltlar gibi litolojiler ile yeraltısuyu arasında gerçekleşen etkileşim sonucunda doğal olarak çözülür (ES, 2019). Sudaki çözülmüş Ca^{++} ve Mg^{++} oranı; hem suyun sertliğini belirleyen ve hem de suyun sağlık sorununa neden olduğunu gösteren çok önemli bir faktördür. Sertlik en yaygın kaynakları su içinde Ca^{++} (kireçtaşı) ve Mg^{++} (dolomit veya dolomitik kireçtaşı) olarak tanımlanmaktadır. Sertlik genellikle yeraltısuyu, Ca^{++} ve Mg^{++} içeren mineraller içinden süzülürken kayaç-su etkileşimi sonucunda oluşmaktadır (Prepas, ve diğerleri, 2001).

Hangi kaynaktan geldiğine ve kayaç su etkileşiminin miktarına bağlı olmak üzere yeraltısularının sertlikleri genellikle yüzey sularının sertliklerinden daha fazladır. Genellikle sedimanter kayaçlardan özellikle kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşları ile uzun süre etkileşimde bulunan suların sertlikleri, magmatik kayaçlardan özellikle granitik kökenli kayaçlar ile etkileşimde bulunan suların sertliklerinden daha fazladır. Burada önemli olan jeolojik ortamın yani kayacın kökeni ve bileşimi ile suyun içerisindeki asidik karakterin miktarıdır.

Özellikle yağışların yeryüzü ile teması sonucunda yüzeysel akış ve yeraltına sızmasında karbondioksit ile etkileşime girerek karbonik asit meydana gelir. Karbonik asit ise kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşını eriterek bikarbonat (HCO_3^-) haline dönüştürür. HCO_3^- 'ların su içinde erime yeteneği kalkerin erime yeteneğinden çok daha fazladır (Gölhan ve Aksoğan, 1968). Kireçtaşı ile etkileşim halinde bulunan yeraltısuyunun doğal olarak sertlik değeri artmaktadır.

Terminolojide sertlik ifade etmek için geçici sertlik, kalıcı sertlik, toplam sertlik ifadeleri kullanılmaktadır. Geçici Sertlik, HCO_3^- a bağlı Ca^{++} ve Mg^{++} 'un sebep olduğu sertlik olarak tanımlanabilir. Geçici sertlik HCO_3^- 'lardan kaynaklandığından dolayı, suların kaynatılması ile kolaylıkla giderilir. Kalıcı sertlik, Ca^{++} ve Mg^{++} gibi iyonların asit kökleri olan sülfat (SO_4^-), nitrat (NO_3^-) ve klor (Cl^-) bağlı olarak meydana gelmekte olup, karbonat olmayan sertlik olarak ta tanımlanmaktadır. Geçici sertliğin aksine kalıcı sertlik suyun kaynatılması ile giderilememektedir. Toplam Sertlik ise geçici sertlik ve kalıcı sertliğin birleşimi olup, alkalinite ve karbonat olmayan sertliğin toplamıdır. Sudaki sertliği ifade etmek için, Fransız, Alman, İngiliz ve Amerikan sertlik dereceleri kullanılmaktadır.

İçme suyu sertliği ($CaCO_3$) konusunda EPA (Environmental Protection Agency=Çevre Koruma Ajansı) ve Türk Standartlar Enstitüsü TS266 İçme Suyu Standardında tarafından belirlenmiş her hangi bir sınır değer ve sınıflama mevcut değildir (TSE, 1997; EPA, 2018; Güler, 1997. Bunun yanında WHO (World Health Organization=Dünya Sağlık Örgütü) içme suyu standartlarında kabul edilebilir en üst sertlik ($CaCO_3$) sınır değeri 500 mg/L verilmiştir (WHO, 1996; Yelekcı ve ark., 2012). Suların sertlik derecesine göre sınıflamaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Suların sertlik derecesine göre sınıflandırılması (WHO, 1996)

CaCO ₃ Miktarı (mg/L)	Su Sertlik Sınıfı
50-75	Yumuşak
75-150	Orta sert
150-300	Sert
>300	Çok sert
Sertlik Değeri (°fH)	Su Sertlik Sınıfı
0-7	Tatlı
7-14	Yumuşak
14-28	Orta sert
>28	Sert

Son zamanlarda yapılan su kalitesinin sağlığa etkisini konu alan çalışmalarda Ca⁺⁺ ve M⁺⁺ iyonlarından kaynaklanan sertliğin sağlıklı bireylerde dermatolojik hassasiyet hariç olumsuz ciddi bir etkiye sebep olmadığı anlaşılmıştır. Hatta suların sertliği ile kalp-damar hastalıklarının arasında ters bir ilişki bulunmaktadır (Anderson ve ark., 1975; Sengupta ve ark., 2013; Sengupta, 2012). Sert sular kullanım suyu olarak pek çok dezavantajlara sahipken, içme suyu olarak tüketildiğinde özellikle sağlık açısından önemli avantajlarının olduğunu söylemek mümkündür.

2.2. Metot

Araştırma kapsamında Mayıs-Eylül 2010 ve Mayıs-Eylül 2011 arasındaki dönemde arazi çalışmaları yapılmıştır. Ölçümler açık arazide yapıldığından, ölçüm zamanları hava şartlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda mümkün olduğunca aynı dönemlerde ölçümlerinin gerçekleştirilmesine çalışılmıştır. Çalışma alanındaki arazi ölçüm noktalarının seçimine dikkat edilerek, mümkün olduğunca araziyi temsil edebilecek noktaların seçilmesine özen gösterilmiştir. Arazi ölçümlerinin yapıldığı noktaların koordinatları, GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) cihazı ile 1-3 m aralığındaki hassaslık ile belirlenmiştir.

Yeraltı suyu sertlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla Sanxin marka Portatif su sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Portatif su sertlik ölçüm cihazı CaCO₃ su sertliğini 0-1000 mg/L ve Fransız su sertliğini (°fH) 0-100 °fH aralıklarında ±%5 hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir. Bu cihazla yeraltı suyu sertlik değerleri Fransız (°fH) sertliği ve CaCO₃ (mg/L) sertliği olmak üzere yerinde ve gerçek zamanlı olarak ölçülmüştür.

Bilinen noktasal verilerden, bilinmeyen bölgelere ait verilerin elde edilmesinde kullanılan ArcGIS Mekansal analiz eklentisi sayesinde sürekli bir yüzey elde etmek ve çalışma alanına ait su sertliğini gösterir sürekli yüzey oluşturmak mümkün olmuştur (Singh & Khan, 2011). Bu amaçla çalışmada, ArcGIS mekânsal analiz interpolasyon yöntemlerinden biri olan Kriging yöntemi kullanılmıştır. Kriging yöntemi ile interpolasyonda, ölçümü bulunmayan bölgelerdeki değerlerin tahmininde, ölçülen noktalara ait değerlerin genişletilerek tahmini yapılacak alan içine yayılması şeklinde uygulanmaktadır. Kriging yönteminde şu eşitlik kullanılmaktadır.

$$Z_{(x_0)} = \sum_{i=0}^n \lambda_0^i Z_{(x_i)}$$

$Z_{(x_0)}$: x_0 noktası için hesaplanan değer,

λ_0^i : her i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) veri noktası ile ilişkili ağırlık,

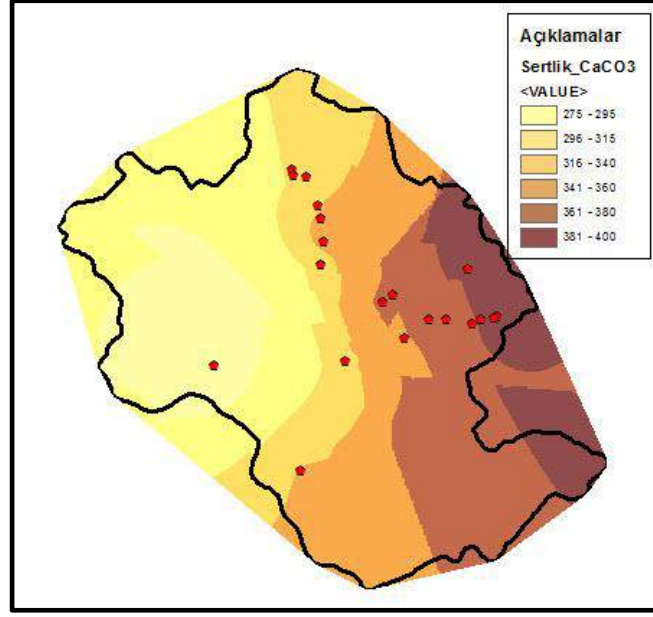
$Z_{(x_i)}$: x_i noktasındaki varolan değer,

n : örnek noktalarının sayısıdır.

Kriging yöntemi kullanılarak ve 20 adet kuyuya ait su örneklerinin Fransız (°fH) sertliği ve CaCO₃ (mg/L) sertliğinin mekânsal dağılım haritası elde edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

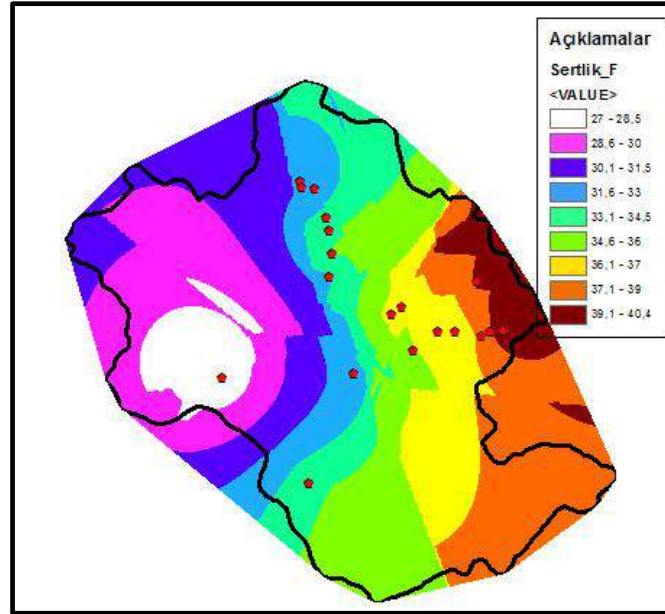
Kriging yöntemi kullanılarak elde edilen CaCO₃ sertliği mekânsal dağılım haritası incelendiğinde; en düşük sertlik değerinin 212 mg/L ve en yüksek değer ise 461 mg/L olduğu görülmüştür. En düşük sertlik değeri (212 mg/L) ova içerisindeki alüvyon akiferde, en yüksek sertlik değeri (461 mg/L) ise çalışma alanı doğusunda yer alan otokton konumlu çalışma alanının tabanını oluşturan Davraz kireçtaşlarının oluşturduğu karstik akifere yakın bölgede yer almaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Bucak havzası yeraltısuyu CaCO₃ sertliği dağılım haritası

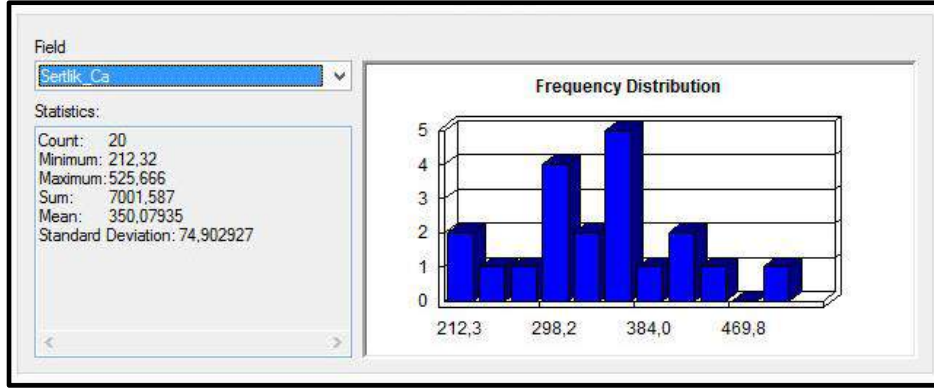
Fransız sertliği haritasında en düşük sertlik değeri 21 °fH ve en yüksek sertlik değeri ise 46 °fH olarak belirlenmiştir. En düşük sertlik değeri (21 °fH) ova içerisindeki alüvyon akiferde, en yüksek (46 °fH) sertlik değeri Davraz Kireçtaşlarının alüvyon akifere boşalım noktasına yakın bölgede bulunmaktadır (Şekil 6).

Bucak havzasında elde edilen her iki sertlik değerinin dağılımı doğudan batıya doğru artış göstermektedir. Çalışma alanı batısında genellikle Isparta ofiyolitik melanjı içindeki Akdağ kireçtaşları ile alüvyon dokanağında yer alan kaynaklar veya sondaj kuyularında sertlik değeri düşüktür. Bunun yanında çalışma alanı batısında ise Davraz kireçtaşlarının kuzeyden güneya yayılım gösterdiği noktalarda sertlik değerlerinde bariz artış anomalisi gözlenmektedir.



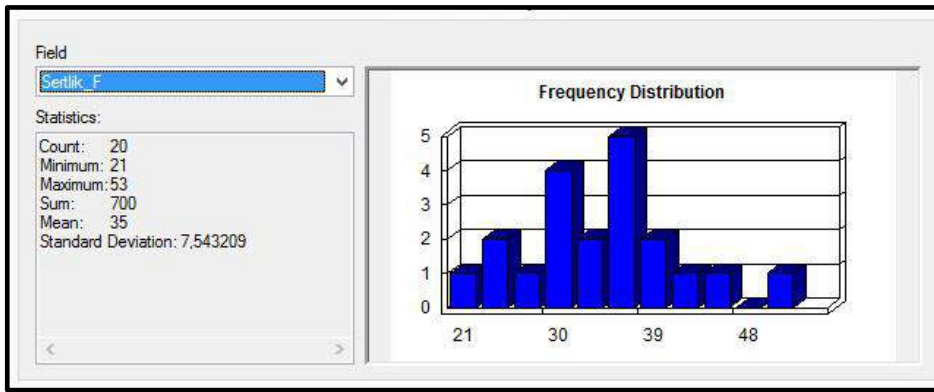
Şekil 6. Bucak havzası yeraltısuyu Fransız (°fH) sertlik dağılım haritası

Ölçülen CaCO₃ sertlik değerlerine ait frekans dağılım grafiğinde en düşük değer 212.32 mg/L, en yüksek değer 525.66 mg/L, ortalama 350.08 mg/L ve standart sapma değerinin 74.90 olarak belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. CaCO₃ sertliği için frekans dağılım

Ölçülen Fransız sertlik değerlerine ait frekans dağılım grafiğinde en düşük değer 21 °fH, en yüksek değer 53 °fH, ortalama 35 °fH ve standart sapma değerinin 7.54 olarak tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Fransız sertliği (°fH) için frekans dağılım

Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından hazırlanan suların sertlik derecesine göre sınıflandırılmasına göre sınıflandırılmıştır. Buna göre Fransız sertliğine göre 3 örnek orta sert, 17 örnek sert sular sınıfında yer almaktadır. CaCO₃ sertliğine göre 300 mg/L altında bulunan 3 örnek sert sular sınıfında, geriye kalan 17 örnek ise çok sert sular sınıfındadır.

4. Sonuç

Bölgesel jeolojiye bakıldığında, Isparta Büklümü olarak isimlendirilen tektonik bir bölgenin içerisinde yer alan çalışma alanında otkton ve allokton konumlu birimlerin yer almasından dolayı bölgenin stratigrafisini kompleks yapıdadır. Toros karst kuşağı olarak adlandırılan karstik bölgenin batı kısmında yer alan Bucak Havzasında yapılacak yeraltısuyu kalitesi ve hidrojeoloji çalışmalarında karstik akiferlerin varlığı kaçınılmaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Arazi çalışmaları sonucunda ölçülen Fransız su sertlik değerleri 21-46 °fH ve CaCO₃ sertliği ise 212-461 mg/L değerleri arasında değişmektedir. Arazi çalışmaları sırasında yerinde yapılan ölçümler sonucunda tespit edilmiş olan Fransız ve CaCO₃ su sertlik değerleri CBS ortamında işlenerek su sertlik dağılım haritaları hazırlanmıştır. Su sertlik dağılım haritasının incelenmesi sonucunda alüvyon akifer içerisindeki su sertlik değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Alüvyon akiferdeki yeraltı suyunun sertlik değerinin düşük çıkmasının temel sebebi, alüvyon akiferin çalışma alanın doğusunda yüzeyleyen geçirimsiz Ağlasun Formasyonu ve ofiyolitik seri üzerindeki drenaj ağlarından yüzeysel akış ile beslenmesidir. Dolayısıyla su kayaç etkileşimi çok az olup suya sertlik kazandırabilecek Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ miktarı mevcut değildir.

Çalışma alanının doğusundaki yeraltısuyu sertlik değerleri yüksek çıkmaktadır. Özellikle Davraz Kireçtaşı'nın oluşturduğu karstik akiferin boşalım noktalarına yakın bölgelerde yüksek su sertlik değerlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Karstik litolojilerin tüm karakteristik özelliklerini taşıyan Davraz Kireçtaşı, gerek yüzey suyu (Onaç Deresi) ve gerekse yeraltısularıyla karşılıklı etkileşimin en iyi geliştiği birimdir. Havzadaki yeraltısularındaki sertliğin en önemli sebebi Davraz Kireçtaşı'nda gelişen kayaç-su etkileşimi olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0112-NAP-10 nolu Normal Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Adnan, S., & Iqbal, J. (2014). Spatial analysis of the groundwater quality in the Peshawar district, Pakistan. *Procedia Engineering*, 14-22.
- Anderson, T. W., Neri, L. C., Schreiber, G. B., Talbot, F. D., & Letter, Z. A. (1975). Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium. *Canadian Medical Association Journal*, 113, 199-203.
- Blumenthal, M. M. (1951). Batı Toroslarda Alanya ard ülkesinde jeolojik araştırmalar. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayın No:5.
- Bozcu, M. (1996). Kasımlar (Sütçüler-Isparta) yöresinde yeralan Mesozoyik yaşlı denizel tortulların jeolojisi, petrografisi ve organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (yayımlanmamış).
- Brunn, J. H., Argyriadis, I., Marcoux, J., Monod, O., Poisson, A., & Ricou, L. (1971). Antalya'nın ofiyolit naplarının orijini lehinde ve alehindeki kanıtlar. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi (s. 58-70). Ankara: MTA Genel Müdürlüğü Özel Baim.
- Çemek, B., Güler, M., & Arslan, H. (2005). Bafra Ovası Sağ Sahil Sulama Alanındaki Tuzluluk Dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(1), 63-72.
- Diñç, O. (2000). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Teknolojisi ve Veri Analiz Yöntemleri. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayın No:FBE-2000-1.
- EPA. (2018). 2018 Edition of the drinking water standards and health advisories tables. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Ersoy, Ş. (1990). Batı Toros (Likya) naplarının yapısal öğelerinin ve evriminin analizi. *TMMOB JMO Jeo. Müh. Dergisi*, 5-16.
- ES. (2019, 11 25). Hardness in Drinking Water. New Hampshire Department of Environmental Sevice: <https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/pip/factsheets/dwgb/documents/dwgb-3-6.pdf> adresinden alındı
- George, G. K., Akhilasree, D. G., Chandran, M. L., Reshma, P. R., & Siga, G. (2015). Study of ground water pollution around an industry using GIS. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, 2(2), 145-150.
- Gölhan, M., & Aksoğan, S. (1968). Sert suların yumuşatılması ve Ankara şehri içme ve kullanma kuyunun yumuşatılmasından sağlanacak faydalar. Türkiye İnşaat Mühendisliği IV. Teknik Kongresi, Rapor No:21 (s. 1-24). Ankara: İnşaat Mühendisleri Odası.
- Güler, Ç. (1997). Su Kalitesi. Ankara: Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:43.
- Hançer, M. (1996). Isparta güneği, Ağlasun-Bucak civarının jeolojik ve tektonik özellikleri. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (yayımlanmamış).
- İleri, B., Gündüz, O., Elçi, A., Şimşek, C., & Alparlan, M. N. (2007). Tahtalı Havzası Yeraltı Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji, (s. 880-888). 24-27 Ekim İzmir.
- Jeiouni, M., Toomanian, A., Shahabi, M., & Alavipanah, S. K. (2014). Groundwater quality assessment for drinking purposes using GIS modelling (case study: city of Tabriz). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W3, 163-168. doi:doi:10.5194/isprsarchives-XL-2-W3-163-2014
- Karagüzel, R., Taşdelen, S., Özkul, M., & Bilgin, A. (1995). Investigation of waste water discharge of Bucak (Burdur) and its effects on aquifer. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, (s. 693-700). İzmir.
- Kavurmacı, M., Altaş, L., Kurmaç, Y., Işık, M., & Elhatip, H. (2010). Tuz Gölü'nün Aksaray İli yeraltı sularına etkisinin Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi. *Ekoloji Dergisi*, 19(77), 29-34.
- Koçyiğit, A. (1981). Isparta Büklümünün (Batı Toroslar) Toros Karbonat Platformunun evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 15-23.
- Mane, A. V., Dhanani, K. S., Joshi, K., & Dhanani, C. S. (2015). Groundwater quality assessment and GIS based mapping of selected areas of Mangrol Coast, Gujarat (India). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(5), 649-660.
- Mantzafleri, N., Psilovikos, A., & Blanta, A. (2009). Water Quality Monitoring and Modelling in Lake Kastoria, Using GIS. *Assessment and Management of Pollution Sources. Water Resour. Manage*, 3221-3354. doi:DOI 10.1007/s11269-009-9431-4
- McNally, N. J., Williams, H. C., Philips, D. R., Smallman-Raynor, M., Lewis, M., Venn, A., & Britton, J. (1998). Atopic eczema and domestic water hardness. *The Lancet*, 352, 527-531.
- Nas, B., & Berktaş, A. (2001). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Konya kenti yeraltısu sertlik haritasının oluşturulması. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*, 13-14 Kasım (s. 135-140). İstanbul: Fatih Üniversitesi.
- Oroji, B. (2018). Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC and GOD in the Asadabad plain. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 1809-1816. doi:https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.6.201
- Öztürk, M., & Çelik, R. (2008). Diyarbakır Ovasının Yeraltı Su Seviye Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Tesbiti, 2. Su Politikaları Kongresi, Bildiriler kitabı (s. 125-137). 20-22 Mart Ankara: TMMOB.
- Prepas, E. E., Pinel-Alloul, B., Chambers, P. A., Murphy, T. P., Reedyk, S., Sandland, G., & Serediak, M. (2001). Lime treatment and its effects on the chemistry and biota of hardwater eutrophic lakes. *Freshwater Biology*, 46(8), 1046-1060. doi:https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00788.x
- Sengupta, P. (2012). Challenge of infertility: How protective the yoga therapy is? *Ancient Science of Life*, 32(1), 61-62. doi:DOI: 10.4103/0257-7941.113796
- Sengupta, P. (2013). Potential health impacts of hard water. *International Journal of Preventive Medicine*, 4(8), 866-875.
- Singh, P., & Khan, I. (2011). Ground water quality assessment of Dhankawadi ward of Pune by using GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 688-703.
- Şengül, F., & Küçükgül, E. Y. (1995). Çevre mühendisliğinde fiziksel-kimyasal temel işlemler ve süreçler. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:153 (3.Baskı).
- TSE. (1997). Sular-İçme ve kullanma suları, TSE 266. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

- WHO. (1996). Guidelines for Drinking Water-Second Edition- Volume 2 Health Criteria and Other Supporting information. Geneva: World Health Organization.
- Woodcock, N. H., & Robertson, A. H. (1977). Imbricate thrust belt tectonics and sedimentation as a guide to emplacement of part of the Antalya complex SW Turkey. 6. Colloquium Geology of the Aegean Region (s. 661-671). İsmir: (Second Edition,1985).
- Yelekçi, S., Acemioğlu, B., & Avcı, H. (2012). Kilis il merkezi içme sularının kullanılabilirliğinin araştırılması. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2), 77-81.
- Yılmaz, P. O., Maxwell, J. C., & Muehlberger, W. R. (1981). Antalya kompleksinin yapısal evrimi ve doğu Akdeniz'deki yeri. *Yerbilimleri HÜ. Yerbilimleri Enstitüsü Bülteni*, 119-127.
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. İstanbul: Seçil Ofset.



Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Saf Kültür Mikroorganizmaları ve Genel Özellikleri

Ahmet Erensoy¹, Nurettin Çek^{2*}

¹ Fırat Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Parazitoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6300-1105)

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6120-9228)

(İlk Geliş Tarihi 5 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 7 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.669787)

ATIF/REFERENCE: Erensoy, A., & Çek, N. (2020). Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Saf Kültür Mikroorganizmaları ve Genel Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 109-117.

Öz

Biyokütle enerjisi, günümüzün artan enerji taleplerini karşılamakta kaçınılmaz bir görev yürüten yenilenebilir bir enerjidir. Biyoyakıtların aksine, mikrobiyal yakıt hücreleri organik malzemelerde toplanan enerjiyi doğrudan biyoelektrikliğe dönüştürür. Mikrobiyal yakıt hücreleri, kalkınma odaklı ve çok yönlü bir yenilenebilir enerji teknolojisidir. Mikrobiyal yakıt hücresi (MYH), çeşitli organik malzemelerden (substratlardan) elektrik enerjisi üretimi için kullanılan çevre dostu bir teknolojidir. Mikrobiyal yakıt hücreleri, doğrudan elektrik enerjisi üretimi için alternatif bir enerji dönüşüm sistemi olarak büyük ilgi görmektedir. Mikrobiyal yakıt hücreleri (MYH'ler), atık ortamda yakıt kaynağı olarak düşük dereceli organik karbonları kullanabilir. Mikrobiyal yakıt hücrelerinin, yakıt kaynağı olarak düşük dereceli biyokütle veya hatta atık su kullanabilmesinden dolayı belirgin faydaları vardır. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde elektrik üretiminin temeli, organik malzemelerin mikroorganizmalar tarafından katalize edilmesidir. Çünkü mikrobiyal yakıt hücreleri, organik maddeleri (substrat) oksitlemek için biyokatalizörler olarak mikroorganizmaları kullanır. Bir mikrobiyal yakıt hücresinde, organik maddeler (substratlar) elektron vericileridir. Organik malzemelerin oksidasyon (biyokataliz) çalışmalarından sonra anodik biyofilm bakterileri tarafından açığa çıkarılan elektronlar ilk önce anoksik koşullar altında anot elektrotta aktarılır. Bu işlemleri yapan bakterilere elektrojen denir. Anot elektrot, elektrojenik biyofilm bakterileri tarafından anaerobik solunum için elektron alıcısı olarak kullanılır. Yani, anot ve mikroorganizma arasında bir elektron transfer işlemi gerçekleşir. Mikroorganizma ve elektrotlar arasındaki elektron transferi, doğrudan elektron transferi ve dolaylı (aracılı) elektron transferi olmak üzere iki mekanizmada gerçekleşir. Bu makalede, elektrojenik mikroorganizmalardan anot elektroduna elektron transfer mekanizması ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Saf mikroorganizma kültürlerinin mikrobiyal yakıt hücrelerinde kullanımı anlatılmıştır. Bu makalenin sonuçlarına göre, yüksek elektrokimyasal aktivitelere sahip elektrojenik mikroorganizmaların keşfi, muhtemelen gelecekteki pratik sistem çalışmaları için mikrobiyal yakıt hücrelerinin gelişimini teşvik etmek için olağanüstü bir durum olacaktır.

(Minimum 250 – Maksimum 400 kelime ve içeriğinde amaç, materyal-metot, bulgular ve sonuç kısımlarını içerecek şekilde yazılmalıdır.)

Anahtar Kelimeler: Mikrobiyal yakıt hücresi, Mikroorganizma, Elektron, Elektrik.

Pure Culture Microorganisms Used in Microbial Fuel Cells and General Properties

Abstract

Biomass energy is a renewable energy that running an unavoidable task in meeting today's ever increasing energy demands. Unlike biofuels, microbial fuel cells convert energy harvested at organic materials directly into bioelectricity. Microbial fuel cells (MFC's) are development-oriented as well-rounded a renewable energy technology. Microbial fuel cell (MFC) is an environmentally friendly technology used for electrical energy generation from a variety of organic materials (substrates). Microbial fuel cells have acquired

* Sorumlu Yazar: Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6120-9228, nurettincek001@gmail.com

considerable interest as an alternative energy conversion system for direct electrical energy generating. Microbial fuel cells can utilize low-grade organic carbons as the fuel source in the waste environment. Microbial fuel cells (MFCs) have apparent benefits in that it can as fuel source utilize low-grade biomass or even wastewater. The basis of electricity generation in microbial fuel cells is the catalysed of organic materials by microorganisms. In a microbial fuel cell, organic materials (substrates) are electron donors. Microbial fuel cells use microorganisms as biocatalysts to oxidize organic materials (substrate). Electrons released by anodic biofilm bacteria after oxidation (biocatalysis) works of the organic materials are first transferred to the anode electrode under anoxic condition. The bacteria that make these processes are called electrogen. Anode electrode is used by the electrogenic biofilm bacteria as the electron acceptor for anaerobic respiration. So, an electron transfer process takes place between the anode and the microorganism. Electron transfer among microorganism and electrodes occurs on two mechanisms, namely direct electron transfer and indirect (mediated) electron transfer. In this article, electron transfer mechanism from electrogenic microorganisms to anode electrode is discussed in detail. The use of pure microorganism cultures in microbial fuel cells has been told. Suggestions have been made for the future status of electrogenic microorganisms in microbial fuel cells. According to these results of this article, reconnaissance of electrogenic microorganisms with high electrochemical activities would probably be an extraordinary status for promoting the development of microbial fuel cells for very presumably future practical system works.

(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, Microorganism, Electron, Electricity.

1. Giriş

Yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinden birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütledeki kimyasal enerji, mikrobiyal yakıt hücreleri sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Mikrobiyal yakıt hücresi (MYH), organik maddenin elektriğe doğrudan dönüştürülmesini sağlayan yenilikçi bir teknolojidir. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde (MYH'lerde) organik madde bakteriler tarafından bozunarak elektron ve protonlar açığa çıkar. Bazı bakteri türlerinin doğal metabolizmalarının bir parçası olarak ortaya çıkan elektronlar bir anot elektrotuna geçerler. Anot elektrot, terminal elektron alıcısı olarak görev yapar. Elektronlar, anot elektrottan dış devre vasıtasıyla katot elektrotta aktarılır. Açığa çıkan protonlar, çözelti (elektrolit) içerisinde katot elektrotta göç ederler. Anottan gelen elektronlar, elektrolitten gelen protonlar ve havadan alınan oksijen katot elektrotta kimyasal tepkime sonucu birleşerek su oluştururlar. Böylece, mikrobiyal yakıt hücreleri (MYH'ler) elektrik enerjisi üretirler (Çek (2013); Çek (2016a); Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Çek ve Erensoy (2019)).

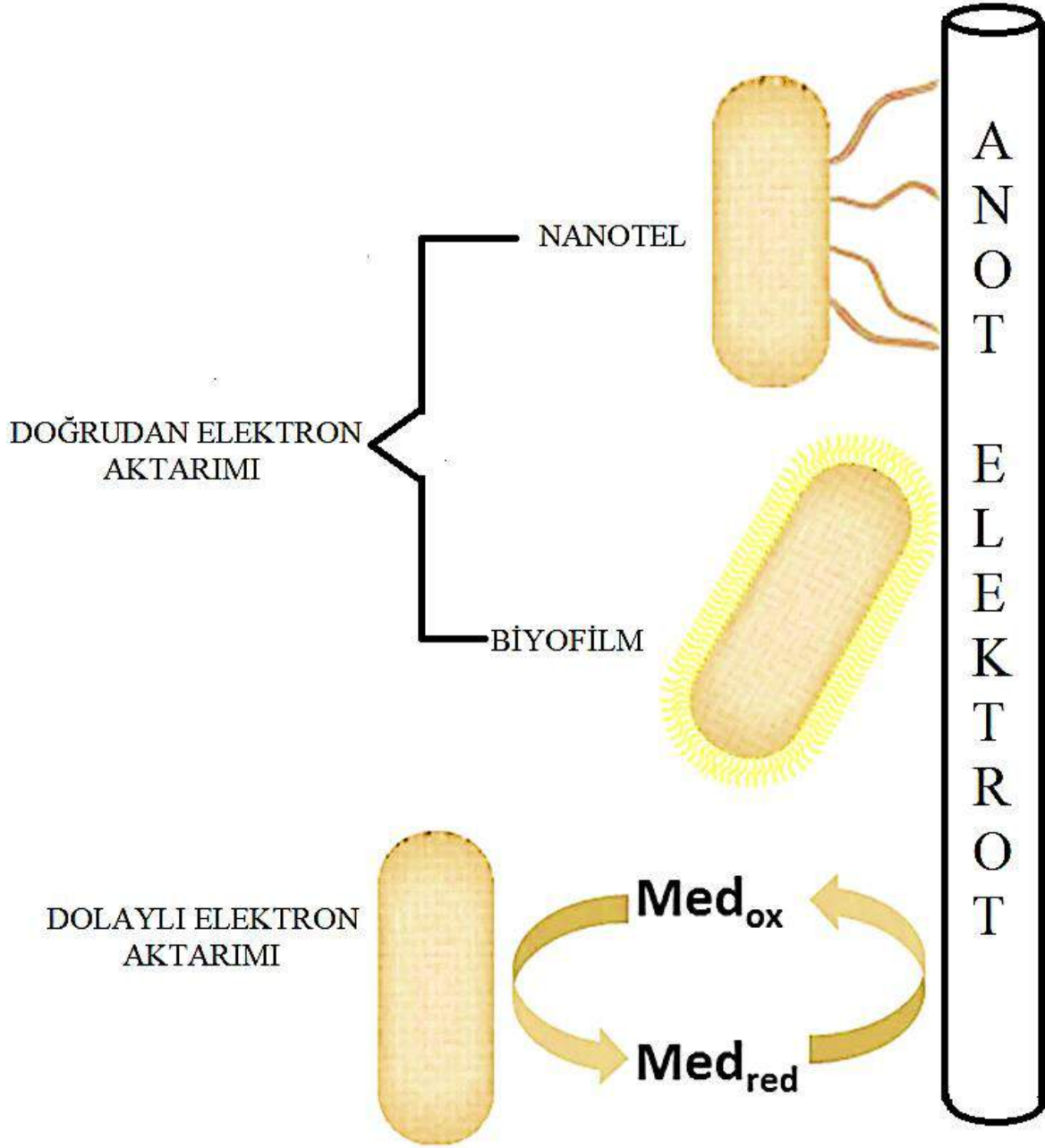
MYH'ler, mikroorganizmaları katalizör olarak kullanan biyo tabanlı yakıt hücreleridir. Diğer yakıt hücrelerinin aksine, MYH'ler anotta değerli metal katalizörleri kullanmazlar. Bu nedenle, MYH teknolojisi, ucuz bir şekilde elektriksel güç üretmek için yeni ve umut verici bir yaklaşımı temsil etmektedir (Cao ve ark. (2019)). Mikroorganizmalar tarafından elektrik akımı üretimi kavramı 100 yıldan fazla bir süredir ortaya çıkarılmıştır. Elektrik üretimi için MYH cihazları yaklaşık 50 yıldır yoğun bir çalışma altında geliştirilmektedir. MYH'ler, elektrolitler tarafından ayrılan iki elektrot, bir anot ve bir katottan oluşan diğer herhangi bir pil veya yakıt hücresine benzer. Aradaki fark, elektrik üretmek için substrat (ayrışan madde) olarak organik bileşikler kullanmasıdır (Cao ve ark. (2019)). Organik maddenin enerji içeriği, organik maddenin bakteriler tarafından parçalanma performansı, bakterilerin elektrotlarla uyumluluğu gibi faktörler mikrobiyal yakıt hücrelerinin elektrik üretim performansını belirleyen esas faktörlerdendir (Çek ve Erensoy (2019); Pareek ve ark. (2019)).

Organik bileşikleri oksitleyen ve elektronları MYH'lerin anotlarına aktaran mikroorganizmalara “elektrokimyasal olarak aktif mikroorganizmalar, electricigen (elektrikjen), elektrojen veya electrogenic (elektrojenik)” denir. Bunlar, MYH'lerin enerji üretim mekanizmalarında net bir ayırım yapmak için ortaya çıkmıştır. Electricigens mikroorganizmaları sayesinde üretilen elektrik, diğer mikroorganizmalara göre oldukça farklıdır. Bir MYH sisteminde, anotun yakın çevresinde kullanılan electricigen, elektrik üretim performansını etkileyen temel faktörlerden biridir (Cao ve ark. (2019); Chen ve ark. (2018); Haavisto ve ark. (2019)).

Bu çalışmada, elektrikjen mikroorganizmalarından anoda elektron aktarım mekanizması ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Saf kültürlerin MYH'lerdeki kullanımı anlatılmıştır. MYH'lerdeki elektrikjen mikroorganizmaların gelecekteki durumları için önerilerde bulunulmuştur.

2. Elektrikjen'lerden Elektrotta Elektron Aktarım Mekanizmaları

Elektrikjenlerin solunum zincirinden elektrotta elektron aktarımı işi MYH teknolojisi için çok önemlidir. Çünkü elektron, elektriksel ve kimyasal etkileşimi gerçekleştirmektedir (Çek (2016b)). Mikroorganizmalar tarafından elektron transferi süreci doğal bir fenomen değildir. Bu mekanizma henüz tam olarak aydınlatılmamış olmasına rağmen, elektrikjenlerin elektrotlara elektron transferi için çok sayıda yol önerilmiştir. Genel olarak, bu mekanizmalar iki tipe ayrılabilir. Bunlar; doğrudan elektron aktarımı (hücre yüzeyi ile elektrot arasında doğrudan temas) ve dolaylı elektron aktarımı (sözde elektron aracılığıyla) olarak ifade edilmiştir (Cao ve ark. (2019)). Elektrikjenler tarafından anot elektrotta elektron aktarımı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektrikçen'lerden anoda elektron aktarım mekanizmaları (Cao ve ark. (2019)).

Doğrudan elektron aktarımı, herhangi bir dağılılabılır redoks bileşiğini içermeden hücre ve bir elektrot arasında doğrudan fiziksel bir temas yoluyla meydana gelebilir. Elektrikçen mikroorganizmalar anot yüzeyinde biyofilmler veya elektriksel olarak iletken nanoteller (pili ve flagella) oluştururlar. Elektron transferi, dış zar sitokromu ve nanotelleri veya trans-membran elektron taşıma proteinleri yoluyla herhangi bir difüzyonel elektron aracısı olmadan doğrudan temas yoluyla gerçekleşir. Nanoteller membrana bağlı sitokromlara bağlanır ve elektrikçenlerin elektron alıcısı olarak doğrudan hücre teması olmayan bir elektrot kullanmasına izin verir. Elektron taşıma proteinleri, elektronları sitoplazmadan dış membrana ve son olarak anoda aktarırken doğrudan elektron transferinde önemli bir rol oynar. Doğrudan elektron transferi, MYH'lerde verimli akım üretimi için ilk tercihtir. Doğrudan elektron transferinin sınırlandırılması, elektron taşıma proteinlerinin aktif bölgelerinin tipik olarak proteinlerin içine gömülmesidir. Bu da zayıf elektron transfer hızıyla sonuçlanır. Mikroorganizmadaki hücre zarı veya hücre zarının dış yüzeyinde redoks aktif proteinleri mevcutsa ve bu proteinler, elektronların hücre içi ile dış bir ortam arasında taşınmasına izin veriyorsa ve de hücrelerin elektrot yüzeyine yakın fiziksel teması varsa doğrudan elektron aktarımı gerçekleşir. Bu proteinlere örnek olarak; Sitokromlar, flavoproteinler veya çoklu bakır proteinleri verilebilir Şimdiye kadar, *Shewanella* ve *Geobacter* gibi sadece birkaç elektrokimyasal olarak aktif bakteri türünün, elektronları hücreden anoda aktaran bakteriyel nanoteller oluşturduğu tespit edilmiştir. *Geobacter*, bir biyofilmin uzak iç katmanlarından elektronları 10 μm 'ye kadar iletken iletken hücre uzantıları, nanoteller veya pili yoluyla uzun menzilli doğrudan elektron transferi oluşturabilir. Bununla birlikte, verimlilik, bakteriyel tek tabakadaki maksimum hücre yoğunluğu ile sınırlıdır. Bakteriyel tek tabakadaki hücre yoğunluğu artışı daha kalın bir elektrokimyasal olarak aktif bakteriyel çok tabakalı ve daha yüksek bir doğrudan elektron transferi verimi geliştirilmesini sağlar. Nanotellerin moleküler yapısı henüz deneysel olarak tam olarak tanımlanmamıştır ve elektronların bir pilus boyunca aktarıldığı mekanizma tam olarak anlaşılammıştır. Nanotellerde önerilen iletkenlik modelleri, çok aşamalı elektron atlamalı ve metal benzeri iletken mekanizmalar olup bunlar aktif olarak tartışılmaktadır

e-ISSN: 2148-2683

(Cao ve ark. (2019); Chen ve ark. (2019); Light ve ark. (2018); Malvankar ve Lovley (2012); Pankratova ve ark. (2019); Pirkadian ve ark. (2012); Zhao ve ark. (2009)).

Ayrıca bazı çalışmalarda, *Desulfobulbaceae* familyasından yaşayan canlı bakterilerin tortusu için yeni bir hücreden hücreye elektrik bağlantısı önerilmiştir. Bu bakterilerin binlerce hücreden oluşan çok hücreli teller oluşturduğu ve hücre zincirinin terminal ucundaki oksijenin azaltılmasını ve sülfürlerin oksidasyonunu sağlayarak istisnai santimetre ölçekli mesafeler boyunca tüm filament (tel) boyunca hücreler arası doğrudan elektron transferini gerçekleştirmeleri beklenir. Bu olağanüstü uzun menzilli doğrudan elektron transferinin moleküler mekanizmaları şu anda bilinmemektedir (Nielsen ve ark. (2010); Pankratova ve ark. (2019); Pfeffer ve ark. (2012)).

Dolaylı elektron transferi, indirekt veya aracılı (mediated) elektron transferi olarak da ifade edilir. Dolaylı elektron transferi, hücre ve elektron alıcısı (anot) arasında doğrudan temas gerekliliğini ortadan kaldıran düşük molekül, çözünür araçlar yardımıyla sağlanır. Bir başka deyişle, dolaylı elektron transferi harici bir verici/akseptör ile bir mikroorganizma arasında elektronları tutan redoks aktif aracı bileşiklerin varlığıyla gerçekleşir. Elektron araçları, bakteri hücrelerine girebilir, elektronların metabolik reaksiyonlarından elektronları çıkarabilir ve bu elektronları bir MYH anoduna sağlayabilir. Dolaylı elektron transferi işlemi, sisteme veya bir mikrop tarafından salgılanan metabolitlere eklenen yapay bir arabulucu olabilen aracılık yapan redoks türlerinin doğasına ve kaynağına bağlı olarak çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. Bakteriler, elektron aktarımına yayılabilir araçlar olarak dahil olabilen çeşitli birincil ve ikincil metabolitleri salgırlar. Bazı mikrobiyal türler, bir elektron akışı üreten elektrot yüzeyinde oksitlenebilen bir dizi azaltılmış birincil metabolit olarak örneğin; H₂ veya H₂S üretirler. Redoks mediatörleri olarak işlev gören düşük moleküler ağırlıklı sekonder metabolitlerin örnekleri de; *Pseudomonas aeruginosa* bakterileri tarafından üretilen fenazoller, *Shewanella oneidensis* bakterileri tarafından tatlandırılan fenazoller ve *Lactococcus lactis* bakterileri tarafından ortaya çıkarılan kuinonlardır. Anodik işlemlerle ilgili olarak, doğal bir dağılımlı aracı, bakteriyel sitoplazmik zar da serbest bırakılan elektronların yardımıyla azaltılabilir ve elektrot yüzeyinde yeniden oksitlenecek anoda yayılabilir ve böylece elektronlar iletilebilir. Böyle bir mekik aktivitesi, biyofilmin daha derin hücre katmanlarını elektrot yüzeyi ile temas ettirir. İşlem tersine çevrilebilir ve aracı türler birçok kez redoks döngüsüne girebilir. Böylece, az miktarda atılan redoks aktif metabolitleri bile elektron aktarımını kolaylaştırabilir. Ayrıca, bir mikrop tarafından atılan bir aracı, başka bir mikrobiyal türün elektron aktarımını destekleyebilir ve böylece mikrobiyal konsorsiyumda mevcut üretimin verimliliğini artırılabilir. Mikroorganizmalar genellikle peptitoglikan, lipopolisakaritler ve elektron aktarımını önleyen lipit çift katmanları gibi esasen elektron olmayan iletken malzemelerden oluşan bir hücre zarına sahiptir. Dış araçlar bu sınırın üstesinden gelebilir ve mikrobiyal metabolizmayı elektron aktarımını sağlayan bir elektroda etkili bir şekilde bağlayabilir. Bununla birlikte, etkinlik redoks mediatörünün doğasına bağlı olarak değişir. İdeal bir arabulucu belirli gereksinimleri karşılamalıdır. Bu gereksinimler; iyi çözünürlük, hem oksitlenmiş (Med_{ox}) hem de indirgenmiş (Med_{red}) formlarında uzun süreli stabilite, biyolojik olarak bozunamazlık, mikroorganizmalar için toksik olmama ve yüksek heterojen elektron aktarım oranına sahip iyi tanımlanmış geri dönüşümlü voltametik yanıt olarak belirtilmektedir. Arabulucular ve redoks proteinleri arasındaki potansiyel fark, elektron transferinin etkinliğini önemli ölçüde etkileyecektir. Hem inorganik hem de organik bileşikler elektron transferini arttırmak için araştırılmıştır. Bu bileşiklere örnek olarak; hümik asit, metilen mavisi, antrasendion, potasyum ferrisiyanid, flavinler, kinonlar, nötr kırmızı ve tiyonin dahil olmak üzere çok çeşitli difüze edilebilir arabulucu bileşikler tanımlanmıştır. Bununla birlikte, ekzojen araçların eklenmesi, her zaman nispeten düşük akım yoğunluklarına yol açtıkları ve mikroorganizmalar için pahalı ve toksik oldukları için tercih edilmez, çünkü uzun zaman periyotlarında performansın düşmesine neden olur, bu da tekniğin ticarileştirilmesini zorlaştırır. Ayrıca, ekzojen araçların düzenli olarak eklenmesi teknolojik olarak olanaksızdır ve çevresel olarak sorgulanabilir. Bu nedenle, mikroorganizma ekzojen araçlar eklenmeden bir katalizör olarak verimli bir şekilde kullanılabilirse, teknik açıdan çevresel açıdan güvenli olmanın yanı sıra aşamalı olarak elektron araçlarının eklenmesine gerek yoktur. Lipidde çözünebilir veya çözünmez olmalarına bağlı olarak farklı verimliliklere sahip olmaları beklenir. MYH'lerde en çok araştırılan araçlar olarak fenazoller, fenoksazinler, fenotiyazinler ve kinonlar karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, harici olarak eklenen arabulucular, genellikle kararsız ve toksik olup aynı zamanda, serbestçe yayılan redoks servislerinin düzenli bir şekilde tedarik edilmesini gerektirmektedir. Bu da bu yaklaşımı teknolojik olarak elverişsiz kılmaktadır ve çevre dostu değildir. Gerekli olan tüm aktif bileşenlerin bir elektrot yüzeyinde güvenli bir şekilde hareketsizleştirildiği yeni yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesi gerektiği açıktır (Cao ve ark. (2019); Chen ve ark. (2019); Evelyn ve ark. (2014); He ve ark. (2017); Pankratova ve ark. (2019); Patil ve ark. (2012)).

3. Anotta Elektrikjen Olarak Bulunan Saf Kültürlü Mikroorganizmalar

MYH'lerde biyokatalizör olarak elektrikjenlerin kullanımı vazgeçilmez hale gelmiştir. Şimdiye kadar, yüzlerce elektrikjen izole edildi ve MYH'lerde kullanıldı. Bu elektrikjenlerin çoğu *Proteobacteria* ve *Firmicutes*'a aittir. Son çalışmalar, MYH'lerde bulunan elektrikjenlerin farklı bir eğilime sahip olduğunu göstermiştir. Elektrik üretme özelliklerine sahip mikroorganizmalar hala keşfedilmeyi beklemektedirler (Cao ve ark. (2019)). Elektrikjenlerin çeşitliliğini ve benzerliğini daha iyi anlamak için, mevcut elektrik üreten mikroorganizmaları sistematik olarak özetlemek gerekir. MYH'lerden izole edilmiş NCBI (National Center for Biotechnology Information) Taksonomi veritabanına göre farklı suşların bir özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. MYH'lerin anotlarında kullanılan elektrikjenlerin saf kültürleri

Tip	Cins	Tür	Kaynak
Arke	<i>Haloferax</i>	<i>H. volcanii</i>	Abrevaya ve ark. (2011).
Arke	<i>Natrialba</i>	<i>N. magadii</i>	Abrevaya ve ark. (2011).
Asidofilik		<i>Geothrix fermentans</i>	Cao ve ark. (2019).
Siyanobakteri	<i>Synechocystis</i>	<i>Synechocystis PCC-6803</i>	Ma ve ark. (2012)
Siyanobakteri	<i>Spirulina</i>	<i>S. platensis</i>	Fu ve ark. (2010).
Siyanobakteri	<i>Nostoc</i>	<i>Nostoc sp. ATCC 27893</i>	Sekar ve ark. (2014).
Firmicutes	<i>Clostridium</i>	<i>C. beijerinckii</i>	Liu ve ark. (2015).
α -Proteobakteri	<i>Rhodospirillum</i>	<i>R. rubrum</i>	Gomez ve ark. (2014).
α -Proteobakteri	<i>Rhodobacter</i>	<i>R. sphaeroides</i>	Cho ve ark. (2008).
α -Proteobakteri	<i>Rhodopseudomonas</i>	<i>R. palustris</i>	Xing ve ark. (2008).
α -Proteobakteri	<i>Ochrobactrum</i>	<i>O. anthropic</i>	Zuo ve ark. (2008).
α -Proteobakteri	<i>Acidiphilium</i>	<i>A. cryptum</i>	Borole ve ark. (2008).
β -Proteobakteri	<i>Rhodoferrax</i>	<i>R. ferrireducens</i>	Liu ve Li (2007).
γ -Proteobakteri	<i>Escherichia</i>	<i>E. coli</i>	Xiang ve ark. (2009).
γ -Proteobakteri	<i>Shewanella</i>	<i>S. putrefaciens</i>	Qiao ve ark. (2014).
γ -Proteobakteri	<i>Shewanella</i>	<i>S. oneidensis</i>	Lapinsonnière ve ark. (2013).
γ -Proteobakteri	<i>Pseudomonas</i>	<i>P. aeruginosa</i>	Shreeram ve ark. (2018).
δ -Proteobakteri	<i>Geobacter</i>	<i>G. sulfurreducens</i>	Yi ve ark. (2009).
δ -Proteobakteri	<i>Geobacter</i>	<i>G. metallireducens</i>	Liu ve ark. (2004).
δ -Proteobakteri	<i>Geopsychrobacter</i>	<i>G. electrophilus</i>	Holmes ve ark. (2004).
Maya	<i>Saccharomyces</i>	<i>S. cerevisiae</i>	Raghavulu ve ark. (2011).
Maya	<i>Candida</i>	<i>C. melibiosica</i>	Hubenova ve Mitov (2010).
Maya	<i>Arxula</i>	<i>A. adenivorans</i>	Haslett ve ark. (2011).
Ökaryotik algler	<i>Chlamydomonas</i>	<i>C. reinhardtii</i>	Lan ve ark. (2013).
Ökaryotik algler	<i>Chlorella</i>	<i>C. pyrenoidosa</i>	Xu ve ark. (2015).
Ökaryotik algler	<i>Chlorella</i>	<i>Chlorella sp. UMACC 313</i>	Ng ve ark. (2014).

Birçok arkea tipi mikroorganizma, diğer mikroorganizmalara muazzam bir stres uygulayan yüksek sıcaklık ve tuzluluk gibi aşırı stresli ortamlarda hayatta kalabilir. Özel koşullar altında MYH'lerde elektrikjen madde olarak hizmet etme potansiyeline sahiptirler. İki halofilik arkea türü olan *Haloferax volcanii* ve *Natrialba magadii*, bir MYH anotunda elektrikjen olarak test edildi. Bu bakteriler, MYH'lerin elektriksel güç yoğunlukları için faydalı olmuşlardır. Bu bakterilerin olduğu ortama elektron aracı olarak nötr kırmızı maddesi eklendiğinde, MYH'lerin elektriksel güç yoğunlukları daha da iyileştirilmiştir (Abrevaya ve ark. (2011); Cao ve ark. (2019)).

Asidobakteriler fizyolojik olarak çeşitli asidofilik bakterilerdir. Çeşitli ortamlarda bulunabilirler ve çok çeşitli alt tabakaları kullanabilirler. Bu filumun birkaç üyesi elektrokimyasal aktivite göstermiştir. Özellikle, demir azaltıcı bakteriler olan *Geothrix fermentans*, elektrotta indirgeme reaksiyonunu teşvik eden elektron araçlarını ortaya çıkarmıştır. Bu bakteriler, MYH'lerin elektriksel güç çıkışları için faydalı olmuşlardır (Ahmed ve ark. (2019); (Cao ve ark. 2019)).

Siyanobakteriler, fotosentetik mikroorganizmalardır ve biyoenerji üretimi için çevre dostu kaynaklardır. Son yıllarda, birçok çalışma MYH'lerde siyanobakterilerin kullanılması üzerine odaklanmıştır. Siyanobakterilere dayanan biyoelektrokimyasal sistemlerde, siyanobakteriler ışıkta fotosentez yaparak elektrik üretirler. Siyanobakterileri kullanarak elektrik üreten MYH'lere fotosentetik MYH'ler denir. Fotosentetik MYH'lerde elektrikjen olarak kullanılan bazı siyanobakteriler şunlardır: *Synechocystis*, *Spirulina platensis*, *Nostoc*. Bunlarla birlikte, bir siyanobakteri olan *Synechococcus elongatus* bakterisinin de MYH'ler elektrikjen olarak kullanılmasına yönelik çalışmalarda vardır. Ayrıca, fotosentetik MYH'ler ile ilgili yapılan çalışmalarda, elektron aracısı olarak 1,4-benzokinon eklendiğinde, MYH'nin güç üretim kabiliyetinde önemli bir iyileşme olduğu gözlenmiştir (Cao ve ark. (2019); Fu ve ark. (2010); Hassani ve ark. (2019); Ma ve ark. (2012); Sekar ve ark. (2014)).

Firmicutes tipi mikroorganizmalar kalın hücre duvarlarına sahiptir ve zorlu koşullara toleranslıdır. Her zaman MYH'lerin anotunda yer alan karışık kültürlerden izole edilebilirler. Bununla birlikte, MYH'nin elektrik üretebilmesi için elektronların Firmicutes'lerin hücre duvarından anota geçmesi gerekir. Firmicutes'lerin hücre duvarları kalın olduğu için nispeten daha düşük elektrokimyasal aktivite gösterirler. Firmicutes'ler anaerob (oksijensiz) ortamlarda, geniş bir pH ve sıcaklık aralığında büyüyebilirler. *C. Beijerinckii*, *Thermincola* sp. strain, MYH'lerde en çok kullanılan Firmicutes tipi bakterilere örnek olarak verilebilir. İlaveten, metanolle beslenen bir MYH'de, yeni bir Firmicutes türü izole edildi ve bu türün 16S rRNA gen filogenetik analizi sonucu *Methylomusa anaerophila* olduğu belirlendi (Amano ve ark. (2018); Cao ve ark. (2019); Liu ve ark. (2015)).

Bazı α -proteobakteri türleri fototrofik bakterilerdir. Bu nedenle fotosentetik MYH'lerde de elektrikjen olarak kullanılabilirler. fotosentetik MYH'de kullanılan ilk bakteri şuşı *Rhodospirillum rubrum* bakterisidir. Rhodobacter cinsinin üyeleri fotosentetik MYH'ler için iyi biyokatalizörlerdir. Bunlar arasında *R. sphaeroides* en etkili olanıdır. *R. Sphaeroides*'in MYH'de mevcut elektrik üretim kabiliyeti genetik modifikasyon ile daha da geliştirilmiştir. *R. Capsulatus* bakterisinin fotosentetik MYH'lerde elektrik üretim performansı da araştırıldı, ancak mevcut güç yoğunluğu diğer türlere kıyasla çok daha düşük değerlerde gerçekleşmiştir. *Rodopseudomonas* biyohidrojen üretimi için kullanılabilir ve ayrıca elektrik üretme potansiyeline sahiptir. MYH'de anodik biyokatalizör olarak *R. palustris* bakterisi de kullanılmıştır. *R. palustris* nitrojenazının nakledilmesi, güç kaynağının ve elektrik üretim kapasitesinin azalmasına engel olmuştur. Başka bir α -proteobakteri olan *ochrobactrum anthropi*, özel bir U tüpü şeklindeki MYH uygulamasında kullanılmıştır. Asidofilik bakteri olan *acidiphilium cryptum* kullanılan MYH'de nispeten düşük pH değerinde elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra MYH'nin güç çıkışı elektron araçları yardımıyla artırılmıştır (Cao ve ark. (2019); Gomez ve ark. (2014); Borole ve ark. (2008); Cho ve ark. (2008); Xing ve ark. (2008); Zuo ve ark. (2008)).

Rhodoferrax ferrireducens, bir MYH'de elektrikjen olarak rapor edilen tek β -proteobakteridir. Elektronu Fe^{3+} iyonuna aktarabilen fakültatif bir anaerobdur. Bir *R. ferrireducens* kullanılan MYH sisteminde elektron araçları gerekli değildir (Cao ve ark. (2019); Liu ve Li (2007)).

γ -Proteobacteria en çok incelenen elektrikjenlerdir. Yapılan araştırmalarda, MYH'de, γ -proteobacteria türü olan *Escherichia coli* elektrikjen olarak kullanılmıştır. *E. coli*, iyi karakterize edilmiş bir model mikroorganizmadır. Örneğin; açık genetik arka plan, genetik olarak değiştirilme kolaylığı ve düşük besin gereksinimleri olan hızlı büyüme özelliği gibi birçok avantaja sahiptir. MYH'nin elektrik üretim yeteneğini geliştirmek için mühendisler, *E. coli*'ye genetik araçlar uygulanmıştır. Anaerobik koşullar altında, *E. coli*'nin trikarboksilik asit (TCA) döngüsü baskılanmış, bu nedenle MYH'de düşük güç üretim verimliliğine yol açtı. Sonra, TCA döngüsünün bir inhibitörünü kodlayan *arcA* geninin nakavt edilmesi sonucu MYH'nin performansı ve güç çıkışı büyük ölçüde artmıştır. Endojen gliserol dehidrojenaz, anodik biyokatalizör olarak bir suş oluşturmak üzere *E. coli*'de aşırı eksprese edilmiştir. Bu tasarlanan suş, *E.coli* hücreleri ile elektrot arasında elektron transferini destekleyen elektron araçlarını sentezleyebilmektedir. *E. coli*'nin laktik asit yolunun bozulması, hücre içi indirgeme gücü seviyesini ve elektron üretimini arttırmıştır. Bu elektronlar serbest bırakıldı ve daha sonra anoda aktarılmıştır. Böylece, MYH daha yüksek elektriksel güç çıkışı sağlamıştır. γ -proteobakterilerin diğer önemli elektrikjenleri *Shewanella* ve *Pseudomonas*'tır. *Shewanella*, iyi karakterize edilmiş elektron transfer mekanizmaları nedeniyle MYH'lerde yaygın olarak kullanılmaktadır. *Shewanella putrefaciens*, elektrotlarında aracı olamayan bir MYH oluşturmak için kullanılan ilk bakteri suşudur. Demir ve manganez gibi metal iyonlarını indirgeyebilen (azaltabilen) fakültatif bir anaerobdur. Yapılan çalışmalarda, bu suşu bir MYH'ye uygulanmış ve substrat olarak laktat kullanılarak elektrik üretilebileceği tespit edilmiştir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda bakteri hücrelerinin elektroda yapışmasını iyileştirmek için düzgün nanoflaky nikel oksit dizi kaplama stratejisi kullanılmıştır. *S. putrefaciens* kullanılan MYH'nin elektriksel güç performansı artmıştır. *Shewanella strains*, *Shewanella* suşlarının potansiyeli olarak değerlendirildi ve *S. oneidensis* en iyi kabiliyeti göstermiştir. Bu türün iki alt türü, *S. oneidensis* DSP10 ve *S. oneidensis* MR-1, farklı MYH'lerde yaygın olarak kullanılmıştır. *Pseudomonas aeruginosa*, elektron mediatörlerini sentezleyebilen bildirilmiş en erken suştur. Dahası, *P. aeruginosa* genetik olarak manipüle edilebilir. *P. Aeruginosa*'daki elektron araçlarının biyosentezi, 2-heptil-3,4-dihidroksikinolin çekirdek algılama sistemi tasarlanarak geliştirilmiştir. *P. Aeruginosa*'da ve *G. Sulfurreducens*'de Pila (protein liflerini nanoteller oluşturmak üzere kodlayan yapı geni) ifadesi, iletkenliği doğal *G. sulfurreducens* ile karşılaştırılabilir olan piliyi vermektedir. Bir ATPase'yi kodlayan pilT geni, nakavt edildiğinde pili sayısını artırabilir. *P. aeruginosa*'nın pilT mutanti hiperpiliyasyona uğrayabilir. Böylece, MYH'nin elektriksel güç yoğunluğu artmıştır (Cao ve ark. (2019); Lapinsonniere ve ark. (2013); Xiang ve ark. (2009); Qiao ve ark. (2014); Shreeram ve ark. (2018)).

δ -Proteobacteria, birçok MYH'de uygulanabilen iki önemli bakteri nesli olan *Geobacter* ve *Geopsychrobacter* içerir. *Geobacter*, elektron donörleri olarak çeşitli organik bileşikler kullanır ve Fe^{3+} maddesini indirger (azaltır). Gram-negatif kükürt azaltıcı bir bakteri olan *G. sulfurreducens*, MYH uygulamalarında şimdiye kadar izole edilen elektrikljenler arasında en yüksek elektrik akımını

üretmiştir. Bu bakteri, elektrota bağlanabilir ve uzun süre canlı kalabilir. *G. metallireducens* bakterisi MYH cihazlarından izole edilen verimli bir elektrikjendir. Pirinç çeltik tarlalarında faaliyet gösteren tortu tipi MYH'lerdeki anodik toplulukların % 90'ını oluşturmaktadır. *G. metallireducens* içeren MYH'ler hem elektrik üretmekler hem de atık su arıtımı yapabilmektedirler. *Geopsychrobacter electrodiphilus*, denizel tortu MYH'lerden izole edilen önemli bir elektrikjendir. Bu bakteri nispeten düşük sıcaklıkta büyüyebilir ve çeşitli organik substratları kullanabilir (Cao ve ark. (2019); Holmes ve ark. (2004); Liu ve ark. (2004); Yi ve ark. (2009)).

Ökaryotlar üzerinde MYH'ler için katalizör olarak nispeten az sayıda çalışma vardır. Mayalar, net genetik geçmişleri, hızlı büyüme oranları ve genel olarak güvenli oldukları için elektrikjen olarak iyi adaylardır. *Saccharomyces cerevisiae* MYH'de elektrik üretimi için test edilmiştir. Maya MYH'leri hala bakteriyel MYH'lerden daha düşük bir güç çıkışı üretse de, yeni çalışmalarda ilgi görmektedirler. Mükemmel elektrokimyasal aktiviteye sahip tasarlanmış bir *S. cerevisiae* suşu, hücre yüzeyinde glikoz oksidaz sergilemiş ve MYH, modifiye edilmemiş mayadan daha yüksek güç çıkışı ve akım yoğunluğu göstermiştir. Son zamanlarda yapılan bir çalışmada, *S. cerevisiae* elektrik üretimi ve substratların farklı redoks koşulları altında bozulmasını değerlendirmek için elektrikjen olarak kullanılmıştır. Anot olarak grafit kullanılarak, eksojen araçların yokluğunda tek odacıklı MYH'de daha yüksek akım ve güç yoğunlukları elde edilmiştir. Maya ekstraktı, *S. cerevisiae* içeren MYH'de elektron aracısı olarak başarıyla uygulanmıştır. Maya ekstraktının eklenmesi, maya hücrelerinin anot elektrota yapışmasını artırabilir. Bunun sonucunda, çift odacıklı MYH'deki maksimum akım yoğunluğu ve güç yoğunluğu artmıştır. Başka bir maya suşu olan *Candida melibiosica* da MYH'ler için biyokatalizör olarak kullanılmıştır. *C. melibiosica* yüksek fitaz aktivitesine sahiptir ve herhangi bir eksojen elektron aracısı olmadan elektrik üretebilir, bu da bu suşun bir elektrikjen olduğunu kanıtlar. Maya türü olan *Hansenula anomala*'nın hareketsizleştirilmiş hücreleri de aracısız bir MYH'de elektrikjen olarak hareket etme kabiliyeti açısından test edilmiş ve MYH sisteminde verimli akım üretimi gözlemlenmiştir. Hücre zarlarında redoks proteinlerinin varlığının MYH'de doğrudan elektron transferine katkıda bulunduğu düşünülmüştür. Geleneksel olmayan maya olan *Arxula adenivorans*, MYH katalizörü olarak kullanılmıştır. İndirgeyici moleküllerin salgılanması yoluyla elektronları anoda aktarabildiği anlaşılmıştır. *A. adenivorans* kullanılan MYH'deki maksimum güç yoğunluğu diğer MYH'lere kıyasla daha yüksek olmuştur. Bu nedenle, *A. adenivorans* kullanılan MYH, diğer MYH'lere göre daha etkili MYH'lerden biridir (Haslett ve ark. (2011); Hubenova ve Mitov (2010); Raghavulu ve ark. (2011)).

Alg biyokütlesi her zaman MYH'lerde elektrikjen bakteriler için substrat görevi görür. Ayrıca algler hem anotta elektron verici hem de katotta elektron alıcı olarak kullanılabilir. Çoğu durumda, algler MYH'lerin katotuna yerleştirilir. Çünkü oksijen (O₂) üretmek katodik reaksiyonu kolaylaştırır ve karbondioksit (CO₂) kullanabilirler. Şimdiye kadar, MYH'lerde yalnızca *Chlamydomonas reinhardtii* ve *Chlorella sp.* anodik haznede elektrikjen olarak test edilmiştir. Model mikroalg olan *C. reinhardtii*, fotosentetik MYH'ler farklı ışık yoğunlukları karşılaştırılarak araştırılmıştır. Kırmızı LED ışığı, fotosentetik MYH'nin mavi ışıktan daha yüksek bir güç yoğunluğu üretmesini sağlamıştır. Işık yoğunluğu ne kadar yüksek olursa, fotosentetik MYH'nin elektriksel performansının o kadar iyi olduğu görülmüştür. Yeşil alg olan *Chlorella pyrenoidosa* da bir fotosentetik MYH'nin anotuna sokulmuştur. Kültür koşulları kontrol edilerek, bu alg türünün MYH'de harici olarak eklenmiş substratlar olmadan elektrik üretebileceği görülmüştür. Yeni izole edilmiş bir *Chlorella sp.* UMACC 313 anot üzerinde biyofilm oluşturmak için kullanılmıştır. Fotosentetik MYH'deki maksimum güç ve akım yoğunluğu artmıştır. Algler ayrıca bir MYH içindeki aljinat jelinde hareketsizleştirilmiş ve pik güç çıkışı ile akım yoğunluğunun daha da arttığı görülmüştür (Cao ve ark. 2019; Kondaveeti ve ark. (2014); Lan ve ark. (2013); Ng ve ark. (2014); Xu ve ark. (2015)).

4. Sonuçlar ve gelecekteki olası durumlar

Mikrobiyal yakıt hücresi (MYH) cihazlarında, elektrikjen olarak adlandırılan mikroorganizmalar biyokatalizör olarak kullanılmaktadırlar. Elektrikjen mikroorganizmalar, organik malzemeleri (substratları) ayrıştırarak organik malzemelerin sahip oldukları kimyasal enerjiyi açığa çıkarmaktadırlar. Açığa çıkan bu kimyasal enerji nedeniyle elektron ve protonlar açığa çıkmaktadır. Elektronların anot elektrota gidip oradan dış devreyi kullanarak katot elektrota gitmektedirler. Protonlar elektrolit içerisinde katot elektrota gitmektedirler. Anottan gelen elektronlar, katota gelen protonlar ve havadan alınan oksijen kimyasal olarak birleşerek su açığa çıkarmaktadırlar. Böylece, MYH'ler ile doğrudan elektrik enerjisi üretilmektedir (Cao ve ark. (2019); Chen ve ark. (2018); Çek (2016a); Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Çek ve Erensoy (2019); Pareek ve ark. (2019); Zuo ve ark. (2008)).

MYH teknolojisi son birkaç yılda oldukça gelişmiştir. Bununla birlikte, MYH'lerin elektriksel güç çıkışlarının sınırlamaları nedeniyle henüz MYH'lerin pratik uygulamaları yoktur. Elektrikjen mikroorganizmalar MYH sistemlerindeki temel sorunlardan birisidir. Elektrikjenlerin uygulanması, MYH'ler için gelecekteki araştırmaların odak noktası olacaktır. Bir MYH'nin performansını artırmak için yüksek kaliteli elektrikjenlerin seçilmesi ve üretilmesi gerekir. MYH'lerde elektrikjenlerin gelecekteki araştırma eğilimleri, elektrokimyasal aktivitelerini iyileştirmek için çok sayıda farklı türlerin taranması, evcilleştirilmesi, modifikasyonu ve optimizasyonu üzerine odaklanmalıdır. Son zamanlarda geliştirilen metabolik mühendislik ve sentetik biyoloji araçları, mevcut elektrik enerjilerini değiştirmek veya mükemmel elektrokimyasal aktivitelere sahip yeni elektrikjen mikroorganizmaları oluşturmak için bu doğrultuda büyük ilgi görmektedir. Genetik modifikasyon kullanılarak, MYH'nin güç çıkışını ve elektrota elektron transferini iyileştirmek için büyük ölçüde keşfedilmemiş potansiyel neredeyse sınırsızdır (Alfonta (2010)). Güç yoğunlukları sadece elektrikjen mikroorganizmalar tarafından değil, MYH'lerin tasarımı (mimarisi), elektrot özellikleri ve elektrolit iletkenliği ile de belirlenir. Bu yönlerdeki gelişmeler aynı zamanda bir MYH'nin elektriksel güç üretim performansının artırılmasına katkıda bulunacaktır (Cao ve ark. (2019); Chen ve ark. (2019); Çek (2016a); Çek (2017); Erensoy ve Çek (2018); Çek ve Erensoy (2019); Pareek ve ark. (2019)).

MYH teknolojisini ekonomik olarak uygulanabilir kılmak için diğer sistemlerle beraber koordineli çalışabilir hale getirmek gerekmektedir. İlk olarak, atık su arıtımı için MYH kullanılabilir. Atıksu arıtımı için MYH uygulaması mevcut sistemlerin maliyetini düşürmek için cazip bir alternatif olabilir. MYH'lerin ürettiği elektriksel güç, atıksu arıtma biyoreaktörleri için gereken elektrik

miktarını azaltacaktır (Ahn ve Logan (2013)). İkincisi, MYH aynı anda, saf hidrojen (H₂) gibi değerli ürünler üretmek için kullanılabilir. Anotta üretilen protonlar H₂ oluşturmak için katoda geçebilir. Klasik biyolojik H₂ üretim işlemleriyle 4 mol H₂/mol glikoz üretilmekte iken MYH ile 8-9 mol H₂/mol glikoz üretilir (Liu ve ark. (2005)). Üçüncüsü, elektrikjen mikroorganizmalar çeşitli kimyasalların varlığını ve toksisitesini algılayabilir. Bu nedenle, MYH tabanlı biyosensörler çevresel parametrelerin gerçek zamanlı izlenmesi için uygundur (Schneider ve ark. (2016)). Son olarak, biyoremediasyon (biyolojik iyileştirme) için MYH umut verici bir başka uygulamadır. Aromatik veya ikame edilmiş organik bileşiklerden ağır metallere kadar çeşitli kontaminasyon tiplerinin temizlenmesi için MYH'ler önerilmiştir (Rosenbaum ve Franks (2014)). Biyolojik iyileştirme işlemi sırasında elektrik de üretilir ve böylece elektrik maliyeti azalır. MYH teknolojisinin diğer uygulamalarla birleşimi, MYH'nin olası büyük ölçekli tanıtımının gerçekleşmesine katkı sağlar (Cao ve ark. (2019)).

Kaynakça

- Abreva, X. C., Sacco, N., Mauas, P. J. D., Cortón, E., 2011. Archaea-based microbial fuel cell operating at high ionic strength conditions. *Extremophiles*, 15(6), 633-642.
- Ahmed, M., Lin, O., Saup, C. M., Wilkins, M. J., Lin, L-S., 2019. Effects of Fe/S ratio on the kinetics and microbial ecology of an Fe(III)-dosed anaerobic wastewater treatment system. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 593-600.
- Ahn, Y., Logan, B. E., 2013. Domestic wastewater treatment using multi-electrode continuous flow MFCs with a separator electrode assembly design. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, 409-416.
- Alfonta, L., 2010. Genetically engineered microbial fuel cells. *Electroanalysis*, 22, 822-831.
- Amano, N., Yamamuro, A., Miyahara, M., Kouzuma, A., Abe, T., Watanabe, K., 2018. *Methylomusa anaerophila* gen. nov., sp. nov., an anaerobic methanol-utilizing bacterium isolated from a microbial fuel cell. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 68(4), 1118-1122.
- Borole, A. P., O'Neill, H., Tsouris, C., Cesar, S., 2008. A microbial fuel cell operating at low pH using the acidophile *Acidiphilium cryptum*. *Biotechnology Letters*, 30, 1367-1372.
- Cao, Y., Mu, H., Liu, W., Zhang, R., Guo, J., Xian, M., Liu, H., 2019. Electricigens in the anode of microbial fuel cells: pure cultures versus mixed communities. *Microbial Cell Factories*, 18, 14 pages.
- Chen, C-Y., Tsai, T-H., Wu, P-S., Tsao, S-E., Huang, Y-S., Chung, Y-C., 2018. Selection of electrogenic bacteria for microbial fuel cell in removing Victoria blue R from wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53(2), 108-115.
- Chen, S., Patil, S. A., Brown, R. K., Schröder, U., 2019. Strategies for optimizing the power output of microbial fuel cells: Transitioning from fundamental studies to practical implementation. *Applied Energy*, 233-234, 15-28.
- Cho, Y. K., Donohue, T. J., Tejedor, I., Anderson, M.A., McMahon, K. D., Noguera, D. R., 2008. Development of a solar-powered microbial fuel cell. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 640-650.
- 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.
- Çek, N., Erensoy, A., 2019. Kompost Mikrobiyal Yakıt Hücreleri İçin Titanyum Elektrot Performansının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 909-915.
- Erensoy, A., Çek, N., 2018. Alternative Biofuel Materials for Microbial Fuel Cells from Poplar Wood. *ChemistrySelect*, 3, 1251-11257.
- Evelyn, L., Marshall, A., Gostomski, P. A., 2014. Gaseous pollutant treatment and electricity generation in microbial fuel cells (MFCs) utilising redox mediators. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13, 35-51.
- Fu, C. C., Hung, T. C., Wu, W. T., Wen, T. C., Su, C. H., 2010. Current and voltage responses in instant photosynthetic microbial cells with *Spirulina platensis*. *Biochemical Engineering Journal*, 52, 175-80.
- Gomez, M. V., Mai, G., Greenwood, T., Mullins, J. P., 2014. The development and maximization of a novel photosynthetic microbial fuel cell using *Rhodospirillum rubrum*. *Journal of Emerging Investigators*, 3, 1-7.
- Haavisto, J. M., Lakaniemi, A-M., Puhakka, J. A., 2019. Storing of exoelectrogenic anolyte for efficient microbial fuel cell recovery. *Environmental Technology*, 40(11), 1467-1475.
- Hassani, S. S., Ziaedini, A., Samiee, L., Dehghani, M., Mashayekhi, M., Faramarzi, M. A., 2019. One Step Synthesis of Tertiary Co-doped Graphene Electrocatalyst Using Microalgae *Synechococcus elangatus* for Applying in Microbial Fuel Cell. *Fuel Cells*, 19(5), 623-634.
- Haslett, N. D., Rawson, F. J., Barrière, F., Kunze, G., Pasco, N., Gooneratne, R., Baronian, K. H. R., 2011. Characterisation of yeast microbial fuel cell with the yeast *Arxula adenivorans* as the biocatalyst. *Biosensors and Bioelectronics*, 26, 3742-3747.
- He, L., Du, P., Chen, Y., Lu, H., Cheng, X., Chang, B., Wang, Z., 2017. Advances in microbial fuel cells for wastewater treatment. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 71, 388-403.
- Holmes, D. E., Nicoll, J. S., Bond, D. R., Lovley, D. R., 2004. Potential role of a novel psychrotolerant member of the family *Geobacteraceae*, *Geopsychrobacter electrophilus* gen. nov., sp. nov., in electricity production by a marine sediment fuel cell. *Applied Environmental Microbiology*, 70, 6023-6030.
- Hubenova, Y., Mitov, M., 2010. Potential application of *Candida melibiosica* in biofuel cells. *Bioelectrochemistry*, 78, 57-61.
- Kondaveeti, S., Choi, K. S., Kakarla, R., Min, B., 2014. Microalgae *Scenedesmus obliquus* as renewable biomass feedstock for electricity generation in microbial fuel cells (MFCs). *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8(5), 784-791.

- Lan, J. C. W., Raman, K., Huang, C. M., Chang, C. M., 2013. The impact of monochromatic blue and red LED light upon performance of photo microbial fuel cells (PMFCs) using *Chlamydomonas reinhardtii* transformation F5 as biocatalyst. *Biochemical Engineering Journal*, 78, 39-43.
- Lapinsonnière, L., Picot, M., Poriel, C., Barrière, F., 2013. Phenylboronic acid modified anodes promote faster biofilm adhesion and increase microbial fuel cell performances. *Electroanalysis*, 25, 601-605.
- Light, S. H., Su, L., Rivera-Lugo, R., Cornejo, J. A., Louie, A., Iavarone, A. T., Ajo-Franklin, C. M., Portnoy, D. A., 2018. A flavin-based extracellular electron transfer mechanism in diverse Gram-positive bacteria, *Nature*, 562, 140-144.
- Liu, H., Ramnarayanan, R., Logan, B. E., 2004. Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell. *Environmental Science & Technology*, 38, 2281-2285.
- Liu, H., Grot, S., Logan, B. E., 2005. Electrochemically assisted microbial production of hydrogen from acetate. *Environmental Science & Technology*, 39 4317-4320.
- Liu, J., Guo, T., Wang, D., Ying, H. 2015. Clostridium beijerinckii mutant obtained atmospheric pressure glow discharge generates enhanced electricity in a microbial fuel cell. *Biotechnology Letters*, 37, 95-100.
- Liu, Z. D., Li, H. R., 2007. Effects of bio- and abio-factors on electricity production in a mediatorless microbial fuel cell. *Biochemical Engineering Journal*. 36, 209-214.
- Ma, M., Cao, L., Ying, X., Deng, Z., 2012. Study on the performance of photosynthetic microbial fuel cells powered by *Synechocystis* PCC-6803. *Renew. Energy Resour.*, 30, 42-46.
- Malvankar, N. S., Lovley D. R., 2012. Microbial nanowires: a new paradigm for biological electron transfer and bioelectronics. *ChemSusChem*, 5, 1039-1046.
- Ng, FL., Phang, SM., Periasamy, V., Yunus, K., Fisher, A. C., 2014. Evaluation of algal biofilms on indium tin oxide (ITO) for use in biophotovoltaic platforms based on photosynthetic performance. *PLoS ONE*, 9(5), e97643.
- Nielsen, L. P., Risgaard-Petersen, N., Fossing, H., Christensen, P. B., Sayama, M. 2010. Electric currents couple spatially separated biogeochemical processes in marine sediment. *Nature*, 463, 1071-1074.
- Pankratova, G., Hederstedt, L., Gorton, L., 2019. Extracellular electron transfer features of Gram-positive bacteria. *Analytica Chimica Acta*, 1076, 32-47.
- Pareek, A., Srajan, 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.
- Patil, S. A., Hägerhäll, C., Gorton, L., 2012. Electron transfer mechanisms between microorganisms and electrodes in bioelectrochemical systems. *Bioanalytical reviews*, 4, 159-192.
- Pfeffer, C., Larsen, S., Song, J., Dong, M. D., Besenbacher, F., Meyer, R. L., Kjeldsen, K. U., Schreiber, L., Gorby, Y. A., El-Naggar, M. A., Leung, K. M., Schramm, A., Risgaard-Petersen, N., Nielsen, L. P. 2012. Filamentous bacteria transport electrons over centimetre distances. *Nature*, 491, 218-221.
- Pirbadian, S., El-Naggar, M. Y., 2012. Multistep hopping and extracellular charge transfer in microbial redox chains. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14, 13802-13808.
- Qiao, Y., Wu, X. S., Li, C. M., 2014. Interfacial electron transfer of *Shewanella putrefaciens* enhanced by nanofaky nickel oxide array in microbial fuel cells. *Journal of Power Sources*, 266, 226-231.
- Raghavulu, S. V., Goud, R. K., Sarma, P. N., Mohan, S. V., 2011. Saccharomyces cerevisiae as anodic biocatalyst for power generation in biofuel cell: influence of redox condition and substrate load. *Bioresource Technology*, 102, 2751-2757.
- Rosenbaum, M. A., Franks, A. E. 2014. Microbial catalysis in bioelectrochemical technologies: status quo, challenges and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 509-518.
- Schneider, G., Kovács, T., Rákhely, G., Czeller, M., 2016. Biosensoric potential of microbial fuel cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, 7001-7009.
- Sekar, N., Umasankar, Y., Ramasamy, R. P., 2014. Photocurrent generation by immobilized cyanobacteria via direct electron transport in photobioelectrochemical cells. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16, 7862-7871.
- Shreeram, D. D., Panmanee, W., McDaniel, C. T., Daniel, S., Schaefer, D. W., Hassett, D. J., 2018. Effect of impaired twitching motility and biofilm dispersion on performance of *Pseudomonas aeruginosa*-powered microbial fuel cells. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 45, 103-109.
- Xiang, K., Qiao, Y., Ching, C. B., Li, C. M., 2009. GldA overexpressing-engineered *E. Coli* as superior electrocatalyst for microbial fuel cells. *Electrochemistry Communications*, 11, 1593-1595.
- Xing, D., Zuo, Y., Cheng, S., Regan, J. M., Logan, B. E., 2008. Electricity generation by *Rhodospseudomonas palustris* DX-1. *Environmental Science & Technology*, 42, 4146-4151.
- Xu, C., Poon, K., Choi, M. M. F., Wang, R., 2015. Using live algae at the anode of a microbial fuel cell to generate electricity. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 15621-15635.
- Yi, H., Nevin, K. P., Kim, B. C., Franks, A. E., Klimes, A., Tender, L. M., Lovley, D. R., 2009. Selection of a variant of *Geobacter sulfurreducens* with enhanced capacity for current production in microbial fuel cells. *Biosensors and Bioelectronics*, 24, 3498-3503.
- Zhao, F., Slade, R. C. T., Varcoe, J.R. 2009. Techniques for the study and development of microbial fuel cells: an electrochemical perspective. *Chemical Society Reviews*, 38, 1926-1939.
- Zuo, Y., Xing, D., Regan, J. M., Logan, B. E., 2008. Isolation of the exoelectrogenic bacterium *Ochrobactrum anthropi* YZ-1 by using a U-tube microbial fuel cell. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(10), 3130-3137.



Ortaokul Matematik Ders Kitaplarının Matematik Öğretmenleri Tarafından Değerlendirilmesi

Ebru Korkmaz^{1*}, Tayfun Tutak^{2*}, Aziz İlhan³

¹ Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitim Bölümü, Muş, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6250-3293)

² Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0277-6377)

³ Munzur Üniversitesi, Çemişgezek MYO, Matematik Bölümü, Tunceli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7049-5756)

(İlk Geliş Tarihi 5 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 13 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.667689)

ATIF/REFERENCE: Korkmaz, E., Tutak, T., İlhan, A., (2020). Ortaokul Matematik Ders Kitaplarının Matematik Öğretmenleri Tarafından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 118-128.

Öz

Bu araştırmanın amacı, ortaokul matematik ders kitaplarını öğretmen görüşlerine göre değerlendirmektir. Bu genel amaç doğrultusunda çalışmada, ders kitaplarının Liselere Giriş Sınavı (LGS)'ye uygunluğu, öğretim sürecinde aktif kullanımı, okullarda uygulanan eğitim müfredatına uygunluğu ve eğitim faaliyetlerindeki ekstra kaynak ihtiyacı da araştırılmıştır. Dolayısıyla çalışmada durum çalışması yapılmıştır. Veriler analiz edilirken içerik analizi yöntemi tercih edilmiş, frekanslara göre kodlar, kodlara göre kategoriler ve kategorilere göre frekanslar oluşturulmuştur. Araştırmanın örneklemini, Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde bulunan orta büyüklükteki bir ildeki yedi farklı ortaokulda görev yapan yirmi dört ortaokul matematik öğretmeni oluşturmaktadır. Örneklem seçiminde öncelikle okullar tespit edilmiş, daha sonra bu okullardan hizmet deneyimi en az 5 yıl olan öğretmenler tercih edilmiştir. Bu örneklemi oluşturan öğretmenler gönüllülük esasına göre belirlenmiştir. Ayrıca örneklem belirlenirken zaman ve işgücü koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Dolayısıyla araştırma örneklemini seçilirken uygun örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmada veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından geliştirilmiş beş adet açık uçlu sorudan oluşan yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Bu form geliştirilirken üç adet matematik eğitimi alanında uzman akademisyenin görüşü alınmıştır. Formun güvenilirliği için KAPPA değeri 0,922 olarak hesaplanmış, güvenilir olduğuna karar verilmiştir. Araştırmada elde edilen bulgulara göre öğretmenlerin büyük çoğunluğu ders kitaplarının LGS'ye uygun olmadığını düşünmektedirler. Bir kısmı ise mevcut kitapların birtakım özellikleri gözden geçirilerek geliştirilebileceği düşüncesindedir. Ayrıca öğretmenlerin büyük çoğunluğu ders kitaplarını derste aktif bir şekilde kullanmayı tercih etmezken, ders kitaplarını daha çok öğrencilere ödev vermek amacıyla kullanmaktadır. Bununla birlikte öğretmenlerin ders kitaplarının yetersiz olduğunu düşündükleri için öğrencileri ek kaynak kitaplara yönlendirdikleri tespit edilmiştir. Araştırmada elde edilen bulgular çerçevesinde ileride bu alanda çalışmak isteyen araştırmacılara ortaokul matematik ders kitaplarının kullanımına ve geliştirilmesine ilişkin birtakım önerilerde bulunulmuştur.

(Minimum 250 – Maksimum 400 kelime ve içeriğinde amaç, materyal-metot, bulgular ve sonuç kısımlarını içerecek şekilde yazılmalıdır.)

Anahtar Kelimeler: Ortaokul Matematik Dersi, Ders Kitapları, LGS Sınavı, Değerlendirme, Matematik Eğitimi.

Evaluation of Secondary School Mathematics Textbooks by Mathematics Teachers

Abstract

The aim of this study is to evaluate secondary school mathematics textbooks according to teachers' opinions. In line with this general purpose, the study examined the appropriateness of the textbooks to the High School Entrance Examination (HSEE), its active use in

* Sorumlu Yazar: Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0277-6377, tayfuntutak@firat.edu.tr

the teaching process, its appropriateness to the education system implemented in schools, and the need for extra resources in educational activities. Therefore, case study was conducted in the study. While analyzing the data, content analysis method was preferred, codes according to frequencies, categories according to codes and frequencies according to categories were created. The sample of the study, Turkey's role in seven different secondary schools in a mid-sized city located in Eastern Anatolia is engaged twenty-four secondary school math teacher. Firstly, schools were identified in the sample selection, and then teachers with at least 5 years of service experience were chosen from these schools. Teachers of this sample were determined on a voluntary basis. In addition, time and labor conditions were taken into consideration while determining the sample. Therefore, appropriate sampling method was preferred when selecting the research sample. In the study, a structured interview form consisting of five open-ended questions developed by the researchers was used as data collection tool. In the development of this form, the views of three academicians specialized in mathematics education were taken. For reliability of the form, the KAPPA value was calculated as 0.922 and it was decided that it was reliable. According to the findings of the research, the majority of teachers think that textbooks are not HSEE compliant. Some think that the features of the existing books can be revised and improved. In addition, while the majority of teachers do not prefer to use textbooks actively in class, they use textbooks mostly to give homework to students. However, it was found that teachers direct students to additional source books because they think that their textbooks are insufficient. Within the framework of the findings obtained in the research, some suggestions were made to the researchers who want to work in this field in the future about the use and development of secondary school mathematics textbooks.

(Minimum 250 - Maximum of 400 words and content should be written in a way to include material, method, findings and results.)

Keywords: Secondary School Maths Lesson, Course Books, HSE Exam, Math Education.

1. Giriş

Türk Eğitim Sistemindeki ve dünya çapındaki hızlı gelişmeler günümüz eğitim anlayışını da hızla değiştirmektedir. Bu doğrultuda Türk eğitim sistemi de sürekli değişime uğramaktadır. Değişimler ve yenilikler doğrultusunda öğrencilere kazandırılacak bilgi ve becerilerin çağa uygun düzenlemeler ile programlanması gerekmektedir. Bu konuda MEB müfredatı da evrensel eğitim anlayışına ve çağın gereksinimine uygun olarak hazırlanmalıdır. Uygulanacak müfredatın sistemin bir parçası olan sınavların içeriği ile uyumu, öğretmenler tarafından benimsenmesi ve bu konuda öğretmenleri destekleyici niteliklerde olması gerekmektedir (MEB, 1997). Ders kitabının, eğitim ve öğretim açısından kullanışlı olması, tüm öğrencilerin kolaylıkla ulaşabilmesi, öğretmenler tarafından sıkça tercih edilen, öğrencilerin istediği zaman ulaşabileceği, hem ders içinde hem dışında başvurulabilen bir eğitim aracı olması beklenmektedir (Göze, 1999). Ders kitapları genellikle gelişen ve gelişmekte olan ülkelerde kullanılan önemli eğitim araçlarından biridir (Semerci, 2004, s. 49).

Ders kitapları, eğitim sistemlerinin ve programlarının amacını temsil eden yazılı ve basılı eğitim-öğretim aracıdır. Ülkemizde ders programı hazırlanırken önceliğin dersin içeriğine verilmesi doğru fakat yetersiz olmuştur (Delice, Aydın, Kardeş, 2009, s. 76). Türkiye’de ders kitapları sık kullanılan eğitim araçlarındandır. Ders kitapları öğrencilere derse önceden hazırlanma fırsatı ve sonradan dersi tekrar etme fırsatı tanımaktadır. Ayrıca ortaokul 8. sınıf öğrencilerinin yeni sınav sistemi olan LGS için ders kitaplarının yeterli olması ve bir ek kaynağa başvurma ihtiyacını hissettirmemesi gerekmektedir. Matematik derslerindeki başarısızlığın temel nedenlerinden birisi ortaokul matematik ders kitaplarının iyi hazırlanmış olmamasından kaynaklanmaktadır. Ders kitapları günlük hayat ile bağdaşmaması, ifadelerin açık ve anlaşılır olmaması, yaş grubuna ait bireylerin dikkatini çekecek içerik ve uygulamalar bulunmamasından dolayı verimi düşürebilmektedir (Dane, Doğan, Balkı, 2004, s. 3). LGS’ye hazırlanan öğrenciler ders kitaplarının yetersiz olmasından kaynaklanan nedenlerle, öğretmenler tarafından ek kaynaklara yönlendirilebilmektedir. Ders kitaplarının yeterince uygulamaya yer vermemesi, soru çeşitliliğinin az olması, LGS’de sorulan sorular ile yeterince uygunluk göstermemesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilmeme ya da ek kaynağa ihtiyaç duyma gereksinimi ortaya çıkabilmektedir.

Ders kitaplarıyla ilgili yapılmış araştırmalar dünya genelinde ders kitapları oluşturulurken bir kriterin olmadığını göstermektedir. Ortak bir kriterin olmamasının nedeni, her toplumun kendine özgü sosyal yapısının olması ve kültürel ihtiyaçlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Eğitim ihtiyaçları farklı olan ülkelerin eğitim sistemleri de farklılık göstermektedir. Ülkeler kendi eğitim sistemlerine göre ders kitapları oluşturmaktadır. Dolayısıyla ders kitaplarının içeriği ülkenin dinamikleri olan sosyal yapı, kültürel yapı ve ihtiyaçlara göre öğrencilerin dikkatini çekecek şekilde harmanlanıp sunulmalıdır. Ders kitapları hazırlanırken teknik ve görsel, içerik, dil ve anlatım bakımından iyi hazırlanmalıdır. Hazırlanan ders kitabının dili yaş grubuna uygun olarak yalın ve sade olmalıdır. Ders kitabına ilişkin yapılan eleştirilerden birisi de kitapların öğrenciler için değil de öğretmenler için yazılmış olmasıdır (Dane vd. 2004, s.3). Ortaokulda sürekli değişen sınav sistemlerinden kaynaklanan, ders kitaplarının tek başına yetersiz kalması öğrencilerin ders kitaplarını verimli kullanmasını engellemektedir. Sınav merkezli eğitim anlayışından dolayı öğrenciler ders kitaplarını ilk kaynak olarak görmemektedirler. Ders kitapları daha çok okuldaki müfredata uygun kazanımları kapsarken, LGS sınavlarında, ders kitaplarındaki kazanımlar ve soru çeşitleri eksik kalabilmektedir. Dolayısıyla ders kitapları sınava uygunluk göstermelidir. Sınav merkezli eğitimden dolayı öğrenciler öğrenmeyi kalıcı öğrenmekten çok, bilgiyi yapılandırmadan hazır olarak almayı tercih edebilmektedir. Bu da ders kitaplarının öğretmen ve öğrencilerin tercih alanından çıkmasına neden olabilmektedir (Aydoğdu İskenderoğlu, Baki, 2011, s. 292).

Matematik öğretiminde ders kitabı içeriğinin zengin olması matematik öğretiminde tek başına yeterli değildir. İçeriğin yanında ders kitaplarında günlük yaşamdan örnekleri barındırması, görsel ifadelerin sıkça kullanılması, dilin anlaşılır sade olması öğrencilerin dikkatini çekici kılmaktadır. Ortaokul çağındaki öğrencilerin soyut düşünme becerilerinin gelişmemiş olmasından dolayı ders kitaplarında modelleme kullanılmalı ve soyut düşünme becerilerinin gelişimi açısından destekleyici etkinlikler içermelidir. Ders kitaplarının öğrenciye rehberlik edecek şekilde açık olmalıdır. Öğrenci ilgisini çekecek içeriğe sahip olmalıdır (Güven, 2010, s. 86).

Okullarda öğretilen matematiğin bir amacı, toplum içinde matematiğin kullanılmasını sağlamak ve hayatı kolaylaştırmaktır. Böylece toplumda ihtiyaç duyulan alanlara istihdamı sağlayabilmek için matematik öğretimi değer kazanmıştır. Akademik anlamda matematikçiler küçük yaşlardan yetiştirilerek matematiğin gelişimi ve devamı amaçlanmaktadır. Dolayısıyla ortaokul kademesinde öğrencilerin edineceği her bilgi toplum için önemli bir kazanım olarak değerlendirilmektedir. Yetiştirilen bireylerin toplumun ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için de iyi bir eğitimden geçmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla eğitim ve eğitim araçlarının iyi hazırlanması, öğrencilere iyi bir şekilde sunulması gerekmektedir. Ders kitapları da bu konu da önemli bir yere sahiptir (Dane vd. 2004, s. 3). Literatürdeki bu çalışmalar ders kitaplarının öğrenme süreçleri için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ders kitaplarının güncellenmesi için farklı kaynaklardan dönütler alınmaktadır. Bu kitapların birer kullanıcısı ve yol göstericisi olan öğretmenler açısından da ders kitapları önemli görülmektedir. Dolayısıyla araştırmada ortaokul matematik öğretmenleri tarafından uyguladıkları ders kitapları değerlendirilmiş, bu konudaki görüşleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu konudaki öğretmen görüşlerinin detaylı bir şekilde araştırılmasının ileride yazılacak ortaokul matematik kitaplarına yol göstereceği öngörülmektedir.

Çalışmanın amacı:

Bu çalışmanın amacı, MEB tarafından dağıtılan ders kitaplarının yeni sınav sistemine olan uygunluğunu öğretmen görüşleri doğrultusunda değerlendirmektir. Bu genel amaç doğrultusunda şu alt problemlere cevap aranmıştır;

Ortaokul matematik öğretmenlerinin;

1. MEB'in dağıttığı ders kitaplarının LGS'ye uygunluğu hakkındaki görüşleri nasıldır?
2. MEB'in dağıttığı ders kitaplarının aktif kullanımı hakkındaki görüşleri nasıldır?
3. Derste ekstra kaynak kullanımı hakkındaki görüşleri nasıldır?
4. MEB'in dağıttığı ders kitaplarının eğitim müfredatına uygunluğu hakkındaki görüşleri nasıldır?

Çalışma Örnekleme

Araştırmanın örneklemini, Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde bulunan bir ildeki 7 farklı ortaokulda görev yapan 24 ortaokul matematik öğretmeni oluşturmaktadır. Bu örnekleme oluşturan 24 öğretmen gönüllülük esasına göre seçilmiştir. Örnekleme seçiminde öncelikle okullar tespit edilmiş, daha sonra bu okullardan hizmet deneyimi en az 5 yıl olan öğretmenler belirlenmiştir. Bu öğretmenler 5. 6. 7. ve 8. sınıf matematik derslerine girmektedir. Ayrıca örnekleme belirlenirken zaman ve işgücü koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Dolayısıyla örnekleme seçilirken uygun örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Uygun örnekleme yöntemi; zaman, para ve işgücü açısından var olan sınırlılıklar nedeniyle örneklemin kolay ulaşılabilir ve uygulama yapılabilir birimlerden seçilmesidir (Büyükoztürk, Çakmak, Akgün, Karadeniz & Demirel, 2016)..

2. Materyal ve Metot

2.1. Yöntem

Araştırmanın nitel veriler barındırması sebebiyle bu çalışmada durum çalışması yapılmıştır. Durum çalışması, sınırlı bir sistemin nasıl işlediği ve çalıştığı hakkında sistematik bilgi toplamak için çoklu veri toplama kullanılarak o sistemin derinlemesine incelenmesini içeren metodolojik bir yaklaşımdır (Chmiliar, 2010). Merriam (2013) ise durum çalışmasını sınırlı bir sistemin derinlemesine betimlenmesi ve incelenmesi olarak tanımlamaktadır. Öte yandan, Creswell (2007)'e göre durum çalışması; araştırmacının zaman içerisinde sınırlandırılmış bir veya birkaç durumu çoklu kaynakları içeren veri toplama araçları (gözlemler, görüşmeler, görsel-işitseller, dokümanlar, raporlar) ile derinlemesine incelediği, durumların ve duruma bağlı temaların tanımlandığı nitel bir araştırma yaklaşımı şeklinde tanımlanmaktadır. Davey (2009)'e göre durum çalışması elde edilen sonuçlarla olayın neden o şekilde oluştuğu ve gelecek çalışmalarda nelere odaklanılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

2.2. Veri Toplama Aracı

Çalışmada veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından geliştirilmiş beş adet açık uçlu sorudan oluşan yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Bu form geliştirilirken üç adet matematik eğitimi alanında uzman akademisyenin görüşü alınmıştır. Öncelikle 7 sorudan oluşan taslak form hazırlanmıştır. Uzman görüşü sonrası bir soru taslak formdan çıkarılmış, araştırma örnekleminde farklı 12 ortaokul matematik öğretmenine ön uygulama yapılmıştır. Bu uygulama neticesinde bir adet sorunun araştırma kapsamı için uygun olmadığına karar verilmiş ve formdan çıkarılmıştır. Ayrıca uzmanlardan formu tekrar içerik ve kapsam açısından incelemeleri ve tekrardan her bir soru için uygun (3), kısmen uygun (2) ve uygun değil (1) şeklinde puanlama yapmaları istenmiştir. Bu puanlama neticesinde formun güvenilirliği için KAPPA değeri 0,922 olarak hesaplanmış, güvenilir olduğuna karar verilmiştir. Böylece formun geçerliliği ve güvenilirliği sağlanmıştır.

2.3. Verilerin Analizi

Araştırma nitel veriler barındıran durum çalışması türündedir. Dolayısıyla çalışma verileri yapılandırılmış görüşme formuyla toplanmıştır. Elde edilen veriler öncelikle Microsoft Office Excel programı yardımıyla dijital ortama geçirilmiş, daha sonra NVİVO programıyla içerik analizi yapılmıştır. Böylece veriler analiz edilirken frekanslara göre kodlar, kodlara göre kategoriler ve kategorilere göre temalar oluşturulmuştur. Bu temalar, frekanslar, kodlar ve kategoriler oluşturulurken her üç araştırmacı birbirinden bağımsız bir şekilde istatistiksel işlemi yürütmüş, daha sonra elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Frekanslar arası farklılıklar analiz edildikten

sonra bir adet frekans ve iki adet kod ile kategori arasında mütabakata varılmış, bu doğrultuda analiz süreci tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen bulgular tablolastırılarak okuyucuya sunulmuştur.

3. Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde ortaokul matematik ders kitaplarının öğretmen görüşlerine göre değerlendirilmesine ilişkin bulgulara yer verilmiştir. Ayrıca, ders kitaplarının Liselere Giriş Sınavı (LGS)'ye uygunluğu, öğretim sürecinde aktif kullanımı, okullarda uygulanan eğitim müfredatına uygunluğu ve eğitim faaliyetlerindeki ekstra kaynak ihtiyacına ilişkin bulgulara da yer verilmiştir. Araştırmada ilk olarak ortaokul matematik öğretmenlerine MEB'in dağıttığı ders kitaplarının LGS'ye uygunluğu sorulmuştur. Bu soruya verilen yanıtlardan elde edilen frekans, yüzde, kod, kategori ve temalara ilişkin bulgular Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. MEB'in dağıttığı ders kitaplarının LGS'ye uygunluğu

Tema	Kategori	Kod	Frekans	%
Ders Kitaplarının LGS'ye Uygunluğu	Pozitif	Kısmen Uygun	4	16,666
		Uygun	3	12,500
	Negatif	LGS Düzeyi ile Uyumsuz	9	37,500
		İçerik Sorunlu	6	25,000
		Anlaşılabilirliği Düşük	2	8,333

Tablo 1'de ders kitaplarının LGS'ye uygunluğu teması altında pozitif ve negatif olacak şekilde 2 kategori oluştuğu görülmektedir. Pozitif kategori altında matematik öğretmenlerinin yaklaşık %17'si (f=4) ders kitaplarını kısmen uygun bulurken, %13'ü (f=3) uygun bulmaktadır. Negatif kategori altında ise matematik öğretmenlerinin yaklaşık %38'i (f=9) ders kitaplarını LGS sorularının düzeyi ile uyumsuz, %25'i (f=6) içeriği sorunlu, %8'i (f=2) anlaşılabilirliği düşük görmektedir. Elde edilen bulgulara ilişkin örnek öğretmen görüşleri şöyledir;

Ö5. Ders kitapları içerik, kazanım ve soru bakımından LGS sınav sistemi için uygundur.

Ö10. Uygun değildir. Çünkü LGS' de daha çok yorum ve bilgi ağırlık iken ders kitabı direkt bilgiye dayalıdır ve kısa sorular çoğunluktadır.

Ö17. Ders kitabında bilgi ve kavrama düzeyinde içerik ve sorular var. Yeni sınav sistemi ise mantık, muhakeme ve analitik beceri isteyen sorulardır. Bu nedenle uygun değildir.

Ö19. Önceki yıllar dağıtılan ders kitaplarına oranla uygunluğunun arttırıldığı söylenebilir. Uygun olması için üzerinde çalışılması gerektiği kanaatindeyim.

Ö22. Uygun değildir. Kitap anlaşılması zor örneklerden ve deneylerden oluşmaktadır.

Araştırmada ikinci olarak ortaokul matematik öğretmenlerine dağıtılan ders kitaplarının derste aktif olarak kullanılması sorulmuştur. Bu soruya verilen yanıtlardan elde edilen frekans, yüzde, kod, kategori ve temalara ilişkin bulgular Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dağıtılan ders kitaplarının derste aktif olarak kullanılması

Tema	Kategori	Kod	Frekans	%
Ders Kitabının Aktif Kullanımı	Pozitif	Konu İçeriği, Müfredat ve Kazanımlar	9	37,500
		Alıştırmalar ve Sorular	3	12,500
	Negatif	Konu İçeriği, Müfredat ve Kazanımlar	8	33,333
		Alıştırmalar ve Sorular	4	16,666

Tablo 2'de ders kitaplarının aktif kullanımı teması altında pozitif ve negatif olacak şekilde 2 kategori oluştuğu görülmektedir. Pozitif kategori altında matematik öğretmenlerinin yaklaşık %38'i (f=9) ders kitaplarını konu içeriği, müfredat ve kazanımlar yönünden uygun bulurken, %13'ü (f=3) alıştırma ve sorular yönünden uygun bulmaktadır. Negatif kategori altında ise matematik öğretmenlerinin yaklaşık %33'ü (f=8) ders kitaplarını konu içeriği, müfredat ve kazanımlar yönünden, %17'si (f=4) alıştırma ve sorular yönünden olumsuz görmektedir. Elde edilen bulgulara ilişkin örnek öğretmen görüşleri şöyledir;

Ö2. Kullanıyorum, alıştırma ve değerlendirmeler bölümünü etkin olarak kullanıyorum.

Ö10. Evet kullanıyorum. Derste konu ile ilgili soruları çözdürüyorum.

Ö13. Genellikle farklı kaynaklardaki soru ve alışımlardan yararlanıyorum.

Ö19. Aktif olarak kullanıyorum yalnız tek başına yeterli olmadığını düşünüyorum.

Ö22. Hayır, kullanmıyorum kitapta öğrencinin seviyesinde örnekler bulunmamaktadır.

Araştırmada üçüncü olarak ortaokul matematik öğretmenlerine dağıtılan ders kitaplarının ekstra kaynak kitap ihtiyacı sorulmuştur. Bu soruya verilen yanıtlardan elde edilen frekans, yüzde, kod, kategori ve temalara ilişkin bulgular Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Ekstra kaynak kitap ihtiyacı

Tema	Kategori	Kod	Frekans	%
Ekstra kaynak	İhtiyaç Durumu	Konu İçeriği, Müfredat ve Kazanımlar	19	79,166
		Alıştırmalar ve Sorular	3	12,500
		Anlaşılabilirlik	2	8,333

Tablo 3'te ders kitaplarına ekstra kaynak ihtiyacı teması altında ihtiyaç durumu olacak şekilde 1 kategori oluşturulmuştur. Bu kategori altında matematik öğretmenlerinin yaklaşık %79'u (f=19) ders kitaplarını konu içeriği, müfredat ve kazanımlar yönünden eksik bulurken, %13'ü (f=3) alıştırmalar ve sorular yönünden eksik bulmaktadır. Ayrıca matematik öğretmenlerinin %8'i (f=2) ders kitaplarının anlaşılabilirliğini düşük görmekte ve bu konular sebebiyle ekstra kaynağa ihtiyaç duymaktadır. Elde edilen bulgulara ilişkin örnek öğretmen görüşleri şöyledir;

Ö4. Evet, var çünkü sınav sistemi zor ve kitaplar yeterli değil.

Ö8. MEB' in ders kitabını ders esnasında hiç kullanmıyorum zaten sadece ödev olarak kullanıyorum çünkü MEB kitabında soru çözümlerinin anlaşılması eksik ve yardımcı kaynak kitaplarının kullanılmasına itiyor bizi.

Ö16. Vardır, çünkü öğrencinin daha farklı soru tarzları görmesi sağlanıyor tek tip soru çeşidinin yerine farklı sorular görmesi öğrencinin yorum gücünü artırıyor.

Ö22. Evet, vardır sınav sistemine göre sınav sorularına bakıldığında ders kitabından yararlanılarak çözülebilen sorulara pek rastlanmamaktadır.

Ö23. Ekstra kaynak kitabı kesinlikle ihtiyaç vardır, çünkü MEB soru yayınlıyor bu örnek sorular MEB kitabında olmadığı için ister istemez kaynak kitaplara ihtiyaç duymaktayız.

Araştırmada dördüncü olarak ortaokul matematik öğretmenlerine dağıtılan ders kitaplarının eğitim müfredatına uygunluğu sorulmuştur. Bu soruya verilen yanıtlardan elde edilen frekans, yüzde, kod, kategori ve temalara ilişkin bulgular Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Ders kitaplarının eğitim müfredatına uygunluğu

Tema	Kategori	Kod	Frekans	%
Müfredat	Pozitif	Uygun	3	12,500
		Kısmen Uygun	2	8,333
	Negatif	LGS	12	50,000
		Konu İçeriği ve Kazanımlar Alıştırmalar ve Sorular	5 2	20,833 8,333

Tablo 4'te ders kitaplarının müfredatı teması altında pozitif ve negatif olacak şekilde 2 kategori oluşturulmuştur. Pozitif kategori altında matematik öğretmenlerinin yaklaşık %13'ü (f=3) ders kitaplarını müfredata uygun bulurken, %8'i (f=2) müfredat yönünden kısmen uygun bulmaktadır. Negatif kategori altında ise matematik öğretmenlerinin %50'si (f=12) ders kitaplarını LGS yönünden, %21'i (f=5) konu içeriği ve kazanımlar yönünden, %8'i (f=2) alıştırmalar ve sorular yönünden müfredata uygun görmemektedir. Elde edilen bulgulara ilişkin örnek öğretmen görüşleri şöyledir;

Ö1. Müfredata uygun değildir. Matematikte üst bilişsel beceri gerektiren çok detaya bağlı sorular bulunmaktadır. Öğrencilerin muhakeme gücü gerektiren sorular sınavda sorulmaktadır. MEB tarafından dağıtılan kitaplarda ise daha basit sorular sorulmaktadır.

Ö2. Artık rutin olmayan problemlere doğru giriş yapıldığından daha uygundur.

Ö8. Bence kesinlikle değil çünkü öğrencilerin seviyeleri algılama düzeyleri göz ardı edilmektedir. Sorulan sorular ile anlatılan konular farklı zorluk seviyelerindedir.

Ö12. Kısmen uygundur.

Ö20. Şu anki uygulanan eğitim sistemi ve müfredat LGS' ye tam uygun olmasa da bir geçiş aşamasında olduğu görülmektedir.

Araştırmada son olarak ortaokul matematik öğretmenlerine dağıtılan ders kitaplarının nasıl geliştirilebileceğine yönelik fikir veya önerileri sorulmuştur. Bu soruya verilen yanıtlardan elde edilen frekans, yüzde, kod, kategori ve temalara ilişkin bulgular Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Ders kitaplarının geliştirilmesine yönelik fikir ve öneriler

Tema	Kategori	Kod	Frekans	%
Ders Kitaplarının Geliştirilmesi	Teknik ve İçerik	Alıştırmalar ve Sorular	13	54,166
		Konu İçeriği ve Kazanımlar	5	20,833
		LGS	4	16,666
		Anlaşılabilirlik	2	8,333

Tablo 5'te ders kitaplarının geliştirilmesi teması altında teknik ve içerik anlamında bir kategori oluştuğu görülmektedir. Bu kategori altında matematik öğretmenlerinin yaklaşık %54'ü (f=13) ders kitaplarının alıştırmalar ve sorular açısından geliştirilmesi gerektiğini düşünürken, %21'i (f=5) konu içeriği ve kazanımlar yönünden, %17'si (f=4) LGS sınavına dönük ve %8'i (f=2) anlaşılabilirlik yönünden geliştirilmesi gerektiğine inanmaktadır. Elde edilen bulgulara ilişkin örnek öğretmen görüşleri şöyledir;

Ö8. Kitabın anlaşılır daha açıklamalı olması öğrencilerin hep kaynak almasının önüne geçebilir. Bu ise konu anlatımına ve soru sayısının artırılmasına daha ayrıntılı bir şekilde çözümlerin verilmesine bağlıdır.

Ö13. Yeni sınav sistemine uygun yoruma dayalı farklı soru tipi ve öğrencilere eğlenceli aynı zamanda düşündürücü içeriklerin olması gerektiğini düşünüyor.

Ö17. Müfredat öğrenci düzeyine göre tekrar düzenlenmeli, sınava yönelik olmayan beceri odaklı bir sistem getirilmeli, ders kitapları MEB tarafından yayınlanan örnek sorular paralelinde olmalı, analitik düşünceyi geliştiren muhakeme becerisini ölçen düzeyde olmalıdır. Şu anki ders kitapları sadece bilgi ve kavrama düzeyindedir.

Ö18. Ders kitaplarında günlük hayat ile ilgili örnekler yer verilirken öğrenci seviyesine dikkat edilmelidir. Örnekler açık ve net bir şekilde verilmelidir. Öğrencinin ilgisini çekecek şekilde görseller ve örneklerle desteklenmelidir.

Ö21. Ders kitaplarının LGS sınavına uygun olarak tekrardan gözden geçirilmesi gerekmektedir.

4. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 5., 6., 7. ve 8. sınıflarda görev yapan matematik öğretmenlerinin matematik ders kitaplarıyla ilgili görüşleri incelendiğinde, ders kitaplarının LGS'ye uygunluğu noktasında öğretmenlerin yarısından fazlasının uygun olmadığı görüşünde oldukları tespit edilmiştir. Bu görüşlerin nedenleri olarak matematik öğretmenleri soruların düzeyinin LGS ile uyumsuz olmasını, içeriğin sorunlu olmasını ve kitabın anlaşılabilirliğinin düşük olmasını göstermiştir. Bu sonuçların sebepleri matematik öğretmenlerinin ders kitapları ile LGS matematik soruları arasında bağ kurmada sorun yaşaması veya kitapların LGS ile paralel bir şekilde güncellenmemiş olması olabilir. Matematik öğretmenleri ders kitabını öğretim süreçlerinde aktif kullanım noktasında pozitif ve negatif olmak üzere iki farklı görüş bildirmişlerdir. Her iki görüş türünde aktif kullanımın veya kullanılmamasının sebepleri olarak konu içeriği, müfredat, kazanımlar, alıştırmalar ve sorular ön plana çıkmıştır. Matematik öğretmenlerinin yarısı ders kitabını öğretim süreçlerinde aktif olarak kullandığını ifade ederken diğer yarısı aktif bir şekilde kullanmadığını belirtmiştir. Bu sonuçların sebepleri öğretmenlerin ders kitabını ödev veya uygulama kitabı olarak görmeleri olabilir. Matematik öğretmenlerinin hepsi ders kitabının dışında ekstra kaynağa ihtiyaç duyduğunu ve kullandığını ifade etmişlerdir. Matematik öğretmenleri ekstra kaynağa ihtiyaç duyulmasının sebepleri olarak mevcut ders kitaplarını konu içeriği, müfredat, kazanımlar, alıştırmalar, sorular ve anlaşılabilirlik yönünden eksik görmeleridir. Bir diğer ifadeyle matematik öğretmenleri öğrencilerinin öğretim süreçlerinde ders kitaplarını birçok açıdan eksik görmüşler ve ekstra kaynağa başvurmayı tercih etmişlerdir. Bu sonuçların sebepleri öğretmenlerin öğretim ortamlarında veya ders kitaplarında yeterli kadar alıştırmayı yapamaması veya öğrencilerin farklı türde alıştırmaya veya problem türlerine ihtiyaç duyması olabilir. Matematik öğretmenlerinin yarısından fazlası ders kitaplarını müfredat açısından da eksik bulmuştur. Bu görüşlerinin sebepleri araştırıldığında müfredatın LGS sınavı ile uyumsuzluğu, konu içeriği, kazanımlar, alıştırmalar ve soruların ön plana çıktığı görülmektedir. Bir diğer ifadeyle matematik öğretmenleri ders kitaplarını müfredatla teknik ve içerik açısından çokta uyumlu görememektedir. Bu sonuçların sebepleri matematik öğretmenlerinin ders kitaplarını içerik ve kazanım açısından müfredatla ilişkilendirmekte zorlanmaları veya kendi çerçevelerinden müfredatla beraber ders kitaplarını yorumlamaları olabilir. Ayrıca matematik öğretmenlerinin yaptıkları dönem planları da bu noktada etkili olmuş olabilir. Matematik öğretmenlerinin dağıtılan ders kitaplarının nasıl geliştirilebileceğine yönelik fikir veya önerileri incelendiğinde öğretmenlerin genel anlamda teknik ve içerik yönünden öneride bulunduğu tespit edilmiştir. Matematik öğretmenleri ders kitaplarının alıştırmalar, sorular, konu içeriği, kazanımlar, LGS ve anlaşılabilirlik yönünden geliştirilmesini önermişlerdir. Bu sonuçların sebepleri matematik öğretmenlerinin içerik ve uygulama arasındaki eksiklikler nedeniyle sorun yaşaması, sistemsel olarak eksikliklerin olduğunu düşünmesi ve daha uygulanabilir bir öğretim materyali beklentileri olabilir. Alanyazın taraması yapıldığında araştırmanın bu bulguları ile örtüşen veya paralellik gösteren sonuçlara rastlamak mümkündür. Toprak (1993) çalışmasında ilköğretim dördüncü ve beşinci sınıf matematik, fen bilgisi, sosyal bilgiler ve türkçe ders kitaplarının amaçlarına, öğrenci seviyesine ve fiziksel özelliklerine yönelik bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada ders kitaplarının genel olarak içerik, amaç veya öğrenci seviyesi açısından öğretim programına göre uygun olmadığı tespit edilmiştir. Doğan (1993) ise 1876-1918 yılları arasındaki okutulan ders kitaplarının sosyalleşme ve günlük yaşam ile ilişkisini araştırmış, kitapların içeriksel anlamda eksik olduğunu tespit etmiştir. Dayak (1998)'in yapmış olduğu çalışmada matematik ders kitapları öğretmen ve öğrenci görüşleriyle incelenmiştir. Bu çalışmada ders kitaplarının öğrenci seviyesine uygun olmadığını, kitap içerisinde yer alan alıştırmaların kısmında soru tür ve sayı bakımından yetersiz kaldığını ve konu anlatımı bakımından bazı eksik ve yanlışların bulunduğu tespit edilmiştir. Semerci (2004) yapmış olduğu çalışmada ilköğretim türkçe ve matematik ders kitaplarını genel değerlendirme ölçeği geliştirerek ileride yapılacak olan çalışmalarda ders kitaplarının incelenmesi ve değerlendirilmesine yardımcı olmayı hedeflemiştir. Bu anlamda daha kaliteli kitapların üretilmesi yönünde katkı sağlanması hedeflenmiştir. Dane, Doğan ve Balkı (2004) matematik öğretmen adaylarının ilköğretim 7. sınıf matematik ders kitaplarını değerlendirmelerini incelemiş, öğretmen adaylarının ders kitabı seçiminde kendilerine ve öğrencilerine daha faydalı olacak kitapların nitelikleri ve seçimi konusunda bilgili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çoban ve Erdoğan (2013) yapmış oldukları çalışmalarında dersin içeriği ile ilgili görülen problemleri ders kitabının dersin amacına uygun hazırlanmamış olmasına ve öğrenci seviyesine yeterince uygun olmayışına bağlamaktadırlar.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular ve sonuçlar çerçevesinde şu önerilerde bulunulabilir;

1. Matematik ders kitapları MEB'in belirlediği genel amaç, kazanım ve temel ilkelere paralel ve yeni sınav sistemine uygun olarak bu ve bunun gibi çalışmalar da dikkate alınarak güncellenebilir.

2. Yeni sınav sisteminde sorulacak sorulara paralel bir şekilde MEB tarafından hazırlanan ders kitabına ek olarak yeni nesil sorular içeren bir veya birkaç soru bankası öğrencilere dağıtılabilir. Böylece öğrencinin farklı kaynak kitaplara yönelmesi engellenebilir.
3. MEB tarafından öğretmenlere farklı türde alıştırma ve soruların bulunduğu ders içi uygulamalarda kullanılacak alıştırma kitapları dağıtılabilir.
4. Ders kitaplarını incelemek ve geliştirmek üzere üniversitelerde çalışan akademisyenlerden bir komisyon oluşturularak öğretmen görüşleriyle beraber ilgili kitaplar geliştirilebilir.

Kaynakça

- Aydoğdu İskenderoğlu, T., Baki, A. (2011). İlköğretim 8. sınıf matematik ders kitabındaki soruların PISA matematik yeterlik düzeylerine göre sınıflandırılması. *Eğitim ve Bilim Dergisi*, 36(161), 287-301.
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., & Demirel, F. (2016). *Bilimsel araştırma yöntemleri*. Ankara: Pegem A Yayıncılık, 124-135.
- Chmiliar, I. (2010). *Multiple-case designs*. In A. J. Mills, G. Eurepas & E. Wiebe (Eds.), *Encyclopedia of case study research* (p. 582-583). USA: SAGE Publications.
- Creswell, J.W. (2007). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches (2nd edition)*. USA: SAGE Publications.
- Çoban, F. ve Erdoğan, A. (2013). Ortaokul öğretmenlerinin matematik uygulamaları dersinde karşılaştıkları sorunlar. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 4(3), 242-258.
- Dane, A., Doğar, Ç. ve Balkı, N. (2004). İlköğretim 7. sınıf matematik ders kitaplarının değerlendirilmesi. *Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6(2), 1-18.
- Davey, L. (2009). The application of case study evaluations. *Elementary Education Online*, 8(2), 1-10.
- Dayak, E. (1998). *İlköğretim 5. sınıf matematik ders kitaplarının eğitim-öğretime uygunluğunun değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Delice, A. Aydın, E., Kardeş, D. (2009). Öğretmen adayı gözüyle matematik ders kitaplarında görsel öğelerin kullanımı. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(16), 75-92.
- Demirel, İ. N. (2018). Eğitim Teknolojisini Kullanma Yeterliliğine Dönük İfadeler ile Okuldaki Yardımcı Personelin Yeterliliğine Dönük İfadeler Hakkında Öğretmen Adaylarının Bakış Açıları. *Turkish Studies*. 13 (6), 53-68.
- Doğan, N. (1993). *İlk ve orta dereceli okul ders kitapları ve sosyalleşme (1876-1918)*. Ankara: Bağlam Yayınları.
- Göze, N. (1999). Matematik zor değildir. *Çağdaş Eğitim Dergisi*, 256(1), 33-37.
- Güven, S. (2010). İlköğretim hayat bilgisi dersi ders ve öğrenci çalışma kitaplarının öğretmen görüşlerine göre değerlendirilmesi. *Eğitim ve Bilim Dergisi*, 35(156), 84-95.
- Milli Eğitim Bakanlığı, [MEB]. (1997). *2479-2480 Sayılı Tebliğler Dergisi*. Ankara. Milli Eğitim Basımevi.
- Merriam, S.B. (2013). *Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber (3. Baskıdan Çeviri, Çeviri Editörü: S. Turan)*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Semerci, Ç. (2004). İlköğretim türkçe ve matematik ders kitaplarını genel değerlendirme ölçeği. *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28(1), 49-54.
- Toprak, T. (1993). *İlkokul ders kitaplarının öğretim programına uygunluğunun değerlendirilmesi (Adana ilinde bir araştırma)*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Ek 1. Matematik öğretmenlerine uygulanan yapılandırılmış görüşme formu soruları ve öğretmen cevapları

1. Sizde Milli Eğitim Bakanlığı (MEB)'in dağıtmış olduğu ders kitapları LGS'ye uygun mudur?

Birinci soruya ilişkin öğretmen cevapları:

- Ö1. Yeni sınav sistemine kısmen uygundur. Fakat çok fazla eksiklikleri var. Daha çok etkinlik üzerine hazırlanan kitabımız sınav için yetersiz kalmaktadır. Sınavda zor ve muhakeme gücü gerektiren sorular sorulmaktadır. Kitabımızdaki sorular LGS sınavı için basit kalmaktadır. Önceki TEOG sınavına yeterli iken şimdiki LGS sınavı için kesinlikle yetersiz.
- Ö2. Verilen kitaplarda örneklerin az olduğunu düşünüyordum. Bol örnek ve çözümlü sorular olmalıdır.
- Ö3. Kitapların yeni sınav sistemine uygun olarak hazırlandığını düşünüyorum.
- Ö4. Uygun olduğu gibi olmadığı tarafları da vardır. Mesela bazı yerlerde teorik kalıyor.
- Ö5. Ders kitapları içerik, kazanım ve soru bakımından LGS sınav sistemi için uygundur.
- Ö6. MEB'in dağıttığı kitaplar bana göre LGS için %100 uygun değildir. Çünkü sınavda sorgulanan birey özellikleri daha yaratıcı olma, analitik beceri sahibi ve ezberden uzak bir modeldir ancak verilen kitapların bu konuda uygun olduğunu düşünmüyorum.
- Ö7. Daha uygun hale getirilebilir özellikle teorik kısımlar.
- Ö8. Hayır, uygun değildir. Çünkü öğrencilerin tamamının anlama düzeyine hitap etmiyor Ayrıca soru çözümlerinin açıklama kısmının yeterli olmaması da zorlanmalarına neden oluyor.
- Ö9. Yeterli olduğunu düşünmüyorum genelde konunun içeriğine göre eksik kalıp sorular oluyor ve genelde yeni sisteme uygun olmayan soru tarzları içeriyor.
- Ö10. Uygun değildir. Çünkü LGS'de daha çok yorum ve bilgi ağırlık iken ders kitabı direkt bilgiye dayalıdır ve kısa sorular çoğunluktadır.
- Ö11. Kesinlikle LGS sınav formatına uygun bulmuyorum. LGS'de çıkacak soru örneklerine bakıldığında öğrenciye analitik düşünmeyi hedefleyen sorular sorulmaktadır. Kitapta bulunan sorular eski düşünme tarzının devamı şeklindedir.
- Ö12. MEB' in kitabı piyasadaki mevcut test kitaplarından daha açıklayıcı ve kapsayıcıdır. Fakat yılsonunda yapılan genel sınav soruları maalesef kitabın soru tarzının dışındadır. Bu da öğrencileri özel yayınların çıkardığı kitaplara yöneltilmektedir.
- Ö13. Yeteri kadar uygun değildir. Değişim sınav sisteminde olduğu için zamanla kitap içerikleri de uygun hale gelecektir.
- Ö14. Hayır, uygun değildir.
- Ö15. Hayır, uygun değildir. MEB kitabı sadece bütün öğrenciler için ortak bir kaynaktır. LGS sistemi ise daha üst düzey öğrenciler için yapılan bir sınav sistemidir.
- Ö16. Uygun değildir. Çocuğa ezberden çok yorumlama yapabileceği soru tarzları sorulmuyor. Öğrenci 8. sınıfa geldiğinde bu tarz soruları gördüğünde dersten soğuyor basit düzeyden zor düzeye doğru sınıf seviyesinde bu tarz sorular etkinleştirilmelidir.
- Ö17. Ders kitabında bilgi ve kavrama düzeyinde içerik ve sorular var. Yeni sınav sistemi ise mantık, muhakeme ve analitik beceri isteyen sorulardır. Bu nedenle uygun değildir.
- Ö18. Uygundur.
- Ö19. Önceki yıllar dağıtılan ders kitaplarına oranla uygunluğunun arttırıldığı söylenebilir. Uygun olması için üzerinde çalışılması gerektiği kanaatindeyim.
- Ö20. Uygun değildir ders kitapları daha çok ezbere yönelik iken LGS Sınavı ise neden sonuç ilişkisi kurabilme, verilmeyeni algılayabilme, problem çözüme, analiz yapma, eleştirel düşünme ve bilimsel süreç becerilerini kullanabilme gibi üst düzey yeterlilik gerektirecek sorulardan oluşmaktadır.
- Ö21. LGS soruları genellikle seçici ve uzun anlatım, yorum, tablo içeren sorulardan oluşmaktadır. Ders kitapları ise daha çok ezbere yönelik sorulardan oluşmaktadır.
- Ö22. Uygun değildir. Kitap anlaşılması zor örneklerden ve deneylerden oluşmaktadır.
- Ö23. Hayır değildir. Çünkü MEB'in yayınladığı kitaplar ezbere yönelik hazırlanmaktadır. Fakat LGS'de çıkan sorular yoruma dayalıdır.
- Ö24. MEB'in dağıttığı kitaplar kesinlikle LGS'ye uyumlu değildir. Çünkü yeni sınav sistemi yoruma dayalı sorulardan oluşmakta ve bu sorulara maalesef MEB' in dağıttığı hiçbir kitapta değinilmemiştir. Sadece konu sonlarında çok az soru vermekle yetinmişler ve bunların içinde de kesinlikle LGS ile alakalı olan hiçbir soru bulunmamaktadır.

2. MEB'in dağıtmış olduğu ders kitaplarını aktif bir şekilde kullanıyor musunuz?

İkinci soruya ilişkin öğretmen cevapları:

- Ö1. Aktif olarak kullanmıyorum. Yetersiz kalıyor, sadece kazanımlar için bakıyorum.
- Ö2. Kullanıyorum, alıştırmalar ve değerlendirmeler bölümünü etkin olarak kullanıyorum.
- Ö3.Ö4.Ö5.Ö6. Evet.
- Ö7. Tam anlamıyla kullanmıyorum.
- Ö8. Hayır, ders içeriğinin az ve açıklama kısmının yetersiz olması yardımcı kaynaklar kullanmama neden olmaktadır.
- Ö9. Bazı konularda kullanıyorum. Ünite sonu değerlendirme sorularını derste mutlaka çözdürüyorum.
- Ö10. Evet kullanıyorum. Derste konu ile ilgili soruları çözdürüyorum.
- Ö11. Evet, haftalık programın son saatlerinde her sınıf düzeyinde aktif olarak kullanıyorum.
- Ö12. Aktif olarak kullanıyorum.
- Ö13. Genellikle farklı kaynaklardaki soru ve alıştırmalardan yararlanıyorum.

- Ö14. Kullanmıyorum kitapların içerikleri kazanımların çok altında yer alıyor.
Ö15. Aktif olarak kullanmıyorum. Sadece bazen alıştırma ve etkinlikleri uyguluyorum. Ev ödevi olarak veriyorum.
Ö16. Genellikle konu bitiminde içindeki alıştırma ve soruları çözmek için kullanıyorum. Derste aktif bir şekilde kullanmıyorum.
Ö17. Sadece ders kitabındaki kazanım sorularını derste çözüyorum aktif olarak kullanmıyorum.
Ö18. Evet, aktif olarak kullanıyorum.
Ö19. Aktif olarak kullanıyorum yalnız tek başına yeterli olmadığını düşünüyorum.
Ö20. Evet, müfredat programı takip açısından kullanmaktayım.
Ö21. Müfredatı takip açısından kullanıyorum.
Ö22. Hayır, kullanmıyorum kitapta öğrencinin seviyesinde örnekler bulunmamaktadır.
Ö23. Hayır, kullanmıyorum, çünkü fayda sağlayacağını düşünmüyorum MEB' in kitaplarını yetersiz buluyorum.
Ö24. Kesinlikle MEB' in kitaplarını hiçbir öğretmen şu anda kullanmıyor özellikle 8 sınıf öğretmenleri.

3. Öğretim sürecinde MEB'in dağıtmış olduğu kaynak kitaplarına ek olarak kaynak kitap ihtiyacı duyuyor musunuz?

Üçüncü soruya ilişkin öğretmen cevapları:

- Ö1. Ekstra kaynak kitabı ihtiyaç vardır. Yeteri kadar soru bulunmamaktadır. Sınava uygun değildir. Matematik doğası gereği zordur ve anlaşılması zordur bu zorlu ortadan kaldırmak için örnek çeşitliliği uzaklaştırılarak artırılmalıdır. Sınavda beyin fırtınası gerektiren sorular sorulmaktadır, bu tür sorular artırılmalıdır.
Ö2. Elbette ki ekstra kaynak demek farklı sorular ve farklı çözüm yolları demektir.
Ö3. Ekstra kaynak kitabı ihtiyaç vardır. Konuların daha iyi kavrama bilmesi öğrenilenlerin kalıcılığının sağlanabilmesi için çok fazla örnek alıştırmanın yapılması gerekir. Bu eksikliğin kapatılması için yardımcı kaynak kitap gereklidir.
Ö4. Evet, var çünkü sınav sistemi zor ve kitaplar yeterli değil.
Ö5. Evet, sınav sistemi hızlı bir soru çözümünü gerektirmekte ezberden ziyade bilgiyi kullanabileceği uzun sorulardan oluşmakta bunun olabilmesi için öğrencinin çok fazla alıştırma yapması gerekir.
Ö6. Ekstra kaynak kitabı ihtiyaç vardır, çünkü soru çeşitliliği bakımından farklı kaynaklara ihtiyaç olur.
Ö7. Kesinlikle evet çünkü sınavlarda çıkan soru tipleri ile okullarda okutulan kitapların soru uyumsuz.
Ö8. MEB' in ders kitabını ders esnasında hiç kullanmıyorum zaten sadece ödev olarak kullanıyorum çünkü MEB kitabında soru çözümlerinin anlaşılması eksik ve yardımcı kaynak kitaplarının kullanılmasına itiyor bizi.
Ö9. Kesinlikle ekstra kaynak gerekli ders kitabı etkinlik ve soru tarzları konusunda yetersiz düşündürücü ve dikkat gerektiren yeni sınav sistemine uygun sorular içermediği için ekstra kaynak kitap kullanmak gerekiyor. Ayrıca sadece ders konu anlatımı veriyor çalışma kitabı olmadığı için çok az soru var içerisinde.
Ö10. Soru çeşidi açısından ihtiyaç duyulabilir.
Ö11. Matematik dersi konu kapsamı olarak her kitapta bilgiye çabuk erişilebilir, fakat soru tarzı olarak geniş bir kapsama alanı vardır. Bu sebeple birçok kaynak kitabı kullanımı farklı soru tarzına hakim olmayı artırır.
Ö12. Soru adedi bakımından MEB' in kitabı yetersizdir.
Ö13. Kaynak kitap olmalı eksik ya da hatırlatma amacı ile bilgiler yer almayıp öğrencilerin konuyu bildikleri varsayılmaktadır. Ayrıca çok fazla soru tipi yer almasından dolayı farklı kaynaklardan yararlanılmalıdır.
Ö14. İhtiyaç vardır, çünkü yeterli soru çözümü MEB' in kitabı ile mümkün değildir.
Ö15. Kesinlikle ihtiyaç vardır. Matematik öğretim programı çok yoğun olduğu için öğretmenlerimiz programı yetiştirme telaşındadır aynı zamanda öğrencilerin her türlü soru çeşidini görmesi açısından birden çok kaynağa ihtiyaç vardır.
Ö16. Vardır, çünkü öğrencinin daha farklı soru tarzları görmesi sağlanıyor tek tip soru çeşidinin yerine farklı sorular görmesi öğrencinin yorum gücünü artırıyor.
Ö17. Uygulanan sınav sistemi çok soru çözmeyi gerek tip yorum gücü yüksek analitik düşüncesi olan öğrencileri istemektedir. Ders kitabında ona yönelik sorular yoktur. Bu nedenle kaynak kitaba gerek vardır.
Ö18. Bazen ihtiyaç duyuyorum. Ders kitabında yeterince kapsayıcı sorulara yer verilmiyor.
Ö19. Kesinlikle kullanıyorum. Nedenine gelecek olursak konu anlatım kısmının sınırlılığı ve örnek soru konusundaki yetersizlik göz önüne alınırsa ek kaynak kullanmak kaçınılmazdır.
Ö20. Evet, LGS sınavına hazırlanan öğrenciler daha çok pratik yapması açısından farklı kaynaklar değişik soru tipleri çözmeleri açısından ekstrasından kitaplar tercih edilmektedir.
Ö21. Evet, LGS sınavı sayısal mantık gerektiren sorulardan oluştuğu için öğrencileri pratik yapabilmeleri için farklı kaynaklardan soru çözmeleri için ekstra kaynak tercih edilmelidir.
Ö22. Evet, vardır sınav sistemine göre sınav sorularına bakıldığında ders kitabından yararlanılarak çözülebilen sorulara pek rastlanmamaktadır.
Ö23. Ekstra kaynak kitabı kesinlikle ihtiyaç vardır, çünkü MEB soru yayınlıyor bu örnek sorular MEB kitabında olmadığı için ister istemez kaynak kitaplara ihtiyaç duymaktayız.
Ö24. Tabi ki ihtiyaç vardır çünkü MEB' in kitaplarına paralel ders işlersek öğrenciler sınava hazırlanamaz, daha doğrusu yanlış hazırlanmış olur.

4. Sizce MEB'in dağıtmış olduğu ders kitapları müfredata uygun mudur?

Dördüncü soruya ilişkin öğretmen cevapları:

- Ö1. LGS'ye uygun değildir. Matematikte üst bilişsel beceri gerektiren çok detaya bağlı sorular bulunmaktadır. Öğrencilerin muhakeme gücü gerektiren sorular sınavda sorulmaktadır. MEB tarafından dağıtılan kitaplarda ise daha basit sorular sorulmaktadır.
- Ö2. Artık rutin olmayan problemlere doğru giriş yapıldığından daha uygundur.
- Ö3. Hayır, kitaplar LGS' ye uygun değildir. LGS soruları uzun sorulardan oluşmaktadır. Bu öğrencinin verilen bilgileri nasıl kullanacağı noktasında belirsizliğe sebep olmaktadır. Uygulanan eğitim sistemi bilgi verip işlem yapacağı kavrama basamağında kalan sorulardan oluşmaktadır.
- Ö4. Hayır, uygun değildir.
- Ö5. Sınıflarda uygulanan sistem bilgi ve kavrama düzeyinde kalıyor. LGS sınav sistemine uygun değildir.
- Ö6. Kesinlikle hayır, verilen eğitim öğretim ile uygulanan daha doğrusu ölçüm testleri farklıdır.
- Ö7. Fikrim yok.
- Ö8. Bence kesinlikle değil çünkü öğrencilerin seviyeleri algılama düzeyleri göz ardı edilmektedir. Sorulan sorular ile anlatılan konular farklı zorluk seviyelerindedir.
- Ö9. Hayır, uygun değildir. Ancak biz kendi çabalarımızla yeni sisteme uydurmaya çalışıyoruz.
- Ö10. Bence değil, çünkü LGS' de okuma-anlamaya dayalı sorular çoğunlukla soruluyor, ancak şu anki eğitim sistemi bilgi depolamaya yöneliktir.
- Ö11. Kesinlikle değil, müfredat kazanımları saf bilgiyi öğrenciye vermeye teorik olarak ders işlemeye planlanmıştır. LGS daha çok üst düzey düşünmeyi, bilgiyi yorumlamayı hedefliyor.
- Ö12. Kısmen uygundur.
- Ö13. Sistemin yeni değişmesi öğrencilerde olumsuz yönde etki yaratmakla beraber eğitim sistemine uygun değildir. Eğitim sistemi ezberci iken LGS daha çok yorum ve düşündürmeyi ön plana almaktadır.
- Ö14. LGS bir defa uygulandı, soru ve kazanımlar öğrenci seviyelerinin çok üstündeydi. LGS eğitim sistemine uygun değildir.
- Ö15. Uygun değildir, fakat öğretmen olarak elimizden gelen çabayı gösteriyoruz. Zaten sistem olarak LGS her öğrencinin nitelikli bir okula gitmesi için oluşturulmamıştır. LGS sadece yüzde onluk bir kısmı karşılamaktadır.
- Ö16. Bence uygun değildir. Bu kadar zorlanması da uygun değil, çünkü bu konu disiplinler arası yaklaşıma terstir. Sadece bir dersi zorlamak mantıklı değil bizim eğitim sistemimizin LGS ye uygun olması için öğrencinin birinci sınıftan itibaren düşündürücü sorular çözmesi gerekmektedir.
- Ö17. Eğitim sistemimizin mi LGS ye uygun değil yoksa LGS sistemi mi eğitim sistemimize uygun değil arası bir tartışma konusudur. Lakin birbiriyle örtüşmedikleri kesin. Bunları uygun hale getirecek kişiler öğretmenlerdir.
- Ö18. Evet uygundur.
- Ö19. Maalesef uygun değil. Aslında şöyle de söyleyebiliriz ki; LGS eğitim sistemine uygun değildir.
- Ö20. Şu anki uygulanan eğitim sistemi LGS' ye tam uygun olmasa da bir geçiş aşamasında olduğu görülmektedir.
- Ö21. Hayır, çünkü LGS sınavı daha çok mantık gerektirirken günümüzdeki eğitim sistemi daha çok ezbere yöneliktir.
- Ö22. Uygun değildir. Öğrencilerin LGS' ye hazırlanması için test çözmeleri test çözme tekniklerini öğrenmeleri gerekmektedir. Test çözmekten daha çok bilgiyi ezberleterek öğretmekteyiz.
- Ö23. Şu anki eğitim sistemi yeni sınav sistemi LGS' ye uygun değildir. Biz elimizden geldiği kadar ayarlamaya çalışıyoruz.
- Ö24. Hayır, uygun değildir. Çünkü eğitim sistemi ezbere dayalıdır. Sınav sistemi ise buna paralel değildir.

5. MEB'in dağıtmış olduğu ders kitaplarının geliştirilmesine yönelik fikir ve önerileriniz nelerdir?

Beşinci soruya ilişkin öğretmen cevapları:

- Ö1. MEB tarafından dağıtılan kitaplar kazanımlara göre hazırlanmış genellikle basit sorular içermektedir. Bazı etkinliklerde kullanılan araç ve gereçleri bulmak zor olabiliyor. Böyle hazırlanan bir kitap için okullarda bu etkinliği yapabilecek matematik sınıfları bulunmalıdır. Öğrencilerin muhakeme gücünü ve yaratıcı düşüncelerini geliştirebilecekleri etkinlikler bulunmalı ya da bunlara uygun sorular hazırlanmalıdır.
- Ö2. Ders kitaplarında test bölümü arttırılmalı projeye ve performansa yönelik bölümler oluşturulmalıdır.
- Ö3. MEB kitaplarının konu anlatımı güzel ama soru açısından yeterli değildir. Soru bankası şeklinde bir yardımcı kaynak kitap dağıtılabilir.
- Ö4. Örneklerinin çoğaltılıp soru bankasının da çıkarılması gerekmektedir.
- Ö5. Ders kitapları kazanımlar için güzel hazırlanmış ama alıştırmalar yeterli değildir. Bunun yanında soru bankası şeklinde ekstra kaynak kitap verilebilir.
- Ö6. MEB tarafından dağıtılan ders kitapları kesinlikle güncellenmiyor. Bazı yerlerde içerik içerisinde hata yapılan yerler var, müfredatın güncellenmesi şarttır.
- Ö7. Dağıtılan kitaplar öğrencinin bilgi ve becerisine yönelik hazırlanması gerektiğini düşünüyorum.
- Ö8. Kitabın anlaşılır daha açıklamalı olması öğrencilerin hep kaynak almasının önüne geçebilir. Bu ise konu anlatımına ve soru sayısının artırılmasına daha ayrıntılı bir şekilde çözümlerin verilmesine bağlıdır.
- Ö9. Keşke eğitim sistemlerini değiştirme kararı verdiklerinde önce dağıttıkları kitaplarda o değişiklikleri yapıp sonra sistemi değiştirirler. Önce sistemi değişip sonra kitapları o sisteme göre değiştirmek zaman alıyor. Bu da bize zaman kaybettiriyor sistem değişikliğini önce kendi kitaplarında gerçekleştirip soru örneklerini ona göre hazırlayıp sonra uygulamaya geçmeliler. Çalışma kitabı mutlaka dağıtılmalı soru yoğunluğu fazla olan bir kaynak daha matematik için dağıtılmalıdır.
- Ö10. Öğrencileri düşündürecek tarzda sorular sorulmalıdır. Yorum ve bilgi içerikli sorular sorulmalıdır. Öğrenciyi zorlayacak sorular sorulmalıdır.

- Ö11. Bu sene yapılan değişiklikle matematik tarihi bölümleri öğrencilerin ilgisini çekiyor. Bu olumlu bir katkı fakat birçok sorunun yanlış yazılması hataların ölçme-değerlendirme bölümlerinde olması yeni baskıların olmasını gerektirmektedir.
- Ö12. Yılsonunda yapılan sınavlardaki soru tarzı MEB kitabını temel alarak yapılmalıdır.
- Ö13. Yeni sınav sistemine uygun yoruma dayalı farklı soru tipi ve öğrencilere eğlenceli aynı zamanda düşündürücü içeriklerin olması gerektiğini düşünüyorum.
- Ö14. Daha fazla soru çözümüne yer verilmelidir.
- Ö15. Daha çok sorunun olmasını bekliyoruz. Her etkinlik sınıfta yapılamıyor kaliteli, özgün örnekler olmalı ve etkinlikler nitelikli olmalıdır.
- Ö16. Dağıtılan kitaplar daha çok öğrenciye ve öğretmene hitap etmelidir. Sadece ders kitabı çıkardık diye çıkarılmamalı sordukları sorulara benzer sorular sorulmalı ve bu konular anlatılmalıdır. Birçok kitabın içi boş biraz daha özenli ve dikkatli kitaplar hazırlanmalı çocuklar kitaplara özendirilmelidir. Öğrenci kendisine hitap etmediği için dışarıdan farklı kaynak almak zorunda kalıyor, bunun önüne geçilmelidir.
- Ö17. Müfredat öğrenci düzeyine göre tekrar düzenlenmeli, sınava yönelik olmayan beceri odaklı bir sistem getirilmeli, ders kitapları MEB tarafından yayınlanan örnek sorular paralelinde olmalı, analitik düşüncüyü geliştiren muhakeme becerisini ölçen düzeyde olmalıdır. Şu anki ders kitapları sadece bilgi ve kavrama düzeyindedir.
- Ö18. Ders kitaplarında günlük hayat ile ilgili örneklere yer verilirken öğrenci seviyesine dikkat edilmelidir. Örnekler açık ve net bir şekilde verilmelidir. Öğrencinin ilgisini çekecek şekilde görseller ve örneklerle desteklenmelidir.
- Ö19. Eğitim sisteminin sınava uygun olmadığını görüyoruz ve ders kitaplarının da yeterli olmadığını da biliyoruz. Bunun en önemli kanıtlardan biri hemen hemen her öğretmenin tek başına ders kitaplarını kaynak olarak kullanmamasıdır.
- Ö20. Ders kitapları biraz daha sayısal mantık gerektiren eleştirel düşünmeyi sağlayan analiz yapma gibi bol pratik gerektiren aşamalardan olmalıdır.
- Ö21. Ders kitaplarının LGS sınavına uygun olarak tekrardan gözden geçirilmesi gerekmektedir.
- Ö22. Ders kitaplarının test kitapları gibi düzenlenmesi ve daha çok soru içerecek biçimde hazırlanması daha uygun olacaktır. Çünkü sınav sistemi düşünüldüğünde öğrencilerin soru çözmeleri gerekmektedir.
- Ö23. MEB' in hazırladığı kitaplar kesinlikle MEB' de çalışan öğretmenlerden oluşan bir ekip tarafından hazırlanmalıdır. LGS sınavında sorulacak sorular MEB' de çalışan öğretmenler tarafından hazırlanırsa daha iyi olur.
- Ö24. MEB yıllardır bu formatta kitaplar yayınlıyor sınav sistemi ile oynayıp değiştirdiği kadar kitaplarla da oynar ve değiştirirse belki doğru formatı bulabilir. İşi uzmanlarına bırakmaları gerekmektedir.



Bakır Katkılı TiO₂ Fotoanotların Boya Duyarlı Güneş Pilleri Performansı Üzerindeki Etkisi

Erdi Akman^{1,2}

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİLTEM), Karaman, Türkiye

² Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nano-Teknoloji Ar-Ge Laboratuvarı, Karaman, Türkiye
(ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.672079)

ATIF/REFERENCE: Akman, E. (2020). Bakır Katkılı TiO₂ Fotoanotların Boya Duyarlı Güneş Pilleri Performansı Üzerindeki Etkisi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 129-135.

Öz

Bu çalışmada, farklı oranlarda (Cu) katkı TiO₂ nanoparçacıkları hazırlanmış ve hazırlanan bu nanoparçacıklar boya duyarlı güneş pilleri (BDGP)'nde yarıiletken fotoanot olarak kullanılmıştır. Katkısı yapılan farklı oranlarda ki Cu iyonlarının TiO₂ fotoanotları üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla X-ışını difraktometresi (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve UV-vis spektrofotometre analizleri kullanılmıştır. Ayrıca yapılan Cu katkısının BDGP performansı üzerindeki etkisini belirlemek için akım-gerilim analiz sistemleri kullanılmıştır. Yapılan XRD ve SEM analizlerinde Cu iyonlarının TiO₂ yapısına yerleştiği anlaşılmıştır. Elde edilen fotovoltajik sonuçlara göre ise, saf TiO₂ BDGP ile karşılaştırıldığında ideal katkı oranının % 1'lik Cu katkı oranı olduğu ve bu katkı oranı ile akım yoğunluğunun 10.83 mA.cm⁻² değerinden 13.36 mA.cm⁻² değerine yükseldiği, pillerin güç dönüşüm veriminin ise % 4.59 değerinden % 5.26 değerine ulaştığı saptanmıştır. Üretilen BDGP'inde akım yoğunluğunda ki kayda değer bu artış ideal Cu oranının katkısı ve Cu katkıli fotoanodun boyayı tutma kabiliyetini artırması ile ilgilidir. Elde edilen bu sonuçlar BDGP'nde Cu iyonlarının ideal katkısı, üretilen pillerin verim değerini artırma konusunda etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: BDGP, Titanyum Dioksit (TiO₂), Cu katkısı, Güneş Pili Verimi.

The Effect of Copper Doped TiO₂ Photoanodes on Dye Sensitized Solar Cells Performance

Abstract

In this study, Cu doped TiO₂ nanoparticles with different ratios are produced and are employed as semiconductor materials of photoanode to improve the photovoltaic performance of dye sensitized solar cells (DSSCs). X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscope (SEM), and UV-vis spektrofotometre analysis are used to characterize the influence of copper dopant with different concentrations on the TiO₂ photoanodes. Also, the effect of dopant on photovoltaic performance of DSSCs were analyzed by current-voltage analysis systems. XRD and SEM analysis revealed that Cu ions settled in TiO₂ structure. According to obtained photovoltaic results, the ideal Cu concentration of 1.0 at.%, the current density rised from 10.83 to 13.36 mA.cm⁻², power conversion efficiencies increased from 4.59% up to 5.26% as compared to the bare DSSC. The significantly enhanced current density of the produced DSSCs was found to be related to the ideal Cu dopant amount and dye hold ability in Cu doped TiO₂ photoanode. These results showed that the doping of ideal copper ratio in DSSCs an effective way to increase in the conversion efficiency of DSSCs.

Keywords: DSSCs, Titanium Dioxide (TiO₂), Cu Doping, Solar Cells Efficiency.

1. Giriş

Gelişen sanayi, artan nüfus, daha fazla enerji tüketimi yapan sistemlerin geliştirilmesi ile beraber enerji tüketimindeki artış ve geleneksel enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması gelecek nesiller için enerji kaynağı endişesi doğurmuştur. Bu endişelerin giderilmesi adına geleneksel enerji kaynaklarına alternatif enerji kaynakları geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu enerji kaynakları arasında bulunan ve gelecekte en büyük enerji kaynağı potansiyeli olarak görülen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise güneş pilleri sahip oldukları avantajlardan dolayı bir adım öne çıkmaktadırlar. Güneş pilleri ise kendi aralarında belirli parametreler göz önüne alınarak gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmalar arasında yer alan yüksek verimliliğe sahip ve ticari boyut kazanmış Si tabanlı güneş pilleri ile Ga-As güneş pilleri en yaygın olarak kullanılan türlerdir. (Akman ve ark., 2013). Bu güneş pillerinin yüksek verimlilikte olması, yüksek kararlılık gösterip uzun süre kullanılıyor olması ve ticari olarak kullanılması en büyük avantajlarından. Fakat bu pillerin üretim yöntemlerinin pahalı olması, hammadde işlenmesinin zor ve maliyetli bir işlem olması, üretim altyapısının kurulma işlemleri pahalı olmasından dolayı bilim insanları daha uygun maliyetli güneş pili sistemlerinin geliştirilmesine yönelmişlerdir (Oztürk ve ark., 2017; Akman ve ark., 2013).

Uygun maliyetli güneş pili sistemleri olarak nitelendirilen sistemler “üçüncü nesil güneş pilleri” adı altında toplanmıştır. Bu pil çeşitleri arasında yer alan boya duyarlı güneş pilleri (BDGP) ise üretim maliyetinin uygun olması ve nispeten yüksek verimli güneş hücreleri olması sebebiyle öne çıkmaktadır. BDGP’ni çekici kılan diğer bir nokta ise üretim kolaylığı ve düşük maliyetli altyapı sistemlerinin kurulabiliyor olmasıdır. Bu çekici özelliği sayesinde BDGP üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Oztürk ve ark., 2017; Akin ve ark., 2014; Tang ve ark., 2014) Sandiviç (katmanlı) şeklinde bir yapıya sahip olan BDGP’ni bir fotoanot (genellikle TiO_2 veya ZnO yarıiletkenleri ve duyarlaştırıcı boya), elektrolit ve karşıt elektrot oluşturmaktadır. Bu üç yapının en önemli parçası olan fotoanot kısmı, tasarlanan aygıtın akım yoğunluğundan boya malzemesinin tutunmasına kadar birçok parametreyi belirlemektedir. Fotoanot malzemesi olarak da en yaygın kullanılan yarıiletken titanyum dioksit (TiO_2) malzemesidir (Akin ve ark., 2016).

İdeal bir fotoanotta olması gereken özellikler sırasıyla hızlı/verimli yük taşıma ve düşük elektron rekombinasyon davranıştır. Fakat TiO_2 fotoanot uygulamalarında yüksek elektron-hol çifti rekombinasyonu ve nispeten düşük elektron taşınması gibi elverişsiz özelliklerinden dolayı aygıt performansının artırılması konusunda engel olarak kabul edilmektedir (Ates Sonmezoglu et al., 2016). Bu elverişsiz durumların giderilmesi adına TiO_2 fotoanoduna çeşitli modifikasyon işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemlerden bazıları ise farklı tavlama sıcaklıklarının uygulanması, farklı üretim yöntemlerinin denenmesi ve birbirinden farklı özelliklerde olan katkı malzemesi ile modifikasyon işlemleridir. Bu işlemler arasında bulunan katkı prosesi yaygın olarak kullanılan bir seçenektir (Roose ve ark., 2015; Öztürk ve ark., 2017). Yapılan literatür çalışmalarında TiO_2 fotoanoduna yapılan katkı ile beraber fotoanodun yük taşıma kapasitesinin arttığı ve rekombinasyon oranının azaldığı tespit edilmiştir (Zhou ve ark., 2016; Roose ve ark., 2015).

TiO_2 fotoanodunu modifiye ederken farklı türlerde elementler kullanılmaktadır. Kullanılan elementlerin türüne bağlı olarak TiO_2 fotoanodunun belirli özellikleri geliştirilmiş veya gelen ışığın daha verimli kullanılması sağlanmıştır. Örneğin lantanit ailesi elementi olarak bilinen Eu, Tb, Er ve Ce gibi elementler kullanılarak gelen ışığın ultraviyole (UV) ve kızılötesi (NIR) bölgelerini görünür bölgeye dönüştürerek daha yüksek oranda ışığın kullanılması sağlanmaktadır (Yao ve ark., 2016; Zalas ve Klein, 2012). Böylelikle lantanit grubundaki elementlerin katkısıyla beraber güneş pilleri için en önemli parametre olan akım yoğunluğu veya açık devre voltaj parametreleri geliştirilmektedir. Ayrıca, literatür çalışmalarında görüleceği üzere demir (Fe), alüminyum (Al), karbon (C) gibi elementler de katkılanarak TiO_2 fotoanodunun başta akım akım yoğunluğu olmak üzere belirli özellikleri iyileştirilerek pil performansının artırıldığı bilinmektedir (Li ve ark., 2016; Liu, 2014).

Yapılan bu çalışmada ise BDGP’nin performansında belirleyici bir rol oynayan TiO_2 fotoanoduna farklı oranlarda Cu elementinin katkısı yapılarak üretilen güneş hücrelerinin performansına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; boya ile duyarlaştırılmış saf TiO_2 yapısı ile elde edilmiş güneş hücresine kıyasla, katkılanan % 1’lik Cu oranı ile yapılan güneş hücresinde akım yoğunluğunun % 23 artış gösterdiği, verimin ise yaklaşık % 15 gelişim gösterdiği anlaşılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Malzemeler

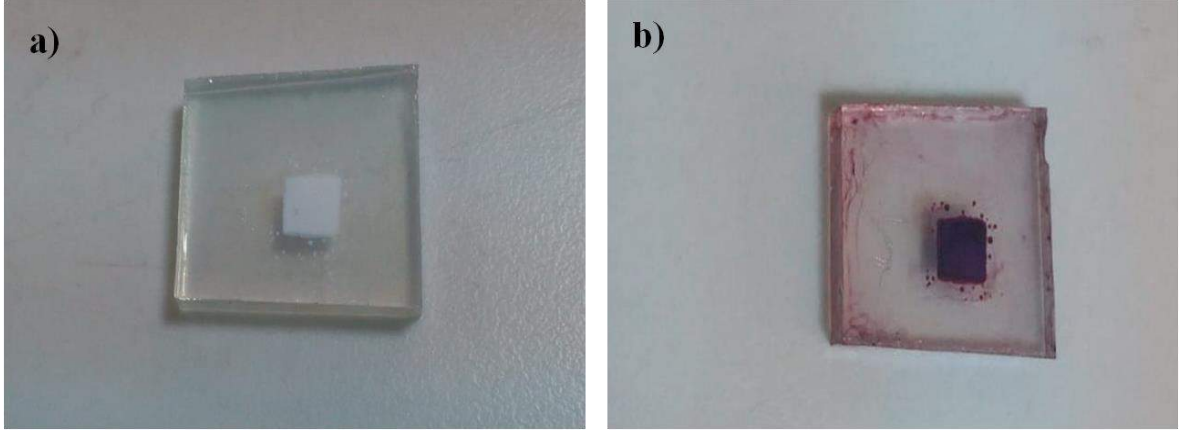
Pasta hazırlamada kullanılan TiO_2 nano-toz (P25), titanyum tetra-izopropoksit (TTIP, % 99.0), etanol (% 99.5), etil selüloz, acetic acid, katkı malzemesi olarak bakır (II) klorür, boya kaynağı N-719 olarak bilinen Di-tetrabutylammonium cis-bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)ruthenium(II), elektrolit kaynağı olarak Potasyum iyodür ve iyot, karşıt elektrolit kaynağı olarak chloroplatinic acid hexahydrate ve alttaş olarak da flor katkılı kalay oksit (FTO) ticari olarak Sigma-Aldrich üzerinden temin edilmiştir.

2.2. Saf TiO_2 ve Cu Katkılı TiO_2 Sentezi

Saf TiO_2 ve Cu katkılı TiO_2 sentezi sol jel yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. Sentezlenme basamakları kısaca özetlenecek olursa; belirli miktarda alınan TiO_2 nano-toz bir beherde etanol ile iyice karıştırılıp tam çözünmesi (büyük partikül kalmayacak şekilde) sağlandıktan sonra çok az miktarda TTIP katılarak pastanın jel kıvamına gelmesi sağlanmıştır. Daha sonra bir miktar etil selüloz iki damla asidik asit damlatılarak karıştırılmaya devam edilmiştir. Bu karıştırma işlemiyle beraber TiO_2 pastası çekilmeye hazır hale getirilmiştir. Diğer taraftan ise önceden iki farklı beher içerisinde etanol içerisinde çözdürülmüş bakır (II) klorür ile aynı işlemler kullanılarak % 1 ve % 5 oranında Cu katkılı TiO_2 pasta hazırlanmıştır.

2.3. BDGP'nin Üretimi

Hazırlanmış saf ve katkılı TiO_2 pastalar maske yardımıyla flor katkılı kalay oksit (FTO) iletken camları üzerine tek kat çekilerek önce oda sıcaklığında 5 dk bekletildi sonra $100\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 5 dk kurumaya bırakıldı. Daha sonra kuruyan sıcaklığının düşmesi için pasta temiz bir zemin üzerinde bekletildikten sonra pastanın üzerine bir kat daha çekim yapılarak önceki işlemin aynısı uygulandı. Kuruyan TiO_2 pastalar daha sonra kristallenmesi ve yüzeye tutunmalarının artırılması amacıyla $500\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat tavlama bırakıldı. Pastalar soğuduktan sonra metanol içinde çözdürülmüş N-719 boya çözeltisine gömüldü ve karanlık koşullar altında 18 saat boyanın içinde bekletilmiştir. Filmleri boya içerisinde 18 saat bekletildikten sonra temiz metanol içerisinde birkaç kez daldırıp çıkararak tutunmayan boya moleküllerinin yüzeyden düşürülmesi sağlandı. Pilin diğer parçaları olan iyodür elektrolit (I^3-/I^-) ve karşıt elektrot olan platin (Pt) (Sonmezoglu ve ark., 2014 ve Tas ve ark., 2017) çalışmaları referans alınarak üretilmiştir. Şekil 1'de % 1 katkılı Cu: TiO_2 fotoanodunun N-719 boya çözeltisine daldırılmadan önceki ve daldırdıktan sonraki görüntüsünün dijital resimleri verilmiştir. Şekil 1b'de de görüldüğü gibi boyanın fotoanot üzerine iyi bir şekilde tutunma gösterdiği gözlemlenmiştir. Üretilen tüm fotoanotların aktif alanı 0.16 cm^2 alana sahip standart maske kullanımı yapılarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Hazırlanan % 1 Cu katkılı TiO_2 fotoanodunun boyaya daldırılmadan a) önceki b) 18 saat boyada bekledikten sonraki görüntüsü

2.4. Karakterizasyon Teknikleri

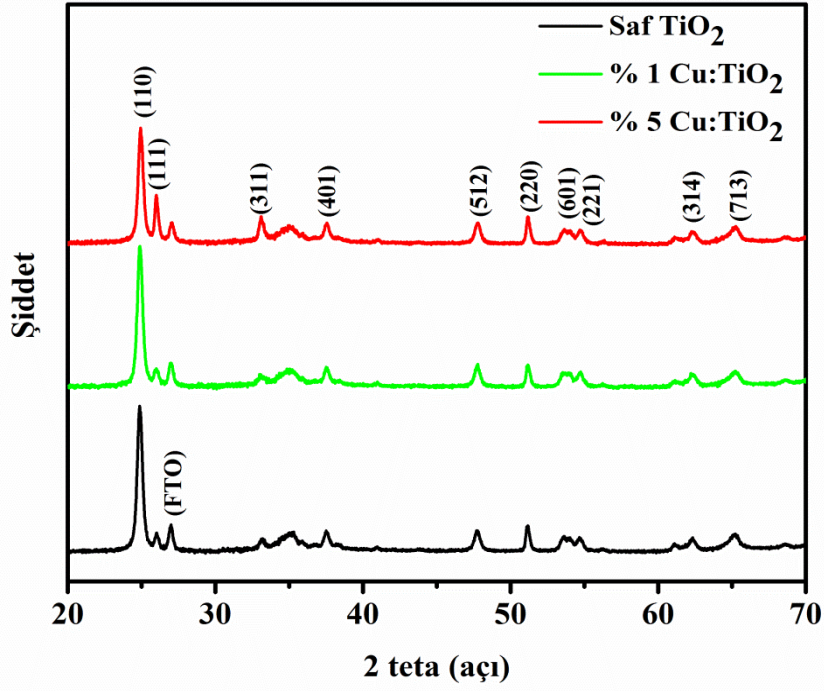
Üretilen fotoanotların kristal yapıları Bruker D8 Advance with DAVINCI model X-ışınları difraktometre (XRD) ile analiz edilmiştir. Fotoanotların yüzey morfolojileri Hitachi marka SU500 model alan emisyonlu-taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) yardımıyla karakterize edilmiştir. Filmlerin optiksel ölçümleri SHIMADZU UV-vis ile alınmıştır. Hücrelerin akım-gerilim analizleri ise oda sıcaklığında Keithley 2400 model sistem yardımıyla 100 mW.cm^{-2} aydınlatma şiddeti altındaki ölçülmüştür.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Yapısal Özellikler

Üretilen TiO_2 fotoanotlarının fazlarının ve kristalite kalitesinin belirlenmesi adına XRD analizleri yapılmıştır. Elde edilen saf TiO_2 ve Cu katkılı TiO_2 fotoanotlarının XRD desenleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2 elde edilen desenler XRD kütüphanesi yardımıyla yapılan eşleştirmeler neticesinde tüm piklerin (JCPDS no:00-0046-1238) saf TiO_2 pikleriyle yüzde yüz eşleşme gösterdiği tespit edilmiştir. TiO_2 piklerinin dışında Cu veya CuO gibi ikincil bir faza ait pikler ise gözlemlenmemiştir. Şekil 2 dikkatlice incelendiğinde ise katkı ile beraber baskın pik olan (110) yönelimindeki pikin şiddetinde kısmi azalmaların olduğu gözlemlenmektedir. Bu azalma miktarı artan katkı ile birlikte artış göstermektedir. Pik şiddetindeki bu azalma TiO_2 kristal yapısında Cu iyonlarının yerleşmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Tang ve ark., 2013).

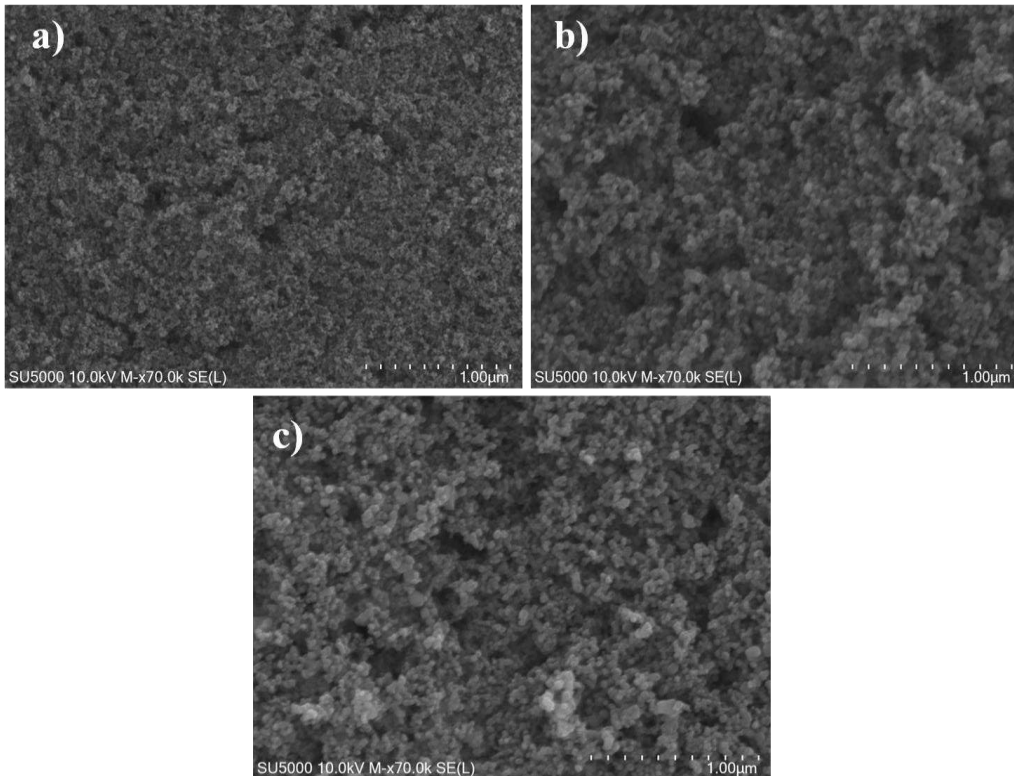
XRD desenlerinde elde edilen eğriler kullanılarak Scherrer denklemi yardımıyla saf TiO_2 ve Cu katkılı TiO_2 numunelerinin kristalite boyutları belirlenmiştir. Elde edilen saf TiO_2 , % 1 Cu katkılı TiO_2 ve % 5 Cu katkılı TiO_2 numuneleri için kristalite boyut sırasıyla 20.8 Å , 19.5 Å ve 17.1 Å elde edilmiştir. Artan katkı oranlarıyla beraber kristalite boyutlarında azalma olmuştur. Bu azalmanın sebebi Cu iyonlarının katkısıyla beraber yeni tane sınırlarının meydana gelmesi ve bu tane sınırlarıyla beraber kristalite boyutunun büyümesini engellenmesinden kaynaklanmaktadır (Sahu ve Biswas, 2011).



Şekil 2. Üretilen saf TiO_2 , % 1 Cu katkılı TiO_2 ve % 5 Cu katkılı TiO_2 fotoanotların XRD desenleri

3.2. Yüzey Özellikleri

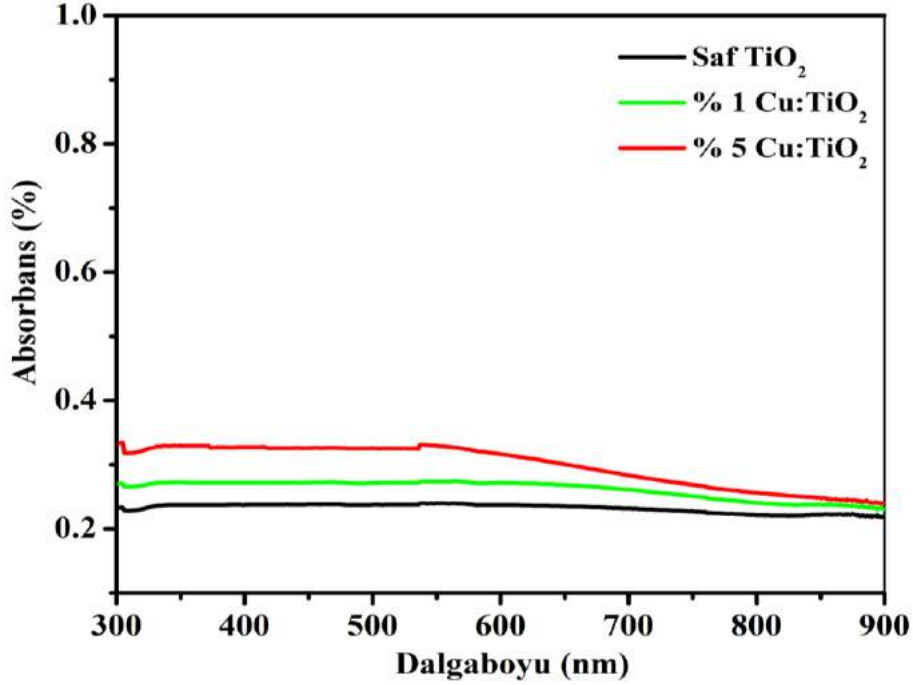
Üretilen fotoanotların yüzey analizlerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi yapılmıştır. SEM yardımıyla alınan görüntüler Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3a saf TiO_2 'nin, Şekil 3b % 1 Cu katkılı TiO_2 'nin, Şekil 3c % 5 Cu katkılı TiO_2 'nin SEM görüntülerini göstermektedir. Şekil 3a incelendiğinde saf TiO_2 'ye ait numunede taneler oldukça homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Yapı içerisine Cu iyonlarının dahil olmasıyla beraber tanelerde büyümelerin arttığı ve kısmi birikmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Şekil 3c'de gösterilen % 5'lik katkıının olduğu fotoanotta tanelerin büyümesinin daha belirgin olduğu saptanmıştır.



Şekil 3. a) Saf TiO_2 'nin b) % 1 Cu katkılı TiO_2 'nin, c) % 5 Cu katkılı TiO_2 'nin SEM görüntüleri

3.3. Optik Özellikleri

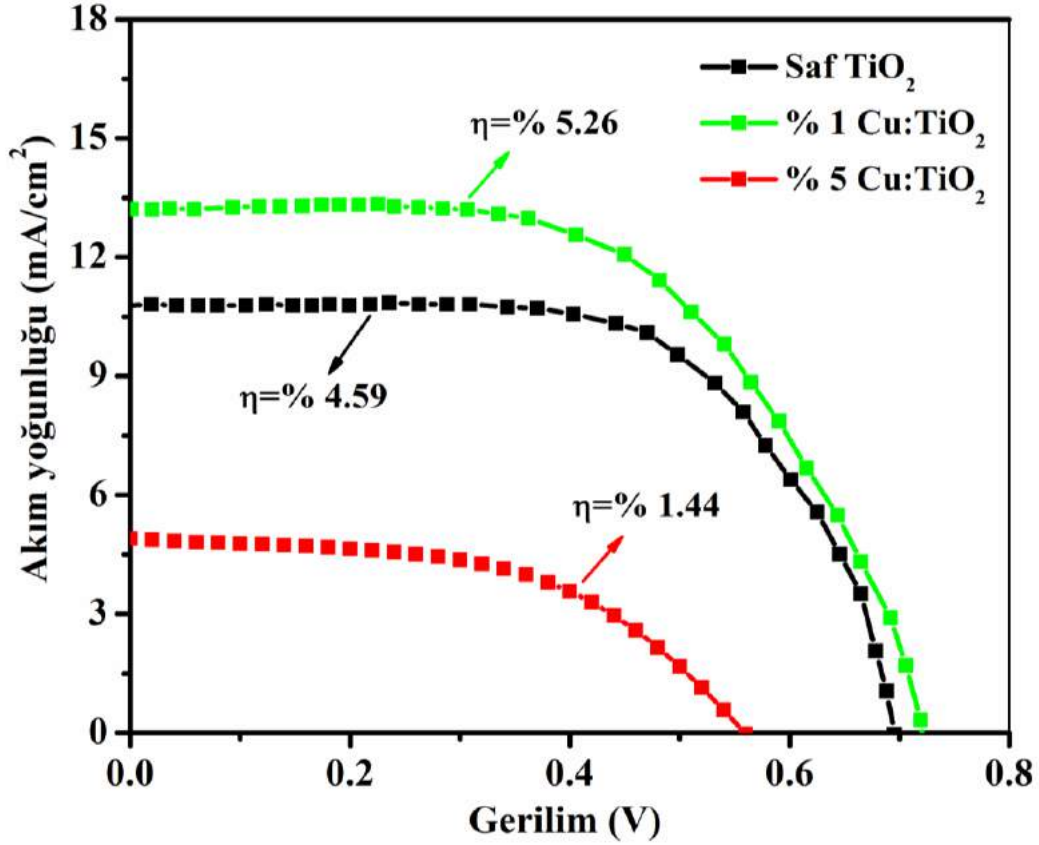
Optiksel analizler aygıt tasarımında önemli bir analiz çeşidi olarak kabul edilmektedir. Özellikle güneş hücrelerinin tasarımında optik analizler aygıt performansı hakkında ön bilgi vermektedirler. Üretilen saf TiO_2 ve Cu katkılı TiO_2 fotoanotların soğurma-dalgaboyu analizleri UV-vis spektrometre yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'de gösterilmiştir. Elde edilen soğurma-dalgaboyu eğrilerinde herhangi bir pik ve kayma gözlemlenmemiştir. Fakat artan Cu oranıyla beraber soğurma şiddetinde artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4. Saf TiO_2 ve Cu katkılı TiO_2 fotoanotların soğurma eğrileri

3.4. BDGP'nin Fotovoltaik Performansı

Cu katkısının BDGP üzerindeki etkisini anlamak için farklı Cu katkı oranları ile hazırlanmış TiO_2 fotoanotları ile pil yapımı gerçekleştirildi. 100 mW.cm^{-2} aydınlatma şiddeti altındaki ve oda sıcaklığında ölçülen farklı güneş hücrelerine ait akım yoğunluğu-gerilim (J-V) eğrileri Şekil 5'de sergilenmiştir. Şekil 5'de gösterilen sonuçlar irdelendiğinde saf TiO_2 hücrelerine ait akım yoğunluğu (J_{sc}) 10.83 mA.cm^{-2} iken bu değerler % 1 Cu katkılı TiO_2 için 13.36 mA.cm^{-2} , % 5 Cu katkılı TiO_2 için 4.87 mA.cm^{-2} olarak elde edilmiştir. Cu katkı oranının düşük olduğu (% 1'lik katkı) hücrede katılan Cu iyonları ile beraber hızlı ve verimli yük taşıma oranının artması ve düşük elektron rekombinasyon etkisiyle J_{sc} 'nin artış gösterdiği görülmüştür (Chahid ve ark., 2019; Zhou ve ark., 2016). Ayrıca, Cu iyonlarının TiO_2 filminde, boya malzemesinin tutunma kabiliyetini arttırmasından dolayı J_{sc} değerinde iyileşmelerin olduğu söylenebilir. J_{sc} 'deki bu iyileşme ile beraber pil veriminin yaklaşık olarak % 15 (% 4.59'dan % 5.26'ya) gelişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu iki pil için elde edilen açık devre voltajı (Voc) değerleri ise sırasıyla 0.70 V ve 0.72 V'tur. Bu iki hücre için elde edilen Voc değerlerinde çok düşük bir iyileşmenin olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan yüksek oran olan % 5 Cu katkılı hücrede ise hem J_{sc} hem de Voc değerinde şiddetli bir azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu azalma yüksek orandaki Cu iyonlarının TiO_2 yapısını bozarak rekombinasyon oranını arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Shalan ve Rashad, 2013).



Şekil 5. Üretilen BDGP2nin akım-gerilim eğrileri

4. Sonuç

BDGP performansında kritik bir göreve sahip olan ve barındırdığı dezavantajlarından dolayı güneş hücrelerinin performansını sınırlandırıcı olarak etki eden TiO₂ tabanlı fotoanotların iyileştirilmesi amacıyla yapı içerisine farklı oranlarda Cu katkısı yapılmıştır. Katkısı yapılan Cu iyonları ile birlikte başta kristal yapı ve yüzey özelliklerinde belirgin değişimler gözlemlenmiştir. Katkı ile beraber kristalite boyut düşüş gösterirken, yüzey tane dağılımlarında büyüme ve kısmi kümelenmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Fotoanoda yapılan % 1'lik ve % 5'lik Cu katkısı pil performansını ciddi anlamda etkilemiştir. Şöyle ki yapılan yapılan %1'lik Cu katkısı ile beraber Jsc değeri 10.83 mA.cm⁻²'den 13.36 mA.cm⁻² değerine yükselmiştir. Bu artışın sonucu olarak da %1'lik Cu katkılı hücrenin verim değeri % 4.59'dan % 5.26 değerine yükseltmiştir. Diğer taraftan ise %5'lik Cu katkısı ile beraber pil verimlilik değerinde % 70 civarında bir kayıp olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, BDGP'nin performansı yapılacak ideal katkı oranları ile geliştirilebilir olduğu ve performansın artırılmasında katkı işleminin etkili bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır.

Kaynakça

- Akin, S., Acikgoz, S., Gulen, M., Akyurek, C., & Sonmezoglu, S. (2016). Investigation of the photoinduced electron injection processes for natural dye-sensitized solar cells: the impact of anchoring groups. *RSC Advances*, 6, 85125-85134.
- Akin, S., Erol, E., & Sonmezoglu S. (2014). Enhancing the electron transfer and band potential tuning with long-term stability of zno based dye-sensitized solar cells by gallium and tellurium as dual-doping. *Electrochimica Acta*, 225, 243-254.
- Akman, E. Akin S, Karanfil, G. & Sonmezoglu, S. (2013). Organik güneş pilleri. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 14(1), 1-30.
- Chahid, B. S., Santos, D. M., & Alcántara, R. (2019). Dye-sensitized cu-doped tio₂ solar cells with a double flat. *Springer Nature Switzerland*, 940-946.
- Li, R., Zhao, Y., Hou, R., Ren, X., Yuan, S., Lou, Y., Wang, Z., Li, D., & Shi, L. (2016). Enhancement of power conversion efficiency of dye sensitized solar cells by modifying mesoporous TiO₂ photoanode with Al-doped TiO₂ layer. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 319-320, 62-69.
- Liu, Q. P. (2014). Analysis on dye-sensitized solar cells based on Fe-doped TiO₂ by intensity-modulated photocurrent spectroscopy and Mott-Schottky. *Chinese Chemical Letters*, 25, 953-956.
- Ozturk, T., Gulveren, B, Gulen, M., Akman, E., & Sonmezoglu, S. (2017). An insight into titania nanopowders modifying with manganese ions: A promising route for highly efficient and stable photoelectrochemical solar cells. *Solar Energy*, 157, 47-57.
- Roose, B., Pathak, S., & Steiner, U. (2015). Doping of TiO₂ for sensitized solar cells. *Chemical Society Reviews*, 44, 8326-8349.

- Shalan, A. E., & Rashad, M. M. (2013). Incorporation of Mn^{2+} and Co^{2+} to TiO_2 nanoparticles and the performance of dye sensitized solar cell, *Applied Surface Science*, 283, 2013, 975-981.
- Sahu, M., & Biswas, P. (2011). Single-step processing of copper-doped titania nanomaterials in a flame aerosol reactor, *Nanoscale Research Letters*, 6, 441-155.
- Sonmezoglu, O. A., Akin, S., Terzi, B., Mutlu, S., & Sonmezoglu, S. (2016). An effective approach for high-efficiency photoelectrochemical solar cells by using bifunctional dna molecules modified photoanode. *Advanced Functional Materials*, 26, 8776–8783.
- Sonmezoglu, S., Akyurek, C., & Akis, H. (2014). Modification of juglon dye as a sensitiser in dye-sensitised solar cells. *IET Optoelectron*, 8, 270-276.
- Tang, J., Chen, X., Liu, Y., Gong, W., Peng, Z., Cai, T., Luo, L., & Denga, Q. (2013). Samarium-doped mesoporous TiO_2 nanoparticles with improved photocatalytic performance for elimination of gaseous organic pollutants. *Solid State Sciences*, 15, 129-136.
- Tang, X., Liu, X., Zhang, L., Xing, Y., & Tian, Y. (2014). Low crystallinity TiO_2 film with inherent low oxygen vacancy for sensitized solar cells. *Chemical Physics*, 441, 121-127.
- Tas, R., Can, M., & Sonmezoglu, S. (2017). Exploring on photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells using polyaniline as a counter electrode: role of aluminum-solvent interactions. *IEEE Journal Of Photovoltaics*, 7, 792-801.
- Yao, N., Huang, J., Fu, K., Deng, X., Ding, M., & Xu, X., (2016). Rare earth ion doped phosphors for dye-sensitized solar cells applications. *RSC Advances*, 6, 17546-17559.
- Zalas, M., & Klein, M. (2012). The Influence of Titania Electrode Modification with lanthanide ions containing thin layer on the performance of dye-sensitized solar cells. *International Journal of Photoenergy*, 1-8.
- Zhou, L., Wei, L., Yang, Y., Xia, X., Wang, P., Yu, J., & Luan, T. (2016). Improved performance of dye sensitized solar cells using Cu-doped TiO_2 as photoanode materials: Band edge movement study by spectroelectrochemistry. *Chemical Physics*, 475, 1-8.



Mikro Kiriş Uzunluğu Değişiminin Deformasyona Etkisinin Araştırılması

Osman Ülkir^{1*}, İshak Ertuğrul²

¹ Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8133-5889)

² Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9586-0377)

(İlk Geliş Tarihi 9 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 13 Şubat 2020)

(DOI: 10.311590/ejosat.672464)

ATIF/REFERENCE: Ülkir, O. & Ertugrul, İ. (2020). Mikro Kiriş Uzunluğunun Değişmesinin Deformasyona Etkisinin Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 136-141.

Öz

Bu çalışmada birçok mikro-elektro-mekanik- sistemin (MEMS) temelini oluşturan mikro kirişin tasarımı ve deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Mikro kiriş içerisinde geçen akım, termal genleşme ile ısı enerjisini dağıtmaktadır. Bu genleşme, kiriş içerisinde geçen akım ve yayılan sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. COMSOL yazılımı kullanılarak tasarlanan model için polikristalin silikon malzeme ataması gerçekleştirilerek gerekli analizler yapılmıştır. Bu malzeme, önemli fiziksel ve elektriksel özellikleri nedeniyle MEMS alanında çok sık kullanılan bir malzeme türüdür. Modellenen mikro kirişin iki ucundaki destek noktaları bir substrata sıkıca bağlanır. Bu destek noktalarından modele 10V giriş potansiyeli uygulanarak mikro kirişte ortaya çıkan deformasyon ve sıcaklık verileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda polikristalin malzeme atanmış mikro kirişin uzunluğu değiştirilerek ortaya çıkan deformasyon rapor edilmiştir. Dört farklı kiriş uzunluğu (50 µm, 100 µm, 150 µm ve 200 µm) girilerek oluşturulan modellerde ortaya çıkan deformasyon verileri arasında ciddi bir artış gözlemlenirken; sıcaklık değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Polikristalin silikon malzeme için en yüksek deformasyon 200 µm uzunluğundaki mikro kirişte 2.01 µm iken; en düşük deformasyon 50 µm uzunluğunda 0.6 µm olarak ölçülmüştür. 100 µm ve 150 µm mikro kiriş uzunlukları için deformasyon değerleri ise sırasıyla 0.93 µm ve 1.41 µm olarak ölçülmüştür. Sıcaklık verileri ise en düşük 4890 K iken; en yüksek 4940 K olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, mikro kiriş tasarımında kiriş uzunluğu değişiminin deformasyon özelliklerini ciddi bir biçimde etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikro kiriş, Elektrik potansiyeli, COMSOL.

Investigation of the Effect of Micro Beam Length Variation on Deformation

Abstract

In this study, the design and deformation analysis of the micro beam, which forms the basis of many micro-electro-mechanical-systems (MEMS), was carried out. The current passing through the micro beam distributes the heat energy by thermal expansion. This expansion varies depending on the current passing through the beam and the radiating temperature. For the model designed using COMSOL software, polycrystalline silicon material was assigned and necessary analyzes were performed. This material is a type of material that is frequently used in the field of MEMS due to its important physical and electrical properties. The support points on both ends of the modeled microbeam are firmly connected to a substrate. By applying 10V input potential to the model from these support points, deformation and temperature data emerging in the micro beam were examined. In experimental studies, deformations that occur by changing the length of the micro-beam assigned polycrystalline material have been reported. While a significant increase is observed between the deformation data that occurs in the models created by entering four different beam lengths (50 µm, 100 µm, 150 µm and 200 µm); temperature values are close to each other. The highest deformation for the polycrystalline silicon material was 2.01 µm in the 200 µm long micro beam; the lowest deformation was measured as 50 µm and 0.6 µm in length. Deformation values for micro beam lengths of 100 µm and 150 µm were measured as 0.93 µm and 1.41 µm, respectively. Temperature data was the lowest at 4890 K; measured as the highest 4940K. As a result, it has been observed that the change of beam length seriously affects the deformation properties of the micro beam design.

Keywords: Micro beam, Electrical potential, COMSOL.

* Sorumlu Yazar: Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8133-5889, o.ulkir@alparslan.edu.tr

1. Giriş

Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS), bileşenlerin özellik boyutunun ve çalıştırılma aralığının mikro ölçekte olduğu bir elektromekanik entegre sistemidir. Geleneksel mekanik işlemin aksine, MEMS cihazının üretimi, entegre bir devre ile uyumlu olabilen, yüzey mikro işleme ve toplu mikro işleme içeren yarı iletken üretim işlemini kullanmaktadır. Bu cihazlar veya sistemler mikro ölçekte algılama, kontrol etme, harekete geçirme ve makro ölçekte etkiler oluşturma yeteneğine sahiptir (Sim ve ark., 2017).

Giderek artan proses teknolojisi sayesinde, günümüzde çok sayıda karmaşık mikro yapısal ve fonksiyonel modül mevcuttur. Bu nedenle, cihazların daha iyi optimize edilmiş performansı geliştirilmiştir. Elektrostatik tahrikli MEMS cihazları hızlı tepki, daha düşük güç tüketimi ve entegre devre standart proses uyumluluğu avantajlarına sahiptir.

Mevcut MEMS cihazları arasında çoğu, kapasitif basınç sensörleri, sürücüler, mikro pompalar, mürekkep püskürtmeli yazıcı kafası, RF anahtarları ve vakum rezonatörleri gibi elektrostatik tahrikli cihazlardır (Mehrpooya ve Cheraghi k., 2016; Saravanan ve ark., 2018). Mikro elektronik cihazlar katı ve mekanik olarak taşınmaz olsa da, MEMS cihazları hareketli 3D mikro yapılara sahiptir; mikro konsollar, mikro kırımlar, membranlar vb. (Lau ve Shrestha., 2017). Bununla birlikte MEMS/NEMS teknolojisinin önemi sadece mekanik harekette değil, aynı zamanda minyatürleştirme, çok fonksiyonlu entegrasyon ve seri üretimdedir (Krylov ve ark., 2008).

Sadece elektrik sinyalleri ile ilgilenen LSI cihazlarıyla karşılaştırıldığında, MEMS cihazları fiziksel (elektrik, mekanik, termal, optik vb.), kimyasal ve biyolojik sinyaller gibi çok çeşitli sinyal tiplerinin dönüştürülmesi ve entegrasyonu ile ilgilidir (Lee ve ark., 2010; Zhou ve ark., 2019). Genel olarak, silikon MEMS teknolojisi, otomotiv, biyomedikal ve telekomünikasyon endüstrileri, savunma vb. çok çeşitli tüketici ve endüstriyel uygulamalarda kullanım için düşük maliyetli ve yüksek performanslı çok işlevli entegre cihazlar sunmaktadır (Faria ve ark., 2018; Geitmann, 2017).

MEMS/NEMS teknolojisiyle ilgili ilk fikirler 1959 yılında ortaya atılmıştır. Bununla birlikte, gaz kromatografisi, basınç sensörleri, kuvvet sensörleri, rezonatörler, mürekkep püskürtmeli nozular gibi mikro-cihazlar ve yapılar başarılı bir şekilde geliştirilmiştir (Choudhary ve Kaur., 2016; Zang ve ark., 2015). 1980'lerin sonlarına doğru ortaya çıkan mikro işleme teknolojisi, mevcut büyük aktüatörlerin yerini mikro ölçekli eşdeğer cihazlarla daha verimli bir biçimde değiştirdi. Elektromekanik kuplaj, mikro mekanik yapıları hareket geçirmek, kontrol etmek, mikron ve mikron altı partiküllerden nano yapılandırılmış malzemeler üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Lyshevski, 2018; Bittner ve ark., 2019).

İnce filmlerde ve çok katmanlı tabakalardaki gerilmelerin üç temel kaynağı vardır: yapısal, termal ve mekanik. Yapısal ve termal gerilmelere genellikle geriye kalan gerilmeler denilmektedir. Film ve kaplama malzemesi (veya çok katmanlı bir katmandaki katmanlar) farklı termal genişleme katsayılarına (CTE) sahip olduğu zaman sıcaklık değişiklikleri nedeniyle gerilmeler ortaya çıkar. Bazı sistemler için, bu gerilme değerleri çok büyük olabilir ve genellikle mekanik arıza için harekete geçirici güç sağlarlar. Ortaya çıkan sıcaklık, biriktirme sıcaklığından farklı olduğunda, geriye kalan gerilmeler hem yapısal hem de termal katkıları içerir (Bernstein ve ark., 2013).

Mikro kırımlar genellikle elektronik pakete dahil olan entegre devre çiplerinde üretilen gerilim gibi geriye kalan gerilimin doğru ölçümü için kullanılır (Dai ve Wang., 2017). Bununla birlikte, mikro kırımlar termal olarak çalıştırılan sensörleri, jiroskopları, mikro motorları ve rezonatörleri kontrol amacıyla ve çok çeşitli endüstriyel uygulamaları mikro kaynaklamak için aktüatörler olarak kullanılır (Wang ve ark., 2011). Mikro kırıma gerilim uygulanması sonucunda, kırım üzerinden bir akım geçmektedir. Akım malzemeden tamamen geçtiğinde, malzemenin elektriksel direnç özelliği nedeniyle ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır. Bu ısı enerjisi malzemeyi ısıtır ve termal gerilmeyi indükler. Sonuç olarak, malzeme üzerinde deformasyon meydana gelmektedir.

Termal genişleme, kırım üzerinden geçen akım miktarına ve yayılan sıcaklığa bağlıdır. Mikro kırım uygulaması, iletken katmanlardan uygun büyüklükte akım ileterek tüm kırıma istenen mesafeye taşımaktadır. Bunun sonucunda termal genişleme yoluyla deformasyona yol açan bir sıcaklık artışı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada amaç, COMSOL yazılımı kullanılarak geliştirilen mikro kırım modelinde kırım uzunluğunun deformasyon üzerindeki etkisini araştırmak ve sıcaklık artışlarını gözlemlemektir. Bu yazılım sabit elektriksel potansiyelde polikristalin silikon malzemeden yapılmış mikro kırıma modellemek ve simüle etmek için seçilmiştir. Bu yazılım mevcut tasarım için son derece gerekli olan termal, elektriksel ve yapısal analizlerin birleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

Polikristalin silikon (ya da çok kristalli Silisyum, multi-Si, yarı kristal Silisyum, Poli-Si veya polisilikon) küçük kristaller olarak da bilinen, kristalitten oluşan bir silikon malzemedir. Bu malzeme, önemli fiziksel ve elektriksel özellikleri nedeniyle MEMS alanında çok sık kullanılan bir malzeme türüdür.

Bu makalenin diğer çalışmalardan (Arora ve ark., 2012; Reddy ve Kumar, 2013; Krysko ve ark., 2017) farkı; polikristalin silikon malzemenin mikro kırım uygulamasında COMSOL ile deformasyon analizi ilk defa bu çalışmayla gerçekleştirilmiştir. Bu analiz ile birlikte kırım uzunluğunun deformasyon ve sıcaklık değerleri üzerindeki etkisi ilk defa bu çalışma ile araştırılmıştır. Önceki çalışmalarda genellikle alüminyum, bakır ve gümüş gibi malzemelerin farklı potansiyellerde deformasyon karakteristiği üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Bu makalede; COMSOL yazılımı kullanılarak polikristalin silikon malzemeden tasarlanan mikro kırımın deformasyon ve sıcaklık analizi gerçekleştirilmiştir. Sabit gerilim altında mikro kırım uzunlukları değiştirilerek ortaya çıkan deformasyon ve sıcaklık verileri rapor edilmiştir. Sonuç olarak, sabit gerilim uygulandığında kırım uzunluğu değişiminin deformasyonu etkilediği gözlemlenmiştir.

Bu makale şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde, mikro kırımın polikristalin silikon malzemeden tasarımı ve modellemesi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde, oluşturulan model üzerine 10V gerilimde elektrik potansiyeli uygulanarak; farklı kırım uzunluklarında simülasyon çalışması yapılmıştır. Diğer bölümlerde ise yapılan analizler sonucu polikristalin silikon malzemede meydana gelen deformasyon, sıcaklık verileri ve iletilebilecek çalışmalar sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.2. Tasarım Koşulları

Polikristalin silikon malzemeden yapılmış mikro kirişi modellemek ve simüle etmek için COMSOL MultiFizik yazılım paketi kullanılmıştır. Bu yazılım, çeşitli cihazların modellenmesi için güçlü bir fiziksel ara yüze sahiptir. Aynı zamanda mevcut tasarım için son derece gerekli olan termal, elektriksel ve yapısal analizlerin birleştirilmesini kolaylaştırabilmektedir. COMSOL yazılımı kullanılarak tasarlanacak bir sistem için, (1) geometri tanımlama (2) fiziksel arayüz ekleme (3) katı yapıya malzeme ekleme (4) meshing, gibi dört temel adımı takip etmek gerekir.

Polikristalin silikon mikro kirişin tasarımı için başlangıçta, önerilen model için geometri tanımlandı, tüm yapı oluşturulduktan sonra, önerilen yapıya mevcut malzeme kütüphanesinde uygun malzeme eklendi. Daha sonra yapılacak analize bağlı olarak gerekli fiziksel parametreler seçilmiştir. Son olarak ise model simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

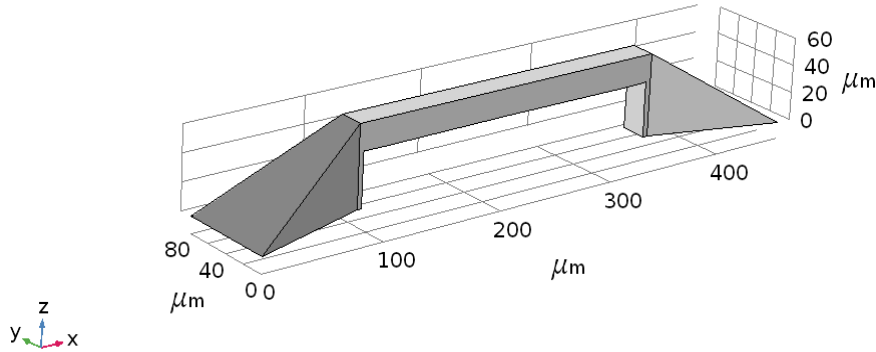
Mikro kirişin uzunluğu 50 μm , 100 μm , 150 μm ve 200 μm olacak biçimde dört farklı uzunlukta tasarlanmıştır. Kirişin yüksekliği ve genişliği ise 20 μm dir. Bu tasarım ile malzemenin farklı uzunluktaki sıcaklık ve deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Mikro kirişin iki ucundaki destek noktaları bir substrata sıkıca bağlanır. Bu destek noktalarından kirişe 10 V sabit gerilimde elektrik potansiyeli uygulanır. Malzemenin öz direnci nedeniyle, ortaya çıkan akım modeli ısıtmaktadır. Termal olarak indüklenen gerilim malzemeyi yükler, kirişi deforme eder ve deformasyon meydana gelir.

COMSOL kullanılarak 3D (3 boyutu düzlem) olarak 260 μm uzunluğunda, 20 μm yükseklik ve genişliğinde tasarlanan mikro kirişin geometrik yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir. Önerilen geometrik yapıya malzeme ataması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için malzeme tarayıcısından polikristalin silikon seçilmiştir. Polikristalin silikon, önemli fiziksel ve elektriksel özellikleri nedeniyle MEMS alanında fonksiyonel malzeme olarak kullanılmaktadır. Polikristalin silikon malzemenin analiz aşamasında kullanılan fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Polikristalin Silikonun Fiziksel Özellikleri

Özellik	Değeri	Birimi
Referans öz direnci	34	$\Omega.m$
Termal genleşme katsayısı	0.000026	$1/K$
Referans sıcaklık	293	K
Yoğunluk	2320	Kg/m^3
Young modülü	160×10^9	Pa
Poisson oranı	0.22	-

Bu çalışma termal, elektriksel ve yapısal analizleri tek bir modelde birleştirme özelliğini göstermektedir. Uygulama ile bir mikro kiriş içerisinden akım geçirilerek hareket sağlanır; akım ile ısı üretilir ve sıcaklık artışı termal genleşme yoluyla deformasyona yol açar. Model, kirişin yerini değiştirmesi için ne kadar akım ve sıcaklık artışı gerektiğini tahmin etmektedir.

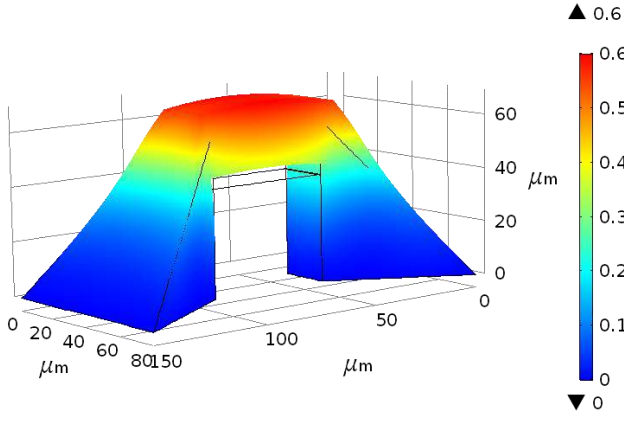


Şekil 1. Tasarlanan mikro kiriş modeli

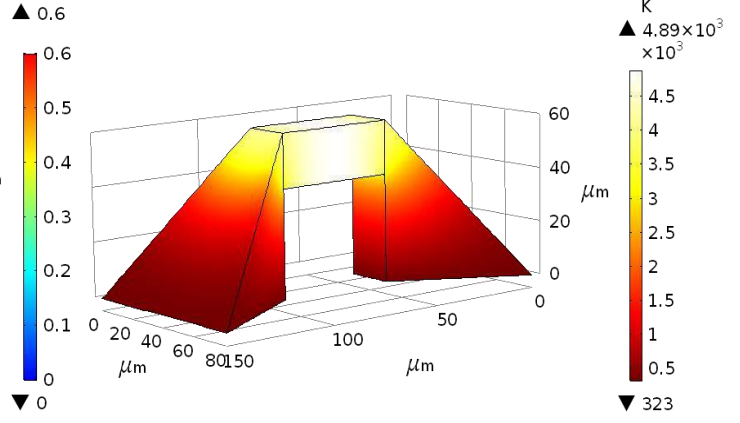
3. Simülasyon

Mikro kiriş modeline gerilim uygulamak için iki destek noktası bir substrata sabitlendi. Bu destek noktalarından 10V gerilim uygulandı. Uygulanan elektrik potansiyeli, mikro kiriş de bir elektrik akımı indükler; yapıdan geçen akım, enerjinin ısı şeklinde yayıldığı elektronların akışında bir miktar yavaşlamaya neden olur. Bu üretilen ısı, kiriş üzerindeki termal gerilimi indükler ve mikro kirişin deformasyona maruz kalmasına neden olur.

Simülasyon işlemi dört aşamada gerçekleştirildi. Başlangıçta 50 μm uzunluğunda mikro kiriş tasarlandı ve polikristalin silikon malzeme ataması yapılarak; 10V giriş potansiyeli uygulandı. İkinci aşamada, aynı malzeme ve giriş potansiyeli ile 100 μm uzunluğunda tasarlanan mikro kiriş için deformasyon verileri gözlemlendi. Üçüncü ve son aşamada, benzer özellikler ile 150 μm ve 200 μm uzunluğunda tasarlanan mikro kiriş için deformasyonlar ölçülmüştür. Şekil 2, 3, 4 ve 5’de simülasyon sonucu ortaya çıkan deformasyon miktarları ve kirişteki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.

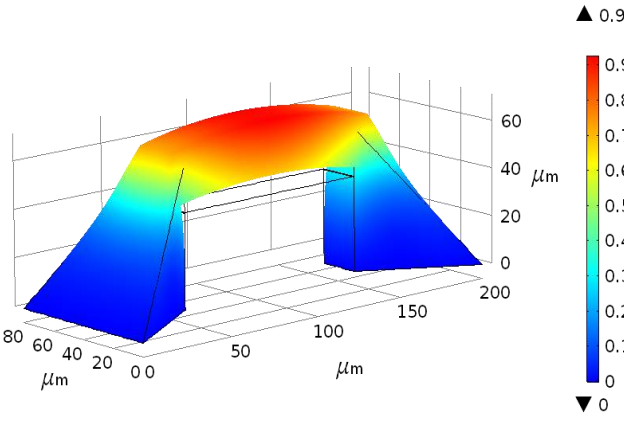


(a) Toplam deformasyon

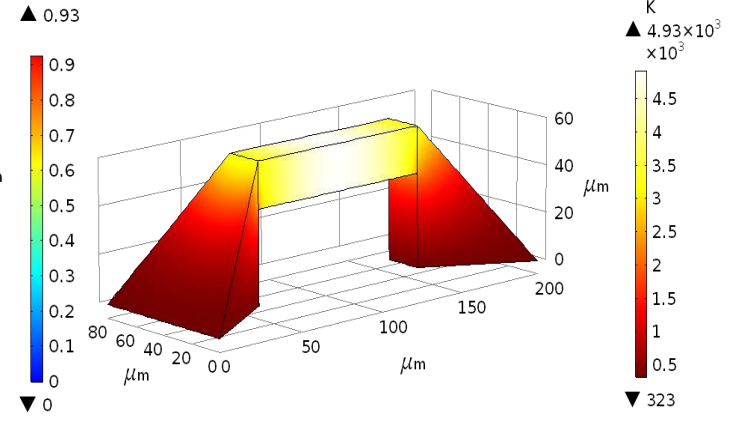


(b) Toplam sıcaklık dağılımı

Şekil 2. Mikro kiriş uzunluğunun 50 μm olması durumundaki deformasyon ve sıcaklık verileri

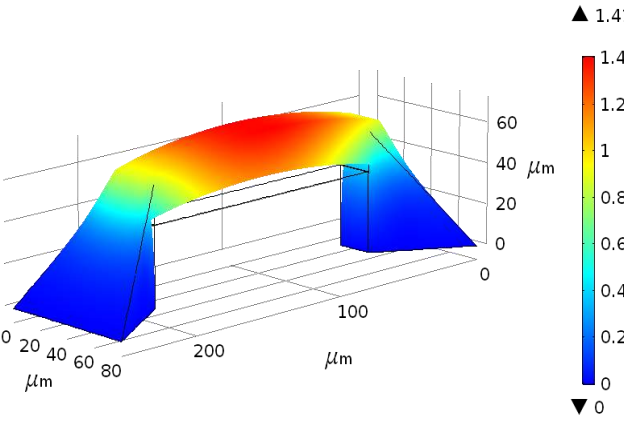


(a) Toplam deformasyon

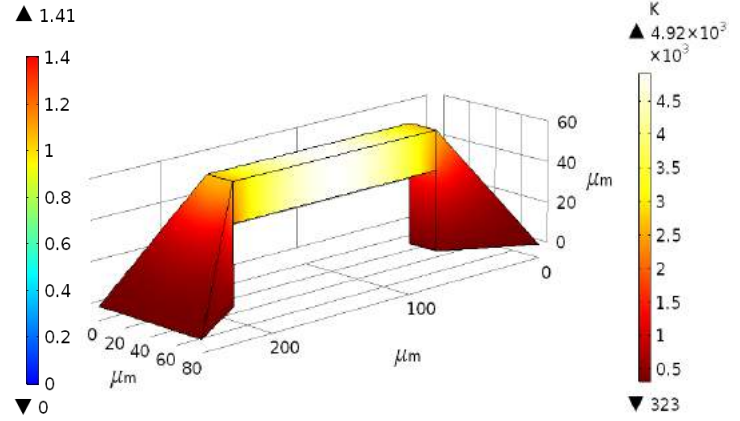


(b) Toplam sıcaklık dağılımı

Şekil 3. Mikro kiriş uzunluğunun 100 μm olması durumundaki deformasyon ve sıcaklık verileri

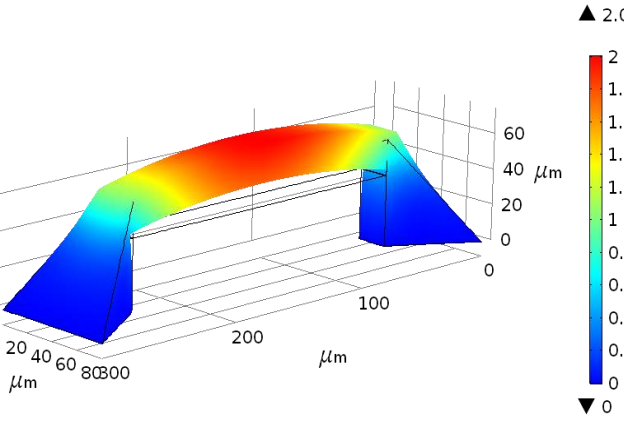


(a) Toplam deformasyon

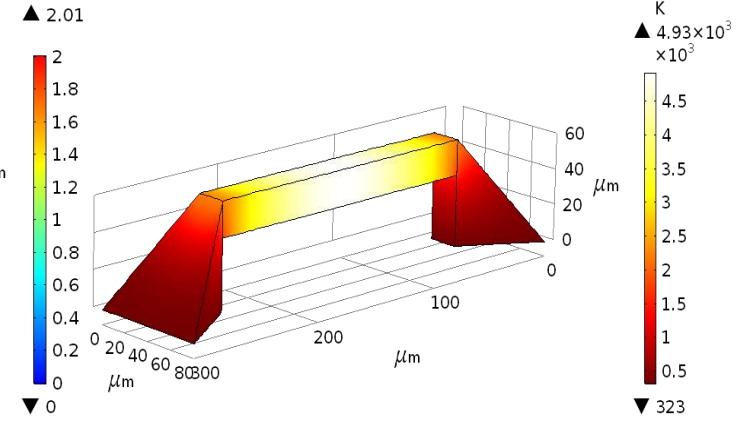


(b) Toplam sıcaklık dağılımı

Şekil 4. Mikro kiriş uzunluğunun 150 μm olması durumundaki deformasyon ve sıcaklık verileri



(a) Toplam deformasyon



(b) Toplam sıcaklık dağılımı

Şekil 5. Mikro kiriş uzunluğunun 200 μm olması durumundaki deformasyon ve sıcaklık verileri

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde, beklenildiği gibi en yüksek deformasyon mikro kırıların ortasında meydana gelmiştir. Ayrıca kırı uzunluğu değişiminin deformasyon verilerini ciddi bir oranda etkilediği gözlemlenmiştir. Analiz işlemleri malzemeye uygulanan 10V sabit elektrik potansiyeli ile gerçekleştirilmiştir. Bu gerilim değeri dört farklı kırı uzunluğunda (50 µm, 100 µm, 150 µm ve 200 µm) tasarlanan mikro kırıye uygulanarak deformasyon ve sıcaklık verileri gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Farklı Uzunluklar Kullanarak Elde Edilen Veriler

Yapılan Analizler	Kırı Uzunluğu [µm]	Deformasyon [µm]	Sıcaklık [K]
1	50	0.6	4890
2	100	0.93	4920
3	150	1.41	4930
4	200	2.01	4940

4. Sonuç

Mikro kırı, COMSOL MultiFizik yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Kırı içerisinde geçen akım termal genişleme yoluyla deformasyona ve sıcaklık üretimine neden olmuştur. Termal, elektriksel ve yapısal analizlerin birleştirilmesi, mikro kırı deformasyona uğraması için gereken akım ve sıcaklık artışı tahmin etmeyi mümkün kılmıştır. Tasarlanan model için polikristalin silikon malzeme ataması gerçekleştirilerek gerekli analizler yapılmıştır. Bu malzeme, önemli fiziksel ve elektriksel özellikleri nedeniyle MEMS alanında çok sık kullanılan bir malzeme türüdür.

Polikristalin silikon mikro kırı için ortaya çıkan deformasyon değerleri, sabit 10V elektriksel potansiyelde ve farklı kırı uzunluğu ile gerçekleştirilmiştir. Polikristalin silikon malzeme için en yüksek deformasyon 200 µm uzunluğundaki mikro kırıde 2.01 µm iken; en düşük deformasyon ise 50 µm uzunluğunda 0.6 µm olarak ölçülmüştür. 100 µm ve 150 µm mikro kırı uzunlukları için deformasyon değerleri ise sırasıyla 0.93 µm ve 1.41 µm olarak ölçülmüştür. Sıcaklık verileri ise en düşük 4890 K iken; en yüksek 4940 K olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, mikro kırı tasarımında kırı uzunluğu değişiminin deformasyon özelliklerini ciddi bir biçimde etkilediği gözlemlenmiştir.

Mikro kırı uzunluğunun deformasyon ve sıcaklık değerleri üzerindeki etkisi ilk defa bu çalışma ile araştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar polikristalin silikon malzemenin MEMS alanında uygulanabilirliğini göstermiştir. Önceki çalışmalarda genellikle alüminyum, bakır ve gümüş gibi malzemelerin farklı potansiyellerde deformasyon karakteristiği üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Kaynakça

- Arora, S., Arora, A., & George, P. J. (2012). Design of MEMS based microcantilever using comsol multihysics. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7(11), 1-3.
- Bernstein, J. J., Bancu, M. G., Cook, E. H., Chaparala, M. V., Teynor, W. A., & Weinberg, M. S. (2013). A MEMS diamond hemispherical resonator. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 23(12), 125007.
- Bittner, A., Hochstein, D., Rockstroh, J., Dehnert, J., Hedrich, F., Billat, S., & Dehé, A. (2019). Plasma techniques in the production of customized MEMS-applications. *Plasma Processes and Polymers*, 16(9), 1900047.
- Choudhary, N., & Kaur, D. (2016). Shape memory alloy thin films and heterostructures for MEMS applications: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 242, 162-181.
- Dai, H. L., & Wang, L. (2017). Size-dependent pull-in voltage and nonlinear dynamics of electrically actuated microcantilever-based MEMS: a full nonlinear analysis. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 46, 116-125.
- Faria, D., Abreu, C. S., Buciumeanu, M., Dourado, N., Carvalho, O., Silva, F. S., & Miranda, G. (2018). Ti6Al4V laser surface preparation and functionalization using hydroxyapatite for biomedical applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 106(4), 1534-1545.
- Geitmann, A. (2017). Microfluidic-and Microelectromechanical System (MEMS)-Based Platforms for Experimental Analysis of Pollen Tube Growth Behavior and Quantification of Cell Mechanical Properties. In *Pollen Tip Growth* (pp. 87-103). Springer, Cham.
- Krylov, S., Seretensky, S., & Schreiber, D. (2008). Pull-in behavior and multistability of a curved microbeam actuated by a distributed electrostatic force. *21st International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, 499-502.
- Krysko, A. V., Awrejcewicz, J., Pavlov, S. P., Zhigalov, M. V., & Krysko, V. A. (2017). Chaotic dynamics of the size-dependent nonlinear micro-beam model. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 50, 16-28.
- Lau, G. K., & Shrestha, M. (2017). Ink-jet printing of micro-electro-mechanical systems (MEMS). *Micromachines*, 8(6), 194.
- Lee, K. W., Kanno, S., Kiyoyama, K., Fukushima, T., Tanaka, T., & Koyanagi, M. (2010). A cavity chip interconnection technology for thick MEMS chip integration in MEMS-LSI multichip module. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 19(6), 1284-1291.
- Lyshevski, S. E. (2018). *MEMS and NEMS: systems, devices, and structures*. CRC press.
- Mehrpouya, M., & Cheraghi Bidsorkhi, H. (2016). MEMS applications of NiTi based shape memory alloys: a review. *Micro and Nanosystems*, 8(2), 79-91.
- Reddy, V. M., & Kumar, G. S. (2013). Design and analysis of microcantilevers with various shapes using comsol multiphysics software. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(3).
- Saravanan, P., Satyanarayana, N., Duong, H. M., & Sinha, S. K. (2018). Tribology of Self-lubricating SU-8 composites for MEMS applications. *surfaces*, 11, 14.

- Sim, G. D., Krogstad, J. A., Reddy, K. M., Xie, K. Y., Valentino, G. M., Weihs, T. P., & Hemker, K. J. (2017). Nanotwinned metal MEMS films with unprecedented strength and stability. *Science advances*, 3(6), e1700685.
- Zang, X., Zhou, Q., Chang, J., Liu, Y., & Lin, L. (2015). Graphene and carbon nanotube (CNT) in MEMS/NEMS applications. *Microelectronic Engineering*, 132, 192-206.
- Zhou, L., Zhang, X., & Xie, H. (2019). An Electrothermal Cu/W Bimorph Tip-Tilt-Piston MEMS Mirror with High Reliability. *Micromachines*, 10(5), 323.
- Wang, B., Zhou, S., Zhao, J., & Chen, X. (2011). Size-dependent pull-in instability of electrostatically actuated microbeam-based MEMS. *Journal of Micromechanics and microengineering*, 21(2), 027001.



Pamuklu Kumaşa Antibakteriyel Bitim Uygulaması

Numan Harımdar^{1*}, Feyza Akarlan²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(İlk Geliş Tarihi 13 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.652139)

ATIF/REFERENCE: Harımdar, H. & Akarlan, F. (2020). Pamuklu Kumaşa Antibakteriyel Bitim Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 142-147.

Öz

Toplumsal alanlarda ve medikal alanda kullanılan tekstil materyalleri üzerinde bakteri ve mantarlar gelişebilmektedir ve bunlar insan sağlığı açısından tehlike arz edebilmektedir. Mikroorganizmaların neden olduğu enfeksiyona dayalı hastalıklar ve ölümler, mikroorganizmalar yüzünden giysilerde oluşan istenmeyen koku ve lekeler antibakteriyel tekstil ürünlerinin önemini arttırmıştır. Bunun yanında sentetik maddeler ve ağır metaller ile antibakteriyel özellik kazandırılan tekstil materyallerine şüphe ile bakılmaktadır. Bu yüzden doğal tıbbi ve aromatik bitkilere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle ülkemizde çöpe atılan veya hayvan yemi olarak kullanılan üzüm çekirdeği üzerine çalışma yapılmıştır. TÜİK verilerine göre ülkemizde 2018 yılında şaraplık üzüm üretimi yaklaşık 464 bin tondur. Gelişmiş birçok ülkede çevre dostu ve doğal bitkisel esaslı üzüm çekirdekleri sahip oldukları zengin yağ asitleri, tokoller, fenol bileşikleri ve steroller gibi birçok farklı alanda kullanılabilir. Şarap üretimi sırasında açığa çıkan cibre (üzüm çekirdeği, salkım ve üzüm kabuğu), sahip olduğu antioksidan, antimikrobiyel, antiinflamatuvar ve antikarsinojenik özelliklere rağmen yıllarca hak ettiği değeri görmemiştir. Fakat son yıllarda üzüm çekirdeği yağı üretimi, üzüm çekirdeği tozu üretimi gibi faaliyetler hayata geçmektedir. Bu çalışmada üzüm çekirdeğinin sahip olduğu bilinen antimikrobiyel özelliğinin tekstil alanında kullanımı üzerine çalışma yapılmıştır. Tekstil alanında kullanılan antibakteriyel madde ve yöntemler insan sağlığına ve çevreye zararlı etkileri olabileceği konusunda endişe duyulmaktadır. Bu nedenle son yıllarda çevre dostu ve doğal bitkisel esaslı antibakteriyel maddelerin eldesi ve tekstil uygulamalarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada çevre dostu ve doğal bitkisel esaslı üzüm çekirdekleri, toz haline getirilerek ekstraksiyon işlemine tabi tutularak içindeki fenolik bileşikler elde edilmiştir. Daha sonra ekstraksiyon ürünündeki fenolik bileşik tayini HPLC cihazı ile yapılmış ve emdirmeye yöntemi ile %100 pamuklu tekstil mamulüne aplike edilmiştir. Kurutma ve fiksaj işlemi yapıldıktan sonra kumaşın antibakteriyel testleri AATCC 147 antibakteriyel test metodu ile yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda antibakteriyel bitim işlemi gören kumaşın biyostatik yapıya sahip antibakteriyel özellik kazandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Antibakteriyel Tekstiller, Pamuklu Kumaş, Fenolik Bileşikler

Cotton Fabric Antibacterial Finishing Application

Abstract

Bacteria and fungi can develop on textile materials used in social and medical fields and these can be dangerous for human health. Infection-related diseases and deaths caused by microorganisms, unwanted odors and stains on clothes caused by microorganisms have increased the importance of antibacterial textile products. In addition, synthetic materials and heavy metals and antibacterial properties of textile materials are considered with doubt. Therefore, interest in natural medicinal and aromatic plants is increasing day by day.

In this study, especially grape seed which is thrown in our country or used as animal feed has been studied. According to TUIK data, wine grape production in our country in 2018 is approximately 464 thousand tons. In many developed countries, environmentally

* Sorumlu Yazar: Süleyman Demirel Üniversitesi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: 0000-0000-0000-0000, numanharımdar_20@hotmail.com

friendly and natural vegetable based grape seeds can be used in many different fields such as rich fatty acids, tocopherols, phenol compounds and sterols. Despite the antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory and anticarcinogenic properties it possesses, the gypsum (grape seed, bunch and grape peel) released during the production of wine has not received its deserved value for years. However, in recent years, activities such as grape seed oil production and grape seed powder production are realized. In this study, the use of the antimicrobial property of grape seed in textile field has been studied. There is concern that antibacterial substances and methods used in the textile field may have harmful effects on human health and the environment. Therefore, in recent years, the production of environmentally friendly and natural plant based antibacterial substances and interest in textile applications are increasing day by day. In this study, phenolic compounds were obtained by extracting the environmentally friendly and natural plant based grape seeds into powder. Then the phenolic compound in the extraction product was determined by HPLC and applied to 100% cotton textile by impregnation method. After drying and fixing process, antibacterial tests of the fabric were carried out with AATCC 147 antibacterial test method. As a result of the tests, it has been observed that the fabric treated with antibacterial lacquer gains antibacterial properties with its biostatic structure.

Keywords: Antibacterial Textiles, Cotton Fabric, Phenolic Compound

1. Giriş

Pek çok tekstil malzemesi sürekli olarak oteller, çocuk yuvaları ve hastaneler gibi toplu yaşam alanlarında tekrar tekrar kullanılmaktadır. Bu malzemeler üzerinde üreyebilen mikroorganizmalar sebebiyle enfeksiyona dayalı hastalıklar ve ölümler meydana gelebilmektedir. Aynı zamanda mikroorganizmalar ile temas eden bu giysiler enfeksiyona dayalı hastalıkların yayılmasına yol açabilmektedir. Bu sebeple, bulaşıcı mikroorganizmalar tüketici sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturabilmektedir. Bu olumsuzluklara mikroorganizmaların çoğalarak büyümesi de eklenirse, tüketiciler için çok ciddi problemler ortaya çıkabilmektedir (Süpüren, 2006). Ayrıca günümüzde tüketicilerin kalite bilinçlerinin artmasından dolayı tekstiller için daha çok sağlık ve konfor konuları üzerine bir beklenti olmaktadır. Mikroorganizmalar yüzünden giysilerde oluşan istenmeyen koku ve lekeler antibakteriyel tekstil ürünlerinin önemini arttırmıştır (Altınok, 2008). Bunun sonucu olarak, çeşitli endüstri alanlarında uzun süreden beri kullanılan ve mikroorganizmaların tekstil yüzeylerinde yerleşmelerini veya çoğalabilmelerini önlemek amacıyla yapılan antimikrobiyel uygulamalar hızla yaygınlaşmaktadır (Orhan, 2007).

Antibakteriyel maddeler incelendiğinde, ilk olarak karşımıza eski zamanlardan beri bilinen gümüş ve çinko gibi bazı metal uygulamaları çıkmaktadır. Bu maddeler nanoboyutta da karşımıza çıkmaktadır. Gümüşün bakterilere karşı oldukça etkili bir metal oluşmasının yanında, uygulama miktarına bağlı olarak fiyatının yüksek olması açısından dezavantajlıdır. Çinko metali ise gümüş ile karşılaştırıldığında, antibakteriyel özellik açısından etkinliği düşük ancak fiyat açısından daha caziptir. Günümüz sıkı rekabet şartlarında geleneksel tekstil üretimine ek olarak yeni özellikli materyal üretilerek rekabet gücünü artırmak önemli olduğundan dolayı, tekstil ürünlerinin sonradan antibakteriyel madde ile işlem görebilmesi giderek ilgi görmektedir.

Antibakteriyel bitim işlemi için kullanılan antimikrobiyel maddeler emdirme, çektirme, maksimum flote aplikasyonu, köpükle aplikasyon, vakumla aplikasyon, püskürtme, aktarma, plazma ve kaplama yöntemlerinden biri kullanılarak tekstil materyaline aktarılır. Bu sayede mikroorganizmaların zararlı etkileri önlenir (Orhan, 2007).

Antibakteriyel etkisi olan materyallere taleplerin artması ve kullanılan antibakteriyel maddelerin ağır metaller içermesi, oluşturulan antibakteriyel materyaller üzerine şüpheler uyandırmaktadır. Yeryüzünde mikroorganizmaların etkilerini önleyen veya öldüren binlerce kimyasal madde bulunmaktadır. Fakat bunlardan birçoğu gümüş, civa, arsenik, kalay, kurşun gibi ağır metaller olduğu için insan ve çevreye karşı toksik etki meydana getirebilmektedir. Bu yüzden tekstil alanında kullanılacak antibakteriyel madde yalnız mikroorganizmaların olumsuz etkilerini ortadan kaldırmakla kalmamalı, aynı zamanda insan ve çevreye karşı güvenli olmalıdır. Günümüzde antibakteriyel olarak kullanılan gümüş, çinko gibi ağır metaller, insan vücuduna karşı toksik etki yapabilmektedir ve zaman içinde vücutta birikmeleri çok ciddi hastalıklara yol açmaktadır. Bu yüzden doğal antibakteriyel bitkiler üzerine araştırmalar artmaktadır. Bu alanda meyan kökü, biberiye, şeker otu, kekik bitkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Uçar E. vd. 2015; Durmaz H. vd. 2018).

Vitaceae familyasından olan üzüm (*Vitis vinifera*), dünya üzerinde genellikle kuzey yarım kürede 20–52 enlemleri arasında, güney yarım kürede ise 20–40 enlemleri arasında yetiştiriciliği uygun olan bir bitkidir (Çoban, 2010). Bu enlemlerde bulunan A.B.D., Şili, Güney Afrika, Avustralya, Türkiye, Yunanistan ve İran önemli üzüm yetiştiricisi olan ülkelerdir. Üzüm, antioksidan, antimikrobiyel, antiinflamatuvar ve antikarsinojenik özellikleri olan çeşitli faydalara sahip bir meyvedir (Xia ve ark., 2010). Dünya üzüm üretiminin yaklaşık %71'i şaraplık, %27'si sofralık ve %2'si ise kurutmalık olarak değerlendirilmektedir. 2018 TÜİK verilerine göre ülkemizde üretilen üzümün %34'ü çekirdekli sofralık, %16'sı çekirdeksiz sofralık, %9'u çekirdekli kurutmalık, %30'u çekirdeksiz kurutmalık, %12'si şaraplık olarak üretilmektedir.

Üzüm çekirdekleri üzüm ağırlığının yaklaşık %20'sini meydana getirmektedir. Türkiye genelinde üzüm üzerine yapılan faaliyetlerde açığa çıkan yıllık üzüm çekirdeği miktarı yaklaşık 30.000 ton olarak tahmin edilmektedir (Akin ve Altındişli, 2010). Doğal kaynakların tükenmeye başlamasıyla hem ekonomik hem de çevresel açıdan her atığın değerlendirilmeye çalışıldığı günümüzde, giderek büyüyen geri dönüşüm zincirinde yerini almakta olan üzüm çekirdekleri, gün geçtikçe ülkemiz için büyük önem kazanmaktadır (Sevindik, 2016).

2. Materyal ve Metot

2.1. Kumaş

Bu çalışmada kullanılacak olan tekstil materyali, gramajı 72 gr/m², atkı sıklığı 30tel/cm, çözgü sıklığı 38 tel/cm olan %100 pamuklu kumaştır. Kumaşlara antibakteriyel özellik kazandırmak için üzüm çekirdeklerinin soxhlet cihazı ile ekstraksiyonu sonucu elde edilen fenolik bileşikler kullanılmıştır.

2.2. Fenolik Bileşiklerin Eldesi

Bu çalışmada evvela oda sıcaklığında kurutulmuş üzüm çekirdekleri öğütme makinası ile toz haline getirildikten sonra soxhlet cihazı ile ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Toz halindeki üzüm çekirdekleri 6 saat boyunca 60-80 °C 'de Soxhlet cihazında petrol eteri ile ekstrakte edilmiş üzüm çekirdeğinin yağı uzaklaştırılmıştır. Daha sonra 8 saat boyunca metanol-su-asetik asit (90-9,5-0,5) ile ekstraksiyon işlemi yapılmıştır (Jayaprakasha ve ark., 2003). Ekstraksiyon işlemi sonucu elde edilen fenolik bileşiklerin tayini Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) test cihazı ile tespit edilmiştir.

2.3. Antibakteriyel Bitim İşlemi

Üzüm çekirdeğinin Ekstraksiyon sonucu elde edilen %50 mg/ml fenolik bileşik konsantrasyonunda, 200 mL emdirme banyosu hazırlanmıştır. % 100 pamuklu kumaşa alınan flotte oranı %90 olacak şekilde, silindir basıncı 2 bar ve hızı 2 m/dk olan fluardda emdirilmiştir (Rathinamoorthy ve Thilagavathi 2011). Daha sonra aplike işlemi yapılan kumaşlar ramözde 80 0C de 3 dk kurutulmuş, yine 100 0C de 3 dk boyunca ramözde fiske edilmiştir.

2.4. AATCC 147 Antibakteriyel Test

İşlem görmüş ve görmemiş kumaşların antibakteriyel aktivite testi AATCC 147 Test Metoduna göre gram negatif Escherichia coli bakterisine karşı yapılmıştır. Bu test metodunda uygulama yapılan kumaş ile uygulama yapılmayan kumaş karşılaştırılarak antibakteriyel özellikte olup olmadığı tespit edilmektedir. Test edilen numunelerin hem altında hem de çevresinde bakteriler yok oluyorsa test edilen numune biyosidal antibakteriyel özelliktedir. Antibakteriyel etkinlik numune etrafındaki inhibisyon çapı ile ilişkilendirilmektedir. Test edilen numunenin sadece alt kısımlarında bakteri yok oluyorsa numunenin biyostatik bir antibakteriyel özellikte olduğu değerlendirilmektedir. Bu yöntemle yapılan testler sonucunda kalitatif (nitel) sonuçlara elde edilmektedir.



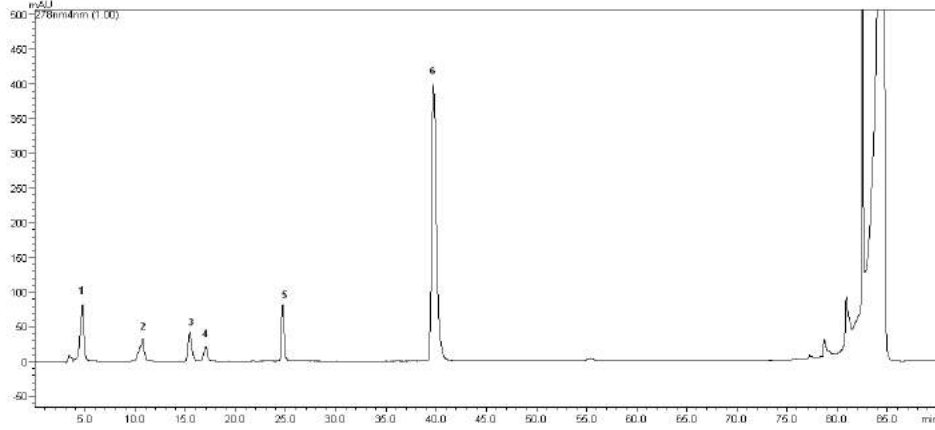
Şekil 2.1. AATCC 147 Antibakteriyel test için kullanılmış Müller – Hinton Agar Besiyeri

Nutrient broth agar olan petri kabına, bakteri yoğunluğu 1 McFarland'a ayarlanan konsantrasyon ile ekim yapılır. Antibakteriyel etkinliği araştırılmak istenen kumaş 2,5 x 5 cm ölçülerinde kesilerek aşılardan bakteri kolonileri ile temas edecek şekilde muller hinton agar besiyerine yerleştirilmiştir. Bakterilerin rahatlıkla üreyebildikleri ideal sıcaklık olan 37° C'de 24 saat etüvde inkübasyona bırakılmıştır. 24 saatlik inkübasyondan sonra kumaş etrafında engelleme bölgesi oluşturmuşsa veya kumaş yüzeyinde bakteri üremesi mevcut değilse, numunenin antibakteriyel olduğu anlamına gelmektedir. Çalışmamızda kumaşların antibakteriyel özellik kazanıp kazanmadığı bu yöntem ile araştırılmıştır (Mucha vd. 2002).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

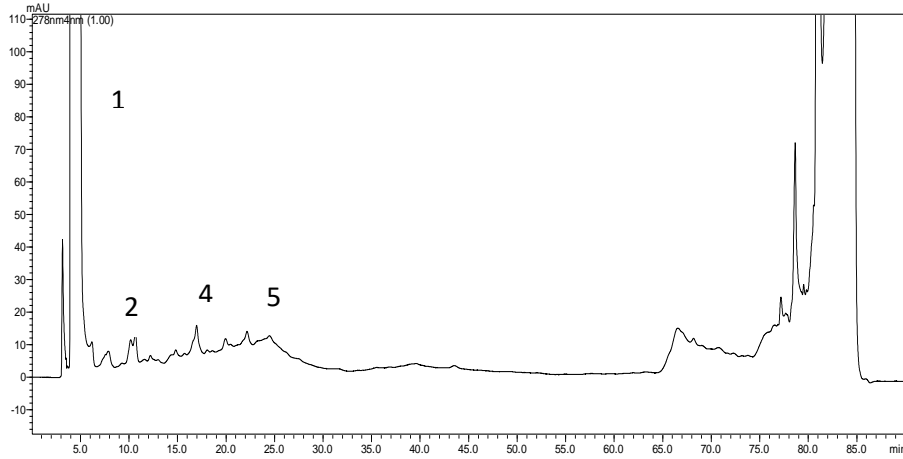
3.1. Üzüm Çekirdeğindeki Fenolik Bileşiklerin HPLC ile tayini

Ekstraksiyon işlemlerinin sonucunda elde edilen ekstraktta mevcut olan madde miktarının ve çeşidinin belirlenmesinde yaygın olarak HPLC test yöntemi kullanılmaktadır. Akgün N. Ve Akgün M., 2006; Sabir vd., 2012; Lachman vd., 2013; Kostadinovic-Velickovska ve Mitrev, 2013; Fiori vd., 2014; Kreps vd., 2014; Assumpção vd., 2016 ve bir çok araştırmacı HPLC test yöntemini tercih etmişlerdir. Bu çalışmada da elde ettiğimiz ekstraktın içeriğinin belirlenmesinde bu test yöntemi kullanılmıştır. Fenolik maddelerin standart kromatogram değerleri Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Standart kromatogram (1: gallik asit, 2: kateşin, 3: kafeik asit, 4: epikateşin, 5: ferulik asit, 6: resveratrol)

Metanol ile ekstraksiyon işlemi yapılan üzüm çekirdeği ekstraktında HPLC analizi ile tespit edilen fenolik maddelerin kromatogram değerleri Şekil 3.2' deki kromatogram da verilmiştir. (1:gallic acid, 2:catechin, 3:caffeic acid, 4: epicatechin, 5:ferulic acid, 6: resveratrol)



Şekil 3.2. Üzüm çekirdeği ekstraktı kromatogramı

Sonuçlar HPLC piklerinden alan olarak okunduktan sonra tüm fenolik bileşenler için çizilen standart kromatogram eğrilerinde yerlerine konularak hesaplanıp tablo halinde sunulmuştur. Üzüm çekirdeği ekstraktının içerdiği fenolik madde miktarı (mg/g) Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Metanol İçerikli Çözgen İle Ekstrakte Edilen Üzüm Çekirdeğinin HPLC Sonucu (mg/g üzüm çekirdeği)

Numune	Gallik Asit	Kateşin	Kafeik asit	Epikateşin	Ferulik asit	Resveratrol
Üzüm Çekirdeği	23,36	0,21	*	0,27	0,08	*

*: tespit edilemedi

Analizi yapılan üzüm çekirdeğinde en fazla 23,36 mg/g ile gallik asit, kateşin 0,21 mg/g, epikateşin 0,27 mg/g ve ferulik asit 0,08 mg/g fenolik bileşiği tespit edilmiştir. Sonuçlarda toplamda üzüm çekirdeğinde 23,92 mg/g fenolik bileşik mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Pastrana-Bonilla, E. vd. 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada fenolik bileşiklerin toplam konsantrasyonu yaklaşık olarak, tohumda 2178,8 mg / g GAE, üzüm kabuğunda 374,6 mg / g GAE, üzümün etli kısmında 23,8 mg / g GAE ve yaprak kısmında 351,6 mg / g GAE olarak bulmuşlardır. Baydar vd. 2011 yılında üzüm çekirdeği ve üzüm kabuğu üzerine yapmış oldukları çalışmada, kalecik karası üzüm çekirdeği ekstraktında 242,53 mg 100 g-1 gallic acid, 517,13 mg 100 g-1 catechin ve 390,25 mg 100 g-1 epicatechin olduğunu tespit etmiştir. Bu sonuçlar bizim elde ettiğimiz sonuçlar ile örtüşmektedir. Birçok çalışmada da belirtildiği gibi üzümlerdeki

fenolik bileşik miktarı üzüm çeşidine, toprak bileşimi, üzümün yetiştiği hava şartlarına (sıcaklık, nem), yetiştirme sürecinde maruz kaldığı mikroplara, mantarlara bağlı olarak değişmektedir (Bruno vd. 2007).

3.2. Antibakteriyel Testlerin Sonucu

Bu çalışmada AATCC 147 standardına göre yapılan antibakteriyellik testinde kumaşın alt tarafında ve çevresinde meydana gelen inhibisyon alanının büyüklüğü antibakteriyel özelliğin büyüklüğünü belirtmektedir. Antibakteriyel bitim işlemi uygulanan materyal çevresinde ve altında bakteri kolonilerinin görülmemesi beklenir. Antibakteriyel madde ile numune kumaş arasında kimyasal bağ oluşmuşsa, antibakteriyel ajanlar kumaş etrafına yayılamayacağı için kumaş etrafında bakteri kolonilerinin gözlenmesi beklenirken altında mevcut olmaması beklenir (Palamutcu vd. 2009). Bu yüzden kumaş etrafında engelleme bölgesi oluşmayan testlerde kumaş pensetle kaldırılarak altında bakteriyel kolonilerin mevcut olup olmadığına bakılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bakteri yoğunluğu 1 McFarland'a ayarlanarak hazırlanan bakteri kültürü besiyere aşılanmıştır. Etkinliği tespit edilmek istenen ham kumaş ve antibakteriyel apre işlemi uygulanan kumaş numuneleri, aşılanan bakteri kolonileri ile temas edecek şekilde muller hinton agar besiyerine yerleştirilmiştir. Bakterilerin üremesi için gerekli olan besini petriden sağlarken, bir başka gereksinim olan sıcaklığı sağlamak için 37°C'de 24 saat süre ile etüvde beklemeye alınmıştır. 24 saat sonrasındaki besiyerlerin görüntüsü Şekil 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Uygulama yapılmayan kumaşın antibakteriyel test sonucuna ait görüntü



Şekil 3.4. Antibakteriyel bitim işlemi uygulanan kumaşın antibakteriyel test sonuçlarına ait görüntüleri

Yapılan antibakteriyel test sonucunda işlem görmemiş tekstil materyalinde bakteri üremesinin olduğu ve materyalin antibakteriyel özelliğinin olmadığı tespit edilmiştir. Uygulama yapılan tekstil materyalinin antibakteriyel test sonucunda ise etrafında inhibisyon çapı oluşmadığı görülmüştür. Fakat materyal altında bakteri üremesinin olmadığı tespit edilmiştir. Bu da bize yapmış olduğumuz uygulamanın kumaş üzerinde biyostatik olarak antibakteriyel özellik kazandırdığını göstermektedir. Akaydın ve Kalkancı 2014 yılındaki çalışmalarında quaterner amonyum tuzu ile antibakteriyel apre işlemi yaptıkları numunelerin test sonuçlarında S. Aureus bakterisine karşı inhibisyon bölgesi oluşurken E. Coli bakterisine karşı oluşmadığını belirtmişlerdir. Fakat numunenin altında ise e. Coli bakterisi mevcudiyetinin azaldığını belirtmişlerdir.

4. Sonuç

Pamuklu kumaşa antibakteriyel özelliği olan üzüm çekirdeği kullanılarak antibakteriyel özellik kazandırılabilceği araştırılmıştır. Ülkemizde yaklaşık olarak 30 bin ton üzüm çekirdeğinin atık olarak açığa çıktığı düşünülmektedir. Bu atık maddenin daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılması çevre sorumluluğu ve ülke ekonomisine katma değer olarak dönüştürülmesi önem arz etmektedir. Şaraphane ve meyve suyu işletmelerinin atığı olan üzüm çekirdeğinde ortalama % 7-20 civarında yağ, %40 lifli yapı, %7 tanen vb. karmaşık yapıdaki fenolikler, %11 proteinler, %7'sini su ve az miktarlarda şekerler ve mineraller bulunmaktadır (Rombaut, 2015). Üzüm çekirdeğinde bulunan bu biyoaktif bileşenler, antiülser, antikanserojen, antioksidan, antibakteriyel, antiviral, antimutajenik, antikolestrol özellikleriyle insan sağlığı açısından önemli bir yere sahiptir (Monagas vd., 2005).

Üzüm çekirdeği ekstraksiyonu içindeki fenolik bileşik tayini HPLC ile tayin edilmiştir. Pamuklu kumaşa ekstraksiyon içeriği ile hazırlanan reçete uygulanmıştır. Uygulama yapılan kumaş kurutma ve fiksasyon işleminden sonra antibakteriyel testi AATCC 147 test metoduna göre yapılmıştır. Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi işlem görmeyen kumaşın gram negatif olan E. Coli bakterisine karşı yapılan antibakteriyel testte, kumaş etrafında bakteriyel üremeyi engellediğini gösteren bir inhibisyon çapı oluşmamıştır. Aynı zamanda kumaşı kaldırdığımızda kumaş altında da bakteri kolonilerinin oluştuğu, üremenin meydana geldiği görülmektedir.

Antibakteriyel madde ile bitim işlemi uygulanan kumaşta (Şekil 3.4.) ise E. Coli bakterisi türlerine karşı numune etrafında engelleme bölgesi oluşmamıştır. Fakat kumaşın pensetle kaldırılıp altına bakıldığında kumaş altında bakteri üremesinin olmadığı görülmektedir. Bu durum bize uygulama yaptığımız antibakteriyel maddenin biyostatik olduğunu göstermektedir. Yani antibakteriyel etki materyal ile bakterinin teması ile sağlanmaktadır. Kumaş yüzeyinden salınım ile gerçekleşmemektedir. Nicel bir metot olan AATCC 100 antibakteriyel test metodu antibakteriyel etkinliğin belirlenmesi açısından daha ayrıntılı ve kesin bilgiler verecektir.

Kaynakça

Akaydın, M., Kalkancı, M. (2014). Hastane Giysisi Olarak Kullanılan Kumaşların Antibakteriyel Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, SDU Journal of Science 9 (1): 20-34.

- Altınok,B.,U., (2008). Tekstil Yüzeylerinin AntiBakteriyel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 204s
- Baydar, N. G., Babalık, Z., Türk, F. H., Çetin E. S. (2011). Phenolic Composition and Antioxidant Activities of Wines and Extracts of Some Grape Varieties Grown in Turkey, *Journal of Agricultural Sciences*, 17: 67-76.
- Bruno, G.; Sparapano, L. (2007). Effects of three esca-associated fungi on *Vitis vinifera* L : V. Changes in the chemical and biological profile of xylem sap from diseased cv. Sangiovese vines. *Physiol. Mol. Plant Pathol*, 71, 210–229.
- Çoban H., (2010). Dünya Sofralık Üzüm Ticareti ve Bazı Önemli Üzüm Çeşitleri, 2010 Yılı Bahçe Bitkileri Grubu Bölge Bilgi Alışveriş Toplantısı Bildirileri Yayın No :139, s 60-68, Çanakkale.
- Durmaz H., Hülül M., Celik H. (2018). Meyan (*Glycyrrhiza glabra* L.) Bitkisinin Antibakteriyel ve Antioksidan Aktiviteleri, *Harran Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 37-41.
- Jayaprakasha, G., Selvi, T., & Sakariah, K. (2003). Antibacterial and antioxidant activities of grape *Vitis vinifera* seed extracts. *Food Research International*, 36(2), 117-122.
- Monagas, M., Bartolome, B., Gomez-Cordoves, C. (2005). Updated knowledge about the presence of phenolic compounds in wine. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(2), 85-118.
- Mucha, H., Hofer, D., Abfalğ, S., Swerev, M., (2002). Antimicrobial Finishes and Modifications. *Melliand International*, 8:148-151.
- Orhan, M., (2007). Pamuk, Poliamid Ve Poliester Esaslı Tekstil Materyallerinde Antimikrobiyal Bitim Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma, Bursa, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi Uludağ Üniversitesi.
- Palamutcu, S., Şengül, M., Devrent, N., Keskin, R., Hasçelik, B., (2008). Bazı Antimikrobiyal Maddelerin % 100 Pamuklu Kumaşlar Üzerindeki Mikrobiyolojik Etkinliği ve Kumaş Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. 106M338 no'lu Tübitak projesi, Denizli.
- Pastrana-Bonilla, E.; Akoh, C.C.; Sellappan, S.; Krewer, G. (2003). Phenolic content and antioxidant capacity of muscadine grapes. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 5497–4503.
- Rathinamoorthy, R., Thilagavathi, G., (2011). Antimicrobial and in-Vitro Drug Release Studies of Microencapsulated Terminalia Chebula Extract Finished Fabric. *International Journal of Pharmacy and Life Sciences*, 2(10), 1147-1153.
- Rombaut, N., Savoie, R., Thomasset, B., Castello, J., Van Hecke, E., Lanoisellè, J-L., (2015). Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grapeseed cold screw pressing. *Ind Crop Prod* 63: 26–33.
- Sarıçam, A., (2014). Üzüm Çekirdeği Ekstraktlarının Antioksidan Ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sevindik, O., Selli, S., (2016). Üzüm Çekirdeklerinin Temel Biyoaktif Bileşenleri, *Çukurova Tarım Gıda Bil. Der.*, 31(2): 9-16.
- Süpüren, G., Çay, A., Kanat, E., Tarakçıoğlu, I., (2006). Antimikrobiyal Lifler. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, sayı:2, 80-89.
- Uçar E., Odabas Köse E., Özyiğit Y. Turgut K., (2015). Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Esansiyel Yağların Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, sayı: 10 (2):118-124.
- Xia, E.-Q., Deng, G.-F., Guo, Y.-J., & Li, H.-B. (2010). Biological activities of polyphenols from grapes. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(2), 622- 646.



Faz Değiştiren Madde Olarak n-Hekzadekan Esaslı Mikrokapsüllerin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Isıl Performansının T-Kayıt Yöntemiyle Belirlenmesi

Hatice Hande Mert^{1*}, Mehmet Selçuk Mert²

¹ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, (ORCID:0000-0003-0743-1981)

² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8646-0133)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.674613)

ATIF/REFERENCE: Mert, H.H., & Mert, M.S. (2020). Faz Değiştiren Madde Olarak N-Hekzadekan Esaslı Mikrokapsüllerinin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Isıl Performansının T-Kayıt Yöntemiyle Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 148-161.

Öz

Faz değiştiren maddeler (FDM'ler), ısı enerjisinin gizli ısı olarak depolanabilmesine olanak sağlayan, sıvıdan katıya ya da katıdan sıvıya faz değişimi esnasında büyük miktarda ısının depolanmasına veya salınmasına izin veren yeni nesil enerji depolama malzemeleridir. FDM'lerin faz değişimi esnasında belirli bir hacimde tutmak amacıyla makro veya mikro/nano ölçekte kapsüllemeleri gerekmektedir. Kapsülleme işlemi sayesinde malzemenin dış çevrelerden etkilenme derecesi azaltıldığı gibi malzemenin katıdan sıvıya geçişi esnasında mevcut kabuk hacminde sabit tutulması mümkün olmakta ve ısı transfer yüzeyi de artırılmaktadır. Bu çalışmada, organik FDM'ler sınıfında yer alan bir parafin olan ve binalarda iç ortamın ısı konforunun sağlanması hususunda uygun faz değişim sıcaklık aralığı sayesinde ısı depolama malzemesi olarak kullanım potansiyeli bulunan n-hekzadekan (n-HD), faz inversiyon emülsifikasyonu yöntemiyle mikro boyutta kapsüllemiştir. Faz dönüşümü esnasında sızdırma problemi nedeniyle doğrudan uygulamalarda kullanımı uygun olmayan n-hekzadekanın kapsülleme işleminde, kabuk olarak binalarda yalıtım amaçlı sıklıkla kullanılan stiren (St) ve çapraz bağlayıcı divinilbenzen (DVB) kullanılmıştır. Elde edilen mikrokapsüllerin ısı özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve Termogravimetrik Analiz (TGA) ile incelenirken, morfolojik özellikleri ve kimyasal yapısı ise sırasıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi ile belirlenmiştir. Elde edilen mikrokapsüllerin erime entalpisi 131,074 J/g olarak bulunurken, FDM içeriği %68,55 olarak hesaplanmıştır. Mikrokapsüllemiş FDM'nin (MikroFDM) ve saf n-hekzadekanın ısı depolama özellikleri sıcaklık kontrollü sirkülasyonlu bir banyo sisteminde karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. T-Kayıt yöntemiyle gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen ısı özellikler DSC analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. N-hekzadekan faz değişim maddesini içeren mikrokapsüllerin sahip oldukları boyut aralığı, faz değişim sıcaklık aralığı, ısı depolama kapasitesi ve gösterdikleri ısı performans açısından binalarda iç mekan uygulamalarında ısı konforunun sağlanması noktasında kullanımının uygun olduğu ve binalarda enerji tasarrufu açısından önemli kazanımlar sağlayabilecekleri öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Faz Değiştiren Madde, Mikrokapsülasyon, Isıl Enerji Depolama, T-Kayıt Yöntemi.

Preparation, Characterization of n-Hexadecane-based Microcapsules as a Phase Change Material and Determination of Its Thermal Performance via T-History Method

* Sorumlu Yazar: Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, ORCID:0000-0003-0743-1981, hndmert@yalova.edu.tr

Abstract

Phase change materials (PCMs) are new generation energy storage materials that allow the storage of thermal energy as latent heat, allowing the storage or release of large amounts of heat during the phase change from liquid to solid or solid to liquid. PCMs have to be encapsulated on a macro or micro / nano scale to maintain a certain volume during phase change. By means of the encapsulation process, the degree to which the material is affected from external environments is reduced and it is possible to keep the material constant volume during the phase change process of the material from solid to liquid and the heat transfer surface is increased. In this study, n-hexadecane (n-HD), which is a paraffin which is in the class of organic PCMs and which has the potential to be used as heat storage material with the appropriate phase change temperature range in order to provide the thermal comfort of the indoor environment in buildings, is encapsulated in micro-dimension by phase inversion emulsification method. Styrene (St) and cross-linker divinylbenzene (DVB), commonly used for insulation purposes in buildings, were used as the shell in the encapsulation process of n-hexadecane, which is not suitable for direct applications due to leakage problems during phase change process. The thermal properties of the obtained microcapsules were investigated by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA) whereas morphological properties and chemical structure of them were determined by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), respectively. The melting enthalpy of the obtained microcapsules was 131,074 J / g, while the PCM content was calculated as 68.55%. The heat storage properties of microencapsulated PCM (MicroPCM) and pure n-hexadecane were comparatively tested in a temperature controlled circulation bath system. The thermal properties obtained in the measurements performed by T-History method are presented in comparison with the results obtained from DSC analysis. It is envisaged that microcapsules containing n-hexadecane phase change material are suitable for use in indoor applications in buildings in terms of particle size range, phase change temperature range, heat storage capacity and thermal performance and they can provide significant gains in terms of energy savings in buildings.

Keywords: Phase Change Material, Microencapsulation, Thermal Energy Storage, T-History Method.

1. Giriş

Enerji bir çok proses için anahtar bileşendir. Artan nüfus, gelişen teknoloji ve sanayileşme, enerjiye olan talebi her geçen gün artırmakta, bu durum da enerjinin verimli ve tasarruflu kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Son yıllarda, enerjinin verimli ve tasarruflu kullanılması amacıyla enerji depolama teknolojileri üzerine bilim insanları tarafından birçok çalışma yapılmıştır. Bu teknolojilerden biri olan gizli ısı depolama son zamanlarda dikkat çeken ve umut vadeden bir enerji depolama yöntemidir. Faz değişim maddesi (FDM) adı verilen enerji malzemeleri kullanılarak, enerji gizli ısı formunda depolanabilir. FDM'ler uygulanacakları sistemin özelliklerine ve çalışma aralıklarına uygun olarak çok çeşitli yapılarda ve formlarda tasarlanıp üretilebilirler (Mert ve ark., 2018; Mert ve ark., 2019a; Mert ve ark., 2019b; Sarı ve ark., 2012; Karaipekli ve ark., 2016). Bununla birlikte, FDM özelliği gösteren maddeler, doğrudan kullanılabilirlikleri gibi farklı malzemeler ile karıştırılarak veya mikro/makro boyutlarda kapsülenerak kullanılabilirler. Faz değişim maddesi olarak kullanılan malzemelerin arasında bulunan ve bir tür parafin olan n-hekzadekan, bugüne kadar pek çok çalışmada incelenmiştir. Bo vd., soğutma sistemlerinde kullanılmak üzere tetradekan, hekzadekan ve bunların ikili karışımlarının ısı özelliklerini araştırmış ve soğuk depolama sistemi için kullanılma potansiyelini göstermiştir (Bo ve ark., 1999). Bo vd. bir başka çalışmalarında ise teorik hesaplamalar sonucunda tetradekan-hekzadekan ikili sisteminin sıcaklık-bileşim faz diyagramını elde etmişlerdir (Bo ve ark., 2003). Sarier ve Önder, yüksek ısı depolama kapasitesine sahip parafinler olan n-hekzadekan ve n-oktadekan faz değişim maddelerini farklı oranlarda poliüretan köpük içine entegre ederek ısı yalıtım için tasarlanan ürünün sıcaklık değişimlerine karşı tampon etkisindeki iyileşmeyi araştırmışlardır (Sarier ve ark., 2007). Alay vd., ısı depolama özelliğine sahip tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılmak amacıyla n-hekzadekan faz değişim maddesini emülsiyon polimerizasyonu ile üç farklı çapraz bağlayıcı (Allilmetakrilat, Etilen glikol dimetakrilat ve Glisidil metakrilat) varlığında poli(etil akrilat) kabuk ile kapsüllemişler ve üretilen mikrokapsülleri karakterize etmişlerdir (Alay ve ark., 2009). Etilen glikol dimetakrilat ve glisidil metakrilat kullanılarak hazırlanan mikrokapsüllerin sahip oldukları ısı depolama kapasiteleriyle tekstil ürünlerinde kullanımının uygun olduğu sonucunu rapor etmişlerdir. Fang ve arkadaşları, ısı enerji depolama sistemleri için sol-jel yöntemiyle alev geciktirici özelliği olan n-hekzadekan/silisyum dioksit kompozit malzemeleri hazırlamışlar ve kompozitlerin alev geciktirici özelliğini daha da arttırmak için kompozitlere genişletilmiş grafit eklemişlerdir (Fang ve ark., 2010). Gao vd. ise n-hekzadekanı poliüre-melamin formaldehit reçine ile kapsüllemişler ve sadece poliüre kabukla kapsüllemeye kıyasla mikrokapsüllerin termal kararlılığının arttığını ortaya koymuşlardır (Gao ve ark., 2010). Jeon vd. bir başka çalışmada binalarda zemin ısıtmada kullanılmak üzere eksfoliyeli grafit nanotabakaları içeren kompozit faz değişim maddeleri hazırlamışlar ve ısı iletkenliği arttırmayı hedeflemişlerdir (Jeon ve ark., 2012). Oktadekan, hekzadekan ve parafinden oluşan üç farklı faz değişim maddesine %3 ve %5 oranlarında eksfoliyeli grafit nanodolguları ilave etmişler ve ısı iletkenlikteki en büyük artışın oktadekan temelli kompozit de görüldüğünü rapor etmişlerdir. Literatürde bir destek malzemesine faz değişim maddesinin emdirilmesiyle hazırlanan şekil kararlı faz değişim maddeleri de bulunmaktadır. Kim ve arkadaşları, faz değişim maddesi olarak hekzadekanı vakum sisteminde gözenekli bir malzeme olan eksfoliyeli grafit emdirmek suretiyle kompozit malzeme hazırlamışlar ve hazırladıkları malzemeyi bina harcına ekleyerek bunun ısı performansını ısıtma-soğutma testleriyle analiz etmişlerdir (Kim ve ark., 2014). Velez vd., lineer alkanlar olan n-hekzadekan (C16), n-heptadekan (C18) ve n-eikosanın (C20) ısı özelliklerini (termal iletkenlik ve termal difüzyivite) incelemişler ve sonuçları literatürle karşılaştırmışlardır (Velez ve ark., 2015). Sarier ve arkadaşları n-hekzadekan içeren bir başka çalışmalarında n-hekzadekan ve n-oktadekanı ayrı ayrı poli(üre-formaldehid) kabuk ile gümüş nanopartiküller varlığında kapsüllemişler ve özellikle tekstil uygulamalarında kullanım potansiyeli olduğunu bildirmişlerdir (Sarier ve ark., 2015). Literatürde faz değişim maddelerinin kapsülasyonu için biyokütle kaynaklarının kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Gondora ve arkadaşları, biyoyakıt üretiminde yan ürün olarak çıkan ve karbon temelli bir ürün olan pirinç kabuğu külünü n-hekzadekanı kapsüllemek için kullanmışlar ve bu çalışma ile biyokütle kökenli olan karbon temelli malzemelerin ısı enerjinin geri kazanımı ve depolanması uygulamalarında kullanım potansiyelini ortaya koymuşlardır (Gondora ve ark. 2016). Lashgari ve arkadaşları ise kapsülasyon verimi ve mikrokapsüllerin ısı performansına kabuk malzemenin

esnekliğinin etkisini ortaya koymak amacıyla, n-hekzadekan süspansiyon polimerizasyonu polimetil metakrilat (PMMA) ve poli(bütül akrilat-ko-metil metakrilat) (poli(BA-ko-MMA)) kabuklarla kapsüle etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre, ısı enerji depolama özelliği ve kabuk esnekliği açısından ağırlıkça %25'den az miktarda bütül akrilat içeren poli(bütül akrilat-ko-metil metakrilat) kabuğun istenilen performansı ortaya koyduğunu rapor edilmiştir (Lashgari ve ark., 2017).

Bu çalışmada, organik FDM'ler sınıfında yer alan bir parafin olan n-hekzadekan, literatürden farklı olarak faz inversiyon emülsifikasyonu yöntemiyle ve stiren-divinilbenzen çapraz bağlı polimer kabuk içerisine mikro boyutta kapsüllenmiştir. Elde edilen bulgular temelinde, n-HD-St-DVB MikroFDM'in sahip olduğu ısı enerji depolama kapasitesi, faz değişim sıcaklık aralığı, ısı kararlılığı, kapsül boyutları ve çekirdek-kabuk malzeme uyumu araştırılmıştır. Bununla birlikte, elde edilen mikro yapıdaki FDM'nin performansının belirlenmesinde geleneksel yöntemlerin yanısıra T-Kayıt yöntemi kullanılmıştır. Bunun için, saf FDM ve MikroFDM'in ısı performansları sıcaklık kontrollü sirkülasyonlu bir su banyosu sisteminde, deneysel ve sayısal yöntemin birlikte kullanıldığı T-kayıt yöntemi temelinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, DSC analizinden elde edilen ısı özellikler ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Stiren (St) (monomer, Merck, Darmstadt, Almanya), divinilbenzen (DVB) (çapraz bağlayıcı, %80, Aldrich Chemistry, Steinheim, Almanya), Setil trimetil amonyum bromür (CTAB) (katyonik surfaktan, %98 Sigma) ve n-hekzadekan (HD) (parafin, Merck, Darmstadt, Almanya) herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır. 2,2'-azobisisobütironitril (AIBN) (başlatıcı, %98, Aldrich Kimya, Steinheim, Almanya) etanolde tekrar kristallendirme işlemi yapılarak kullanılmıştır. Yapılan tüm deneylerde deiyonize su kullanılmıştır.

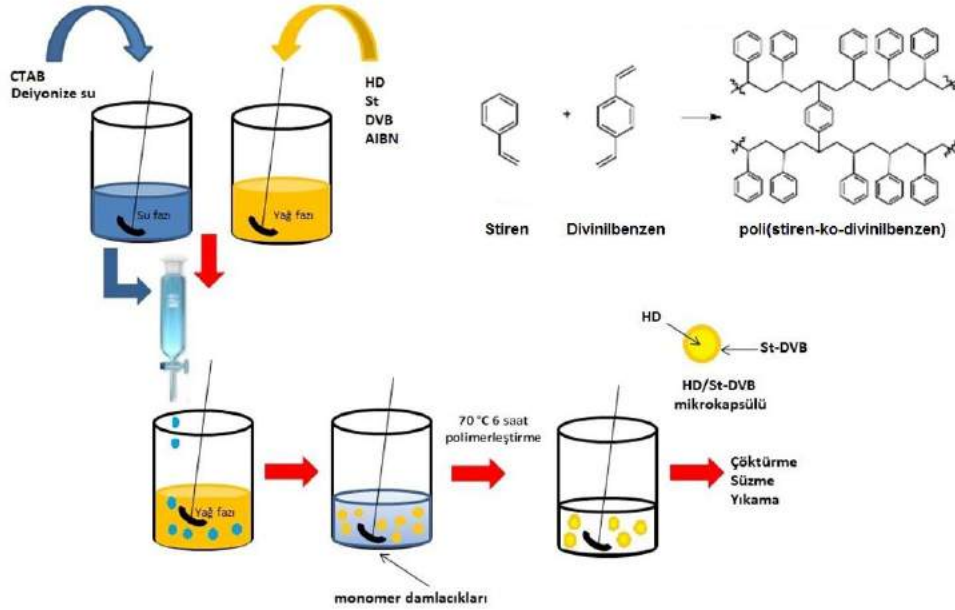
2.2. Deneysel Yöntem

2.1.1. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin Hazırlanması

HD/St-DVB mikrokapsülleri aşağıda verilen prosedüre göre (Şekil 1) faz inversiyon emülsifikasyonu yöntemiyle hazırlanmıştır. Mikrokapsüllerin bileşimi Tablo 1'de yer almaktadır. Kapsülasyon işlemi çekirdek/kabuk oranı hacimce 1:1 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Mikrokapsüllerin çekirdek kısmı HD faz değişim maddesinden oluşurken, kabuk malzeme St-DVB kopolimerlerinden oluşmuştur. St ve DVB monomerleri, HD parafini ve AIBN başlatıcısının (0,1 g) oda sıcaklığında karıştırılmasıyla oluşturulan yağ fazına, CTAB içeren su fazının (50 mmol/L) damlatma hunisi yardımıyla damla damla eklenmesiyle hazırlanan emülsiyon, mekanik karıştırıcı ile oda sıcaklığında 1 saat karıştırılmıştır. Hazırlanan emülsiyon geri soğutucu bağlı üç boyunlu cam bir reaktöre aktarılmış ve 70 °C deki yağ banyosunda 6 saat süreyle polimerleşme reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sonunda elde edilen ürün oda sıcaklığına soğutulmuş, etanolde çöktürülmüştür. Süzme ve yıkama işlemlerinin ardından elde edilen mikrokapsüller, 40°C'deki vakum etüvünde 24 saat süreyle kurutulmuştur.

Tablo 1. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin kimyasal bileşimi

Mikrokapsüllenmiş FDM	Kimyasal	Hacim Yüzdesi (% v/v)
Çekirdek Malzeme	HD	50
Kabuk Malzeme	St	45
	DVB	5



Şekil 1. Mikrokapsüllerin Hazırlanması

2.2.2. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin Karakterizasyonu

HD/St-DVB mikrokapsüllerinin ve boş kabuk malzeme St-DVB kopolimerinin morfolojik özellikleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (FEI Inc. Inspect S50 SEM-EDAX) kullanılarak belirlenmiştir. Mikrokapsüllerin partikül boyut dağılımı, SEM görüntüleri kullanılarak CoralDRAW X8 programı ile elde edilen partikül boyut ölçüm verilerinin histogramları oluşturularak bulunmuştur. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin, saf n-hekzadekanın ve St-DVB boş kabuk malzemenin kimyasal yapılarının saptanması amacıyla, Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR spektrofotometresi kullanılarak oda sıcaklığında $650-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında FT-IR spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen malzemelerin ısı özellikleri termal analiz cihazı (Seiko TG / DTA 6300, Seiko Instruments, Tokyo, Japan) yardımıyla $0-600^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında, $10^{\circ}\text{C.dk}^{-1}$ ısıtma hızında ve azot (N_2) atmosferi altında belirlenmiştir. Saf n-hekzadekanın, boş kabuk malzemenin ve mikrokapsüllenmiş FDM'nin ısı enerji depolama kapasiteleri (erime entalpisi, ΔH_e ve kristallenme entalpisi, ΔH_k) ve faz değişim sıcaklıkları (erime sıcaklığı, T_e ve kristallenme sıcaklığı, T_k) ise Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı (DSC 7020 HITACHI) ile -20 ila 80°C sıcaklık aralığında, $10^{\circ}\text{C.dk}^{-1}$ ısıtma/soğutma hızında ve azot (N_2) atmosferi altında ölçülmüştür. N-hekzadekanın kapsüllenme oranı diğer bir ifadeyle FDM içeriği (%) ise ölçülen entalpi değerlerinden aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

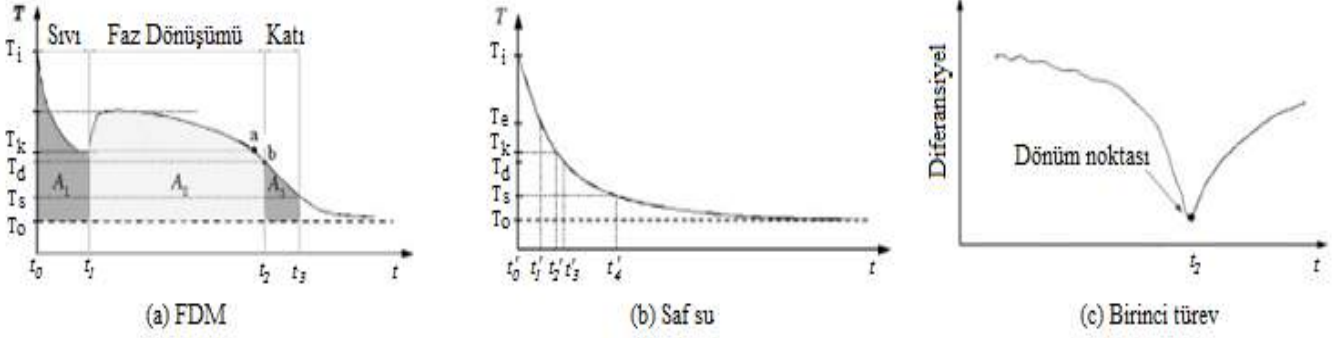
$$\text{Mikrokapsüllenmiş FDM (\%)} = [\Delta H_{\text{mikroFDM}} / \Delta H_{\text{FDM}}] \times 100 \quad (1)$$

Burada $\Delta H_{\text{mikroFDM}}$ mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddenin erime entalpisini gösterirken, ΔH_{FDM} kapsülenmemiş faz değiştiren maddenin erime entalpisini ifade etmektedir.

2.2.3 Isı Depolama Kapasitesinin Sıcaklık-Kayıt (T-History) Yöntemiyle Belirlenmesi

Sıcaklık-Kayıt (T-Kayıt) Yöntemi (Temperature-History (T-History)) ilk olarak Yinping ve ark. tarafından 1999 yılında önerilmiş ve kullanılmıştır (Yinping ve ark., 1999). Bu yöntem ile analiz edilen maddenin, erime-donma sıcaklıkları, erime gizli ısı, ısı iletkenliği ve özgül ısı deneysel ve sayısal yöntem birlikte kullanılarak tayin edilebilmektedir. T-Kayıt yöntemi temelde özellikleri bilinen bir referans madde kullanılarak başka bir maddenin ısı özelliklerinin belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. T-Kayıt ile ısı özellikleri belirlemek için iki adet test tüpüne ihtiyaç vardır. Bu tüplerden bir tanesine analizde kullanılacak referans madde konur. Genellikle, referans madde olarak özellikleri iyi bilinen saf su tercih edilmektedir. Diğer tüp ise, ısı özellikleri belirlenmek istenen madde ile doldurulur. T-Kayıt'ın ilk önerildiği çalışmada (Yinping ve ark., 1999) tüpler, maddenin erime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta bulunan bir su banyosuna batırılmış ve tüplerin banyo ile ısı dengeye gelmesi beklenilmiştir. Daha sonra, tüpler aniden banyodan çıkarılarak atmosferik koşullara maruz bırakılmış ve tüp sıcaklıklarının zamanla değişimi ısı-çift (thermocouple) ve veri kayıt cihazı (data logger) kullanılarak kayıt edilmiştir. Sonuçta, elde edilen veriler kullanılarak sayısal yöntem ile istenilen özellikler hesaplanmıştır. Bugüne kadar, T-Kayıt yöntemi pek çok çalışmada kullanılmıştır (Lasgari ve ark., 2017; Yinping ve ark., 1999; Hong ve ark., 2004; Peck ve ark., 2006). Bu çalışmalar incelendiğinde, temel prensibi aynı olmak birlikte küçük farklılıklarla başka şekillerde de uygulanabildiğine rastlamak mümkündür.

T-Kayıt yönteminde araştırılan maddenin soğuma eğrisi ve sayısal yöntem kullanılarak hesap yapılabilmekte ve bazı özellikler bu şekilde tespit edilebilmektedir. Aşırı soğuma (subcooling) özelliği olan bir maddenin tipik T-Kayıt eğrisi Şekil 2a'da, genellikle referans madde olarak kullanılan saf suyun soğuma eğrisi Şekil 2b'de ve hesaplamalarda kullanılan dönüm noktasını (katılaşma sonunu) gösteren birinci türev Şekil 2c'de gösterilmiştir. Şekil 2a'ya göre madde erime noktasının altına soğutulmasına rağmen katılaşma işlemi hemen başlamamaktadır. Bu olay, aşırı soğuma (supercooling) veya bazen aşırı ergime (supercooling) olarak da adlandırılmaktadır ki katılaşma sürecini tetikleyen ve başlatan bu aşırı soğuma prosesidir. Katılaşmanın başlamasıyla birlikte faz değişimi gösteren maddenin sıcaklığı bir miktar yükselmekte ve bir noktadan sonra sıcaklığın tekrar düşmesiyle beraber tamamen katı faz elde edilmektedir.



Şekil 2. (a) Aşırı soğuma özelliği olan bir maddenin tipik T-Kayıt soğuma eğrisi (b) Referans madde olarak saf suyun soğuma sırasındaki tipik T- Kayıt eğrisi (c) dönüm noktasının (katılaşma sonu) birinci türevine ait eğri (Hong ve ark., 2004)

Aşırı soğuma özelliği olan bir maddenin tipik T-Kayıt soğuma eğrisi kullanılarak ve sıvı fazdan katı faza olan değişim süreci dikkate alınarak enerji denklemleri matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılır (Hong ve ark., 2004):

$$(m_{tüp,FDM} \cdot C_{p,tüp} + m_{FDM} \cdot C_{p,sıvı})(T_o - T_k) = hA_{tüp}A_1 \quad (2)$$

$$(m_{tüp,FDM} \cdot C_{p,tüp} + m_{FDM} \cdot \frac{C_{p,sıvı+katı}}{2})(T_e - T_d) + m_{FDM} \cdot h_e = hA_{tüp}A_2 \quad (3)$$

$$(m_{tüp,FDM} \cdot C_{p,tüp} + m_{FDM} \cdot C_{p,katı})(T_d - T_s) = hA_{tüp}A_3 \quad (4)$$

Burada, Eşitlik (2) sıvı fazı, Eşitlik (3) katı -sıvı faz geçişini ve Eşitlik (4) katı faz süreçlerini ifade etmektedir. Eşitlik (5-7) ise referans madde olarak kullanılan saf su için yazılmıştır (Hong ve ark., 2004):

$$(m_{tüp,su} \cdot C_{p,tüp} + m_{su} \cdot C_{p,su})(T_o - T_k) = hA'_{tüp}A'_1 \quad (5)$$

$$(m_{tüp,su} \cdot C_{p,tüp} + m_{su} \cdot C_{p,su})(T_e - T_d) = hA'_{tüp}A'_2 \quad (6)$$

$$(m_{tüp,su} \cdot C_{p,tüp} + m_{su} \cdot C_{p,su})(T_d - T_s) = hA'_{tüp}A'_3 \quad (7)$$

Bu eşitliklerde bulunan alanlar ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Eşitlik (8-10)) (Hong ve ark., 2004):

$$A_1 = \int_0^{t_1} (T_o - T_k) dt \quad (8)$$

$$A_2 = \int_{t_1}^{t_2} (T_e - T_d) dt \quad (9)$$

$$A_3 = \int_{t_2}^{t_3} (T_d - T_s) dt \quad (10)$$

Böylece, T-Kayıt Yöntemi ile yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak, sıvı faz özgül ısısı ($c_{p,sıvı}$), katı faz özgül ısısı ($c_{p,katı}$) ve kristallenme gizli ısısı (h_k), sırasıyla, Eşitlik (11), Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) vasıtasıyla bulunabilir (Hong ve ark., 2004):

$$c_{p,sıvı} = \frac{m_{tüp,su} \cdot c_{p,tüp} + m_{su} \cdot c_{p,su} \frac{A_{tüp} A_1}{A'_{tüp} A'_1}}{m_{FDM}} - \frac{m_{tüp,FDM}}{m_{FDM}} c_{p,tüp} \quad (11)$$

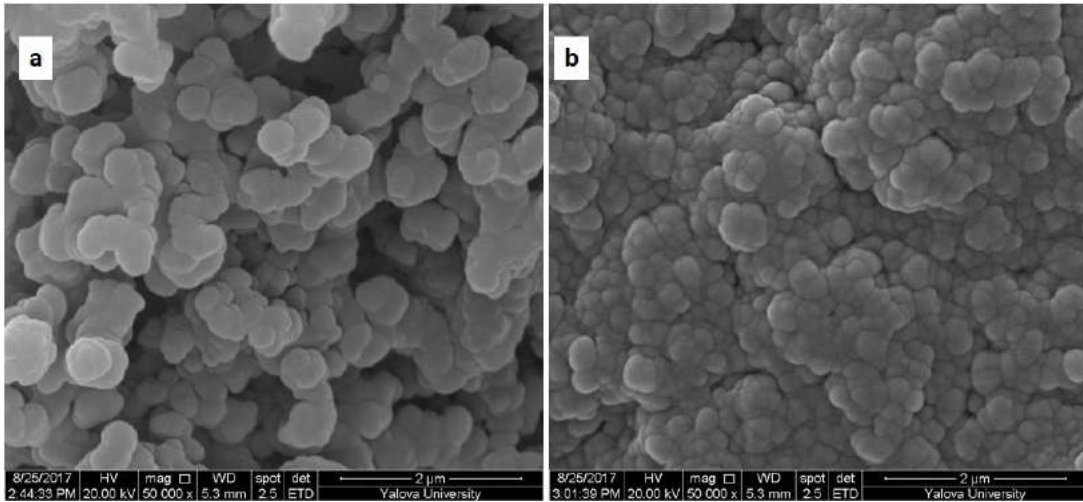
$$c_{p,katı} = \frac{m_{tüp,su} \cdot c_{p,tüp} + m_{su} \cdot c_{p,su} \frac{A_{tüp} A_3}{A'_{tüp} A'_3}}{m_{FDM}} - \frac{m_{tüp,FDM}}{m_{FDM}} c_{p,tüp} \quad (12)$$

$$h_k = - \left(\left(\frac{m_{tüp,FDM}}{m_{FDM}} c_{p,tüp} + \frac{c_{p,sıvı} + c_{p,katı}}{2} \right) (T_e - T_d) + \frac{m_{tüp,su} \cdot c_{p,tüp} + m_{su} \cdot c_{p,su} \frac{A_{tüp} A_2}{A'_{tüp} A'_2}}{m_{FDM}} (T_e - T_d) \right) \quad (13)$$

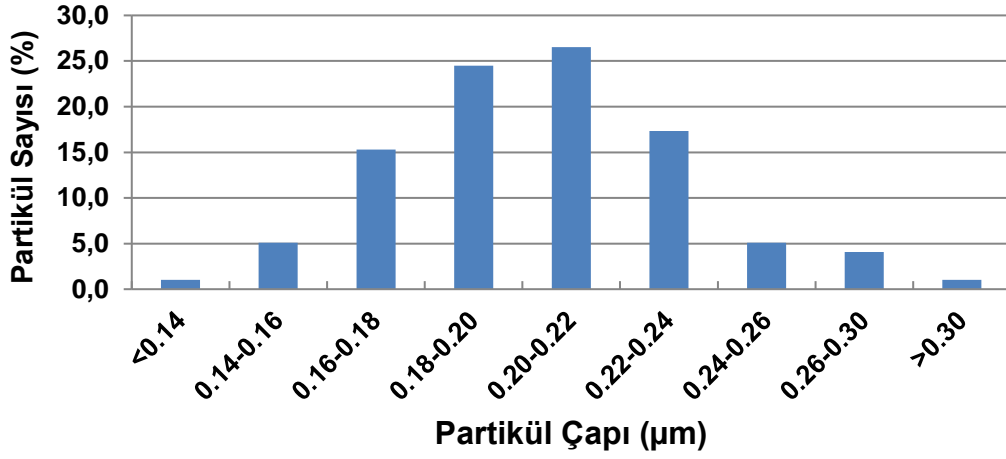
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Mikrokapsülenmiş FDM'nin Morfolojisi ve Partikül Boyut Dağılımı

N-hekzadekanın St-DVB kabuk ile mikro boyutta kapsülenmesi ile beyaz renkte ve toz formunda ürün elde edilmiştir. Uygulama alanı için oldukça önemli bir kriter olan parçacık büyüklüğünün ve boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla mikrokapsüllerin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüsü, boş kabuk malzeme St-DVB ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3'de yer almaktadır. Şekil 3'den de görüldüğü üzere HD/St-DVB mikrokapsülleri oldukça pürüzsüz bir yüzeye sahip olmakla beraber küresele şekle yakın bir oluşum göstermiştir. Tanecikli yapının oluşumu mikrokapsüllerin oluştuğunu kanıtlamaktadır. Boş kabuk malzemeye kıyasla mikrokapsülenmiş FDM'nin agregasyona daha eğilimli olduğu görülmekle beraber, görüntülerde n-hekzadekanın mikrokapsüllerin dışında kaldığına dair bir bulgu yer almamaktadır. Ayrıca elde edilen DSC sonuçları da mikrokapsüllerin FDM içeriklerinin nispeten yüksek olduğunu göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntülerinden yapılan hesaplamalar sonucunda HD/St-DVB mikrokapsüllerinin ortalama partikül çapı $0,206 \pm 0,035 \mu\text{m}$ bulunurken, partikül boyut dağılımının $0,14 \mu\text{m}$ ile $0,30 \mu\text{m}$ arasında oldukça düzgün ve dar bir dağılım sergilediği görülmüştür (Şekil 4). Partiküllerin $1,0 \mu\text{m}$ 'nin altında ($0,206 \mu\text{m} < 1 \mu\text{m}$) bir boyuta sahip olması nedeniyle elde edilen kapsüllerin nano boyutta ($206 \pm 35 \text{ nm}$) olduğu da ifade edilebilir.



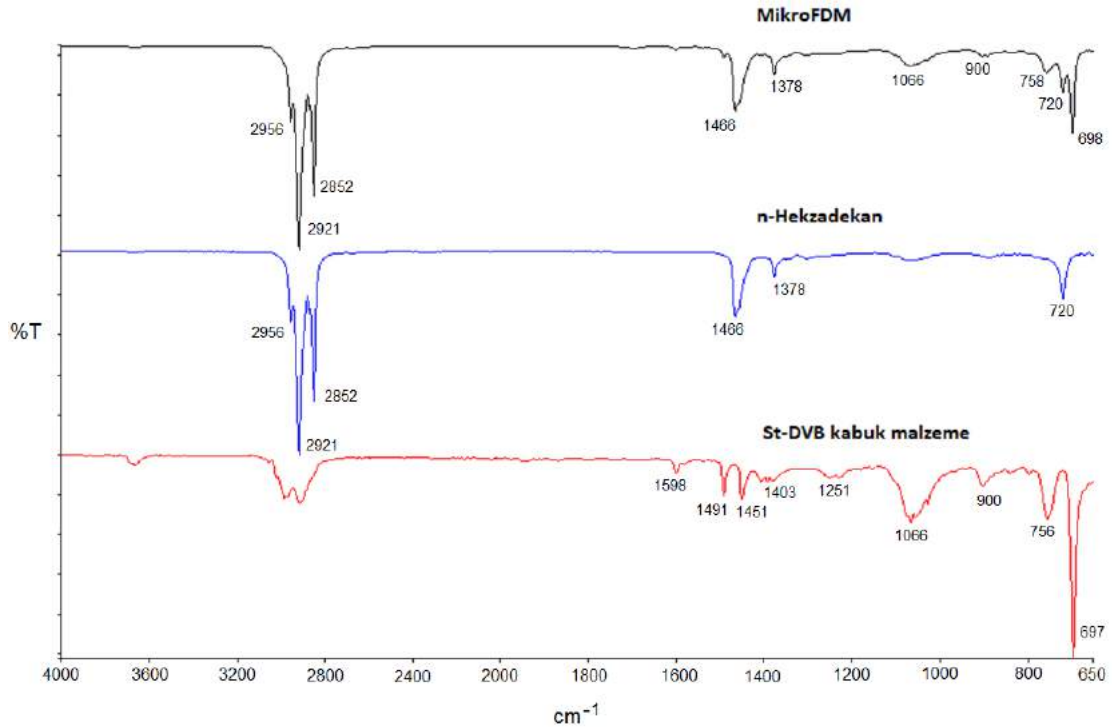
Şekil 3. (a) St-DVB boş kabuk malzemenin, (b) Mikrokapsülenmiş FDM'nin (MikroFDM) taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



Şekil 4. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM) partikül boyut dağılımı grafiği

3.2. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin Kimyasal Karakterizasyonu

Mikrokapsüllenmiş FDM (MikroFDM), n-hekzadekan ve St-DVB boş kabuk malzemenin FT-IR spektroskopisi ile elde edilen FT-IR spektrumları Şekil 5'de yer almaktadır. Saf n-hekzadekan piki incelendiğinde 2956, 2921 ve 2852 cm^{-1} de görülen pikler alifatik C-H gerilme titreşimlerinden kaynaklanırken, 1466 cm^{-1} ve 1378 cm^{-1} de görülen pikler sırasıyla C-H bükülme titreşimi ve metil bükülme titreşiminden ileri gelmektedir. 720 cm^{-1} de ise uzun-zincir metil bükülme titreşimi yer almaktadır. Bunun yanında St-DVB kopolimer kabuk malzemeye ait spektrum incelendiğinde polistirenin karakteristik pikleri olan aromatik C=C ve C-H gerilmelerinin sırasıyla 1600-1450 cm^{-1} ve 750-700 cm^{-1} bandında olduğu görülmektedir. Çekirdek kısmında n-hekzadekan ve kabuk kısmında ise St-DVB içeren MikroFDM'e ait spektrum incelendiğinde ise hem n-hekzadekana hem de St-DVB kabuğa ait tüm karakteristik piklerin spektrumda yer alması n-hekzadekanın başarılı bir şekilde St-DVB kabuk ile kapsüle edildiğini doğrulamaktadır.



Şekil 5. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM), n-Hekzadekanın ve St-DVB kopolimer boş kabuk malzemenin FT-IR spektrumları

3.3. Mikrokapsüllenmiş FDM'lerin Isıl Özellikleri ve Gizli Isı Depolama Kapasiteleri

St-DVB kopolimer boş kabuk malzemenin, n-Hekzadekanın ve mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM) DSC grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. N-hekzadekanın ve MikroFDM'nin DSC eğrilerinden elde edilen ısıl veriler ise Tablo 2'de özetlenmiştir. Şekil 6 ve Tablo 2'den görüldüğü üzere mikroPCM için erime ve kristallenme pik sıcaklıkları sırasıyla 23,54 °C ve 14,61°C olarak bulunurken, n-hekzadekan için bu değerler sırasıyla 25,51°C ve 12,86°C olarak ölçülmüştür. Buna göre n-hekzadekan ile mikrokapsüllerin erime ve kristallenme sıcaklıkları arasında küçük bir fark bulunmaktadır. Bundan başka, örneklerin erime entalpileri karşılaştırıldığında n-hekzadekanın erime ve kristallenme entalpileri sırasıyla 191,18 J.g⁻¹ ve -192,56 J.g⁻¹ iken, MikroFDM'nin erime entalpisinin 131,07 J.g⁻¹ ve kristallenme entalpisinin -129,68 J.g⁻¹ olduğu görülmüştür. MikroFDM'nin erime ve kristallenme entalpi değerlerinin daha düşük bulunması polistiren kabuğun varlığının doğal bir sonucudur. Şekil 6a'da görüldüğü gibi St-DVB kopolimer kabuk FDM içermediğinden dolayı söz konusu sıcaklık aralığında DSC grafiğinde herhangi bir pik vermemiştir. FDM kapsülasyon işleminde elde edilen kapsüllerin yüksek FDM içeriğine sahip olmaları, o derece yüksek ısıl depolama kapasitesine de sahip olacaklarının bir göstergesidir. Yüksek ısı depolama kapasitesine sahip mikrokapsüllerin ise buna bağlı olarak uygulama alanının genişleyebileceği söylenebilir. Buna göre üretilen mikrokapsüllerin yüksek gizli ısı depolama kapasitesine (131,07 J.g⁻¹) sahip oldukları görülmektedir. Ayrıca elde edilen mikrokapsüllerin Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanan ve Tablo 2'de verilen %FDM içeriği (%n-hekzadekan içeriği) %68,55 olarak bulunmuştur.

Tablo 2. N-Hekzadekan ve mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM) DSC eğrilerinden alınan ısıl özellikleri

Malzeme	^a T _{ie} (°C)	^b T _{pe} (°C)	^c T _{se} (°C)	^d ΔH _e (J.g ⁻¹)	^e T _{ik} (°C)	^f T _{pk} (°C)	^g T _{sk} (°C)	^h ΔH _k (J.g ⁻¹)	n-hekzadekan içeriği (%ağır.)
N-hekzadekan	20,22	25,51	33,00	191,18	16,04	12,86	8,00	-192,56	100,0
MikroFDM	18,47	23,54	34,00	131,07	16,51	14,61	0,00	-129,68	68,55

^aDSC ısıtma eğrisinde ilk erime sıcaklığı

^bDSC ısıtma eğrisinde pik erime sıcaklığı

^cDSC ısıtma eğrisinde son erime sıcaklığı

^dDSC ısıtma eğrisinde erime entalpi

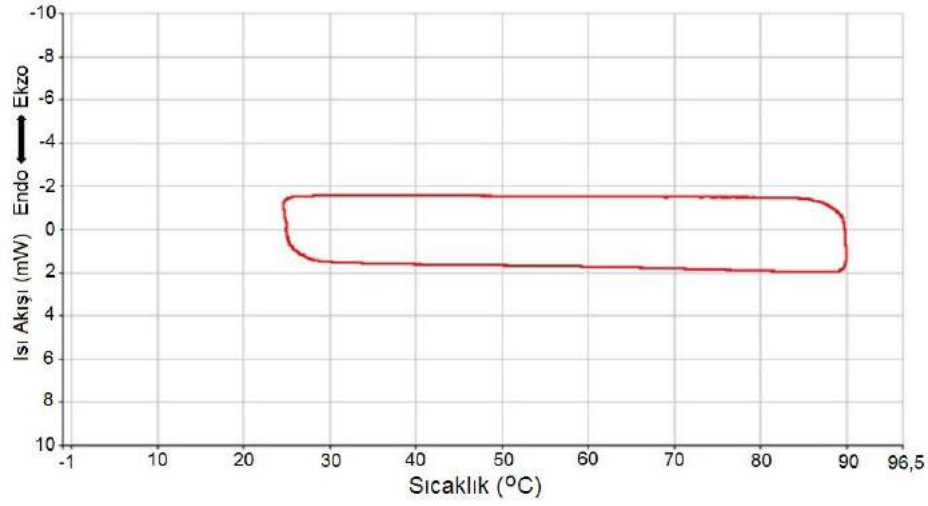
^eDSC soğutma eğrisinde ilk kristallenme sıcaklığı

^f DSC soğutma eğrisinde pik kristallenme sıcaklığı

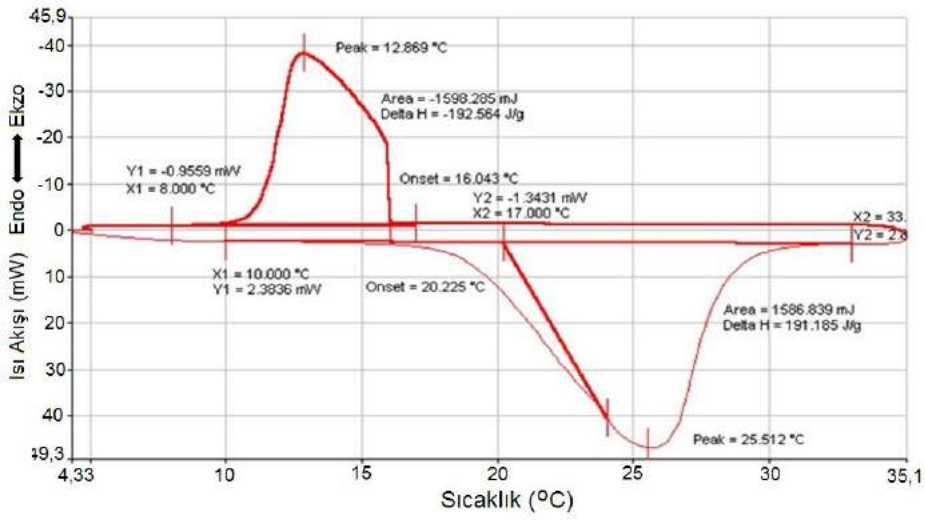
^gDSC soğutma eğrisinde son kristallenme sıcaklığı

^hDSC soğutma eğrisinde kristallenme entalpi

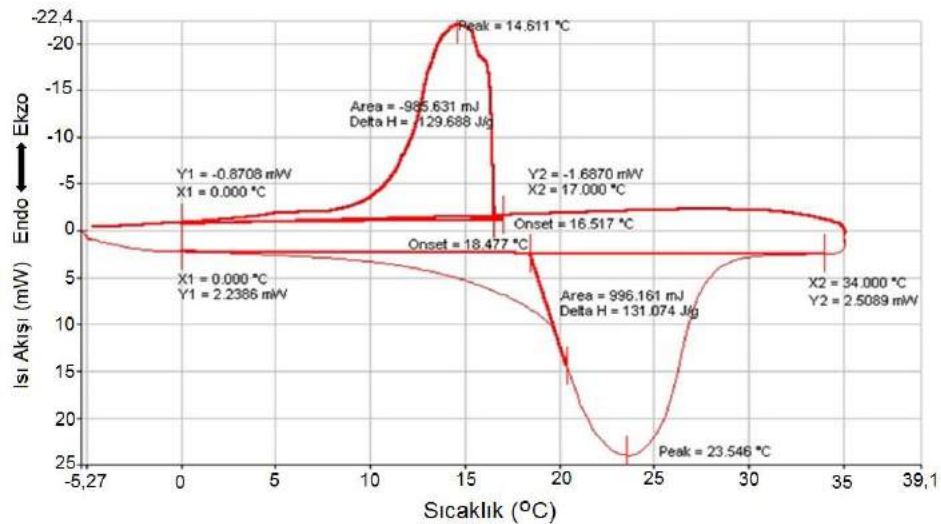
Mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM), n-Hekzadekanın ve St-DVB kopolimer boş kabuk malzemenin termogravimetrik analiz (TGA) ile elde edilen ısıl bozunma eğrileri Şekil 7'de verilmiş ve bunlara ait sonuçlar Tablo 3'de özetlenmiştir.



(a)



(b)

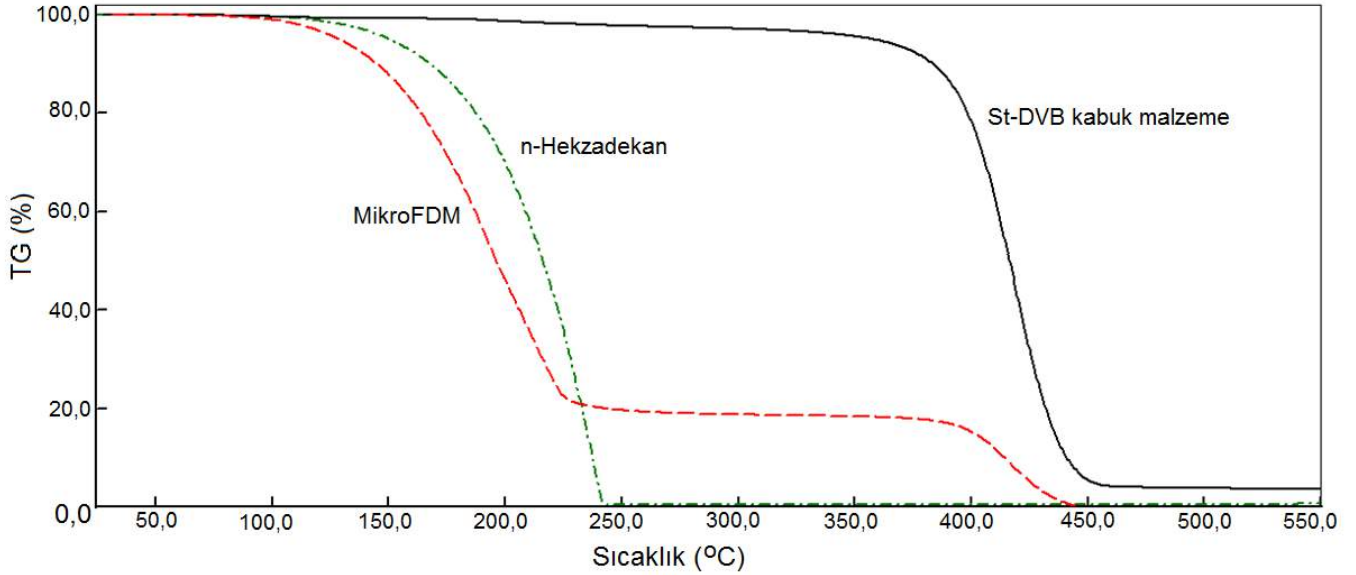


(c)

Şekil 6. (a) St-DVB kopolimer boş kabuk malzemenin, (b) n-Hekzadekanın ve (c) mikrokapsüllemiş FDM'nin (MikroFDM) DSC eğrileri

Şekil 7 ve Tablo 3'den görüldüğü üzere boş St-DVB kabuk malzeme 382,5-450,8 °C sıcaklık aralığında tek adımda bozunmakta ve bu sıcaklık aralığında ağırlığının %96,2'sini kaybetmektedir. Benzer şekilde n-hekzadekan faz değişim maddesi de tek adımda

bozunmakta ve 170,7-244,4°C sıcaklık aralığında ağırlığının %99,6'sını kaybetmektedir. Bununla birlikte mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM) ısıl bozunması iki adımda gerçekleşmiştir (Şekil 7). Mikrokapsüllerin ilk ısıl bozunma adımı 122,2-232,2 °C sıcaklık aralığında meydana gelirken, ağırlık kaybı %81,2 olmuştur. Mikrokapsüllerin 384,7-450,6 °C sıcaklık aralığında gerçekleşen ikinci ısıl bozunma adımıdaki bozunma sıcaklıkları boş kabuk malzemenin bozunma adımı ile uyumludur. Bu sonuçlara göre ikinci ısıl bozunma adımıdaki bozunma sıcaklıkları boş kabuk malzemeyle neredeyse aynıdır ve mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM) ve kabuk malzemenin benzer ısıl kararlılığa sahip olduğu söylenebilir.



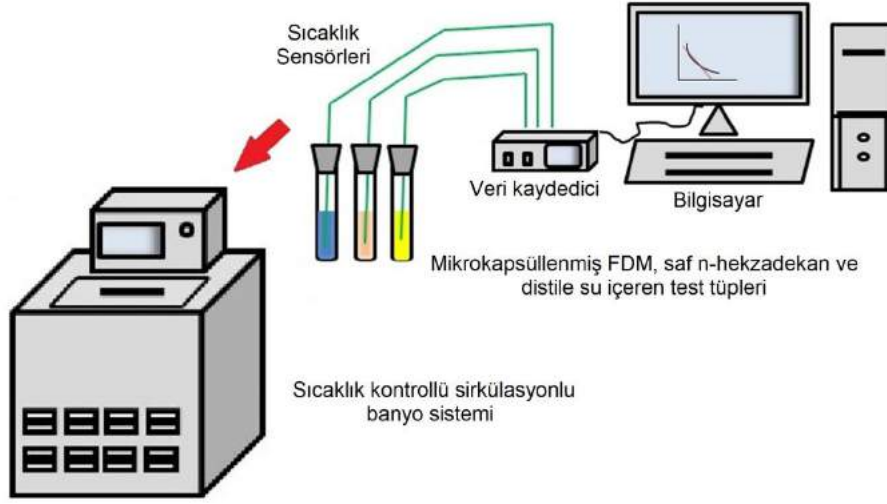
Şekil 7. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM), n-Hekzadekanın ve St-DVB kopolimer boş kabuk malzemenin termogravimetrik analiz (TGA) ile elde edilen ısıl bozunma eğrileri

Tablo 3. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin (MikroFDM), n-Hekzadekanın ve St-DVB kopolimer boş kabuk malzemenin TGA/DTG sonuçları

Örnek No	Örnekler	TGA bozunma sıcaklık aralığı 1.kademe (°C)	DTG pik 1.kademe (°C)	Kütle kaybı (%)	Bozunma hızı (%.dk ⁻¹)	TGA bozunma sıcaklık aralığı 2.kademe (°C)	DTG pik 2.kademe (°C)	Kütle kaybı (%)	Bozunma hızı (%.dk ⁻¹)
1	St/DVB kopolimer kabuk	-	-	-	-	382,5-450,8	418,9	96,2	21,28
2	Mikrokapsüllenmiş FDM (MikroFDM)	122,2-232,2	191,4	81,2	11,84	384,7-450,6	418,7	18,5	4,72
3	n-Hekzadekan	170,7-244,4	239,4	99,6	23,77	-	-	-	-

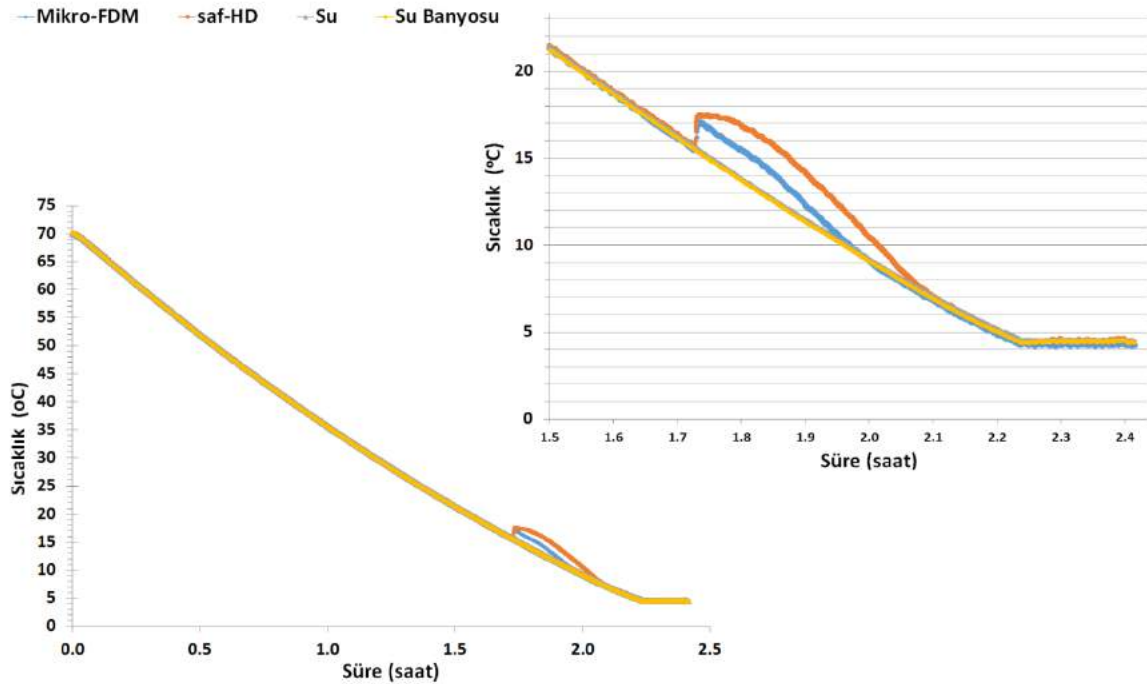
3.4 Isıl Özelliklerin T-Kayıt Yöntemi ile Belirlenmesi ve Test Edilmesi

Bu çalışmada, n-hekzadekan/poli(stiren-ko-divinil benzen) mikrokapsüllerinin ısıl performansının incelenmesinde T-Kayıt yöntemi kullanılmıştır. Mikrokapsüllenmiş FDM'nin ve saf n-hekzadekanın ısı depolama performansları Şekil 8'de görülen sıcaklık kontrollü sirkülasyonlu bir su banyosu ve veri kaydediciden (data logger) oluşan deneysel sistemde test edilmiştir. Bunun için, saf su (referans madde), saf n-hekzadekan ve mikroFDM deney tüpleri içerisine konularak sıcaklık kontrollü-sirkülasyonlu bir su banyosuna daldırılmıştır. Tüpler su banyosu kullanılarak ilk önce belirli bir sıcaklıktan numunelerin donma noktalarının altına soğutulmuş ve sonrasında erime noktalarının üzerindeki bir noktaya ısıtılmıştır. Bu sayede, tüp içinde bulunan maddelerin sıcaklık ve faz değişimleri gözlemlenerek ısıl-çiftler (termokupullar) vasıtasıyla sıcaklığın zamanla değişimi veri kayıt cihazı ile kayıt edilmiştir.

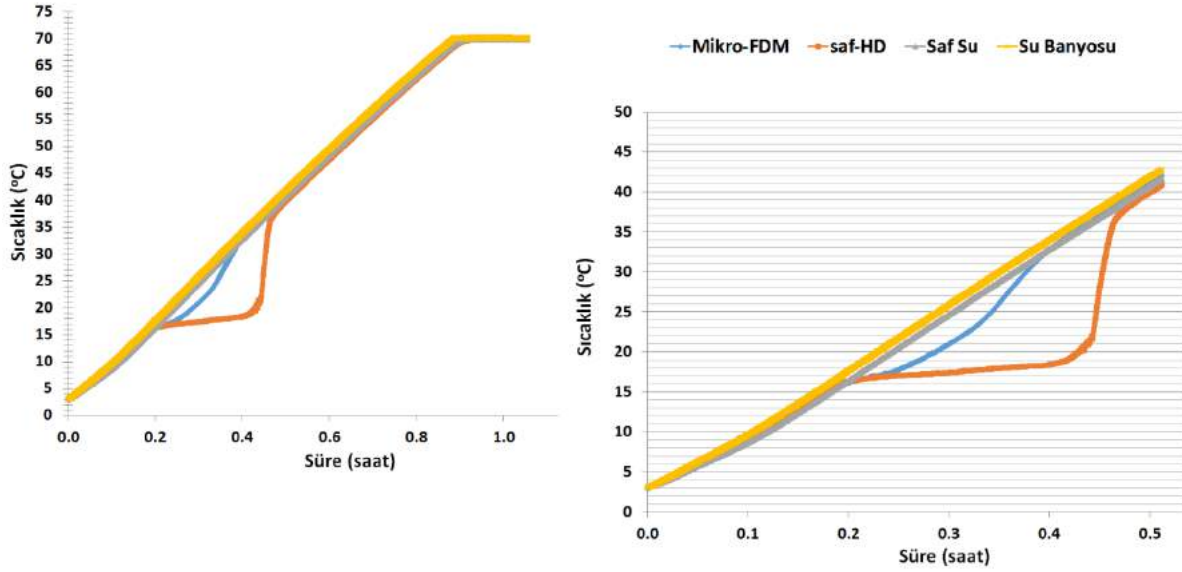


Şekil 8. Mikrokapsülenmiş FDM'nin ve saf n-hekzadekanın ısı performanslarının değerlendirildiği deneysel test sistemi

Deneysel çalışma sırasında banyo içinde homojen sıcaklık dağılımının sağlanması için bir pompa vasıtasıyla banyo akışkanı sürekli devir daim ettirilmiştir. Aynı zamanda, numunelerin ve banyonun anlık sıcaklık değişimleri K tipi ısı çiftleri (termokupullar) kullanılarak ölçülmüş ve veri toplama sistemi ile kaydedilmiştir. Test için deney tüplerine eşdeğer miktarlarda tartılan numuneler konulmuştur. İlk olarak, FDM'lerin soğutma esnasındaki ısı performansının belirlenmesi amacıyla soğutma prosesi incelenmiştir. Bunun için, banyo sıcaklığı 70°C civarına getirilmiş ve ısı dengesinin sağlanması beklenilmiştir. Bundan sonra, banyo hızla 4°C civarına soğutulmuştur. Böylece, soğutma prosesi boyunca saf-HD, mikro-FDM, saf su ve su banyosu sıcaklıklarının zamanla değişimi elde edilmiştir. Soğutma prosesindeki numunelerin sıcaklık değişimleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde, soğutma prosesi esnasında saf-HD ve mikro-FDM'e ait faz değişim sıcaklıklarının DSC analizi ile elde edilen değerler (Şekil 6b ve Şekil 6c) ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, soğutma esnasındaki faz değişim süreleri tespit edilmiştir. İkinci olarak, saf-HD ve mikro-FDM'nin ısıtma esnasındaki ısı performanslarını belirlemek üzere ısıtma prosesi çalışılmıştır. Bunun için, su banyosunun 4°C civarında ısı dengesine gelmesi beklenilmiştir. Sonrasında ise banyo 70°C civarına ısıtılmıştır. Böylece, ısıtma prosesi boyunca saf-HD, mikro-FDM, saf su ve su banyosu sıcaklıklarının zamanla değişimi elde edilmiştir. Isıtma prosesinde, numunelere ait anlık sıcaklık değişimleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde, ısıtma prosesi esnasında saf-HD ve mikro-FDM ait faz değişim sıcaklıklarının DSC analizi ile elde edilen değerleri (Şekil 6b ve Şekil 6c) teyit ettiği görülmüştür. Bununla beraber, ısıtma prosesi için faz değişim süreleri gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Soğutma prosesi boyunca Saf-HD, mikro-FDM, Saf Su ve Su Banyosu sıcaklıklarının zamanla değişimi



Şekil 10. Isıtma prosesi boyunca Saf-HD, mikro-FDM, Saf Su ve Su Banyosu sıcaklıklarının zamanla değişimi

Bu çalışmada, T-kayıt yöntemi kullanılarak soğutma prosesi verileri kullanılarak elde edilen soğutma eğrilerinin altında kalan alanlar yardımıyla ve Eşitlik (2-13) kullanılarak mikrokapsülenmiş faz değişim maddesi için (MikroFDM) kristallenme gizli ısı değeri hesaplanmıştır. Tablo 4'te T-kayıt yöntemi kullanılarak MikroFDM için elde edilen bulgular DSC analizi ile belirlenen bulgular ile karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Görüldüğü üzere T-kayıt yöntemiyle elde edilen sonuçlar, DSC verileri ile uyumludur.

Tablo 4. MikroFDM için DSC analizi ve T-kayıt yöntemi ile belirlenen ısı özelliklerinin karşılaştırılması

Malzeme	^a T _{ik} (°C)	^b T _{pk} (°C)	^c T _{sk} (°C)	^d ΔH _k (J.g ⁻¹)
MikroFDM (DSC analizi: Deneysel Yöntem)	16,51	14,61	0,00	129,68
MikroFDM (T-Kayıt Yöntemi: Deneysel + Sayısal yöntem)	15,50	14,00	6,80	122,48

^aT-kayıt soğutma eğrisinde ilk kristallenme sıcaklığı

^bT-kayıt soğutma eğrisinde pik kristallenme sıcaklığı

^cT-kayıt soğutma eğrisinde son kristallenme sıcaklığı

^dT-kayıt soğutma eğrisinde kristallenme entalpisi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, faz değişim maddesi olarak n-hekzadekan, binalarda yalıtım amaçlı sıklıkla kullanılan St-DVB kopolimer kabuk ile mikro boyutta faz inversiyon emülsifikasyonu yöntemiyle kapsülenmiştir. Elde edilen kapsüllerin %FDM içeriği (%n-hekzadekan içeriği) DSC analiz sonuçlarından yararlanılarak yapılan hesaplama sonucu %68,55 olarak bulunmuş, FT-IR analiz sonucu ise kapsülleme işleminin başarıyla gerçekleştirildiğini ortaya koymuştur. Mikrokapsülenmiş FDM'nin (MikroFDM) Taramalı Elektron Mikroskopunda gerçekleştirilen analizleri, mikrokapsülenmiş FDM'nin (MikroFDM) hemen hemen küresel formda meydana geldiğini ve ortalama partikül çapının $0,206 \pm 0,035 \mu\text{m}$ olduğunu göstermiştir. Kapsüllerin boyutunun $1,0 \mu\text{m}$ 'nin altında olması nedeniyle nano boyutta elde edildikleri söylenebilir. Ayrıca, FDM kapsüllerin boyutları $0,14 \mu\text{m}$ ile $0,30 \mu\text{m}$ arasında değişen dar ve homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. TGA sonuçları, mikrokapsülenmiş FDM'nin (MikroFDM) yüksek ısı kararlılığına sahip olduğunu ortaya koymuştur. DSC analiz sonuçları ise St-DVB ile kapsüle edilmiş n-hekzadekanın sahip olduğu faz değişim sıcaklık aralığı ($14,61-23,54 \text{ }^\circ\text{C}$) ve erime entalpisi ($131,074 \text{ J/g}$) ile düşük sıcaklıklı ısı depolama uygulamaları için potansiyel bir aday olduğunu göstermiştir. Bu verilere göre, üretilen mikrokapsüller ve saf n-hekzadekanın ısı performansı laboratuvar ölçekli bir sıcaklık kontrollü sirkülasyonlu bir banyo sisteminde test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, DSC analizinden bulunan entalpi değeri ($129,68 \text{ J/g}$) ile T-Kayıt (deneysel + sayısal yöntem) ile bulunan entalpi değeri birbirine oldukça yakındır ve bu çalışma için yaklaşık %5,5'lik bir farkla $122,48 \text{ J/g}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar temelinde, hazırlanan mikrokapsüllerin görece yüksek ısı depolama kapasitesine sahip oldukları bulunmuştur. Bunun yanı sıra, T-Kayıt yöntemi ile yapılan uygulamada erime ve katılma sıcaklıklarının DSC analizi ile uyumlu olduğu teyit edilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen mikrokapsüllerin sahip olduğu ısı depolama kapasiteleri, faz değişim sıcaklık aralığı, boyutları ve kabuk malzemenin uyumu dikkate alındığında binalarda yalıtım amaçlı iç mekan ısı konforunun sağlanması ve enerji tüketiminin azaltılması konusunda fayda sağlayabileceği ve yapı malzemesine entegre edilerek kullanımının uygun olabileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın DSC analizlerinin gerçekleştirilmesindeki yardımlarından ötürü Dr. Ali Karaipekli'ye (Çankırı Karatekin Üniversitesi) teşekkür ederiz.

Simge Listesi

A	: Alan (br^2)
AIBN	: 2,2'-azobisisobütironitril
$c_{p,katı}$: katı faz özgül ısısı ($kJ/kg.°C$)
$c_{p,sıvı}$: sıvı faz özgül ısısı ($kJ/kg.°C$)
CTAB	: Setil Trimetil Amonyum Bromür
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTG	: Diferansiyel Termogravimetrik Analiz
DVB	: Divinilbenzen
FDM	: Faz Değişim Maddesi
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kıızıl Ötesi Spektrometresi
HD	: n-hekzadekan
h	: Konveksiyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
h_e	: erime gizli ısısı (kJ/kg)
h_k	: kristallenme gizli ısısı (kJ/kg)
m	: Madde miktarı (g)
MikroFDM	: Mikrokapsüllenmiş Faz Değişim Maddesi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
St	: Stiren
TGA	: Termogravimetrik Analiz
t	: Zaman (Saniye)
T	: Sıcaklık ($°C$)
ΔH	: Entalpi Değişimi

Alt Simgeler

d	:donma
e	:erime
i	:ilk
k	:kristallenme
o	:referans
s	:son
ie	:ilk erime
pe	:pik erime
se	:son erime
ik	:ilk kristallenme
pk	:pik kristallenme
sk	:son kristallenme

Kaynakça

- Alay, S. Göde, F., Alkan, C. (2009). Isıl Enerji Depolama İçin Poli(etil akrilat)/Hekzadekan Mikrokapsüllerinin Üretilmesi ve Karakterizasyonu. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 3, No: 3, 33-46.
- Bo, H., Gustafsson, E.M., Setterwall, F. (1999). Tetradecane and hexadecane binary mixtures as phase change materials (PCMs) for cool storage in district cooling systems. *Energy*, 24, 1015–1028.
- Bo, H., Martin, V., Setterwall, F. (2003). Liquid–solid phase equilibrium study of tetradecane and hexadecane binary mixtures as phase change materials (PCMs) for comfort cooling storage. *Fluid Phase Equilibria*, 212, 97–109.
- Fang, G., Li, H., Chen, Z., Liu, X. (2010). Preparation and characterization of flame retardant n-hexadecane/silicon dioxide composites as thermal energy storage materials. *Journal of Hazardous Materials*, 181,1004–1009.
- Gao, G.B., Qian, C.X., Gao, M.J. (2010). Preparation and characterization of hexadecane microcapsule with polyurea–melamine formaldehyde resin shell materials. *Chinese Chemical Letters*, 21,533–537.
- Gondora, W., Doudin, K., Nowakowski, D.J., Xiao, B., Ding, Y., Bridgwater, T., Yuan, Q. (2016). Encapsulation of phase change materials using rice-husk-char. *Applied Energy*, 182, 274–281.

- Hong, H., Kim, S.K., Kim, Y-S. (2004). Accuracy improvement of T-history method for measuring heat of fusion of various materials, *International Journal of Refrigeration*, 27, 360–366.
- Jeon, J., Jeong, S.G., Lee, J-H., Seo, J., Kim, S. (2012). High thermal performance composite PCMs loading xGnP for application to building using radiant floor heating system. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 101, 51–56.
- Karaipekli, A., Sarı, A. (2016). Development and thermal performance of pumice/organicPCM/gypsum composite plasters for thermal energy storage in buildings, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 149, 19–28.
- Kim, S., Chang, S.J., Chung, O., Jeong, S-G., Kim, S. (2014). Thermal characteristics of mortar containing hexadecane/xGnPSSPCM and energy storage behaviors of envelopes integrated with enhanced heat storage composites for energy efficient buildings. *Energy and Buildings*, 70, 472–479.
- Lashgari, S., Arabi, H., Mahdavian, A.R., Ambrogi, V. (2017). Thermal and morphological studies on novel PCM microcapsules containing n-hexadecane as the core in a flexible shell. *Applied Energy*, 190, 612–622.
- Mert M.S., Sert M., Mert H.H. (2018). Isıl Enerji Depolama Sistemleri İçin Organik Faz Değişiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 161-174.
- Mert H.H., Mert M.S. (2019a). Preparation and characterization of encapsulated phase change materials in presence of gamma alumina for thermal energy storage applications. *Thermochimica Acta*, 681, 178382.
- Mert M.S., Mert H.H., Sert, M. (2019b). Microencapsulated Oleic–Capric Acid/Hexadecane Mixture as Phase Change Material for Thermal Energy Storage. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136, 1551-1561.
- Peck, J.H., Kim, J-J., Kang, C., Hong, H. (2006). A study of accurate latent heat measurement for a PCM with a low melting temperature using T-history method. *International Journal of Refrigeration*, 29, 1225-1232.
- Sarı, A., Karaipekli, A. (2012). Fatty acid esters-based composite phase change materials for thermal energystorage in buildings, *Applied Thermal Engineering*, 37, 208-216.
- Sarıer, N. Onder, E. (2007). Thermal characteristics of polyurethane foams incorporated with phase change materials. *Thermochimica Acta*, 454, 90–98.
- Sarıer, N., Onder, E., Ukuser, G. (2015). Silver incorporated microencapsulation of n-hexadecane and n-octadecane appropriate for dynamic thermal management in textiles. *Thermochimica Acta*, 613, 17–27.
- Velez, C., Khayet, M., Zárate, J.M.O. (2015). Temperature-dependent thermal properties of solid/liquid phase change even-numbered n-alkanes: n-Hexadecane, n-octadecane and n-eicosane. *Applied Energy*, 143, 383–394.
- Yinping, Z., Yi, J., Yi, J. (1999). A simple method, the T –history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials. *Measurement Science and Technology*, 10, 201–205.



AMPK'nin Biyokimyası: Etki Mekanizmaları ve Diyabetin Tedavisindeki Önemi

Cemalettin Kışmıroğlu¹, Serdar Cengiz¹, Mustafa Yaman^{1*}

¹Istanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9692-0204)

(İlk Geliş Tarihi 17 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.676335)

ATIF/REFERENCE: Kışmıroğlu, C., Cengiz, S. & Yaman, M. (2020). AMPK'nin Biyokimyası: Etki Mekanizmaları ve Diyabetin Tedavisindeki Önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 162-170.

Öz

Bir enerji sensörü olarak, 5'-adenozin monofosfat (AMP) ile aktive edilmiş protein kinaz (AMPK), metabolik yolları koordine ederek hücre enerji gereksinimini maksimum seviyede düzenler. Bir serin/ treonin protein kompleksi olan AMPK, üç ana alt birimden oluşur. AMPK'nin moleküler regülasyonu bu üç ana alt birimin fosforilasyonu ile olmaktadır. AMPK, düşük enerji seviyelerinde (AMP/ADP:ATP) aktive olmaktadır. Metabolizmada AMPK aktive olduğunda anabolik reaksiyonlar inhibe edilirken katabolik reaksiyonlar aktive edilmektedir. AMPK aktive olduğunda protein, yağ asitleri, glikojen ve kolesterol sentezi inhibe edilirken yağ asitlerinin oksidasyonu, kan glikoz seviyesini düzenlemede insülin bağımsız bir şekilde GLUT4 proteininin translokasyonu ve hasarlı hücrelerin yok edilmesi (otofaji) işlemini aktive edilir. AMPK'nin aktivasyonu LKB1 (serine-threonine kinase liver kinase B1) ve CaMKKβ (Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase β) kinazları tarafından da olmaktadır. Diyabetin tedavisinde AMPK'nin aktivasyonu metformin gibi bazı ilaçlar tarafından da olmaktadır. Farmasötik ilaçlara ek olarak, çok sayıda doğal olarak bulunan fitokimyasal bileşiklerin özellikle bazı polifenollerin AMPK'yi aktive ettiği gösterilmiştir. Bu polifenollerin hem AMPK'yi aktive ettiği hem de Tip 2 diyabetin komplikasyonlarını azalttığı da görülmüştür. Bunlar arasında en fazla bilinen polifenoller resveratrol, kuersetin ve kurmumin'dir. Bunlara ek olarak D vitamini ve K₁ vitamininin de AMPK'yi aktive ettiği ve GLUT4'ün translokasyonunu arttırdığı da görülmüştür. Görüldüğü gibi AMPK'nin aktivasyonunun artırılmasının diyabet başta olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde önemli olduğu görülmüştür. AMPK'nin aktivasyonunun artırılmasında egzersizin yanında fonksiyonel besinlerin ve vitaminlerinde önemli bir yeri olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: AMPK, GLUT4, Diyabet, İnsülin, Fenolik bileşikler, Vitamin

Biochemistry of AMPK: Mechanisms of Action and Importance in the Treatment of Diabetes

Abstract

As an energy sensor, 5'-adenosine monophosphate (AMP) - activated protein kinase (AMPK) coordinates metabolic pathways to maximize cell energy requirements. AMPK, a serine / threonine protein complex, consists of three main subunits. Molecular regulation of AMPK is achieved by phosphorylation of these three main subunits. AMPK is activated at low energy levels (AMP / ADP: ATP). When AMPK is activated in metabolism, anabolic reactions are inhibited and catabolic reactions are activated. When AMPK is activated, protein, fatty acids, glycogen and cholesterol synthesis are inhibited while oxidation of fatty acids, translocation of the GLUT4 protein, and the destruction of damaged cells (autophagy) are activated. Activation of AMPK is also mediated by LKB1 (serine - threonine kinase liver kinase B1) and CaMKKβ (Ca²⁺ / calmodulin-dependent protein kinase β) kinases. Some drugs such as metformin also mediate activation of AMPK in the treatment of diabetes. In addition to pharmaceutical drugs, a large number of naturally occurring

* Sorumlu Yazar: Istanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9692-0204, mustafa.yaman@izu.edu.tr

phytochemical compounds, especially some polyphenols, have been shown to activate AMPK. These polyphenols have been reported to both activate AMPK and reduce the complications of Type 2 diabetes. Among these, the most known and active polyphenols are resveratrol, quercetin and kurmumin. In addition, vitamin D and vitamin K₁ activate AMPK and increase the translocation of GLUT4. As seen, increasing the activation of AMPK has been shown to be important in the treatment of many diseases, especially diabetes. In addition to exercise, it appears to have an important role of functional nutrients and vitamins in increasing the activation of AMPK.

Keywords: AMPK, GLUT4, Diabetes, Insulin, Phenolic compounds, Vitamin

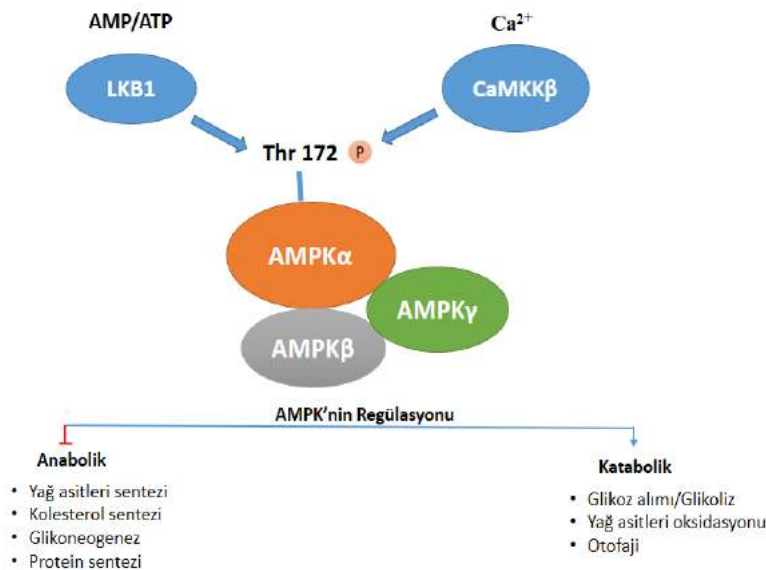
Giriş

5'-adenosine monophosphate (AMP) ile aktive edilmiş protein kinaz (AMPK) hücre enerji dengesinin korunmasında anahtar rol oynamaktadır. Bir hücresel enerji sensörü olarak AMPK, metabolik yolları koordine ederek hücre enerji gereksinimini maksimum seviyede düzenler (Mihaylova vd. 2011; Hardie vd. 2012). AMPK, karaciğer, kas ve yağ dokusunda gerçekleşen lipid, kolesterol ve glikoz metabolizmasını düzenler (Fryer vd. 2002; Saha vd. 2004; LeBrasseur vd. 2006). Günümüzde diyabetin tedavisinde AMPK'nin önemli bir rolü vardır. Metformin gibi sentetik ilaçlar, polifenoller ve egzersiz AMPK düzeyine etki ederek insülden bağımsız bir şekilde GLUT4 proteininin translokasyonunu artırır ve böylece kandaki glikozun hücre içine girişi gerçekleşir (Kim vd. 2016).

AMPK'nin Moleküler Regülasyonu

Bir serin/ treonin protein kompleksi olan AMPK, üç ana alt birimden oluşur (Şekil 1). Bunlar, bir katalitik α -alt birimi (α -1 ve α -2), bir iskelet β -alt birimi (β 1 ve β 2) ve bir düzenleyici γ -alt biriminden (γ 1, γ 2 ve γ 3) oluşur (Kim vd. 2016). AMPK, düşük enerji seviyelerinde (AMP/ADP:ATP) aktive olmaktadır. Örneğin egzersiz sırasında AMPK, ATP tüketen yolları (yağ asidi, protein ve kolesterol sentezi) kapatır ve ATP üreten prosesleri (glikoz alımı ve yağ asidi oksidasyonu) çalıştırarak hücrenin metabolik süreçlerini ve enerji dengesini düzenler (O'Neill, 2013). AMPK, AMP ve ADP tarafından fosforillenmedikçe α -alt birimin aktivasyonu gerçekleşmez. AMP ve ADP, AMPK'nin γ -alt biriminde bulunan Thr 172'ye bağlanarak AMPK'nin fosforilasyonunu artırarak aktive eder (Sanders vd. 2007; Xiao vd.2011). AMPK'nin AMP ve ADP tarafından fosforile edilmesiyle AMPK'nin aktivasyon hızı 100 kattan fazla artmaktadır (Sahlin vd. 1998).

AMPK'yi fosforile eden diğer kinazlardan birisi ise LKB1 (serine–threonine kinase liver kinase B1)'dir. Yapılan çalışmalarda iskelet kaslarında AMPK'nin fosforile edilmesinde LKB1 ana kinaz olarak gösterilmektedir. LKB1, AMPK'nin α -alt biriminin Thr-172'sini fosforilleyerek aktive eder. Bunun yanında CaMKK β (Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase β)'de aynı şekilde AMPK'nin α -alt biriminin Thr-172'sini fosforiller. AMP'nin AMPK'nin γ -alt birimine bağlanmasıyla LKB1'in AMPK'nin α -alt biriminde bulunan Thr-172'ye bağlanmasını arttırmaktadır. LKB1'den farklı olarak diğer bir kinaz olan, CaMKK β , ATP/ADP/AMP seviyelerinden bağımsız olarak hücre Ca²⁺ konsantrasyonunun artmasıyla aktive olmakta ve AMPK'yi fosforilleyerek aktive edebilmektedir (Sakamoto vd. 2005; Koh vd. 2006). Egzersiz sırasında iskelet kaslarının kasılmasıyla yoğun bir şekilde ATP harcanır. Bu süreçte hem AMP hem de ADP seviyeleri artarken ATP seviyesi düşer. Egzersiz sırasında AMP ve ADP, AMPK'nin α -alt birimi olan α -1 ve α -2'yi aktive etmektedir. Yoğun egzersiz sırasında yüksek oksijen gereksinimine bağlı olarak AMPK'nin α -1 alt birimi aktive edilirken düşük yoğunluklu egzersiz sırasında ise α -2 alt birimi aktive edilmektedir (Fuji vd.2000; Chen vd. 2000; Hayashi vd.2000).



Şekil 1. AMPK'nin moleküler regülasyonu.

AMPK'nin Metabolik Fonksiyonu

AMPK birçok farklı metabolik ve fizyolojik süreçleri düzenlemektedir. AMPK obezite, inflamasyon, diyabet ve kanser gibi birçok kronik hastalıklarda düzensiz olarak çalışır. AMPK'nin metabolik ve fizyolojik fonksiyonları bu hastalıkların önlenmesi ve tedavisi için oldukça önemlidir. Metabolizmada AMPK aktive olduğunda anabolik reaksiyonlar inhibe edilirken katabolik reaksiyonlar aktive edilmektedir. AMPK aktive olduğunda protein, yağ asitleri, glikojen ve kolesterol sentezi inhibe edilirken yağ asitlerinin oksidasyonu, kan glukoz seviyesini düzenlemesi (insülden bağımsız bir şekilde GLUT4 proteininin translokasyonu) ve hasarlı hücrelerin yok edilmesi (otofaji) işlemi aktive edilir (Jeo, 2016; Kim vd. 2016).

Yağ Metabolizması

AMPK, yağ asitleri (FA), kolesterol ve trigliseritlerin (TG) novo sentezini inhibe ederken FA alımını ve β -oksidasyonu aktive eder. AMPK inhibe edici fosforilasyonunu indükleyerek FA sentezini iki şekilde engeller. Asetil CoA'nın Malonil CoA'ya karboksillemesi yağ asidi sentezinin ilk basamağıdır. Bu reaksiyon Asetil-CoA karboksilaz 1 (ACC1) ile katalizlenir ve yağ asidi sentezinin hız sınırlayıcı basamağıdır (Calamaras vd. 2012; Hardie vd. 2002). AMPK bu enzimi inhibe ederek yağ asitlerinin sentezini engeller. Hücrelerde aşırı miktarda FA'nın birikmesi Triaçil Gliserol (TAG) olarak depolanmasına neden olur. TAG sentezi gliserol-3-fosfat açıltransferaz tarafından katalizlenir. AMPK bu enzimi inhibe ederek TAG sentezini engeller. Fakat AMPK'nin bu düzenlemeyi doğrudan fosforilasyon ile ya da dolaylı düzenleme yoluyla inhibe edip etmediği belirsizdir (Muoio vd. 1999). Bunun yanında AMPK kolesterol sentezinde hız sınırlayıcı enzim olan 3-Hidroksi-3-Metilglutaril CoA (HMG-CoA) redüktazın fosforilasyonunu indükleyerek kolesterol sentezini inhibe eder (Habets vd. 2009). AMPK lipid anabolizmasını inhibe ederken lipid katabolizmasını aktive eder. AMPK, plazma membranında bulunan yağ asitleri taşıyıcı protein olan CD36'nın translokasyonunu arttırarak hücre içine FA alımını arttırır. Fakat bu mekanizma tam olarak anlaşılmanmıştır. Hücre içine alınan FA'lar, karnitin palmitoiltransferaz-1 (CPT-1) ile mitokondri içine alınır ve yağların beta oksidasyonu gerçekleşir. AMPK, CPT-1'in aktivitesini arttırır ve Asetil-CoA karboksilaz 2 (ACC2)'nin fosforilasyonu da malonil-CoA oluşumunu inhibe ederek yağ asitleri sentezini engeller. Bunun yanında AMPK yağ asitleri oksidasyonuna bağlı olarak ortamdaki serbest yağ asitleri miktarını kontrol eder. Bu kontrol ise TAG'lerin yapımı (lipogenez) ya da yıkımını (lipoliz) arasındaki dengenin sağlanması ile olur (Habets vd. 2009; Liv vd. 2011). Ayrıca AMPK hücre membranında kolesterol seviyesini düşürerek insulin tarafından uyarılan GLUT4'ün etkisini arttırdığı da bilinmektedir (Habberger vd. 2012).

Protein Sentezi

Protein sentezi yüksek enerji gerektiren bir prosedir. Fakat hücrenin yüksek enerji ihtiyacından dolayı bu proses inhibe olur. Rapamisin (mTOR) bir serin / treonin kinazdır ve ribozomal protein sentezinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. İskelet kas kütlelerinin korunmasında (mTOR)'un önemi büyüktür. Hücresel enerji ihtiyacına bağlı olarak AMPK protein sentezinin gerçekleşmesinde rol alan mTOR'u inhibe ederek protein sentezini durdurur (Hoppe vd. 2009; O'Neill, 2013).

Otofaji

Hasarlı hücrelerin yok edilmesi (otofaji) işleminde görev alan bir serin / treonin protein kinaz olan ULK1/2 AMPK tarafından fosforillenerek aktive edilir ve hücrenin otofaji işlemi gerçekleşir. Mitekondriyal metabolizmada moleküler oksijenin kullanılmasıyla superoksit ($\bullet O_2^-$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil serbest radikaller ($\bullet OH$) ortaya çıkar. Bu serbest radikaller yağlar, proteinler ve DNA'ya hasar verir ve hücrenin ölümüne ya da kısmi hasarına neden olurlar. AMPK tarafından aktive edilen ULK1/2 hasar görmüş hücrelerde otofaji işlemini gerçekleştirir (Kosztelnik vd. 2018).

Glikozun Regülasyonu

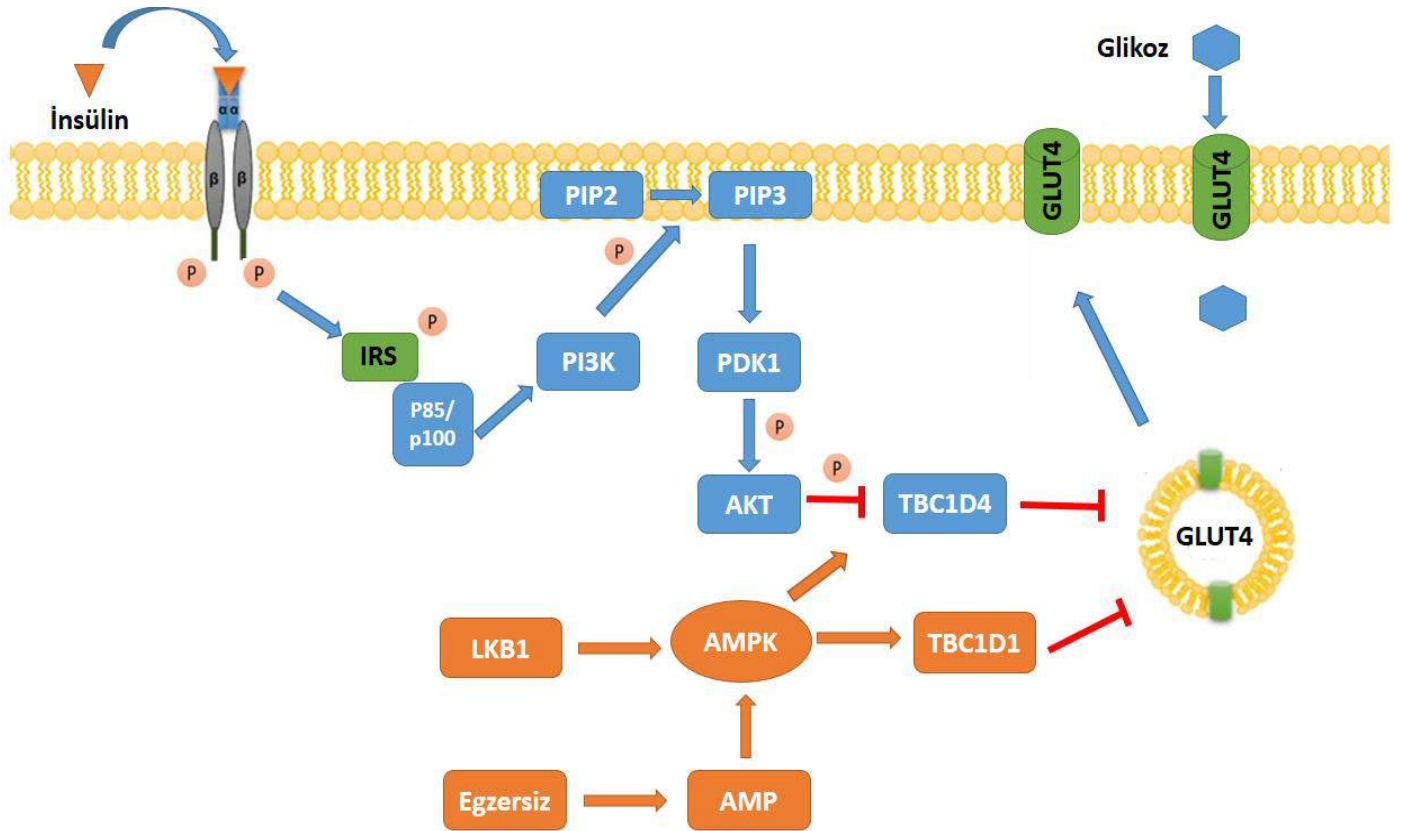
Diyetle almış olduğumuz ana karbonhidrat kaynağımız nişastadır. Bunun yanında meyve, sebze ve süt ürünlerinden de belirli miktarda serbest glikoz ve diğer serbest monosakkaritler alınır. Nişasta glikoz birimlerinin α 1,4 yada α 1,6 bağları ile birbirine bağlanmaları ile oluşur. Nişastanın sindirimi daha çok ince bağırsakta pankreastan salgılanan α amilaz enzimi ile gerçekleşir. Sindirim sonucu oluşan serbest glikozlar ince bağırsaktan emilir ve kana karışır. Kan glikoz düzeyi belirli sınırlara ulaştığında pankreasın beta hücrelerinden insülin hormonu salgılanır (Butterworth vd. 2011; Mann vd. 2007; Ao vd. 2007). İnsülin hücre membranında bulunan insulin reseptörlerine bağlanır. İnsülin reseptörleri iki α ve iki β alt biriminden oluşan tetramer yapıda bir glikoproteindir. İnsülin reseptörlerinin α alt zincirleri membranın dış yüzeyinde β zincirleri ise sitozolik yüzeyde yer alır. İnsülin bu reseptörün α alt birimine bağlandığında insülin reseptörü aktiflenir. Reseptörün uyarılmasıyla β alt birimindeki tirozin kalıntıları fosforillenir. Fosforillenen tirozin kinaz insulin reseptörü (IRS)'nün izoformlarını fosforiller ve IRS aktif hale gelir. Daha sonra p85 düzenleyici alt birim ve katalitik p100 alt birim ile birlikte fosfotidilinozitol 3 kinaz (PI3K) IRS'ye bağlanır. Aktiflenmiş PI3K membran lipidi olan fosfotidilinozitol 4, 5- bifosfatı (PIP2) fosforiller ve PIP2'yi fosfotidilinozitol 3, 4, 5- trifosfata (PIP3) dönüştürür. PIP3'ün uyarılmasıyla ile bir serin/treonin kinaz olan fosfotidilinozitol bağımlı kinaz 1 (PDK-1) aktifler. Daha sonra AKT, PDK-1 tarafından fosforillenir ve aktif hale gelir. Aktif hale gelen AKT, AS160 (TBC1D4) 'ı fosforile eder ve AS160 inhibe olur. AS160, GLUT4 proteininin vesiküllerdeki traslokasyonunu inhibe eder. Fakat AS160'ın AKT tarafından fosforillenmesiyle de AKT seviyesi azalır ve GLUT4'ün translokasyonu artar. GLUT4'ün hücre membranına bağlanmasıyla glikozun hücre içine alımı gerçekleşir (Shaw vd. 2011; O'Neill, 2013; Świdarska vd. 2018). Buraya kadar insüline bağımlı şekilde GLUT4'ün translokasyonundan bahsedilmiştir. İnsülden bağımsız olarak da GLUT4'ün translokasyonu, AMPK'nin aktif hale gelmesi ile de gerçekleşir. Bu mekanizma AMPK'nin AMP, LKB1 ve egzersiz ile

uyarılması ile olur. Uyarılan AMPK, GTPase aktive edici protein olan TBC1D1'i fosforilleyerek inhibe eder ve GLUT4'ün translokasyonu insülden bağımsız olarak gerçekleşir (Şekil 2) (Brunmair vd. 2004; Frøsieg, 2010).

Hücre enerji dengesine göre (AMP/ATP) AMPK aktivasyonu sağlanır. AMPK ise NAD⁺ oluşumunu aktive eder ve NAD⁺/NADH dengesi NAD⁺ yönünde artar. NAD⁺ artışına bağlı olarak Sirtuin 1 (SIRT1)'in aktivasyonunda artar. SIRT ise LKB1'i aktive etmesiyle AMPK'nin tekrar aktivasyonu sağlanır. Görüldüğü gibi SIRT1 ve AMPK, glikozun hücre içine alınmasında insülden bağımsız sinyal molekülleri olarak ortaya çıkmaktadır (Fulco ve Sartorelli, 2008).

Hücrenin artan ATP ihtiyacına bağlı olarak AMP/ATP oranı değişmektedir. AMPK, AMP tarafından aktive edilir. Hücrenin enerji ihtiyacına bağlı olarak AMPK, glikojen sentaz (GS) enzimini fosforilleyerek inhibe eder. Bunun yanında AMPK, glikojen fosforilaz enzimini de fosforile ederek glikojenin yıkımını sağlar. Bunun yanında AMPK, glikolizin piruvat yönüne aktive edilmesini sağlayan Fosforfruktokinaz-1 enzimini aktive eder. Bu aktivasyon AMPK'nin Fruktoz 2, 6 bifosfat konsantrasyonunu artırılması ile olur (Marsin vd. 2000;2002;Hunter vd. 2011).

Aşırı beslenme ve obezitenin, insülin direnci, diyabet ve kanser gibi kronik hastalıklar için kritik risk faktörleri olduğunu bilinmektedir. Özellikle, üç ana besin kaynağımız olan glikoz, yağ asitleri ve amino asitlerin birikimi AMPK'yı baskılar ve insülin direncine neden olur (Coughlan vd. 2013). Yüksek glikoz seviyeleri AMP/ATP oranını etkilemeden diğer mekanizmalar yoluyla AMPK'yı inhibe eder (Itani vd. 2003). Birincisi, NAD⁺/NADH oranının azalması SIRT1'in ekspresyonunun azalmasına yada dolaylı inhibe olmasına neden olur. Böylece SIRT1-LKB1 yolu inhibe olur. İkincisi, yüksek glikoz seviyeleri, AMPK'nin α alt biriminin fosforillenmesini engeller. Bunun yanında yüksek glikojen birikimi ise AMPK'nin aktivasyonunu yavaşlatır. Yüksek seviyede amino asit alımı, özellikle dallı zincirli amino asitler, ATP seviyelerini artırarak AMP/ATP oranını azaltır ve AMPK'yı inhibe eder; fakat, bu mekanizma ile ilgili veriler tam olarak açıklanamamıştır. Yüksek miktardaki doymuş yağ asitleri, sırasıyla PKC ve PP2A'yı aktive eden DAG ve seramid birikimini indükleyerek AMPK'yı inhibe eder. Aşırı besin alımı ile birlikte görülen hiperinsülinemi, AKT'nin fosforilasyonu indükleyerek AMPK'yı inhibe eder (Du vd. 2007; Saha vd. 2010; 2011).



Şekil 2. GLUT4'ün insüline bağımlı ve AMPK yolağı ile insülden bağımsız olarak traslokasyonu.

Leptin

Adipositler tarafından insülin varlığında salgılanan tokluk ve anti-obezite hormonu olan leptin, iştahı bastırmak için hipotalamusta AMPK'yı inhibe ederek aşırı beslenmeyi önler. Buna karşılık kaslarda leptin hem doğrudan AMP/ATP oranını artırarak hem de hipotalamus-merkezi sinir sistemi eksenini yoluyla dolaylı olarak iskelet kasları gibi periferik dokularda AMPK'yı aktive eder. Fakat hipotalamus ve periferik dokulardaki AMPK'nin bu aktivasyonu tam olarak açıklanamamıştır. Obez bireylerde leptin direnci sonucu SOCS3 proteinin miktarı artmasıyla AMP/ATP oranı azalır ve bunun sonucunda AMPK'nin aktivasyonu azalır (Minokoshi vd. 2002; Steinberg vd. 2006; Watt vd.2006).

Tip 2 diyabet, hiperglisemi, hiperinsülinemi ve hiperlipidemi insülin direncinin neden olduğu metabolik bir sendromdur. Uzun süreli aşırı beslenme insülin direncine neden olan faktörlerden biridir. Bunun yanında serbest yağ asitlerinin miktarının artması iskelet kasları, adipositler ve karaciğerde insülin alıcı reseptörün (IRS1/2)'ün fosforilasyonunu engelleyerek insülin direncine neden olmaktadır. Kalori kısıtlaması ve sağlıklı beslenmenin yaşlanma üzerine olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Egzersiz ve kas kasılması AMPK düzeyini artırırken yaşlanma ile birlikte AMPK aktivasyonu azalır (Jeon, 2016). Fiziksel aktivite esnasında AMPK'nin aktivasyonu kadınlarda erkeklere göre daha azdır. Bunun nedeni erkeklere göre oksidatif Tip I kas liflerinin yüzdesi ve kılcal damar yoğunluğunun fazla olmasından dolayı kadınların daha az metabolik strese maruz kalmalarıdır (Roepstorff vd. 2006).

AMPK'nin Aktivatörleri

Metformin, *Galega officinalis* bitkisinde bulunan guanidine'nin sentetik türevidir. Metformin hepatik glikoz üretimini azaltma ve periferik insülin duyarlılığını artırma kabiliyeti nedeniyle birinci basamak anti-diyabetik bir ilaçtır. Metformin AMPK'yi uyararak yağ asidi oksidasyonu ve glikoz alımını artırır. Metformin mitokondriyal solunum zincirinin kompleks I'ini inhibe ederek AMP/ATP oranının artmasına neden olur. Ayrıca epidemiyolojik bir çalışmada diyabetik hastalarda metformin kullanımının çeşitli kanserlerin insidansını önemli ölçüde azalttığını gösterilmiştir (Doran ve Halestrap, 2000; Zhou vd. 2001; Foretz vd. 2014).

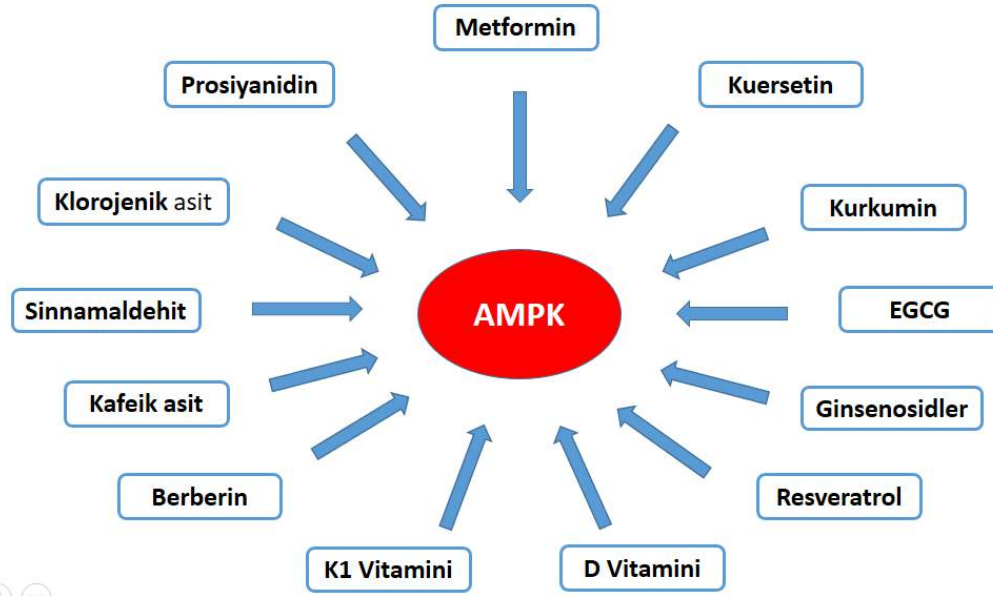
AMPK'nin aktivasyonu, hücre ATP, ADP veya AMP seviyelerinde önemli bir değişiklik olmadan doğrudan aktive edici bileşikler ile de olabilir. Doğrudan aktive edici bu bileşikler AMPK kompleksinin alt birimlerine (alfa, beta, gama) bağlanarak AMPK'nin konformasyonunda değişikliklere yol açar ve aktivasyon sağlanır. Bazı doğrudan aktive edici bileşikler 5-Aminoimidazole-4-carboxamide riboside, Thienopyridone (A-769662), benzimidazole (Compound 911) türevleri, Salicylate (pro-drug of Aspirin), Compound-13,PT-1 ve MT 63-78 (Debio0930)'dir (Kim vd. 2016).

Farmasötik ilaçlara ek olarak, çok sayıda doğal olarak bulunan fitokimyasal bileşikler özellikle bazı polifenoller AMPK'yi aktive ettiği gösterilmiştir (Şekil 3). Bu polifenollerin hem AMPK'yi aktive ettiği hem de Tip 2 diyabetin komplikasyonlarını azalttığı da belirtilmiştir. Bunlar arasında en bilinen ve en çok tki gösteren polifenoller kırmızı üzümlerde bulunan resveratrol'dür (Baur vd. 2006; Park vd. 2007). Resveratrol, anti-kanser ve anti-hiperlipidemik gibi sağlığı geliştirici özellikleri vardır. Resveratrol hem AMPK'yi hem de Akt'nin fosforilasyonunu aktive ederek GLUT4'ün translokasyonunu teşvik ettiği görülmüştür (Penumathsa vd. 2008). Diğer polifenoller olan meyve, sebze ve tahıllar gibi birçok bitkide bulunan kuersetin (Ahn vd. 2008), yeşil çayda bulunan epigallocatechin gallate (Lee vd. 2006), coptis chinensis bitkisinde berberin (Hwang vd. 2005) ve Curcuma longa'de bulunan kurkumin'in AMPK'yi aktive ettiği bilinmektedir (Kim vd. 2009). AMPK'nin bu bileşikler tarafından aktive edilebilmesi için AMP seviyelerinin yükselmesi gerekir. Çünkü bu bileşiklerin çoğunun mitokondriyal ATP üretimini inhibe ettiği bilinmektedir. Resveratrol, kuersetin, epigallocatechin-3-gallate ve kurkumin mitokondriyal F1F0 - ATPase/ATP sentazı, berberin ise solunum zincirindeki kompleks I'ini inhibe eder. Dolayısıyla bu polifenoller tarafından AMPK'nin aktive edilmesi için AMP/ATP oranının yüksek olması gerekir. Bu mekanizmanın etkin bir şekilde çalışması için özellikle egzersiz ile desteklenmesi gerekir (Zheng ve Ramirez; Gledhill vd. 2007).

Klorojenik asit, insülin sinyal mekanizmasında hem AKT'nin fosforilasyonunu artırır hem de insülin bağımsız bir şekilde AMPK'nin fosforilasyonunu indükleyerek GLUT4'ün translokasyonunu artırır (Ong vd. 2012). Kafeik asitte aynı şekilde AMPK'nin aktivasyonunu indükleyerek insülin bağımsız şekilde GLUT4'ün translokasyonunu artırarak glikozun hücre içine alınmasını sağlar (Yagasaki vd. 2014). Bir çay kateşini olan Epigallocatechin gallat (EGCG), anti-diyabetik olarak bilinir. Sıçanlar ile yapılan bir çalışmada oral olarak bir seferde EGCG (75 mg/kg vücut ağırlığında) verildiğinde sıçanların iskelet kasında GLUT4 translokasyonunu arttırdığı görülmüştür (Ueda vd.2008). Kakao likör prosiyanidin ekstresi genel olarak % 4.3 kateşin, % 6.1 epikateşin ve % 39.4 prosiyanidin'den oluşmaktadır. Yüksek yağlı diyet ile beslenen fareler 13 hafta boyunca kakao likör prosiyanidini ile beslendiğinde kakao likör prosiyanidininin farelerde hiperglisemi, glikoz intoleransı ve yağ birikimini bastırdığı görülmüştür. Bunun yanında kakao likör prosiyanidin'nin AMPK'yi aktive ederek GLUT4 translokasyonunu arttırdığı görülmüştür (Yagasaki, 2014).

Kurkumin zerdeçalda bulunan bir bileşendir. Sıçanlar ile yapılan bir çalışmada AMPK'yi aktive ettiği ve hücre içine glikoz alımını arttırdığı bildirilmiştir. Bunun yanında kurkuminin prediyabetik hastalarda yararlı etkileri olduğu da bildirilmiştir. Yapılan bir klinik çalışmada 9 ay boyunca prediyabetik hastalara kurkumin verilmiş (1500 mg/gün), sonuçta kurkumin tedavisinin, çok küçük yan etkilerle birlikte, hücrelerin genel fonksiyonunu iyileştirdiği ve prediyabetik hasta sayısını azalttığı da görülmüştür (Chuengsamarn. vd. 2012).

Günümüzde alternatif tıpta tarçının içinde bulunan sinamaldehyt diyabetin tedavisinde kullanılmaktadır. Sinamaldehyt, diyabetik sıçanların iskelet kasında GLUT4'ün translokasyonunu aktive ettiği ve hücre içine glikozun alımını arttırdığı görülmüştür. Tarçın-polifenol ekstraktı ile zenginleştirilmiş bir sıvı gıda matrisi, obez ve hiperglisemik farelere verildiğinde kan şekerini düzenlediği ve Tip 2 diyabette glisemik kontrolü sağladığı bildirilmiştir (Anand vd. 2010).



Şekil 3. AMPK'nin bazı aktivatörleri.

Panax ginsengin Tip 2 diyabet ve metabolik sendrom üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda bugüne kadar Panax bitki cinsinden yapısal olarak 80'den fazla ginsenosid izole edilmiştir. Bu ginsenosidlerden Rb1, Rb2, Rc, Re, Rg1, Rg2 ve Rg3 gibi bir dizi ginsenositin AMPK'yi aktive ettiği de bilinmektedir. Bu ginsenosidler AMPK'yi aktive ederek glikoz alımını artırırken , trigliserit, kolesterol ve hepatik glikoz üretiminde inhibe eder. Ginsenosidler tarafından AMPK'nin aktivasyon mekanizmaları büyük ölçüde bilinmemektedir. Fakat Rb1'in hücre içi AMP/ATP oranını artırdığı ve dolayısıyla AMPK'yi aktive ettiği görülmüştür (Shen vd. 2013).

Hücre içi enerji seviyeleri AMP/ATP, AMPK aktivitesi için önemli bir belirleyici olmasına rağmen, AMPK, reaktif oksijen türlerinin (ROS) hücre düzeyine oldukça duyarlıdır. Bu durumda oksidatif stres hücre içi ATP tükenmesine neden olur. Bununla birlikte, son çalışmalar ROS'nin hücre ATP'de bir azalma olmadan bile AMPK aktivasyonunu uyarabildiğini göstermiştir. AMPK'nin α alt biriminin oksidatif modifikasyonu ile AMPK'nin oksidatif stres koşulları altında aktifleştirildiği görülmüştür. Görüldüğü gibi hücre içinde ATP seviyelerinde bir azalma olmadan AMPK, ROS'ler tarafından aktive edilebilmektedir (Choi vd. 2001; Wu vd. 2012).

K₁ vitamini ve Tip 2 diyabet arasındaki ilişkiye yönelik sınırlı sayıda çalışma vardır. Yüksek yağlı diyetle beslenen Tip 2 diyabetli farelere 8 hafta boyunca 1, 3 ve 5 µg/kg K₁ vitamin takviyesi verildiğinde SIRT1/AMPK sinyal yolunu düzenleyerek açlık kan glikozunu ve insülin direncini azalttığı görülmüştür (Dihingia vd. 2018). Diyabetik fareler üzerinde yapılan bir çalışmada 1, 25 (OH)₂ D₃ ve kolekalsiferol takviyesinin oksidatif stresi azalttığı ve SIRT1'in ekspresyonunun artışına bağlı olarak AMPK'nin fosforilasyonunu arttırdığı da görülmüştür. Bunun yanında insüline bağımlı IRS1/PI3K/PIP3/AKT sinyal mekanizmasını da uyararak GLUT4'ün translokasyonunu aktive ederek kan glikoz seviyesini kontrol ettiği de görülmüştür (Manna vd. 20017).

Sonuç

AMPK'nin; lipit, kolesterol ve glikoz metabolizmasını düzenleyerek, hücre enerji dengesini maksimum seviyede tuttuğu görülmektedir. Yapılan klinik çalışmalarda görüldüğü gibi AMPK'nin aktivasyonunun artışının diyabet, kanser, yaşlanma ve birçok metabolik hastalığın tedavisinde etkili olduğunu göstermektedir. Günümüzde diyabetin tedavisinde AMPK'nin önemli bir rolü olduğu görülmektedir. Örneğin metformin gibi sentetik ilaçların, polifenoller ve egzersiz AMPK düzeyine etki ederek insülin bağımsız bir şekilde GLUT4 proteininin translokasyonunu arttırdığı ve kan glikoz seviyesini dengelediği görülmektedir. Bunun yanında sınırlı sayıda yapılan çalışmalarda yağda eriyen vitaminlerden D ve K₁ vitaminlerinin insülin bağımsız bir şekilde AMPK aktivasyonunu artırarak GLUT4 proteininin translokasyonunu arttırdığı ve kan glikoz düzeyini dengelediği görülmüştür. Görüldüğü gibi AMPK'nin aktivasyonunun artırılması diyabet başta olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde önemli olduğu görülmüştür. AMPK'nin aktivasyonunun artırılmasında egzersizin yanında fonksiyonel besinlerin, D vitamini ve K₁ vitamin'in önemli bir yeri olduğu görülmektedir.

Kaynakça

[1] Ahn, J., Lee, H., Kim, S., Park, J., & Ha, T. (2008). The anti-obesity effect of quercetin is mediated by the AMPK and MAPK signaling pathways. *Biochemical and biophysical research communications*, 373(4), 545-549.

- [2] Anand, P., Murali, K. Y., Tandon, V., Murthy, P. S., & Chandra, R. (2010). Insulinotropic effect of cinnamaldehyde on transcriptional regulation of pyruvate kinase, phosphoenolpyruvate carboxykinase, and GLUT4 translocation in experimental diabetic rats. *Chemico-biological interactions*, 186(1), 72-81.
- [3] Ao, Z., Quezada-Calvillo, R., Sim, L., Nichols, B. L., Rose, D. R., Sterchi, E. E., & Hamaker, B. R. (2007). Evidence of native starch degradation with human small intestinal maltase-glucoamylase (recombinant). *FEBS letters*, 581(13), 2381-2388.
- [4] Baur, J. A., Pearson, K. J., Price, N. L., Jamieson, H. A., Lerin, C., Kalra, A., ... & Pistell, P. J. (2006). Resveratrol improves health and survival of mice on a high-calorie diet. *Nature*, 444(7117), 337.
- [5] Brunmair, B., Staniek, K., Gras, F., Scharf, N., Althaym, A., Clara, R., ... & Fürsinn, C. (2004). Thiazolidinediones, like metformin, inhibit respiratory complex I: a common mechanism contributing to their antidiabetic actions?. *Diabetes*, 53(4), 1052-1059.
- [6] Butterworth, P. J., Warren, F. J., & Ellis, P. R. (2011). Human α -amylase and starch digestion: An interesting marriage. *Starch-Stärke*, 63(7), 395-405.
- [7] Calamaras, T. D., Lee, C., Lan, F., Ido, Y., Siwik, D. A., & Colucci, W. S. (2012). Post-translational modification of serine/threonine kinase LKB1 via adduction of the reactive lipid species 4-hydroxy-trans-2-nonenal (HNE) at lysine residue 97 directly inhibits kinase activity. *Journal of Biological Chemistry*, 287(50), 42400-42406.
- [8] Chen, T. C., & Hsieh, S. S. (2000). The effects of repeated maximal voluntary isokinetic eccentric exercise on recovery from muscle damage. *Research quarterly for exercise and sport*, 71(3), 260-266.
- [9] Choi, S. L., Kim, S. J., Lee, K. T., Kim, J., Mu, J., Birnbaum, M. J., ... & Ha, J. (2001). The regulation of AMP-activated protein kinase by H₂O₂. *Biochemical and biophysical research communications*, 287(1), 92-97.
- [10] Chuengsamarn, S., Rattanamongkolgul, S., Luechapudiporn, R., Phisalaphong, C., & Jirawatnotai, S. (2012). Curcumin extract for prevention of type 2 diabetes. *Diabetes care*, 35(11), 2121-2127.
- [11] Coughlan, K. A., Valentine, R. J., Ruderman, N. B., & Saha, A. K. (2013). Nutrient excess in AMPK downregulation and insulin resistance. *Journal of endocrinology, diabetes & obesity*, 1(1), 1008.
- [12] Dihingia, A., Ozah, D., Ghosh, S., Sarkar, A., Baruah, P. K., Kalita, J., ... & Manna, P. (2018). Vitamin K1 inversely correlates with glycemia and insulin resistance in patients with type 2 diabetes (T2D) and positively regulates SIRT1/AMPK pathway of glucose metabolism in liver of T2D mice and hepatocytes cultured in high glucose. *The Journal of nutritional biochemistry*, 52, 103-114
- [13] Doran, E., & Halestrap, A. P. (2000). Evidence that metformin exerts its anti-diabetic effects through inhibition of complex 1 of the mitochondrial respiratory chain. *Biochemical Journal*, 348(3), 607-614.
- [14] Du, M., Shen, Q. W., Zhu, M. J., & Ford, S. P. (2007). Leucine stimulates mammalian target of rapamycin signaling in C2C12 myoblasts in part through inhibition of adenosine monophosphate-activated protein kinase. *Journal of animal science*, 85(4), 919-927.
- [15] Foretz, M., Guigas, B., Bertrand, L., Pollak, M., & Viollet, B. (2014). Metformin: from mechanisms of action to therapies. *Cell metabolism*, 20(6), 953-966.
- [16] Frøsig, C., Pehmøller, C., Birk, J. B., Richter, E. A., & Wojtaszewski, J. F. (2010). Exercise-induced TBC1D1 Ser237 phosphorylation and 14-3-3 protein binding capacity in human skeletal muscle. *The Journal of physiology*, 588(22), 4539-4548.
- [17] Fryer, L. G., Parbu-Patel, A., & Carling, D. (2002). The anti-diabetic drugs rosiglitazone and metformin stimulate AMP-activated protein kinase through distinct signaling pathways. *Journal of Biological Chemistry*, 277(28), 25226-25232.
- [18] Fujii, N., Hayashi, T., Hirshman, M. F., Smith, J. T., Habinowski, S. A., Kaijser, L., ... & Thorell, A. (2000). Exercise induces isoform-specific increase in 5' AMP-activated protein kinase activity in human skeletal muscle. *Biochemical and biophysical research communications*, 273(3), 1150-1155.
- [19] Fulco, M., & Sartorelli, V. (2008). Comparing and contrasting the roles of AMPK and SIRT1 in metabolic tissues. *Cell cycle*, 7(23), 3669-3679.
- [20] Gledhill, J. R., Montgomery, M. G., Leslie, A. G., & Walker, J. E. (2007). Mechanism of inhibition of bovine F1-ATPase by resveratrol and related polyphenols. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(34), 13632-13637.
- [21] Habegger, K. M., Hoffman, N. J., Ridenour, C. M., Brozinick, J. T., & Elmendorf, J. S. (2012). AMPK enhances insulin-stimulated GLUT4 regulation via lowering membrane cholesterol. *Endocrinology*, 153(5), 2130-2141.
- [22] Habets, D. D., Coumans, W. A., El Hasnaoui, M., Zarrinpashneh, E., Bertrand, L., Viollet, B., ... & Glatz, J. F. (2009). Crucial role for LKB1 to AMPK α 2 axis in the regulation of CD36-mediated long-chain fatty acid uptake into cardiomyocytes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1791(3), 212-219.
- [23] Hardie, D. G., & Pan, D. A. (2002). Regulation of fatty acid synthesis and oxidation by the AMP-activated protein kinase.
- [24] Hardie, D. G., Ross, F. A., & Hawley, S. A. (2012). AMPK: a nutrient and energy sensor that maintains energy homeostasis. *Nature reviews Molecular cell biology*, 13(4), 251.
- [25] Hayashi, T., Hirshman, M. F., Fujii, N. S. A. H., Habinowski, S. A., Witters, L. A., & Goodyear, L. J. (2000). Metabolic stress and altered glucose transport: activation of AMP-activated protein kinase as a unifying coupling mechanism. *Diabetes*, 49(4), 527-531.
- [26] Hoppe, S., Bierhoff, H., Cado, I., Weber, A., Tiebe, M., Grummt, I., & Voit, R. (2009). AMP-activated protein kinase adapts rRNA synthesis to cellular energy supply. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(42), 17781-17786.
- [27] Hunter, R. W., Treebak, J. T., Wojtaszewski, J. F., & Sakamoto, K. (2011). Molecular mechanism by which AMP-activated protein kinase activation promotes glycogen accumulation in muscle. *Diabetes*, 60(3), 766-774.
- [28] Hwang, J. T., Park, I. J., Shin, J. I., Lee, Y. K., Lee, S. K., Baik, H. W., ... & Park, O. J. (2005). Genistein, EGCG, and capsaicin inhibit adipocyte differentiation process via activating AMP-activated protein kinase. *Biochemical and biophysical research communications*, 338(2), 694-699.
- [29] Itani, S. I., Saha, A. K., Kurowski, T. G., Coffin, H. R., Tornheim, K., & Ruderman, N. B. (2003). Glucose autoregulates its uptake in skeletal muscle: involvement of AMP-activated protein kinase. *Diabetes*, 52(7), 1635-1640.

- [30] Jeon, S. M. (2016). Regulation and function of AMPK in physiology and diseases. *Experimental & molecular medicine*, 48(7), e245.
- [31] Kim, J., Yang, G., Kim, Y., Kim, J., & Ha, J. (2016). AMPK activators: mechanisms of action and physiological activities. *Experimental & molecular medicine*, 48(4), e224.
- [32] Kim, T., Davis, J., Zhang, A. J., He, X., & Mathews, S. T. (2009). Curcumin activates AMPK and suppresses gluconeogenic gene expression in hepatoma cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 388(2), 377-382.
- [33] Koh, H. J., Arnolds, D. E., Fujii, N., Tran, T. T., Rogers, M. J., Jessen, N., ... & Kulkarni, R. N. (2006). Skeletal muscle-selective knockout of LKB1 increases insulin sensitivity, improves glucose homeostasis, and decreases TRB3. *Molecular and cellular biology*, 26(22), 8217-8227.
- [34] Kosztelnik, M., Kurucz, A., Papp, D., Jones, E., Sigmond, T., Barna, J., ... & Vellai, T. (2018). Suppression of AMPK/aak-2 by NRF2/SKN-1 down-regulates autophagy during prolonged oxidative stress. *The FASEB Journal*, 33(2), 2372-2387.
- [35] LeBrasseur, N. K., Kelly, M., Tsao, T. S., Farmer, S. R., Saha, A. K., Ruderman, N. B., & Tomas, E. (2006). Thiazolidinediones can rapidly activate AMP-activated protein kinase in mammalian tissues. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 291(1), E175-E181.
- [36] Lee, Y. S., Kim, W. S., Kim, K. H., Yoon, M. J., Cho, H. J., Shen, Y., ... & Hohnen-Behrens, C. (2006). Berberine, a natural plant product, activates AMP-activated protein kinase with beneficial metabolic effects in diabetic and insulin-resistant states. *Diabetes*, 55(8), 2256-2264.
- [37] Li, Y., Xu, S., Mihaylova, M. M., Zheng, B., Hou, X., Jiang, B., ... & Gao, B. (2011). AMPK phosphorylates and inhibits SREBP activity to attenuate hepatic steatosis and atherosclerosis in diet-induced insulin-resistant mice. *Cell metabolism*, 13(4), 376-388.
- [38] Mann, J., Cummings, J. H., Englyst, H. N., Key, T., Liu, S., Riccardi, G., ... & Vorster, H. H. (2007). FAO/WHO scientific update on carbohydrates in human nutrition: conclusions. *European journal of clinical nutrition*, 61(S1), S132.
- [39] Manna, P., Achari, A. E., & Jain, S. K. (2017). Vitamin D supplementation inhibits oxidative stress and upregulate SIRT1/AMPK/GLUT4 cascade in high glucose-treated 3T3L1 adipocytes and in adipose tissue of high fat diet-fed diabetic mice. *Archives of biochemistry and biophysics*, 615, 22-34.
- [40] Marsin, A. S., Bertrand, L., Rider, M. H., Deprez, J., Beauloye, C., Vincent, M. F., ... & Hue, L. (2000). Phosphorylation and activation of heart PFK-2 by AMPK has a role in the stimulation of glycolysis during ischaemia. *Current biology*, 10(20), 1247-1255.
- [41] Marsin, A. S., Bouzin, C., Bertrand, L., & Hue, L. (2002). The stimulation of glycolysis by hypoxia in activated monocytes is mediated by AMP-activated protein kinase and inducible 6-phosphofructo-2-kinase. *Journal of Biological Chemistry*, 277(34), 30778-30783.
- [42] Mihaylova, M. M., & Shaw, R. J. (2011). The AMPK signalling pathway coordinates cell growth, autophagy and metabolism. *Nature cell biology*, 13(9), 1016.
- [43] Minokoshi, Y., Kim, Y. B., Peroni, O. D., Fryer, L. G., Müller, C., Carling, D., & Kahn, B. B. (2002). Leptin stimulates fatty-acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase. *Nature*, 415(6869), 339.
- [44] Muoio, D. M., Seefeld, K., Witters, L. A., & Coleman, R. A. (1999). AMP-activated kinase reciprocally regulates triacylglycerol synthesis and fatty acid oxidation in liver and muscle: evidence that sn-glycerol-3-phosphate acyltransferase is a novel target. *Biochemical Journal*, 338(3), 783-791.
- [45] O'Neill, H. M. (2013). AMPK and exercise: glucose uptake and insulin sensitivity. *Diabetes & metabolism journal*, 37(1), 1-21.
- [46] Ong, K. W., Hsu, A., & Tan, B. K. H. (2012). Chlorogenic acid stimulates glucose transport in skeletal muscle via AMPK activation: a contributor to the beneficial effects of coffee on diabetes. *PLoS one*, 7(3), e32718.
- [47] Park, C. E., Kim, M. J., Lee, J. H., Min, B. I., Bae, H., Choe, W., ... & Ha, J. (2007). Resveratrol stimulates glucose transport in C2C12 myotubes by activating AMP-activated protein kinase. *Experimental & molecular medicine*, 39(2), 222.
- [48] Penumathsa, S. V., Thirunavukkarasu, M., Zhan, L., Maulik, G., Menon, V. P., Bagchi, D., & Maulik, N. (2008). Resveratrol enhances GLUT-4 translocation to the caveolar lipid raft fractions through AMPK/Akt/eNOS signalling pathway in diabetic myocardium. *Journal of cellular and molecular medicine*, 12(6a), 2350-2361.
- [49] Roepstorff, C., Thiele, M., Hillig, T., Pilegaard, H., Richter, E. A., Wojtaszewski, J. F., & Kiens, B. (2006). Higher skeletal muscle α 2AMPK activation and lower energy charge and fat oxidation in men than in women during submaximal exercise. *The Journal of physiology*, 574(1), 125-138.
- [50] Saha, A. K., Avilucea, P. R., Ye, J. M., Assifi, M. M., Kraegen, E. W., & Ruderman, N. B. (2004). Pioglitazone treatment activates AMP-activated protein kinase in rat liver and adipose tissue in vivo. *Biochemical and biophysical research communications*, 314(2), 580-585.
- [51] Saha, A. K., Xu, X. J., Balon, T. W., Brandon, A., Kraegen, E. W., & Ruderman, N. B. (2011). Insulin resistance due to nutrient excess: is it a consequence of AMPK downregulation?. *Cell Cycle*, 10(20), 3447-3451.
- [52] Saha, A. K., Xu, X. J., Lawson, E., Deoliveira, R., Brandon, A. E., Kraegen, E. W., & Ruderman, N. B. (2010). Downregulation of AMPK accompanies leucine- and glucose-induced increases in protein synthesis and insulin resistance in rat skeletal muscle. *Diabetes*, 59(10), 2426-2434.
- [53] Sahlin, K., Tonkonogi, M., & Söderlund, K. (1998). Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 261-266.
- [54] Sakamoto, K., McCarthy, A., Smith, D., Green, K. A., Hardie, D. G., Ashworth, A., & Alessi, D. R. (2005). Deficiency of LKB1 in skeletal muscle prevents AMPK activation and glucose uptake during contraction. *The EMBO journal*, 24(10), 1810-1820.
- [55] Sanders, M. J., Grondin, P. O., Hegarty, B. D., Snowden, M. A., & Carling, D. (2007). Investigating the mechanism for AMP activation of the AMP-activated protein kinase cascade. *Biochemical Journal*, 403(1), 139-148

- [56] Shaw, L. M. (2011). The insulin receptor substrate (IRS) proteins: at the intersection of metabolism and cancer. *Cell Cycle*, 10(11), 1750-1756.
- [57] Shen, L., Xiong, Y., Wang, D. Q., Howles, P., Basford, J. E., Wang, J., ... & Liu, M. (2013). Ginsenoside Rb1 reduces fatty liver by activating AMP-activated protein kinase in obese rats. *Journal of lipid research*, 54(5), 1430-1438.
- [58] Steinberg, G. R., McAinch, A. J., Chen, M. B., O'Brien, P. E., Dixon, J. B., Cameron-Smith, D., & Kemp, B. E. (2006). The suppressor of cytokine signaling 3 inhibits leptin activation of AMP-kinase in cultured skeletal muscle of obese humans. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 91(9), 3592-3597.
- [59] Świdarska, E., Strycharz, J., Wróblewski, A., Szemraj, J., Drzewoski, J., & Śliwińska, A. (2018). Role of PI3K/AKT Pathway in Insulin-Mediated Glucose Uptake. In *Glucose Transport. IntechOpen*.
- [60] Ueda, M., Nishiumi, S., Nagayasu, H., Fukuda, I., Yoshida, K. I., & Ashida, H. (2008). Epigallocatechin gallate promotes GLUT4 translocation in skeletal muscle. *Biochemical and biophysical research communications*, 377(1), 286-290.
- [61] Watt, M. J., Dzamko, N., Thomas, W. G., Rose-John, S., Ernst, M., Carling, D., ... & Steinberg, G. R. (2006). CNTF reverses obesity-induced insulin resistance by activating skeletal muscle AMPK. *Nature medicine*, 12(5), 541.
- [62] Wu, Y., Viana, M., Thirumangalathu, S., & Loeken, M. R. (2012). AMP-activated protein kinase mediates effects of oxidative stress on embryo gene expression in a mouse model of diabetic embryopathy. *Diabetologia*, 55(1), 245-254.
- [63] Xiao, B., Sanders, M. J., Underwood, E., Heath, R., Mayer, F. V., Carmena, D., ... & Saiu, P. (2011). Structure of mammalian AMPK and its regulation by ADP. *Nature*, 472(7342), 230.
- [64] Yagasaki, K. (2014). Anti-diabetic phytochemicals that promote GLUT4 translocation via AMPK signaling in muscle cells. *Nutrition and Aging*, 2(1), 35-44.
- [65] Zheng, J., & Ramirez, V. D. (2000). Inhibition of mitochondrial proton F0F1-ATPase/ATP synthase by polyphenolic phytochemicals. *British journal of pharmacology*, 130(5), 1115-1123.
- [66] Zhou, G., Myers, R., Li, Y., Chen, Y., Shen, X., Fenyk-Melody, J., ... & Musi, N. (2001). Role of AMP-activated protein kinase in mechanism of metformin action. *The Journal of clinical investigation*, 108(8), 1167-1174.



***Nigella damascena* L. Bitkisinde Farklı Gübre Uygulamalarının Fenolojik Özellikler Üzerine Etkileri**

Funda Ulusu^{1*}, Ali Şahin²

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Programı, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0321-2602)

² Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Karaman, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 20 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.677606)

ATIF/REFERENCE: Ulusu, F & Şahin, A. (2020). *Nigella damascena* L. Bitkisinde Farklı Gübre Uygulamalarının Fenolojik Özellikler Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 171-178.

Öz

Bu çalışma Şam çörekotu (*Nigella damascena* L.) bitkisine farklı sıvı gübre çeşitlerinin (organik, vermikompost ve sentetik gübre) farklı konsantrasyonlarda (yarısı, öneri, iki katı) uygulanmasının bitkinin çıkış süresi, çiçeklenme süresi ve vejetasyon süresi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma tesadüfi deneme desenine göre 2018-2019 döneminde Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Araştırma Serası'nda saksılarda gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubu ile birlikte 9 farklı uygulama grubu oluşturularak analizler 4 tekrarlı olarak yapılmıştır. Gübreler ekim öncesinde tohumlara, filizlendikten sonra (10-15cm uzunluğunda iken) ve çiçeklenme dönemi olmak üzere 3 kez uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre gübre uygulama grupları içerisinde en hızlı çıkış ve çiçeklenmeyi sağlama ve ilk hasat organik iki katı (600-1200mL/da) grubunda görülmüştür. En geç çıkış ve çiçeklenmenin kimyasal (sentetik) öneri (2-3L/da) grubunda, en uzun vejetasyon süresinin (son hasat) ise kimyasal iki katı (4-6L/da) uygulamasında olduğu görülmüştür. Kontrol grubuna kıyasla tüm gübre uygulamalarının bitkinin fenolojik özellikleri üzerinde sürelerin kısalmasına etki ettiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Nigella damascena*, Gübre, Fenolojik Özellikler

Effects of Different Fertilizer Applications on Phenological Properties of *Nigella damascena* L.

Abstract

In this study, the effects of different liquid fertilizers, (organic, vermicompost and synthetic fertilizer) in different concentrations (half, recommended, twice) to the black cumin seed (*Nigella damascena* L.), on the emergence, flowering and vegetation period of the plant were investigated. The study was carried out in pots in Karamanoğlu Mehmetbey University Research Greenhouse in 2018-2019 period according to completely randomized plot design. Along with the control group, 9 different application groups were created and analyzes were performed in 4 replicates. Fertilizers were applied to the seeds 3 times before planting, after sprouting (when 10-15cm long) and flowering period. According to the findings; it was observed that among the fertilizer application groups the fastest emergence and flowering and the first harvest organic twice group (600-1200 mL/da), the latest emergence and flowering group was in the chemically recommended group (2-3 L/da), and the longest vegetation period (last harvest) was in the chemical twice concentration application group (4-6 L/da). Compared to the control group, it was observed that all fertilizer applications affect the shortening of the time on the phenological properties of the plant.

Keywords: *Nigella damascena*, Fertilizer, Phenological Properties.

* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Programı, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0321-2602, fulusu@kmu.edu.tr

1. Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler yüzyıllar boyunca geleneksel halk hekimliğinde hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır ve günümüzde üretilen ilaçlar için önemli bir kaynak oluşturmaya devam etmektedir. Dünyanın %80'i bitkisel temelli alternatif ilaç sistemine dayanmaktadır. Türkiye'nin özellikle tıbbi ve aromatik bitkiler açısından zengin bir flora sahip olması farmakoloji alanında kullanılacak bitki sayısını ve çeşitliliğini de arttırmakla birlikte Türkiye'nin jeostratejik önemini güçlendirmektedir (Artukoğlu ve ark., 2002).

Türkiye'de yetiştirilerek katma değer yaratılmasını sağlayan ve alternatif tıp çalışmalarında sıklıkla kullanılan bu bitkilerden bazıları; çörekotu, safran, adaçayı, lavanta, semizotu, dereotu, çay, rezene, anason, kişniş, nane, kimyon, fesleğen, çemen, şerbetçi otu, kırmızıbiberdir. Ayrıca ülkemizde endemik bitkilerde dahil olmak üzere doğal olarak yetişen pek çok bitkinin tıbbi ve aromatik değeri oldukça yüksektir (Baydar, 2009).

Dünyada yayılış gösteren 300'den fazla çiçekli bitki familyası bulunmaktadır (Heywood, 1979). Bu familyalardan Ranunculaceae (Düğünçiçeğigiller) çoğunlukla otsu ve tek yıllık ya da uzun ömürlü olup tırmanıcı özellik gösteren pek çok tıbbi ve aromatik bitki türlerine sahiptir. Bunlardan *Nigella* cinsi farmakolojik özellikte olup aynı zamanda baharat olarak dünya çapında kullanılmaktadır ve 20 kadar tür bulundurmaktadır birlikte yaklaşık 15 kadarı ülkemizde yetişmektedir (Başer, 2010; Ayhan, 2012). *Nigella* cinsine ait olan 3 tür *Nigella sativa*, *Nigella damascena* ve *Nigella arvensis* tohumları halk hekimliğinde ve baharat bitkisi olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Baytop, 1984).

Nigella damascena L. (Şam çörekotu), Ranunculaceae (Düğünçiçeğigiller) familyasına ait tek yıllık, 20-50 cm büyüeyebilen çiçekli, otsu ve değerli tıbbi-aromatik bir bitki olup kumlu-tınlı topraklarda iyi gelişebilmektedir. Çiçekleri genellikle mavi renge sahip olmakla birlikte beyaz ve pembe renkli de olabilmelerinden ötürü genellikle süs bitkisi olarak yetiştirilmektedirler (Kökül ve ark. 2006). Anavatanı, Kuzey Afrika ve Güneybatı Asya olup özel ismi Suriye-Şam (Damascus) ilinden gelmektedir. Özellikle Güney Avrupa ve Yakın Doğu'da en çok kullanılan *Nigella* türlerinden olup geleneksel Doğu tıbbında birçok hastalığın tedavisinde (Alamgir, 2017; Fico et al., 2004), ayrıca kendine has aromasından dolayı Asya kültürlerinde gastronomi alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Yetiştirilmesi generatif olup tohumları *N.sativa*'nın tohumlarına benzemekte siyah renkte ve küçüktür.

Nigella damascena L. tohumlarında değişik miktarlarda değerli uçucu yağlar başta β -elemene, germacrene A, Damascenine bileşenlerinin yanı sıra α -pinene, β -pinene, myrcene, p-cymene, limonene, vb. yer almaktadır (Fico ve ark., 2003, Wajs ve ark., 2009, Sieniawska ve ark., 2018). Ayrıca sabit yağlar, proteinler, alkaloidler, flavonoidler ve saponinler içermektedir (Fico ve ark. 2000; Fico ve ark., 2001; Sajftova, 2014; Farag ve ark.,2014). %0,5 oranında uçucu yağ taşıyan bu bitkide uyuşturucu özelliğine sahip "Damascenine" *N.damascena* L. türüne ait bir alkaloiddir. Tohumların yapısında bulunan bu uçucu yağların antihistaminik, analjezik, antitümör, antimikrobiyal, antienflamatuar, antipiretik gibi önemli farmakolojik etkilerinden dolayı tıbbi ve ticari açıdan da değerli olan tıbbi bir bitkidir (Yao ve ark., 2008; Sieniawska ve ark., 2018; Sieniawska ve ark., 2019; Bekemeier ve ark., 1967; Fico et al., 2004).

Gübreler, bitkisel üretim faaliyetlerinde verimliliği arttırmak amacıyla toprağa veya doğrudan bitkiye uygulanan, aynı zamanda bitkiler için zorunlu olan doğal ya da kimyasal maddelerdir (Merriam-Webster, 2016). Bitkilerde gerçekleşen biyolojik ve fizikokimyasal reaksiyonlarda bitki besin elementlerinin rolü büyük olup büyüme ve gelişme döneminde toprakta miktarı azalan veya kaybedilen besin elementleri karşılanmadığı takdirde mahsüller büyüyemez ya da ürünlerden iyi verim alınamaz. Bu yüzden azalan besin elementlerinin tekrardan toprağa aktarılması yönünde gübreler kullanılmaktadır.

Çörekotu bitkisinde fenolojik, morfolojik, verim-kalite özelliklerini çevresel faktörlerin ve sulama miktarı, gübreleme çeşidi-miktarı, ekim zamanı-sıklığı, tohum miktarı gibi farklı yetiştirme tekniklerinin uygulanmasının önemli düzeyde etkilediği yapılmış birçok çalışmayla belirtilmiştir (Green ve ark., 1997; Özel ve Demirbilek, 2000; Telci,1995; Özgüven,1989; Tunçturk ve ark., 2012; Toncer ve Kizil, 2004; Forouzandeh, 2014).

Nigella damascena Türkiye'de de endemik olarak yetişen ve verimi en yüksek alınan tür olmasına rağmen *N. sativa*'ya oranla daha az araştırılmış bir türdür. Şam çörekotunun gübre uygulamasına gösterdiği hassasiyeti incelemek ve yetiştiriciliğine katkı sağlamak amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Şam Çörek otu (*Nigella damascena* L.) yetiştiriciliğinde uygun gübre çeşidi ve miktarının çıkış süresi, çiçeklenme süresi ve vejetasyon süresi gibi bazı fenolojik özelliklere etkisinin araştırıldığı bu çalışma Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi araştırma serasında 2018-2019 vejetasyon döneminde yürütülmüştür.

Çalışmamızda gübreler öncesinde tohuma, ekim sonrasında ise vejetatif ve çiçeklenme döneminde uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Tohumların yüzey sterilizasyonu

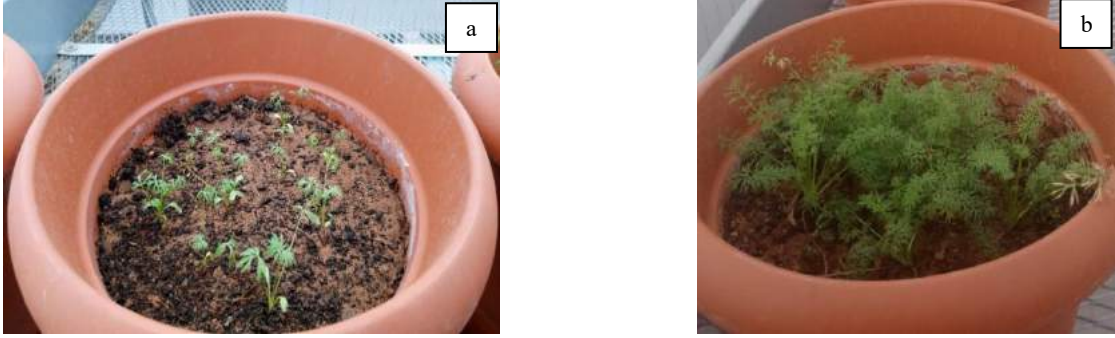
Araştırma materyali olarak kullanılacak *N. damascena* tohumları (100 g) Vilmorin Garden firmasından (İstanbul, Türkiye) temin edilmiştir. Tohumlar ekimi yapılmadan önce yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur. Yüzey sterilizasyonu %1'lik sodyum hipoklorit (NaClO) çözeltisinde 1 dakika bekletildikten sonra steril saf su ile yıkanarak yapılmıştır.

2.2. *Nigella damascena* L. Yetiştirilmesi ve Gübreleme

Tohumlar yüzey sterilizasyonları yapıldıktan sonra, 1 L suya 100 mL gübre olacak şekilde 6 saat farklı gübrelerde ki sularda bekletilerek, yarı yarıya torf ve bahçe toprağı karıştırılıp, her saksı 4 tekerrürlü olacak şekilde tesadüf parselleri deneme desenine göre Mart 2018'de saksılara ekimi yapılmış olup Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi araştırma serasında (25-30 °C'de, yeterli ışık ve nem koşullarında) 3-4 günde bir sulanarak yetiştirilmiştir.

Denemede 3 farklı gübre (sıvı sentetik, sıvı organik, sıvı vermikompost), 3 değişik oranda uygulanmış olup kontrol grubuyla birlikte toplamda 10 farklı uygulama grubu oluşturulmuştur. Uygulanan gübrelerin çeşit ve miktarları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Saksılarda çimlenme gerçekleşip bitkilerin yaklaşık olarak %80'inde bitki boyları 10-15 cm uzunluğuna eriştikten sonra toprağı ilk gübre uygulamaları (yarısı, önerilen ve iki katı) gerçekleştirilmiştir. Toprağı 2. gübre uygulaması ise bitkilerin %50'den fazlası çiçeklenmeye başladığı dönemde, 1. gübre uygulamasıyla aynı oranda (yarısı, önerilen ve iki katı) yapılmıştır.



Şekil1. *N. damascena* çıkış(a), 10-15 cm uzunluğı(b)



Şekil2. *N. damascena* çiçeklenme(a), olgunlaşma(b)

Tablo 1. Gübre çeşit ve miktarları

Uygulama No	Uygulama Adı	Kimyasal Bileşimi	Uygulama Dozajı		
			Yarı	Önerilen	İki katı
1	Negatif kontrol				
2	Sıvı Sentetik gübre	N: P: K (%7: 7: 7)	1-1,5L/d	2-3 L/ da	4-6L/ da
3	Sıvı Organik gübre (Bitkisel kökenli)	Toplam organik madde: %45 Organik C: %19,5 N: %3 K ₂ O:7	150-300 mL/da	300-600 mL/da	600-1200 mL/da
4	Sıvı Vermikompost gübresi (Bitkisel ve hayvansal kökenli)	Toplam organik madde: %5 N: %1 Hümk+fülvikasit: %10	0,75-1L/d	1,5-2 L/da	3-4L/da

Denemede fenolojik özellik olarak çıkış süresi (gün), çiçeklenme süresi (gün) ve vejetasyon süresi (gün) gözlem ve ölçümleri Telci (1995) ve Akgören (2011)'in belirttiği yöntemlere göre yapılmıştır.

2.3. İstatistiksel analiz

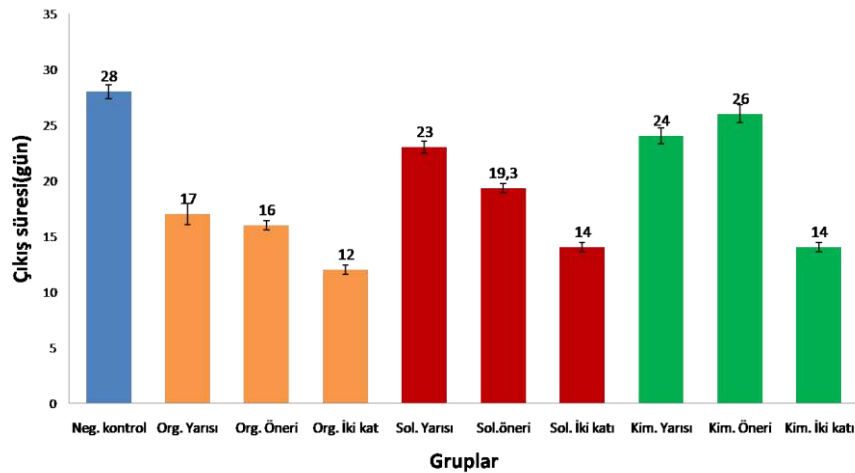
Kontrol ve uygulama gruplarındaki farklılıklar Duncan çoklu aralık testine göre tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) ile analiz edilerek, $P < 0,05$ önemlilik değerinde hesaplanmıştır. Çalışmada her bir grup için 4 tekrar yapılmıştır ($n=4$) (Duncan, 1955).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Çıkış süresi (gün)

Çıkış süresi, tohumların ekimden sonra her saksıda %70-80 oranında çıkışın gerçekleştiği tarihe kadar geçen süre olarak belirlenir (Telci, 1995). Çalışmada 18.10.2018 tarihinde her bir saksıya ekimi yapılan çörekotu tohumları 30.10.2018 ve 16.11.2018 tarihleri arasında çıkışın olduğu, böylece çimlenme süresinin 12-28 gün aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Uygulama grupları arasında çıkış süresi açısından en hızlı çimlenmenin organik iki katı uygulamasında olduğu (12 gün), bunu vermikompost iki katı ve kimyasal iki katı gruplarının (14 gün) takip ettiği, en geç çimlenmenin ise kontrol grubunda (28 gün) olduğu görülmüştür. Uygulanan gübrelerin besin element oranlarının değişikliği çıkış performansını üzerine etmiş ve istatistiksel anlamda da farklılığa neden olmuştur. Şekil 3'te gruplara ait ortalama çıkış süreleri verilmiştir.

Yapılan diğer çalışmalarda Selicioğlu, (2018) bu sürenin 17-25 gün arasında değiştiği ve en geç çimlenmesinde 25. günle *N. damascena* türünde olduğunu, Telci, (1995) ise 15-16 günde çimlenmenin tamamlandığı belirtmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların hem Selicioğlu, (2018) hem de Telci (1995) sonuçları ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.



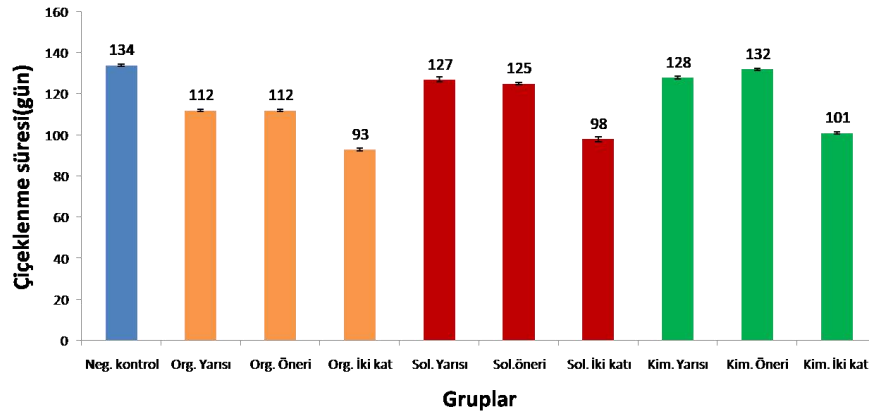
Şekil 3. Gruplara ait ortalama çıkış süreleri

3.2. Çiçeklenme süresi (gün)

Ekim tarihi ile saksıdaki bitkilerin %50'den fazlasının çiçeklendiği zaman arasındaki gün sayısı olarak ifade edilir (Telci, 1995). Çalışmada çiçeklenme süresi 93-134 gün arasında değişmekle birlikte ilk çiçeklenme organik iki katı gübre uygulamasında olup sonra sırasıyla vermikompost iki katı ve kimyasal iki katı gruplarında meydana gelmiştir. Uygulama grupları arasında organik gübrenin en erken çiçeklenmeye yol açtığı, bunu vermikompost gübre gruplarının takip ettiği, en geç çiçeklenmenin ise kontrol ve kimyasal öneri grubunda olduğu görülmüştür. Kontrol-kimyasal öneri grupları (a) ve organik yarı-organik öneri (d) grupları istatistiksel anlamda farklı olmadığı görülmüştür. Fakat diğer gruplar arasındaki çiçeklenme sürelerinin değişkenliği istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

Çalışmanın kışlık dönemde gerçekleştirilmiş olması çiçeklenme süresinin uzamasına neden olmuştur. Gruplara ait ortalama çiçeklenme süreleri Şekil 4'te verilmiştir.

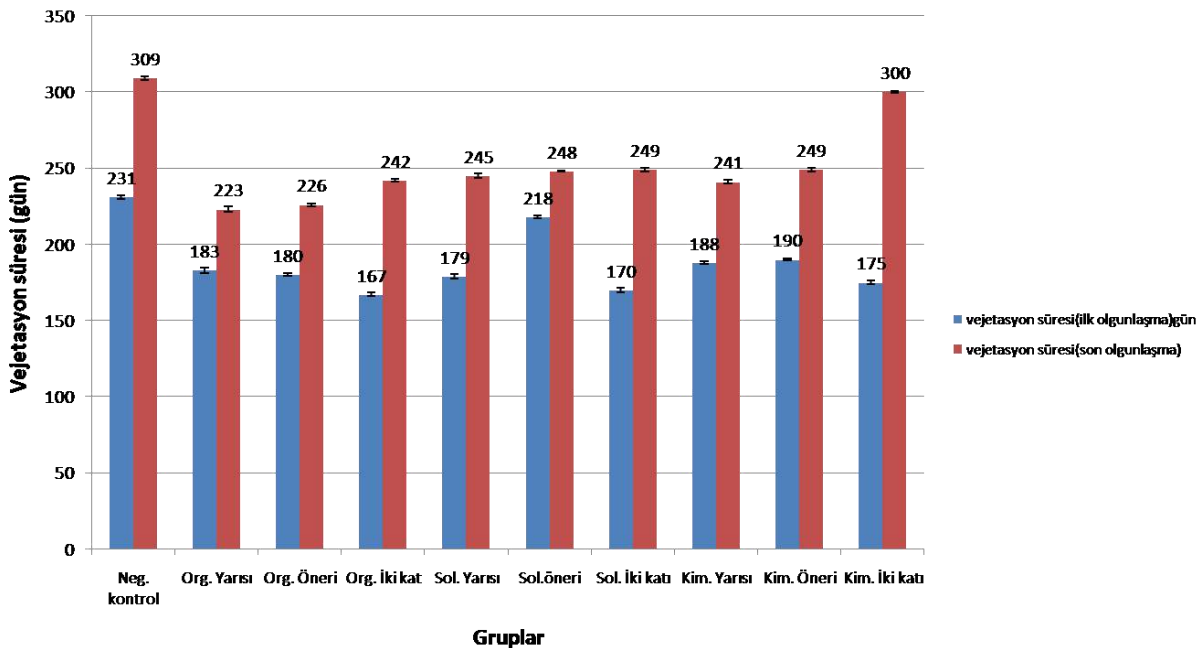
Tektaş (2015) 139 gün, D'Antuono (2002) 55-100 gün, Selicioğlu (2018) 54-86 gün, Akgören (2011) 55-92, Taqı (2013), yazlık ekimde 70-73 gün arasında kışlık ekim ise 170-180 gün arasında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.



Şekil 4. Gruplara ait ortalama çiçeklenme süreleri

3.3. Vejetasyon süresi (gün)

Her saksıda çıkışın gerçekleştiği tarihten itibaren, hasat tarihine kadar geçen süre, vejetasyon süresi olarak belirlenmektedir (Telci, 1995; Akgören, 2011). Çalışmada kapsüllerin olgunlaşma tarihi (hasat) ilk ve son olgunlaşma süresi olmak üzere 2'ye ayrılmıştır. İlk olgunlaşma organik iki katı grubunda (167gün) gerçekleşmiş ve her uygulama grubu farklı vejetasyon sürelerine sahip olmuştur. İlk olgunlaşma süresi 167-231 gün, son olgunlaşma süresi ise 223-309 gün arasında değişmektedir. Gruplardaki ortalama vejetasyon süreleri (ilk olgunlaşma-hasat ve son olgunlaşma-hasat) Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Gruplara ait ortalama vejetasyon süreleri

Tablo 2. Çıkış süresi (gün), çiçeklenme süresi (gün), Vejetasyon süresi (gün)

Gruplar	Çıkış süresi (gün)	Çiçeklenme süresi (gün)	Vejetasyon süresi (ilk olgunlaşma) gün	Vejetasyon süresi (son olgunlaşma) gün
Neg. Kontrol	28 ± 0.62 ^a	134 ± 0.48 ^a	231 ± 1.35 ^a	309 ± 1.35 ^a
Org. Yarısı	17 ± 0.94 ^e	112 ± 0.53 ^d	183 ± 1.82 ^d	223 ± 1.83 ^g
Org. Öneri	16 ± 0.40 ^e	112 ± 0.59 ^d	180 ± 0.81 ^e	226 ± 0.81 ^f
Org. İki kat	12 ± 0.40 ^g	93 ± 0.81 ^g	167 ± 1.18 ^h	242 ± 1.18 ^e
Sol. Yarısı	23 ± 0.62 ^c	127 ± 1.22 ^{bc}	179 ± 1.22 ^c	245 ± 1.29
Sol. Öneri	19 ± 0.53 ^d	125 ± 0.54 ^c	218 ± 1.02 ^b	248 ± 0.59 ^c
Sol. İki katı	14 ± 0.58 ^f	98 ± 1.08 ^f	170 ± 1.42 ^g	249 ± 1.25 ^c
Kim. Yarısı	24 ± 0.70 ^c	128 ± 0.57 ^b	188 ± 1.03 ^c	241 ± 1.32 ^c
Kim. Öneri	26 ± 0.81 ^b	132 ± 0.62 ^a	190 ± 0.57 ^c	249 ± 1.26 ^c
Kim. İki katı	14 ± 0.67 ^f	101 ± 0.64 ^e	175 ± 1.05 ^f	300 ± 0.57 ^b

*Veriler ortalama ± standart sapma (n=4) olarak ifade edilmiştir. Uygulama grupları arasındaki farklılıklar aynı sütundaki farklı harflerle ifade edilmiştir (p <0.05).

Çörek otu bitkisinde vejetasyon süresi ekim zamanına (yazlık- kışlık) göre değişmekte olup kış döneminde yetiştirilen çörek otunun vejetasyon süresinin yaz döneminde yetiştirilene göre daha uzun olduğu görülmektedir (Ertaş, 2016). Literatürde *N.damascena* türünün *N. sativa* türünden daha uzun vejetasyon süresine sahip olduğu bilinmektedir (Zaitoun, 2008; Ertaş, 2016). Ertaş (2016) çalışmasında kışlık ekim sonrası vejetasyon süresinin 213-255 gün, yazlık ekimde ise 108-151 gün arasında olduğu ve en uzun vejetasyon süresinin *N.damascena*'ya ait olduğu belirtilmiştir. Kışlık dönemde gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen veriler Ertaş (2016) ile uyum göstermektedir.

Gübre uygulamalarının vejetasyon süresine etkisi değerlendirildiğinde organik gübre uygulama grupları arasında en erken olgunlaşma ve en uzun vejetasyon süresi, organik iki katı grubunda bulunmuştur. En geç ilk hasat ve en kısa vejetasyon süresi Organik Yarısı grubuna aittir. Vermikompost gübre uygulamalarında en erken hasat ve en uzun vejetasyon süresi vermikompost iki katı grubunda, en geç ilk hasat vermikompost öneri uygulamasında görülmüştür. Kimyasal gübre uygulamalarında ise en erken hasat ve en uzun vejetasyon süresi kimyasal iki katı grubunda, en geç ilk hasat kimyasal öneri uygulamasında görülmüştür. Tüm uygulama grupları arasında ise en geç hasat ve en uzun vejetasyon süresi kontrol grubunda (309 gün) bulunmuştur. Böylece tüm gübre uygulama gruplarında toplam vejetasyon süresinin kısılmasına neden olduğu görülmüştür.

Bitkilerin vejetasyon sürelerinin uzunluğuna ışıklenme süresi, sıcaklık ve kalıtsal özelliklerin etkili olduğu yapılmış pek çok çalışmayla desteklenmektedir (Sezek, 2014; Ertaş, 2016). Bununla birlikte özellikle gün uzunluğunun ve sıcaklığın optimum seviyenin altında olması bitkilerin vejetasyon sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Çalışmada gübre uygulamalarındaki doz artışı genel anlamda çörek otu bitkisi çıkış süresinin, çiçeklenme süresinin ve vejetasyon süresinin kısılmasına neden olduğu görülmüştür.

Yapılan diğer çalışmalarda tohumlu bitkilerde vejetasyon süresinin uzaması, olgunlaşmanın gecikmesiyle birlikte verim ve kalitenin de düşmesine yol açabildiği belirtilmiştir (Blade ve Baker 1991).

4. Sonuç

Bu çalışma Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi araştırma serasında 2018-2019 vejetasyon döneminde Şam çörekotu (*Nigella damascena* L.) bitkisine 3 farklı sıvı gübrenin değişik dozlarda uygulanmasının fenolojik özellikler üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre özellikle organik ve vermikompost gübre uygulamalarının genel itibarıyla çıkış, çiçeklenme ve vejetasyon sürelerini kısalttığı gözlemlenmiş olup, kimyasal gübre uygulamalarının kontrol grubuna yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bitki yetiştiriciliğinde vejetasyon süresinin uzaması hem bir dönem içerisinde alınabilecek mahsul sayısını azaltmakta hem de özellikle tohumlu bitkilerde geç olgunlaşmayla elde edilecek verim kalitenin azalmasına yol açmaktadır. Tarımda bitkisel üretimi arttırmak adına yoğun miktarda kullanılan kimyasal gübreler gerek insan sağlığı üzerinde ki olumsuz etkilere neden olmakta gerekse ekosistemde ki sürdürülebilirliğin azalmasıyla (toprak tuzluluğunun artması ve ağır metal birikimi, N₂O-sera gazları oluşumu, sularda ki yapay ötrofikasyon, vb.) sonuçlanmaktadır.

Bu manada tıbbi ve gastronomi alanında değerli olan çörek otu bitkisinin yetiştiriciliğinde uygulanan sentetik gübrelerden ziyade özellikle son yıllarda tüm dünyada önem kazanan doğa dostu organik ve vermikompost gübrelerinin uygun oranlarda kullanılması hem alınan verim ve kaliteyi arttıracak hem de sürdürülebilir bir tarım sistemine katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (BAP 03-D-18)

Kaynakça

- Akgören, G. (2011). Bazı çörekotu (*Nigella sativa* L.) populasyonlarının tarımsal özellikleri [Agricultural features of some blackcumin (*Nigella sativa* L.) populations]. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü - Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Eskişehir.92S.
- Alamgir, A. N. M. (2017). Therapeutic Use of Medicinal Plants and Their Extracts: Volume 1. Pharmacognosy.
- Artukoglu, M., Uzmay, A., & Olgun, A. (2002). An evaluation of medicinal and aromatic plant trade in the world, in the EU and in Turkey. *Agro Food Industry Hi Tech*, 13(6), 19-24.
- Ayhan, B., (2012). *Nigella sativa* L. Bitkisi Üzerine Fitoterapötik Çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Başer, K.H.C. (2010). Çörek Otu (*Nigella sativa*). *Bağbahçe dergisi*, 32(3): 26-27.
- Baydar, H. (2009). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 51, Isparta.
- Baytop, T. (1984). Therapy with Medicinal Plants in Turkey. p. 480 (Past and Present). Publications of the Istanbul University. No.3255, Istanbul. (in Turkish).
- Bekemeier, H., Leuschner, G., & Schmollack, W. (1967). Antipyretic, antiedematous and analgetic effects of damascenin in comparison with acetylsalicylic acid and phenylbutazone. *Archives internationales de pharmacodynamie et de therapie*, 168(1), 199.
- Blade, S. F., & Baker, R. J. (1991). Kernel weight response to source-sink changes in spring wheat. *Crop science*, 31(5), 1117-1120.
- Boni, U., & Patri, G. (1977). Scoprire, riconoscere, usare le erbe. *Fabbri Editori*, 437.
- D'Antuono, L. F., Moretti, A., & Lovato, A. F. (2002). Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. *Industrial crops and products*, 15(1), 59-69.
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11(1), 1-42.
- D'Antuono, L. F., Moretti, A., & Lovato, A. F. (2002). Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. *Industrial crops and products*, 15(1), 59-69.
- Ertas, M.E. (2016). Tokat Kazova Ekolojik Koşullarında Kışlık Ve Yazlık Ekilen Çörek Otu (*Nigella* sp.) Genotiplerinin Agronomik ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 49s, Tokat.
- Farag, M. A., Gad, H. A., Heiss, A. G., & Wessjohann, L. A. (2014). Metabolomics driven analysis of six *Nigella* species seeds via UPLC-qTOF-MS and GC-MS coupled to chemometrics. *Food chemistry*, 151, 333-342.
- Fico, G., Bader, A., Flamini, G., Cioni, P. L., & Morelli, I. (2003). Essential oil of *Nigella damascena* L. (Ranunculaceae) seeds. *Journal of Essential Oil Research*, 15(1), 57-58.
- Fico, G., Panizzi, L., Flamini, G., Braca, A., Morelli, I., Tomè, F., & Cioni, P. L. (2004). Biological screening of *Nigella damascena* for antimicrobial and molluscicidal activities. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(6), 468-470.
- Fico, G., Braca, A., Tomè, F., & Morelli, I. (2000). Phenolic derivatives from *Nigella damascena* seeds. *Pharmaceutical biology*, 38(5), 371-373.
- Fico, G., Braca, A., Tomè, F., & Morelli, I. (2001). A new phenolic compound from *Nigella damascena* seeds. *Fitoterapia*, 72(4), 462-463.
- Forouzandeh, M., Karimian, M. A., & Mohkami, Z. (2014). Effect of water stress and different types of organic fertilizers on essential oil content and yield components of *Cuminum cyminum*. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 4(3), 533-536.
- Fournier, P. (1948). *Le livre des plantes médicinales et vénéuses de France: 1.500 espèces par le texte et par l'image, d'après l'ensemble de nos connaissances actuelles* (Vol. 25). P. Lechevalier.
- Geren, H., Bayram, E., ve Ceylan, A. (1997). Çörek Otu (*Nigella sativa* L.)'nda Farklı Ekim Zamanlarının Ve Fosfor Gübresi Uygulamasının Verim ve Kaliteye Etkisi, Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi Bildiri Kitabı, 2-5 Eylül, Samsun, 376-380.
- Heywood, V. H., Moore, D. M., Dunkley, J., & King, C. (Eds.). (1978). *Flowering plants of the world* (Vol. 336). Oxford: Oxford University Press.
- Köküldil, G. (2006). Morphology And Stem Anatomy of Some Species of Genus. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 19-41.
- Merriam-Webster.html. (2016). Retrieved from <http://www.merriam-webster.com/dictionary/fertilizer>.
- Özel, A., & Demirbilek, T. (2000). Harran Ovası kuru koşullarında bazı tek yıllık baharat bitkilerinin verim ve bazı agronomik özelliklerinin belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(3-4), 21-32.
- Özgülven, M. (1982). Çukurova Bölgesinde Bazı Tıbbi Bitkilerin Adaptasyonu Üzerinde Araştırmalar. IV. *İlaç Hammaddeleri Toplantısı. Anadolu Üniversitesi Yayınları*, (30), 19-23.
- Sajfritova, M., Sovova, H., & Karban, J. (2014). Enrichment of *Nigella damascena* extract with volatile compounds using supercritical fluid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 94, 160-164.

- Selicioğlu M. (2018). Kırşehir Ekolojik Koşullarında Çörek Otu (*Nigella Sp.*) Populasyonlarının Bazı Tarımsal ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Isparta.
- Sezek, M., (2014). Farklı Ekim Zamanlarının Kışniş (*Coriandriumsativum L.*) Çeşitlerinin Verim, Verim Unsurları ve Uçucu Yağ Oranına Etkisi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 61s.
- Sieniawska, E., Sawicki, R., Golus, J., Swatko-Ossor, M., Ginalska, G., & Skalicka-Wozniak, K. (2018). *Nigella damascena L.* essential oil—a valuable source of β -elemene for antimicrobial testing. *Molecules*, 23(2), 256.
- Sieniawska, E., Michel, P., Mroczek, T., Granica, S., & Skalicka-Woźniak, K. (2019). *Nigella damascena L.* essential oil and its main constituents, damascenine and β -elemene modulate inflammatory response of human neutrophils ex vivo. *Food and chemical toxicology*, 125, 161-169.
- Tektaş, E. (2015). Harran Ovası Koşullarında Birim Alandaki Tohum Sayısının Çörek Otu (*Nigella sativa L.*)'nun Verim ve Bazı Bitkisel Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Telci, İ. (1995). Tokat Şartlarında Farklı Ekim Sıklığının Çörek otu (*Nigella sativa L.*)'unda Verim, Verim Unsurları ve Bazı Bitkisel Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Toncer, O., & Kizil, S. Ü. L. E. Y. M. A. N. (2004). Effect of seed rate on agronomic and technologic characters of *Nigella sativa L.* *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(3), 529-532.
- Tuncturk, R., Tuncturk, M., & Ciftci, V. (2012). The effects of varying nitrogen doses on yield and some yield components of black cumin (*Nigella sativa L.*). *Advances in Environmental Biology*, 6(2), 855-858.
- Wajs, A., Bonikowski, R., & Kalemba, D. (2009). Different isolation methods for determination of composition of volatiles from *Nigella damascena L.* seeds. *Natural product communications*, 4(11), 1934578X0900401125.
- Yao, Y. Q., Ding, X., Jia, Y. C., Huang, C. X., Wang, Y. Z., & Xu, Y. H. (2008). Anti-tumor effect of β -elemene in glioblastoma cells depends on p38 MAPK activation. *Cancer letters*, 264(1), 127-134.
- Zaitoun, S., Al-Ghzawi, A. A. M., Samarah, N., & Alqudah, A. (2008). Comparative study in seed yield and flowers attractivity to bee visitors between *Nigella Sativa L.* and *Nigella Damascena L.* (*Ranunculaceae*) grown under semiarid conditions. *Italian Journal of Agronomy*, 125-130.



Reklamların Pazarlama Etiği Açısından İncelenmesi*

Hüseyin Koçarlan^{1†}

¹ Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat Fakültesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6681-538X)

(İlk Geliş Tarihi 21 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.678393)

ATIF/REFERENCE: Koçarlan, H. (2020). Reklamların Pazarlama Etiği Açısından İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 179-187.

Öz

İyi ile kötü, doğru ile yanlış gibi kavramları inceleyen, değerler ve standartlar sistemi olarak tarif edilen etiğin pazarlama açısından giderek daha fazla önem kazandığı söylenebilir. Tüketici haklarının ve tüketici memnuniyetinin önem kazandığı günümüz dünyasında işletmelerin pazarlama faaliyetlerinde etik ilkeleri rehber edinmeleri ile firmaların uzun vadede kazançlar sağlayacağı açıktır. Diğer taraftan küreselleşme ve rekabetin artması ile kendi çıkarlarını öne çıkaran üretici ve pazarlamacılara karşılık tüketicilerin de kendi çıkarlarını ve haklarını koruması da etik kavramının önemini arttırmıştır. Etik kavramı pazarlamanın birçok konusu ile birlikte, işletmelerin tutundurma karması çerçevesinde yaptıkları reklamların kapsamı ile de yakından ilişkilidir. Çünkü aldatıcı ve etik ilkelere uygun olmayan bir reklam, tüketicilerin yanlış karar vermelerine neden olabilmektedir. Bunun sonucunda memnuniyetsizlikler söz konusu olabilmektedir. Günümüzde reklamların ulaştığı büyük boyutlar da düşünülürse, reklamların hazırlanmasında etik ilkelere uyulması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı; reklamların müşteriler tarafından pazarlama etiği açısından nasıl değerlendirildiğinin saptanmasıdır. Bu kapsamda Konya ili Beyşehir İlçesinde yaşayan memur, işçi, esnaf ve öğrenciler araştırma kapsamına alınmıştır. Saha araştırması kapsamında tüketicilere reklamların pazarlama etiği açısından değerlendirmelerine dair 18 maddeden oluşan anket soruları uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, katılımcılar reklamlara güvenmeye dayalı yargılara daha çok katıldıkları; devamında ise reklamların ürünün gerçek yüzünü manüple ettiği, aldatma amaçlı olduğuna ilişkin yargılara sahip oldukları saptanmıştır. Evli katılımcıların ve memurların, sırasıyla bekâr katılımcılara ve öğrencilere göre reklamlarda daha az etik davranıldığına ilişkin yargılara sahip oldukları saptanmıştır ($p < 0,01$).

Anahtar Kelimeler: Pazarlama, Reklam, Pazarlama Etiği, Müşteri.

Analysis of Advertisements in Terms of Marketing Ethics

Abstract

It can be said that the ethnicity described as a system of values and standards, increasingly more important in terms of marketing, examines concepts such as good, right, bad, and wrong. It is clear that in today's world, where consumer rights and consumer satisfaction are important, firms should be guided by ethical principles in their marketing activities, which will provide long-term gains for firms. On the other hand, the increase in globalization and competition has increased the importance of ethics in protecting consumers' interests and rights against producers and marketers who emphasize their own interests. The concept of ethics is closely related to the extent to which advertisements are carried out within the context of entrepreneurship, along with many aspects of marketing. Because an ad that is not in accordance with deceptive and ethical principles can cause consumers to make wrong decisions. As a result, dissatisfaction can be a problem. If today's big dimensions of advertising are considered, it is very important that ethical principles are adhered to in the preparation of advertisements. The purpose of this study is to determine how the advertisements are evaluated in terms of the marketing ethics by the customers. In this context, civil servants, workers, artisans and students living in the Beyşehir district of Konya city were taken into the scope of the research. Within the scope of the field survey, a questionnaire consisting of 18 items was applied to evaluate the marketing ethics of advertisements to consumers. A total of 300 people participated in the survey, 100 of them were civil servants working in public and private sectors, 99 were tradesmen and 101 were students. According to the results of the research, participants were more likely to participate in judgments based on trust in advertisements; it has been determined that the advertisements have the judgments that the actual face of the product is manipulated and that it is intended to be deceived. It was found that married participants

* Bu çalışma, 27-29 Nisan 2018 tarihleri arasında gerçekleştirilen Uluslararası EMI Girişimcilik ve Sosyal Bilimler Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuş, çalışma özeti bildiri kitapçığında yayımlanmıştır.

† Sorumlu Yazar: Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat Fakültesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6681-538X, koçarlan1@gmail.com
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

and civil servants had judgments about the less ethical behavior of advertisements in relation to single participants and students, respectively ($p < 0.01$).

Keywords: Marketing, Advertising, Marketing Ethics, Customer.

1. Giriş

Küreselleşen dünyamızda işletmelerin amaçlarından olan sosyal sorumluluk ilkesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. İşletme sahipliği ile yönetimin ayrı ayrı düşünülmesi durumu ve profesyonel yöneticinin çok yönlülüğü çerçevesinde, hissedarlar yanında toplumunda işletmelerden beklentisi artmıştır. Bu anlayış aynı zamanda kar amacının zayıflaması anlamına gelmektedir (Mucuk, 2012:13). Günümüzde teknoloji, iletişim ve ulaşımda alanlarında yaşadığımız değişim hem işletmeleri hem de tüketicileri etkilemektedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde yaşanan bu hızlı değişim rekabeti arttırdığı gibi tüketicilerinde bilinçlenmesi ve beraberinde beklentilerinin yükselmesine yol açmıştır.

Küreselleşen dünyamızda; tüketicilerin beklentileri oldukça büyük oranda değişmiş olup, iş hayatında üreticinin sahip olduğu egemenlik tüketicilere geçmiştir. Bu gelişmeler işletmeleri oldukça yakından etkilemiştir. Artık işletmeler sadece kar elde etmeyi düşünen bir yapıdan tüketicilerin isteklerini ve ihtiyaçlarını tatmin eden aynı zamanda da sosyal sorumluluklarını yerine getirmeye çalışan yapılar haline dönüşmüşlerdir. İşletmelerin, uzun dönemde hayatlarını sorunsuz bir şekilde devam ettirebilmeleri bu politikalara bağlı hale gelmiştir.

Bu anlayışın giderek daha fazla taraftar bulması neticesinde işletmelerin ayakta kalabilmesi için sadece müşteri memnuniyetini sağlamak yeterli olmayıp aynı zamanda toplumunda çıkarlarını ön plana almaları gerekmektedir. Dolayısı ile işletme ile ilgili tüm departmanların verecekleri kararlarda bu anlayışa göre hareket etmeleri gerekecektir.

Bu gelişmeler özellikle işletmelerin dışa dönük bir fonksiyonu olan pazarlama bölümünü daha yakından ilgilendirmektedir. Üretilen mamullerin fiyatlandırılması, tutundurulması ve dağıtımı ile ilgili süreç olarak tanımlanan pazarlamanın bu faaliyetleri icra ederken sosyal sorumluluk kavramına önem vermesi işletmeler açısından olumlu kazanımların elde edilmesini sağlayacaktır. Ticari faaliyetlerdeki artış, tüketicilerin memnuniyeti, toplumun işletmelerden olan beklentilerindeki artış ile birlikte gelişen sosyal sorumluluk kavramı sayesinde etik kavramı pazarlama faaliyetlerinde önem kazanmaya başlamıştır.

Bu çalışmada toplumun çeşitli kesimlerinin, işletmelerin pazarlama faaliyetlerinde oldukça önemli bir yer tutan reklam uygulamalarının sosyal sorumluluk ve pazarlama etik anlayışına uygun olup olmadığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Etik Kavramı ve İş Etiği

Türk Dil Kurumu sözlüğünde ahlaki, ahlakla ilgili ve farklı meslek dalları arasında tarafların uyması veya kaçınması gereken davranışlar bütünü olarak tarif edilen etik kavramı Cambridge sözlüğünde ise “ahlaken doğru veya yanlış olan davranışlar hakkındaki inanç ve fikirler” olarak tarif edilmiştir. Yunanca kökenli bir kavram olan etik, “ethos-ethikos” kelimesinin tarihçesi oldukça eskilere dayanmaktadır. Etik kavramı “ahlak sistemi, gelenek-görenek, karakter, insan davranışı, prensip” gibi anlamlara gelmektedir (Ülgen ve Mirze, 2004: 440).

Genel olarak etik kavramı genel olarak; yararlı, doğru ve yanlış, iyi ile kötü, gibi kavramlar üzerinde duran, insanların davranış ilişkilerinde hangi davranışların iyi hangilerinin kötü olduğunu belirleyen değer ve ahlaki ilkeler, normlar ve standartlar sistemi olarak tanımlanabilir (Hatcher, 2004). Linda ve Elder, etiği “hangi davranışların insanlara fayda veya zarar verdiğini belirlemede rehberlik eden biri dizi kavram ve ilke olarak tanımlamaktadır (Paul ve Elder, 2006). Amerikan Pazarlama Birliği etik kavramını doğru ve yanlışın ne olduğunu veya ahlaki yükümlülüklerle uğraşan bir disiplin olarak tanımlamaktadır (Shea, 1988, Aktaran: Özdemir). Günlük anlamda en çok kullanıldığı anlam; “Kişinin davranışlarına temel olan ahlak ilkelerinin tümü” olarak ifade edilmektedir (Aktaş, 2014:23).

“Etik gerçekte felsefenin bir koludur. Bu alanda yapılan çalışmalar davranışlarımızın, tutumlarımızın, eylemlerimizin insani değerlerimiz açısından iyi, doğru kabul edilebilir olup olmadıklarına ilişkin çalışmalardır. Felsefecilerin yoğun uğraş alanlarından biri olan bu çalışmalar, mevcut değerlerin analizi, incelenmesi, değer kavramlarının anlamı, yorumu, iyi ve kötüyü araştırmak, yeni ilke ve kuralların geliştirilmesi, ödev-yükümlülük ve toplumsal sorumluluk vb. kavramların değerlendirilmesi gibi çalışmalardır” (Aydn, 2001:4).

Ahlak ve etik arasında yakın bir ilişki bulunduğundan bu iki kavram sık sık birbirine karıştırılmaktadır. Hatta bazen bu kavramların birbirlerinin yerine kullanıldığı görülmektedir. Aslında etiğin ahlaki da kapsayan daha geniş bir anlamı olduğu ifade edilebilir. Etik kavramını, ahlak ve hukuk ile birlikte geleneği de içeren çok geniş anlamda kullanan hukuk felsefecileri ve toplum bilimcileri bulunmaktadır. Bu anlamda etik kavramının, kullananların ve değişik kullanılışların yöneldiği amaçlarla, çok geniş bir alanı kapsamına aldığı söylenebilir. Bu kullanımlardan dolayı, bu kavrama farklı içerikler yüklendiği görülmektedir. Etik kavramı geniş bir alanı kapsamaktadır (Keleş ve Ertan, 2002).

Buradan da anlaşıldığı gibi etik, insan eylem ve davranışlarını konu alan bir kavramdır. Ancak karakteristik bir eylem kuramı da sayılamaz. Dolayısı ile insanların her türlü faaliyet ve eylemi değil sadece ahlaklı olma ile ilgili faaliyetleri vurgulayan eylemler etiğin konusunu oluşturur. Etiğin, bir davranışı ahlaki olarak iyi bir davranış haline getiren niteliksel durumu sorguladığını ve bu kapsamda: ahlak, iyi, ödev, gereklilik, izin vb.gibi kavramları ele aldığı söylenebilir (Özdemir,2011:6).

Hangi davranış ve eylemlerin etik ilkelere uygun olup olmadığını, sadece kişilerin bireysel etik ve değerleri tarafından değil, kitle iletişim, menfaat grupları ve örgütleri de içine alan toplum tarafından belirlenmektedir. Bir eylemin etik açıdan konumunu ortak toplumsal bakış açısı belirlemektedir. Yalın anlamda etiksel düşünce ve eylemden bahsediliyorsa, bunun herhangi bir şekilde bir fayda bekleme, çıkar elde etme, kötü niyet taşıma, bir üst güç ve cezadan çekinme, yasalara uyma gibi neden ve sebeplere dayanmaması gerekmektedir(Aktaş, 2014:23).

İş etiği ise, iş hayatı ile ilgili hangi davranışların doğru hangilerinin yanlış olduğu konusundaki inançlara dayanan davranış ilke ve kurallarının toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu ilke ve kurallara uygun olarak yapılan eylem ve faaliyetler etik olarak kabul edilirken uygun olmayanlar etik değil şeklinde ifade edilir (William ve diğerleri, 1993:46, Aktaran: Erkan ÖZDEMİR). Ticaretin gelişmesine ve küreselleşmesine paralel olarak sosyal sorumluluk, müşteri memnuniyeti, doğal çevreyi koruma ve benzeri birçok kavram doğmuştur. Bilinçlenen tüketiciler işletmelerin ticari faaliyetlerini icra ederken etik davranmalarını, topluma katkı sağlamalarını ve çevreye zarar vermemelerini beklemektedirler. Bu konularda hassas olan tüketiciler satın alma tercihlerini etik ilkelere uygun davranan sadece kendisini değil toplumu, çevreyi ve müşterilerini düşünen firmalardan yana kullandıkları gözlenmektedir.

Bu noktada işletme yöneticilerinin ve fonksiyonel alanda da pazarlama yöneticilerinin etik konulara daha fazla özen göstermesi ve etik davranışlarda bulunması gerekmektedir(Özdemir,2011:5). İş için etik, aşağıda belirtilen çeşitli nedenlerden dolayı gereklidir (Kumar ve diğerleri,2014: 293-294):

- Etik, temel insan ihtiyaçlarına karşılamaya yöneliktir,
- Etik, kamuoyunda güvenilirlik yaratır,
- Etik, çalışanlara yönetim güvenilirliği sağlar,
- Etik, daha iyi karar verilmesine yardımcı olur,
- Etik ve karlılık arasındaki olumlu ilişki,
- Toplumsal düzeni sağlamak sadece hukuk ile olmaz, etik bu sürece olumlu katkı sağlayabilir,

İşletmelerde davranışların kabul edilebilirliği müşteriler, rakipler, devletin yasal düzenlemeleri, çıkar grupları ve halkın yanı sıra her bireyin kişisel ahlaki ilkeleri ve değerleri tarafından belirlenir(Ferrel, Fraedrich and Ferrell, 2005).

2.2. Pazarlama Etiği

Pazarlama yöneticileri üretilen mamullerin ve hizmetlerin fiyatlandırılması, dağıtılması ve reklam ve tanıtımının yapılması ile ilgili birçok karar alma durumundadırlar. Faaliyetlerini yürüttükleri ülkelerde geçerli olan yasalar, sosyal ve kültürel yapı, etik ilkeleri ve benzeri çevre faktörleri gerek işletme yöneticilerinin gerekse pazarlama yöneticilerinin verecekleri kararları yakından ilgilendirmektedir.

Etik konusu, pazarlamacılar açısından özellikle önem kazanmaktadır. Çünkü işletme fonksiyonlarının iş ahlakı ile ilgili konuları incelendiğinde, bu açıdan tartışmaya açık konuların en büyük çoğunluğunun pazarlama ile ilgili olduğu görülmektedir. Bunları şöyle sıralayabiliriz: abartılı ve aldatma eğilimi olan reklamlar, yanlış yönlendirmeye sevk eden tutundurma faaliyetleri, yetersiz düzeyde sunulan garanti ve servis hizmetleri, taklit mallar, diğer markalara benzetme, dağıtıcıların üzerindeki baskılar, fiyatlar üzerinde yapılan anlaşmalar gibi eylemler etik dışı davranışlar olarak değerlendirilebilir. Ayrıca malın üretiminde rekabet baskısı ile ucuz hammadde veya ürünü değişik göstermek için yeni katkı maddelerinin kullanımı reklamlarda ve etiketlerde verilen bilgilerin gerçekleri yansıtmaması, satıcıların müşterilerini aldatması gibi çoğu konuda yanlış uygulamalar söz konusu olabilir (Mucuk, 2014:21).

Pazarlama etiği, hedef pazarların tespiti, pazarlama ile ilgili stratejilerin oluşturulması, pazarlama çaba ve işletmeye uygun olan pazarlama programının geliştirilmesi, program ve planların uygulanması, pazarlama bölümünün oluşturulması ve bu bölümün performansı ile ilgili değerlendirmeler yapılmasına kadar çeşitli düzeylerde verilen kararlarda etik ilke ve kuralların göz önüne alınması ve yapılacak eylem ve faaliyetlerin bu ilkelere göre düzenlenmesi şeklinde tanımlanabilir (Özdemir, 2011:54)

Etik ilkelere uygun olarak şekillendirilen pazarlama kararları sürdürülebilir pazarlamanın köşe taşı konumundadır. Uzun dönemde etik olmayan pazarlama uygulamaları hem müşterilere hem de topluma zarar verebilir. Ayrıca işletmelerin ününe ve etkililiğine zarar verebileceği gibi işletmenin hayatına tehlikeye de atabilir. Bundan dolayı, müşteri sadakatini sağlamak, aynı zamanda da işletmenin başarılı olmasının tek yolu etik pazarlama ilkelerini uygulamakla mümkün olabilir (Kotler ve Armstrong, 2012:628).

İş hayatındaki uygulamalar sık sık eleştirilir, çünkü iş hayatındaki koşullar rutin olarak etik anlamda çetin ikilemler ortaya koyar. İşletmeler ürün ve hizmetleri ile ilgili olarak fedakârlık yaparak ve büyük maliyetlere katlanarak ya zor yolu seçerler veya meseleyi görmezden gelerek kolay yolu seçebilirler. Zor yolu seçen işletmeler uzun dönemde hem karlılıklarını hem de ünlerini ve imajlarını arttırabilirler (Kotler, 2009:116).

2.3. Reklamlarda Etik Uygulamalar

Reklam bir mamul ya da hizmetin, bir örgütün, bir bireyin veya bireylere ait fikirlerin, tarife ve bedeli önceden belirlenmiş bir ücret karşılığında kitle iletişim araçları ile olumlu bir şekilde tanıtılarak benimsetilmesi çabaları olarak tanımlanabilir (Oluç,1990:3, Aktaran:Remzi ATUNIŞIK, Şuayıp ÖZDEMİR, Ömer TORLAK).

Önemli bir tutundurma karması elemanı olan reklam, işletmeler açısından ürün ve hizmetlerinin tanıtımında büyük rol oynamaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde reklamlarında iletişim boyutu değişmiş bulunmaktadır. Önceleri sadece televizyon, radyo ve görsel medya araçlarını kullanan reklamcılar internetin gelişimi ile birlikte sosyal medya araçlarını da etkin bir şekilde kullanmaya başlamışlardır.

Reklamların temelde üç önemli amacı vardır: Bilgilendirme, ikna etme ve hatırlatma. Reklam, müşterilerin algılama düzeylerini etkiler ve böylelikle ürün ve hizmetler değer katar. Etkin bir reklam, marka imajı oluşmasına önemli katkılarda bulunur ve tüketicileri işletmeye ve işletmenin markasına çeker (Altunışık ve diğerleri,2014:430).

Dinamik çevre koşulları, teknolojinin gelişimi ve internet ve iletişim araçlarındaki artan çeşitlilik neticesinde yeni ve geleneksel olmayan medyanın gelişmesi ve büyümesiyle birlikte reklam mesajlarıyla ilgili yeni ve şaşırtıcı etik konular ortaya çıkmıştır(Drumwright ve Murphy, 2009).

Pazarlamacılar arasında reklamların malların ve hizmetlerin satılmasına destek sağladığı konusunda genel bir görüş birliği söz konusu olmasına rağmen üzerinde en çok tartışılan pazarlama konusu olduğu söylenebilir. Reklamlarla ilgili olarak yapılan eleştiriler, ekonomik eleştiriler, sosyal eleştiriler ve hukuki eleştiriler olmak üzere üç kısımda incelenmektedir. Ekonomik eleştirilere göre reklam maliyetlerinin fiyatları yükseltmesi ve gereksiz yere büyük fonların harcanması ve tekeli bir etki oluşturduğu ileri sürülmektedir. Sosyal yönden eleştiride bulunanlar ise reklamların aşırı derecede tüketicileri ikna ettiğini, gerçek olmayan değerleri önemsetme gücünün olduğunu, insanları tahrik ederek aşırı şekilde tüketime yol açtığını ileri sürmektedirler. Hukuki açıdan reklamları eleştirenler ise aldatıcı reklam ve yanıltıcı reklamların üzerinde durmaktadırlar (Mucuk,2014:230-231).

Konuya bu açıardan bakıldığında reklamların etik ilkelere ve hukuk kurallarına uygun olarak hazırlanması, dürüstlük ve doğruluk prensipleri çerçevesinde düzenlenmesi, rakipler karşısında dürüstlük ve doğruluk ile tüketiciler karşısında dürüstlük ve doğruluk içerecek şekilde düzenlenmesi (Dündar ve Göksel, 2006:127) ve bu şekilde kitle iletişim araçlarında sunulması oldukça önem taşımaktadır. Reklam etiği kavramı da son zamanlarda literatürdeki yerini almıştır. Reklam etiğine uygun olarak hazırlanan reklamların firmalar açısından uzun dönemde çok büyük katkılar sağlayacağı önemli bir gerçektir.

Reklam etiği; firmalara ve markalarına ait olan reklamların toplumun genel ahlâki kurallara, haksız rekabetin önlenmesi, insan haklarına, tüketicilerin haklarının korunması prensiplerine uygun olarak hazırlanmasına yönelik olarak, reklam sektöründeki aktörlerin ve toplumsal bazda yapılan değerlendirmeler ve sorgulamalar şeklinde tanımlanabilir. Bu ilkeler çeşitli kurumlarca belli kanun ve yönetmeliklerde şekillenebileceği gibi aynı zamanda reklam dünyasının tarafları olan reklam ajansı, reklam veren ve reklam mecrasının kendi inisiyatifine, kendi vicdanına, kısaca kendi içinde oluşturacağı meslek prensiplerine de bağlıdır (Elden ve Ulukök, 2006:3)

Cunningham (1999), reklam etiğini, reklamcılık işlevinin yerine getirilmesi esnasında neyin iyi ve doğru olduğu hususunun göz önüne alınması şeklinde tanımlanmış ve sadece yasal olarak yapılması gerekenler değil, gerçekte neyin yapılması gerekiyorsa onların yapılmasının doğru olacağını vurgulamıştır. Kurumsal sosyal sorumluluk prensibi etik ile yakın ilişki içerisinde olup zaman zaman etik kavramla örtüşmektedir. Bilindiği üzere sosyal sorumluluk kavramı son zamanlarda oldukça önem kazanmıştır. Sosyal sorumluluk, toplum için kaynak sağlanması, doğal çevrenin korunması ve geliştirilmesi, genel refahı teşvik etmek için tasarlanan kar amacı gütmeyen programlara katılım veya bunların geliştirilmesini içeren bir yönetim felsefesidir (Boone ve Kurtz, 2013:28). Bergher, Cunningham ve Drumwright sosyal sorumluluk ile ilgili tanımları gözden geçirerek bu kavram ile etik arasındaki ilişkiyi gösteren üç boyut belirlemişlerdir(Drumwright ve Murphy, 2009:83). Bunlar: (1) bir şirketin faaliyetlerini sorumlu ve etik bir şekilde yürütmesini sağlayan iç politika ve süreçler, (2) Şirket hayırseverliği ve çalışanların gönüllülüğü gibi bir şirketin faaliyet gösterdiği topluluklara katkıda bulunan ve bunları geliştiren dış girişimleri, (3) bu girişimlerin topluma olan etkisi. Geoffrey Warnock (1971), reklamcılık için özellikle uygun görünen dört ilkeyi listeler: Faydalanma, etik dışı olmamak (zarar vermeme), olumsuz görüş ve ayrımcılıktan uzaklaştırmamadır.

3. Materyal ve Metot

3.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışma, Konya ili Beyşehir ilçesinde yaşayan memur, esnaf ve öğrencilerin çeşitli medya vasıtalarında yayınlanan reklamları etiksel açıdan nasıl değerlendirdiklerini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda katılımcıların sosyo-ekonomik özellikleri (cinsiyet, medeni durum, meslek, eğitim düzeyi, yaş ve aylık gelir durumu) açısından reklamları etiksel açıdan nasıl

değerlendirdiklerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığını da ortaya konmuştur. Araştırma kapsamının aşağıdaki hipotezler geliştirilmiştir:

H_1 : Cinsiyet değişkenine göre, müşterilerin reklamların pazarlama etiği algılarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

H_2 : Medeni durum değişkenine göre, müşterilerin reklamların pazarlama etiği algılarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

H_3 : Meslek değişkenine göre, müşterilerin reklamların pazarlama etiği algılarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

H_4 : Eğitim durumu değişkenine göre, müşterilerin reklamların pazarlama etiği algılarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

H_5 : Yaş değişkenine göre, müşterilerin reklamların pazarlama etiği algılarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

H_6 : Aylık gelir durumu değişkenine göre, müşterilerin reklamların pazarlama etiği algılarında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

3.2. Araştırmanın Yöntemi

Araştırmada veri toplama yöntemlerinden biri olan anket yönteminin kullanılması tercih edilmiştir. Araştırmanın anketi Konya ili Beyşehir İlçesinde yaşayan memur, esnaf ve öğrenciler olmak üzere toplamda 300 kişiye uygulanmıştır. Anket formu iki kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda demografik bilgilere ilişkin ifadeler yer verilmiştir. İkinci kısımda ise reklam algılamalarına ilişkin Dündar ve Göksel (2006) tarafından daha önce yapılan bir çalışmada kullanılan anketteki 18 ifadeye yer verilmiştir.

Araştırmanın sahadan veri toplama aşamasında tüketicilere reklamların pazarlama etiği açısından değerlendirmelerini içeren 18 maddeden oluşan anket soruları yönlendirilmiştir. Bu ölçekler, 5’li likert ölçeği şeklinde uygulanmıştır (Tamamen katılıyorum (5), katılıyorum (4), kararsızım (3), katılmıyorum (2), Tamamen katılmıyorum (1) olarak puanlanmıştır.

Araştırma verileri SPSS programında analiz edilerek değerlendirilmiştir. Bu kapsamda frekans ve yüzde analizleri, iki ortalama arasındaki farkın anlamlılık testi (t testi) ile ANOVA testi uygulanmıştır.

Tablo 1: Verilere Ait Normallik Analiz Sonuçları

Ölçek	İstatistik	S.D.	Sig.	\bar{x}	Medyan	Skewness	Kurtosis
Pazarlama Etiği	0,072	300	0,001	2,7998	2,7222	0,478	0,359

Yapılan normal dağılım analizi sonucunda verilerin normal dağılmadığı belirlenmiştir ($p < 0.05$). Normal dağılımın diğer varsayımları olan ortalama-medyanın birbirine yakınlığı ile basıklık ve çarpıklığın -2, +2 arasında olması gerekliliği açısından incelendiğinde; değişkene göre bu değerlerin de normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir. Bu sebeple çalışmada parametrik testlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.3. Araştırmanın Bulguları

Araştırmaya katılanların sosyo- demografik özellikleri değerlendirildiğinde; katılımcıların % 33,3’ü esnaf, % 33,3’ü memur, % 33,3’ü öğrencilerden; %61’inin erkek, %39’u kadınlardan oluştuğu görülmektedir.

Tablo 2: Sosyo-Demografik Değişkenlere Göre Dağılımı-I

Meslek	n	Yüzde (%)	Cinsiyet	n	Yüzde (%)
Esnaf	100	33,3	Kadın	117	39,0
Memur	100	33,3	Erkek	183	61,0
Öğrenci	100	33,3	Medeni Durum		
			Evli	142	47,3
			Bekâr	158	52,7

Tablo 2 incelendiğinde esnaf, memur ve öğrencilerin eşit düzeyde temsil edildiği görülmektedir. Cinsiyet açısından değerlendirme yapıldığında katılımcıların çoğunluğunun (%61) erkek olduğunu görmekteyiz. Medeni durum açısından ise katılımcıların yüzde 53’nün bekâr olduğunu görmekteyiz.

Tablo 3: Sosyo-Demografik Değişkenlere Göre Dağılımı-II

YAŞ	n	%	EĞİTİM	n	%	AYLIK GELİR	n	%
20 Yaş ve altı	60	20,0	Lise	168	56,0	800 TL'den az	59	19,7
21-31 Yaş arası	106	35,3	Üniversite	99	33,0	801-1.600 TL arası	47	15,7
31-40 Yaş arası	73	24,3	Lisansüstü	33	11,0	1601-2.000 TL arası	51	17,0
41 Yaş ve üzeri	61	20,3				2001-3.000 TL arası	52	17,3
						3001 TL ve üzeri	91	30,3

Tablo 3'e göre araştırmaya katılanların sosyo-demografik özellikleri değerlendirildiğinde; katılımcıların %55,3'ünün 30 yaşından daha küçük olduğu; %56'sının lise mezunu olduğu; %30,3'ünün aylık gelirin 3.001 TL ve üzeri olduğu saptanmıştır.

Tablo 4: Pazarlama Etiği Ölçek Düzeylerine Göre Betimsel İstatistikler

Reklam İle ilgili Yargılar	n	\bar{x}	S.S.
Reklamlar sadece satışları artırma amacı taşımaktadır.	300	4,14	1,11
Reklâmlarda rakip ürünlerin kötülenmesi, uygun bir yaklaşımdır.	300	3,68	1,32
Reklamlarda cinsellik motifinin kullanılması ürünün kabullenilmesi açısından uygundur.	300	3,38	1,19
Reklâmlar, ürünlerin gerçek görüntülerini yansıtacak şekilde yapılmaktadır.	300	3,14	1,37
Reklâmlar, sosyal sorumluluk bilinci ön planda tutularak hazırlanmaktadır.	300	2,92	1,23
Reklâmlar, haksız rekabeti önleyecek şekilde düzenlenmektedir.	300	2,92	1,30
Reklamlarda özellikle çocuklar istismar edilmektedir.	300	2,90	1,28
Reklâmlar, ürünlerin biçim ve kaliteleri ile ilgili doğru bilgiler vermektedir.	300	2,85	1,22
Reklâmlarda, ünlü kişilerin ve fikir önderlerinin kullanılması haksız rekabet sebebidir.	300	2,85	1,25
Reklâmlarda kullanılan dil, yozlaşmayı beraberinde getirmektedir.	300	2,77	1,25
Reklâmlar, asli görevi olan bilgilendirme özelliğinden yoksundur.	300	2,73	1,18
Reklamlar toplumsal statü farklılığının açığa çıkmasında olumsuz anlamda önemli bir rol oynamaktadır.	300	2,66	1,07
Reklâmlar akla uygun olmayan ürünleri almamıza neden oluyor.	300	2,63	1,25
Reklam uygulamaları, tüketicilerin satın almak istemedikleri ürünleri aldatarak satın almalarını sağlayacak şekilde yapılmaktadır.	300	2,26	1,15
Reklâmda yer alan iddialar ile gerçek arasında farklılıklar bulunmaktadır.	300	2,24	1,06
Reklamcılar, tüketicide önceden gelişmiş değerlendirme ölçülerini çarpıtarak kendi çıkarlarına uydurmaktadır.	300	2,20	1,03
Reklâmlar, gerçekte tüketicilerde olmayan istekleri uyandırmaktadır.	300	2,16	1,10
Reklâmlarda, görsel efektler kullanılarak manipülasyonlar gerçekleştirilmektedir.	300	1,99	0,97
Pazarlama Etiği		2.80	0.50

Tablo 4'deki Pazarlama etiği ölçeğine ait betimsel istatistikler incelendiğinde, Pazarlama Etiği düzeylerinin orta düzeyde olduğu (\bar{x} =2.80) saptanmıştır. Pazarlama etiği ölçeğine ait en yüksek düzeye sahip ifadenin 4,14 ortalama ile "Reklamlar sadece satışları artırma amacı taşımaktadır" ifadesi olurken en düşük düzeye sahip ifade ise 1,99 ortalama ile "Reklâmlarda, görsel efektler kullanılarak manipülasyonlar gerçekleştirilmektedir" ifadesi olmuştur.

Tablo 5: Katılımcıların Cinsiyet Değişkenine göre Reklamların Pazarlama Etiğine İlişkin Algılarının Dağılımı

Ölçek	Cinsiyet	N	\bar{x}	SS	SD	t/F	P
Pazarlama Etiği	Kadın	117	2,8452	0,47328	298	-1,268	0,206
	Erkek	183	2,7708	0,50764			

Pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeylerinin cinsiyete göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek için bağımsız örneklem T testi yapılmıştır. Yapılan bağımsız T testi sonucuna göre pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeylerinin cinsiyetlerine göre farklılığı %95 güven aralığında anlamlı olmadığı belirlenmiştir (t=-1,268, p=0,206, p>0,05). Dolayısı ile H1 hipotezi reddedilmiştir.

Tablo 6: Katılımcıların Cinsiyet Değişkenine göre Reklamların Pazarlama Etiğine İlişkin Algılarının Dağılımı

Ölçek	Medeni Durum	N	\bar{x}	SS	SD	t/F	P
Pazarlama Etiği	Evli	142	2,7328	0,51345	298	-2,223	0,026*
	Bekar	158	2,8601	0,47368			

* p<0.05

Pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeylerinin Medeni duruma göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek için yapılan bağımsız T testi sonucuna göre pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeylerinin medeni duruma göre farklılığı %95 güven aralığında anlamlı olduğu belirlenmiştir (t=-2,223, p=0,026, p<0,05). Dolayısı ile H2 hipotezi kabul edilmiştir. Medeni durumu bekâr olanların (\bar{x} : 2,8601) ölçeğe katılım düzeylerinin evli olanlara göre (\bar{x} : 2,7328) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Evli olan katılımcıların bekar olanlara nazaran reklamlarda etik konusuna önem verdikleri ortaya çıkmıştır.

Tablo 7: Eğitim ve Aylık Gelire Göre Pazarlama Etiği Ölçeğine Katılım Düzeylerinin Analizi (ANOVA)

		N	\bar{x}	SS	SD	F	p
Eğitim	Lise	168	2,8356	0,49258	299	1,053	0,350
	Üniversite	99	2,7626	0,51009			
	Lisansüstü	33	2,7290	0,47013			
Aylık Gelir Durumu	0-800 TL	59	2,8795	0,45802	299	1,939	0,104
	800-1.600 TL arası	47	2,7861	0,45753			
	1.601-2.000 TL arası	51	2,8551	0,55390			
	2.001-3.000 TL arası	52	2,8632	0,50229			
	3.001 TL ve üzeri	91	2,6880	0,49127			

* p<0.05 ; ** p<0.01

Pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeylerinin eğitim ve aylık gelir düzeyine göre farklılık gösterip göstermediğini tespit etmek için ANOVA testi yapılmıştır. Yapılan Anova testi sonucuna göre “Pazarlama etiği” ölçeğine katılım düzeylerinin Eğitim ve aylık gelir düzeyine göre farklılığı istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı olmadığı belirlenmiştir (p>0,05). Dolayısı ile H4 ve H6 hipotezleri reddedilmiştir.

Tablo 8: Meslek Değişkenine Göre Katılımcıların Pazarlama Etiği Ölçeğine Katılım Düzeylerine Ait Analiz Sonuçları (ANOVA)

Ölçekler	Meslek	n	\bar{X}	s.s	Levene Test		F	p	TUKEY
					istatistik	p			
Pazarlama Etiği	<i>Memur</i> ¹	101	2,7013	0,47	0,762	0,468	3,204	0,042*	1-3
	<i>Esnaf</i> ²	99	2,8300	0,55					
	<i>Öğrenci</i> ³	100	2,8694	0,45					

*p<0.05 1.grup= Memur, 2. Grup = Esnaf, 3. Grup= Öğrenci

Pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeylerinin meslek değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini tespit etmek için yapılan ANOVA testi sonucuna göre “Pazarlama etiği” ölçeğine katılım düzeylerinin Meslek düzeylerine göre %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir (p < 0,05). Bu farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını belirlemek için post hoc

testlerinden varyansların homojen olması sonucu Tukey testi yapılmıştır. Yapılan Tukey testi sonucuna göre katılımcıların meslek değişkenine göre pazarlama ölçeğine katılım düzeyleri 1. Grup ile 3. Grup arasında anlamlı farklılık olduğu belirlenmiştir. Pazarlama Etiği ölçeğine katılım düzeyi memurlarda ($\bar{x}=2,7013$) ortalama ile en düşük düzeyde belirlenmiş, Öğrencilerde ise pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeyi ($\bar{x}=2,8694$) ortalama ile en yüksek düzeyde belirlenmiştir. Sonuçlara göre H_3 hipotezi kabul edilmiştir. Bu rakamlara göre memurların reklamların pazarlama etiği ölçeğine katılım düzeylerinin daha düşük olduğunu söyleyebiliriz. Memurların öğrencilere nazaran reklamlarda etik davranışa daha az uyulduğu kanaatini taşıdıkları ortaya çıkmıştır.

Tablo 9: Yaş Değişkenine Göre Katılımcıların Pazarlama Etiği Ölçeğine Katılım Düzeylerine Ait Analiz Sonuçları (ANOVA)

Ölçekler	Yaş	n	\bar{X}	s.s	Levene Test		F	p	Scheffe
					İstatistik	p			
Pazarlama Etiği	20 yaş ve altı ¹	60	2,8278	0,41	0,842	0,472	4,498	0,004*	2-3
	20 – 30 yaş ²	106	2,9209	0,51					
	31 – 40 arası ³	73	2,707	0,52					
	41 ve üzeri ⁴	61	2,673	0,48					

* $p<0.05$ 1.grup= 20 yaş ve altı, 2. Grup =20-30 yaş, 3. Grup= 31-40 arası, 4. Grup= 41 ve üzeri

“Pazarlama Etiği” ölçeğine katılım düzeylerinin katılımcıların yaşına göre farklılığı istatistiksel olarak %99 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. ($F= 4,498$, $p=0,004$, $p<0,01$). Anlamlı farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını belirlemek için post hoc testlerinden varyansların homojen olması sonucu Scheffe testi yapılmıştır. Yapılan Scheffe testi sonucuna göre katılımcıların yaş değişkenine göre pazarlama ölçeğine katılım düzeyi 2. Grup ile 3. Grup ve 2. Grup ile 4. Grup arasında anlamlı farklılık olduğu belirlenmiştir. Pazarlama Etiği ölçeğine katılım düzeyi 20-30 yaş arası olanlarda ($\bar{x}=2,9209$) ortalama ile en yüksek düzeyde belirlenmiştir. 31-40 yaş arası olanlarda bu rakam ($\bar{x}=2,707$) olarak tespit edilmiştir. Pazarlama Etiği ölçeğine katılım düzeyi 41 yaş ve üzeri olanlarda ($\bar{x}=2,673$) ortalama ile en düşük düzeyde belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre yaşın reklamların pazarlama etiğine uygun olup olmadığı hususunda önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Yaş arttıkça reklamların pazarlama etiğine uygunluk düzeyi azalmaktadır. Yaşı genç olanların bu konuyu gereği kadar önemsemediği ama yaş arttıkça insanların etik konusuna önem verdiği anlaşılmaktadır. Bu durumda H_5 hipotezi kabul edilmiştir.

Araştırma ölçeğine verilen cevaplar genel olarak değerlendirildiğinde; katılımcıların medeni durum, meslek ve yaş durumları değişkenlerine göre pazarlama etiğine ilişkin görüşlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p<0,05$; $p<0,01$) ($H1$, $H4$, $H6$ hipotezleri red edilirken; $H2$, $H3$, $H5$ hipotezleri kabul edilmiştir).

Bekâr katılımcıların evli katılımcılara; öğrencilerin memurlara; 21-30 yaş aralığında olanların 41 yaş ve üzerinde olanlara göre reklamların pazarlama etiğine daha çok uyduğunu görüşüne katıldıkları saptanmıştır.

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışma Dündar ve Göksel (2006) tarafından yapılan çalışmada saptadıkları sonuçlar ile örtüşmektedir. Dündar ve Göksel (2006) yaptığı çalışmalarında tespit ettiği reklamlarda etik anlayışı ile ilgili olumsuz tavır bu çalışmada da tespit edilmiştir. Aynı çalışmada tespit edilen reklamların etik anlayışa uygun olup olmadığı hususu cinsiyete göre farklılık göstermediği de ortaya konmuştur. Bu çalışmada da reklamların etik anlayışa uygun olması hususunda cinsiyete göre anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Dolayısı ile hem kadınlar hem de erkeklerin reklamlardaki etik davranışa bakış açıları olumsuzdur.

Araştırmaya sonuçları değerlendirildiğinde;

- Pazarlama etiği açısından değerlendirildiğinde anket yapılan kişilerin mevcut medya araçları ile yapılan reklamlara bakış açılarının olumsuz olduğu ortaya konulmuştur.
- Hem bayanlar hem de erkeklerin reklamları pazarlama etiği açısından değerlendirmeleri olumsuzdur.
- Bekar katılımcıların evli katılımcılara; öğrencilerin memurlara; 21-30 yaş aralığında olanların 41 yaş ve üzerinde olanlara göre reklamların pazarlama etiğine daha çok uyduğunu görüşüne katıldıkları saptanmıştır.
- En çok «Reklamlar sadece satışları artırma amacı taşımaktadır» yargısına; en az da «Reklâmlarda rakip ürünlerin kötülenmesi, uygun bir yaklaşımdır» yargısına katıldıkları saptanmıştır.
- Deneyim ve tecrübe önem kazanmaktadır. Evlilik, eğitim seviyesi, yaşam tecrübesi, aylık gelir durumu fazla olanlar reklamların etik ilkelerine uyup uymadığını daha iyi analiz ettikleri gerçeği ortaya çıkmıştır.

Bu çerçevede işletmelerin şu önerileri dikkate almaları önem taşımaktadır:

- İşletme yöneticileri ve reklam ajansları, yapacakları reklamlarda bu olumsuz algılamaları göz önünde bulundurarak adım atmalıdırlar,
- Günümüzde pazarlama etiği, sosyal sorumluluk gibi kavramların tüketici nezdinde önem kazanması işletmeleri ve reklamcılarını bu doğrultuda adım atmaya zorlayacağı kesindir.
- Uzun vadeli düşünen, müşteri odaklı firmaların ve reklamcılarının tüketiciyi aldatma ve yanıltma yerine, reklamların gerçek fonksiyonu olan bilgilendirme, hatırlatma ve ikna etme özelliklerine uygun reklamlar oluşturmaları büyük önem arz etmektedir.

Kaynakça

- Aktaş, K. (2014). Etik-Ahlâk İlişkisi ve Etiğin Gelişim Süreci, *Journal of International Management and Social Researches*, 1(2), 22-32.
- Altunışık, R., Özdemir, Ş., Torlak, Ö. (2014), Pazarlama İlkeleri ve Yönetimi, Beta Yayınları, 1. Baskı, İstanbul.
- Aydın, E., (2001), Tıp Etiğine Giriş, 1. Baskı, Pegem Yayıncılık, Ankara.
- Boone, L.E., Kurtz, D.(2013), Çağdaş İşletme, Çeviri Editörü: Prof.Dr. Azmi YALÇIN, Nobel yayınları, 14 Baskı, Ankara,
- Dündar, S., Göksel, T.,(2006), Reklamların Pazarlama Etiği Ve Sosyal Sorumluluk Bilincine Göre Değerlendirilmesi: Ampirik Bir Çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, C.VIII ,S.1,
- Cunningham, Peggy H. (1999), "Ethics of Advertising," in *The Advertising Business*, John Philip Jones, ed., London: Sage, p.500
- Elden, M., Ulukök, Ö., (2006), Çocuklara Yönelik Reklamlarda Denetim ve Etik, *Küresel İletişim Dergisi*, sayı 2, Güz-2006
- Ferrell, O. C., Fraedrich, J. and Ferrell, L. (2005). *Business Ethics, Ethical decision making and cases*. Houghton Mifflin Company, Boston, New York.
- Hatcher, T. (2004). "Environmental Ethics As An Alternative For Evaluation Theory in For Profit Business Context". *Evaluation and Program Planning*, 27, pp.357-363.
- Keleş, E.,Ertan,B.,(2002), Çevre Hukukuna Giriş, İmge Kitabevi Yayınları, Ankara
- Kotler, P. and Armstrong, G. (2012) *Principles of Marketing*. 14th Edition, Pearson Education Limited, Essex, England.
- KOTLER P (2005), A'dan Z'ye Pazarlama – Pazarlamayla İlgili Herkesin Bilmesi Gereken 80 Kavram, 7. Baskı Aslı Kalem Bakkal (çev.), MediaCat, İstanbul.
- Kumar, K.,S.,Ginna P.,R., G.Ramaiah,G., (2014), The Importance Of Business Ethics In Globalisation, *International Journal of Advancements in Research & Technology*, Volume 3, Issue 4, April-2014 294 ISSN 2278-7763, pp.293-294.
- Minette E. Drumwright & Patrick E. Murphy (2009) *The Current State of Advertising Ethics: Industry and Academic Perspectives*, *Journal of Advertising*, 38:1, 83-108, DOI: 10.2753/JOA0091-3367380106
- Mucuk, İ., (2012), Temel İşletmecilik Bilgileri, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 6. Baskı.
- Mucuk İ., (2014), Pazarlama İlkeleri, Türkmen Kitabevi, Yirminci Basım, İstanbul.
- Paul, R., Elder, L., (2006). *The Miniature Guide to Understanding the foundations of Ethical Reasoning*. United States: Foundation for Critical Thinking Free Press.
- Shea,G.(1988), *Practical Ethics*,New York,AMA Membersip Publication Division
- Oluç, M., (1990), Reklam, Pazarlama Dünyası, Yıl:4 Sayı:20, Mart/Nisan 3-18, S.3
- Özdemir, E.,(2011), Pazarlama Etiği ve Örnek Olaylar, Ekin Yayınları,Bursa,
- Ülgen, Hayri ve S. Kadri Mirze (2004), İşletmelerde Stratejik Yönetim, 2.Baskı, İstanbul, Literatür Yayıncılık.
- Warnock, G. J. 1971. *The Object of Morality*, 80–3. London: Wethnen & Co.[Google Scholar], Aktaran: Zinkhan, George (1994).
- William, F., Dresler,G., Reinecke, J.A.,(1993), *Introduction to Business*, Boston,pp.46
- Zinkhan, George (1994). *Advertising Ethics: Emerging Methods and Trends*, *Journal of Advertising*, 23



Dayanıklı (Robust) Regresyon: Karşılaştırmalı Simülasyon Çalışması

Yasin Büyükkör^{1*}, Ali Kemal Şehirlioğlu²

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1006-0539)

² Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5190-6740)

(İlk Geliş Tarihi 22 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.678710)

ATIF/REFERENCE: Büyükkör, Y. & Şehirlioğlu, A. K. (2020). Dayanıklı (Robust) Regresyon: Karşılaştırmalı Simülasyon Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 188-195.

Öz

Günümüzde birçok araştırmacı regresyon analizinde hata teriminin dağılışının Gaussyan (Normal) olduğunu varsaymakta ve regresyon parametrelerinin tahminini yaparken için En Küçük Kareler (EKK) yöntemini kullanmaktadır. Ancak uygulamada normal dağılış varsayımı kabul edilse bile artıklar genellikle normal dağılıştan farklı bir dağılış göstermektedirler. Özellikle veri setinde bulunan sapan gözlemler veya sapan gözlem olduğundan şüphelenilen gözlemler, verilerin normallik varsayımını bozmakta ve EKK yöntemi ile yapılan parametre tahminleri hatalı (sapmalı) olmaktadır. Araştırmacılar böyle durumların üstesinden gelebilmek için son yıllarda sıklıkla kullanılan dayanıklı (robust) yöntemleri kullanmaktadırlar. Bu yöntemlerin arasında en çok kullanılan M- tahminciler (En Yüksek Olabilirlik tipi) gelmektedir. M- tahminleme yöntemi, En Çok Olabilirlik (MLE) yönteminin geliştirilmiş bir versiyonudur ve EKK yöntemi de bir M- tahminci olarak bilinmektedir. M- tahminleme yöntemi, eldeki veri setine uygun bir amaç fonksiyonunu minimize ederek parametre tahminlerini iteratif olarak elde etmektedir. Bu çalışmada farklı senaryolar ele alınarak EKK yöntemi, Huber M- tahminleme yöntemi ve Tukey Bisquare M- tahminleme yöntemi karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu yöntemlerin amaç, etki ve ağırlık fonksiyonları incelenmiştir. Regresyon parametreleri tahminlenirken İteratif Olarak Tekrar Ağırlıklandırılan En Küçük Kareler (IRWLS) yöntemi kullanılmıştır. IRWLS yönteminde bir başlangıç çözümü uygun bir tahminleme yöntemiyle seçilir (Örn: EKK) ve M- tahminleme yöntemlerinin ağırlık fonksiyonları kullanılarak Ağırlıklı EKK yöntemiyle iteratif olarak parametre tahminleri elde edilir. Elde edilen parametre tahminleri Ortalama Karesel Hata (MSE), Sapma ve R² kriterleri açısından karşılaştırılmıştır. Eğer veri seti normal ise en kullanışlı yöntem EKK iken veri setinde kirlenme (contaminated) veya sapan gözlem olduğunda EKK yönteminin etkinliğini kaybettiği görülmüştür. Özellikle açıklanan değişken Y yönünde sapan gözlem olduğunda Huber ve Tukey M- tahminleme yöntemleri EKK'ya göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Dayanıklı (Robust) Regresyon, M- Tahminciler, Sapan Gözlem, İteratif Olarak Tekrar Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler

Robust Regression: A Comparative Simulation Study

Abstract

Today, many researchers assume that the distribution of the error term is Gaussian (Normal) in regression analysis and uses the Ordinary Least Squares (OLS) method to estimate the regression parameters. However, in practice, even if the distribution of errors is assumed to be normal, residuals are not generally normally distributed. Especially, if the data contains outliers or there are observations which

* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1006-0539, yasinbuyukkor@kmu.edu.tr

suspected to be outlier, the assumption of normality is violated and parameter estimates which made using the OLS, are biased. Researchers use robust methods to overcome when such problems occur. Among these methods, M-estimators (Maximum Likelihood Type) are the most used. The M- estimation method is a generalized version of the Maximum Likelihood (MLE) estimation method, and the OLS method is also known as an M-estimator. In the M-estimation method, it minimizes a objective function suitable for the data set and obtains parameter estimates iteratively. In this study, the OLS method, Huber M- estimation method and Tukey Bisquare M- estimation method were compared using different scenarios. In addition, the Objective, Influence and Weight functions of these methods were examined. Iteratively Re-Weighted Least Squares (IRWLS) method is used for parameter estimation. When using IRWLS method, an initial solution is selected by an appropriate estimation method (eg. OLS) and iterative solution is obtained by using the Weighted OLS method with the weight functions of the M-estimation methods. By comparing the obtained parameter estimates, Bias, Mean Squared Error (MSE) and R^2 criterias are used. If the data set is normal, the most useful method is OLS, whereas the OLS method has lost its efficiency when there is contaminated distribution or outliers in the data set. Huber and Tukey M- estimation methods give better results than OLS, especially when there is outlier in the Y direction.

Keywords: Robust Regression, M- Estimators, Outliers, Iteratively Re-Weighted Least Squares

1. Giriş

Birçok regresyon çalışmasında araştırmacılar genellikle ellerindeki veri setinin Gausyan (normal) dağılışa sahip olduğunu varsayarak parametre tahmini yapmaktadırlar. Ancak gözlemlerde gözlemlerin ortalamasından çok uzakta (sapan) değerler olduğunda veri setinin dağılışı normal dağılıştan farklılaşır. Örneğin Aksaraylı ve Pala (2018) çalışmalarında buna değinmiştir. Böyle durumlarda geleneksel yöntemlerle analiz yapmak tahmin sonuçlarını hatalı olarak verecektir (Hampel vd, 1986).

Veri setinde bulunan anormal durumlar genellikle;

- Ölçüm
- Kayıt ve
- Verileri bir yerden başka bir yere aktarırken ortaya çıkan hatalardan kaynaklanmaktadır.

Ancak bazı durumlarda veri setine ait doğal bir gözlem veya gözlemler bile sapan (outlier) gözlem olarak algılanabilir. Araştırmacı bu gözlemlerin analizini doğru yapmazsa, bu gözlemleri veri setinden dışlayabilir. Gözlemlerin özel durumlar haricinde dışlanması veya analizden tamamen çıkarılması parametre tahminleri ve modelin yorumlanması açısından hatalı sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Özellikle regresyon analizinde sapan gözlem veya sapan gözlemlerin bulunması durumunda analiz yapılırken EKK yöntemini kullanmak sonuçların sapmalı çıkmasına neden olacaktır. Sapan gözlemlerin varlığı durumunda araştırmacılar bu gözlemlerden daha az etkilenen dayanıklı (robust) tahminleme yöntemlerine başvurmuşlardır. En sık kullanılan robust tahminleme yöntemi Huber (1964) tarafından geliştirilen M- Tahminleme (M- Estimators) yöntemidir. M- Tahminleme yöntemi En Çok Olabilirlik (MLE) yönteminin geliştirilmiş ve sapan gözlemlere dayanıklı versiyonudur (Stuart, 2011; Rousseeuw and Leroy, 1987; Andersen 2008).

Hata teriminin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) $f(\varepsilon_i)$ olarak alınırsa β parametre vektörünün En Çok Olabilirlik (MLE) fonksiyonu;

$$\prod f(\varepsilon_i) = \prod f(y_i - x_i^T \beta) \quad (1)$$

yazılabilir. Eğer hataların dağılışı normal ise;

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum (y_i - x_i^T \beta)^2 \quad (2)$$

fonksiyonu minimize edilir. Ancak hataların dağılışı normal dağılıştan farklı olduğunda minimize edilecek fonksiyon uygun bir amaç fonksiyonuyla değiştirilerek parametre tahminleri yapılır. Eşitlik 2’de verilen amaç fonksiyonu aynı zamanda EKK yöntemi olarak bilinmektedir.

Çalışmada 2. bölüm genel olarak sıkça kullanılan M- Tahmincileri tanıtılacak ve son bölümde EKK, Huber ve Tukey M- Tahmincileri farklı simülasyonlar kullanılarak karşılaştırma yapılacaktır.

2. M- Tahminciler

EKK yöntemi, hata teriminin dağılışının normal olduğu varsayımıyla olabilirlik fonksiyonunun (Hata Kareler Toplamının) minimize edilmesiyle elde edilir. M- Tahminciler aynı fikirle hataların dağılışının normal olmadığı durumlarda (çarpık, kirlenmiş, basık, uzun kuyruklu vb.) farklı bir fonksiyon kullanarak MLE tahmini yapmaktadırlar. M- Tahminciler;

$$\sum \rho(\varepsilon_i) = \sum \rho(y_i - x_i^T \beta) \quad (3)$$

olarak gösterilerbilir. Burada $\rho(\varepsilon_i)$ amaç fonksiyonu (minimize edilecek fonksiyon) olarak adlandırılır ve sürekli ve türevlenebilir bir fonksiyondur. Minimize edilecek fonksiyon;

$$\min \sum \rho(r_i) = \min \sum \rho\left(\frac{\varepsilon_i}{s}\right) \quad (4)$$

ile gösterilir. Burada s standart sapmanın tahminidir ve genellikle medyana dayalı bir tahmindir. En çok kullanılan standart sapma tahmini;

$$s = MAD/0.6745 = \frac{\text{medyan}|\varepsilon_i - \text{medyan}(\varepsilon_i)|}{0.6745} \quad (5)$$

yazılır (Draper and Smith 2014: 572). Standart sapma tahmininin paydasında bulunan 0.6745 katsayısı ise veriler normal dağılışa sahip olduğunda σ ile MAD'ın eşit olmasını sağlamaktadır (Hogg, 1979). Eşitlik 4 parametrelerine göre türevlenirse;

$$\sum x_{ij} \psi\left(\frac{y_i - x_i^T \beta}{s}\right) = 0 \quad (6)$$

elde edilir. Burada $\psi(r_i) = \partial \rho(r) / \partial r$ 'dir ve Etki (Influence) Fonksiyonu olarak bilinir. Beaton ve Tukey (1974)' e göre ağırlık fonksiyonu;

$$w(r) = \frac{\psi(r)}{r} \quad (7)$$

dir. Genellikle dayanıklı (robust) regresyon analizinde Huber ve Tukey M- tahminciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplama kolaylığı ve matematiksel olarak nispeten daha anlaşılır olması bu iki tahminleme yöntemini diğer yöntemlere göre popüler hale getirmiştir.

2.1. Huber M- Tahminciler

Huber (1964) tarafından geliştirilen M- Tahminleme yöntemi için amaç fonksiyonu;

$$\rho(r) = \begin{cases} \frac{1}{2} r^2 & , |r| < k \\ k|r| - \frac{1}{2} k^2 & , |r| \geq k \end{cases} \quad (8)$$

olarak bilinmektedir. Bu fonksiyonda bulunan k sabiti dönüm noktası (tuning constant) olarak adlandırılır ve değeri 1.345 olarak kullanılır. Burada k 'nın amacı eğer veriler gerçekten normal dağılışa sahipse kullanılan fonksiyonun etkinliğinin (efficiency) yaklaşık %95 olmasını sağlamaktır. Huber M- Tahmincilerin en önemli özelliği, fonksiyon $(-k, k)$ aralığında normal gibi davranırken diğer yerlerde Laplace (Double Exponential) dağılışı gibi davranmaktadır.

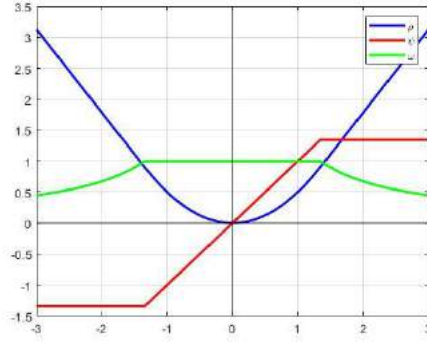
Huber M- tahminci için Etki fonksiyonu ve Ağırlık fonksiyonu;

$$\psi(r) = \begin{cases} r & , |r| < k \\ k \text{sign}(r) & , |r| \geq k \end{cases} \quad (9)$$

$$w(r) = \begin{cases} 1 & , |r| < k \\ \frac{k}{|r|} & , |r| \geq k \end{cases} \quad (10)$$

ile gösterilir. Amaç, Etki ve Ağırlık fonksiyonlarına ait grafik Şekil 1'de verilmiştir

Şekil 1. Huber Amaç, Etki ve Ağırlık Fonksiyonu



2.2. Tukey Biquare (Biweight) M- Tahminciler

Beaton ve Tukey (1974) tarafından geliştirilen Biquare (Biweight) amaç fonksiyonu;

$$\rho(r) = \begin{cases} \frac{k^2}{6} \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{r}{k} \right)^2 \right]^3 \right\} & , |r| < k \\ \frac{k^2}{6} & , |r| \geq k \end{cases} \quad (11)$$

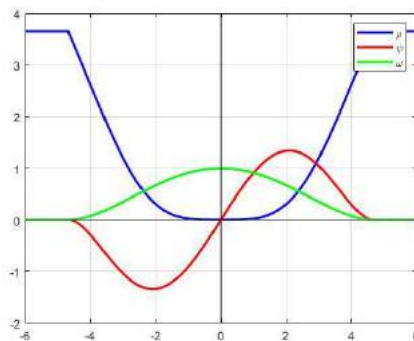
yazılabilir. Huber M- tahminci olduğu gibi k dönüm noktası olarak bilinir ve değeri 4.685 olarak belirlenmiştir. Tukey Bisquare Etki ve Ağırlık fonksiyonu;

$$\psi(r) = \begin{cases} r \left[1 - \left(\frac{r}{k} \right)^2 \right]^2 & , |r| < k \\ 0 & , |r| \geq k \end{cases} \quad (12)$$

$$w(r) = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{r}{k} \right)^2 \right]^2 & , |r| < k \\ 0 & , |r| \geq k \end{cases} \quad (13)$$

ile gösterilir. Tukey Bisquare M- tahminci, dağılımın kuyruklarında bulunan gözlemlere 0 ağırlığını vermesi ve böylece bu gözlemleri analiz yapılırken etkisiz hale getirmesidir. Amaç, Etki ve Ağırlık fonksiyonlarına ait grafik Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2. Tukey Bisquare Amaç, Etki ve Ağırlık Fonksiyonu



3. Simülasyon Çalışması

Simülasyon çalışmasında hatalar farklı özelliklere sahip dağılımlar kullanılarak türetilmiş ve tahminleme yöntemlerinin performansları değerlendirilmiştir. Karşılaştırma kriterleri olarak Sapma, Ortalama Karesel Hata (OKH) ve açıklama yüzdesi R^2 kullanılmıştır. Her bir simülasyon örnek hacimleri 30 ve 100 olacak şekilde 1000 tekrar üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada açıklayıcı değişken X değerleri $(-5,5)$ aralığında Uniform dağılımdan türetilmiştir. Gerçek regresyon parametreleri $\beta_0 = \beta_1 = 1$ olarak belirlenmiş ve böylece regresyon modeli;

$$Y = 1 + X + \varepsilon \quad (14)$$

Simülasyon çalışmasında kullanılan senaryolar;

- **Senaryo 1:** Hataların dağılışı standart normal dağılışı iken $\varepsilon \sim N(0,1)$
- **Senaryo 2:** Hataların dağılışı 5 serbestlik dereceli Student t dağılışı iken $\varepsilon \sim t(5)$
- **Senaryo 3:** Hataların dağılışının %80'i standart normal ve %20'si ortalaması 0 varyansı 10 olan normal dağılışı iken $\varepsilon \sim 0.8N(0,1) + 0.2N(0,10)$
- **Senaryo 4:** Hataların dağılışının %60'ı standart normal ve %40'ı ortalaması 0 varyansı 10 olan normal dağılışı iken $\varepsilon \sim 0.6N(0,1) + 0.4N(0,10)$
- **Senaryo 5:** Y yönünde bir adet sapan gözlem (standart normal dağılışa sahip gözlemlere 10 değeri eklenmiştir.)
- **Senaryo 6:** Y yönünde %20 oranında sapan gözlem (standart normal dağılışa sahip gözlemlere %20 oranında 10 değeri eklenmiştir.)

M- Tahmincilerle yapılan parametre tahminleri için İteratif Olarak Tekrar Ağırlıklandırılan En Küçük Kareler (IRWLS) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin algoritması;

1. Öncelikle EKK ile regresyon parametrelerinin tahminleri elde edilir.

$$b = (X'X)^{-1} X'Y$$

2. Elde edilen parametre tahminleri kullanılarak artıklar elde edilir.

$$e = Y - Xb$$

3. Artıklar kullanılarak standart sapmanın tahmini s (MAD) hesaplanır.

$$s = \frac{MAD}{0.6745} = \frac{\text{medyan}|e_i - \text{medyan}(e_i)|}{0.6745}$$

4. Elde edilen artıklar ve standart sapma kullanılarak standardize artıklar elde edilir.

$$r = e/s$$

5. Huber veya Tukey ağırlık fonksiyonları kullanılarak her bir artık için ağırlıklar hesaplanır.

6. Ağırlıklar kullanılarak parametre tahminleri Ağırlıklı EKK ile yapılır.

$$b = (X'WX)^{-1} X'WY$$

7. Yakınsama gerçekleşene kadar 2-7 arası tekrar edilir. Yakınsama kriteri;

$$\frac{\|b^i - b^{i-1}\|}{\|b^i\|} < 10^{-6}$$

Sapma ve OKH kriterlerini hesaplamak için;

$$OKH = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} (b - \beta)^T (b - \beta)$$

$$Sapma = \left| \frac{\sum_{i=1}^n b}{1000} - \beta \right|$$

eşitlikleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Senaryo 1 için sonuçlar

Örnek Hacmi	Tahminleme Yöntemi	b ₀	b ₁	Sapma b ₀	Sapma b ₁	OKH (MSE)	R ²
n=30	EKK	0,910	1,054	<u>0,085</u>	<u>0,045</u>	<u>0,015</u>	0,892
	Huber	0,852	1,065	0,150	0,063	0,026	<u>0,908</u>
	Tukey	0,849	1,061	0,148	0,060	0,026	<u>0,908</u>
n=100	EKK	0,915	1,108	<u>0,080</u>	<u>0,035</u>	<u>0,015</u>	0,903
	Huber	0,878	1,083	0,120	0,085	0,022	<u>0,924</u>
	Tukey	0,869	1,080	0,128	0,082	0,023	<u>0,927</u>

Hataların standart normal dağılım gösterdiği durumda EKK yöntemi daha düşük Sapma ve MSE değerine sahipken daha düşük R² değerine sahiptir. Ancak bu değer diğer tahminleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında önemsiz kalmaktadır. Örnek hacmi büyüdükçe sapma ve MSE daha azalmış buna karşılık açıklama oranı artmıştır.

Tablo 2. Senaryo 2 için sonuçlar

Örnek Hacmi	Tahminleme Yöntemi	b ₀	b ₁	Sapma b ₀	Sapma b ₁	OKH (MSE)	R ²
n=30	EKK	0,502	0,962	0,498	0,038	0,522	0,780
	Huber	0,549	0,978	0,453	0,023	0,206	0,835
	Tukey	0,572	0,994	<u>0,431</u>	<u>0,009</u>	<u>0,186</u>	<u>0,841</u>
n=100	EKK	0,870	1,047	0,130	0,047	0,453	0,856
	Huber	0,839	1,039	<u>0,159</u>	<u>0,040</u>	<u>0,027</u>	0,889
	Tukey	0,829	1,045	0,169	0,045	0,031	<u>0,901</u>

Hatalar daha uzun kuyruklu olan t(5) dağılımı gösterdiğinde EKK yönteminin etkinliği azalmakta ve dayanıklı yöntemlerin etkinlikleri artmaktadır. Örnek hacmi 30 olduğunda Tukey daha iyi sonuçlar verirken örnek hacmi 100 olduğunda Huber tahminleme yöntemi daha düşük sapma ve MSE değerleri vermiştir. Açıklama yüzdelere bakıldığında aralarında çok az bir fark olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Senaryo 3 için sonuçlar

Örnek Hacmi	Tahminleme Yöntemi	b ₀	b ₁	Sapma b ₀	Sapma b ₁	OKH (MSE)	R ²
n=30	EKK	0,702	0,663	0,301	0,428	0,865	0,163
	Huber	0,866	0,983	0,149	0,029	0,025	0,745
	Tukey	0,931	1,026	0,098	0,014	0,014	0,935
n=100	EKK	1,587	1,116	0,210	0,100	0,651	0,361
	Huber	0,997	1,082	0,008	0,083	0,007	0,761
	Tukey	0,900	1,058	0,085	0,060	0,012	0,943

Artıkların %80'i standart normal dağılım gösterip %20'si ortalaması 0 varyansı 10 olan normal dağılımdan geldiğinde (contaminated normal) küçük örnek hacminde Tukey daha iyi performans gösterirken, büyük örnek hacminde Huber ve Tukey benzer davranmışlardır. Her iki örnek hacmi için Tukey daha yüksek açıklama yüzdesine sahiptir. Bunun muhtemel nedeni ise Tukey artıkların değeri 4.695 değerinin aştığında ağırlıklara 0 değerine vermektedir. EKK ise dağılım bozulmuş (contaminated) olduğunda daha büyük sapma ve MSE değerleri vermektedir.

Tablo 4. Senaryo 4 için sonuçlar

Örnek Hacmi	Tahminleme Yöntemi	b ₀	b ₁	Sapma b ₀	Sapma b ₁	OKH (MSE)	R ²
n=30	EKK	0,332	1,481	0,803	0,324	0,765	0,369
	Huber	0,330	1,176	0,711	0,190	0,549	0,495
	Tukey	0,698	0,994	0,545	0,037	0,416	0,803
n=100	EKK	0,825	1,134	0,175	0,134	0,935	0,225
	Huber	0,991	1,091	0,013	0,092	0,009	0,568
	Tukey	1,018	1,066	0,012	0,068	0,005	0,896

Artıkların dağılımı artık ayırt edilemez hale geldiğinde (%60'ı standart normal dağılımdan %40'ı ortalaması 0 varyansı 10 olan normal dağılımdan gelmektedir) EKK her iki durumda da düşük açıklama yüzdesine sahiptir. Dağılım büyük oranda bozulmaya uğradığı için veriler artık daha kararlı hale gelmektedir. Tukey her iki durumda da daha iyi sonuçlar göstermektedir.

Tablo 5. Senaryo 5 için sonuçlar

Örnek Hacmi	Tahminleme Yöntemi	b ₀	b ₁	Sapma b ₀	Sapma b ₁	OKH (MSE)	R ²
n=30	EKK	1,855	1,420	0,996	0,422	0,853	0,492
	Huber	0,962	1,011	0,018	0,019	0,003	0,858
	Tukey	0,879	0,988	0,101	0,008	0,012	0,945
n=100	EKK	1,298	1,200	0,341	0,213	0,547	0,662
	Huber	1,053	1,054	0,058	0,056	0,007	0,914
	Tukey	1,033	1,048	0,039	0,051	0,004	0,940

5. senaryoda hatalar normal dağılıştan türetilmişken üretilen sayılardan sadece biri değiştirilerek 1 adet diğer verilerden çok yüksek (gross error, 30) bir veri eklenmiştir. Bu durumda tahminleme yöntemlerinden EKK büyük sapma ve MSE değerleri üretmiştir. Küçük örnek hacminde MSE açısından Huber daha iyiyken, açıklama yüzdesi açısından Tukey daha iyidir. Büyük örnek hacminde ise sapma, MSE ve açıklama yüzdesi açısından Tukey daha iyi sonuçlar göstermektedir.

Tablo 6. Senaryo 6 için sonuçlar

Örnek Hacmi	Tahminleme Yöntemi	b ₀	b ₁	Sapma b ₀	Sapma b ₁	OKH (MSE)	R ²
n=30	EKK	2,646	1,020	1,659	0,655	0,951	0,430
	Huber	1,549	1,093	0,585	0,100	0,357	0,736
	Tukey	1,198	1,079	0,240	0,091	0,075	0,901
n=100	EKK	2,653	0,997	1,285	0,923	0,866	0,383
	Huber	1,494	1,126	0,531	0,128	0,304	0,736
	Tukey	1,161	1,122	0,193	0,129	0,059	0,913

6. senaryoda hatalar normal dağılıştan türetilmiş ancak üretilen sayıların %20'si (örnek hacmi 30 için 6 ve 100 için 20 adet) diğer verilerden yüksek ve sabit 10 değeri ile değiştirilmiştir. EKK yöntemi kötü sonuçlar verirken her iki örnek büyüklüğünde Tukey M- en iyi sonuçları vermiştir.

4. Sonuç

Çalışmada farklı tahminleme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan tahminleme yöntemleri için;

- Artıkların dağılışı tahminleme yöntemi seçerken çok önemlidir.
- Eğer artıklar normal dağılışı gösteriyorsa en kolay ve en hızlı yapılan EKK yöntemi tercih edilmelidir.
- Eğer artıkların asıl dağılışının normal olduğu biliniyor ve verilerde sapan gözlem(ler) varsa Huber veya Tukey tarafından geliştirilen M- tahminleme yöntemlerine başvurulabilir.
- Bu yöntemler işlem süresi bakımından EKK'dan daha fazla sürmektedir.

Eğer artıklar normal dağılmıyorsa, bu yöntemler genellikle düşük etkinliğe sahiptir.

Kaynakça

- Aksaraylı, M., & Pala, O. (2018). A polynomial goal programming model for portfolio optimization based on entropy and higher moments. *Expert Systems with Applications*, 94, 185-192.
- Andersen, R. (2008). *Modern methods for robust regression* (No. 152). Sage.
- Beaton, A. E., ve Tukey, J. W. (1974). The fitting of power series, meaning polynomials, illustrated on band-spectroscopic data. *Technometrics*, 16(2), 147-185.
- Draper, N. R., ve Smith, H. (2014). *Applied regression analysis* (Vol. 326). John Wiley & Sons.
- Hampel FR, Ronchetti EM, Rousseeuw PJ, Stahel WA (1986) *Robust statistics. The approach based on influence functions*. Wiley, New York.
- Hogg, R. V. (1979). Statistical robustness: One view of its use in applications today. *The American Statistician*, 33(3), 108-115.
- Huber, Peter J. Robust Estimation of a Location Parameter. *Ann. Math. Statist.* 35 (1964), no. 1, 73--101. doi:10.1214/aoms/1177703732.
- Rousseeuw, P. J., ve Leroy, A. M. (1987). *Robust regression and outlier detection* (Vol. 1). New York: Wiley.
- Stuart, C. (2011). *Robust regression*. Department of Mathematical Sciences, Durham University, 169.



Siirt İli Florasında Doğal Olarak Yetişen *Salvia multicaulis* Vahl.' in Uçucu Yağ Kompozisyonunun Belirlenmesi

Doğan Arslan^{1*}, Mehmet Fidan²

¹ Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Kezer Kampüsü Siirt/Türkiye (ORCID: 0000-0001-7156-5269)

² Siirt Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Kezer Kampüsü Siirt/Türkiye (ORCID: 0000-0002-0255-9727)

(İlk Geliş Tarihi 22 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.678479)

ATIF/REFERENCE: Arslan, D. & Fidan, M. (2020). Siirt İli Florasında Doğal Olarak Yetişen *Salvia multicaulis* Vahl.' in Uçucu Yağ Kompozisyonunun Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 196-200.

Öz

Bu çalışma, Siirt ili florasında doğal yayılış gösteren *Salvia multicaulis* Vahl.'in uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada kullanılan bitki örnekleri 2016 yılında Siirt-Veysekarani Yolu Gündoğdu Vadisinden toplanmıştır. Uçucu yağ bileşen analizleri Siirt Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmış ve yağın % 96.23'ünü temsil eden toplam 19 farklı uçucu yağ bileşeni tespit edilmiştir. Uçucu yağ bileşenlerinin tespiti, GC-MS (gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi) cihazı (Thermo Scientific Trace 1310 ve ISQ Single Quadrupole) ile yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre uçucu yağ bileşenleri içerisinde en yüksek orana %50.96 ile 1.8-Cineole sahip olurken, en düşük orana %0.21 ile 2-Cyclohexen-1-ol'ün sahip olduğu tespit edilmiştir. 1.8-Cineole'un yanında, Limonene (%10.25), Caryophyllene oxide (%9.85), Camphor (%5.16), Ethylphosphate (%3.75), β -Caryophyllene (%3.01) o-Cymene (%2.15), Bornylacetate (%2.14), β -Pinene (%2.07), β -Myrcene (%2.07) öne çıkan diğer bileşenleri oluşturmuşlardır. *Salvia multicaulis* üzerine yapılan benzer araştırmalarda, farklı bileşenler ile bileşen sayılarının ortaya çıkması toplanan türün farklı standartlarda uçucu yağa sahip olduğunu göstermiştir. Yapılan uçucu yağ bileşen analizine endüstriyel alanda sıklıkla yararlanılan 1.8-Cineole (%50.96)'ün ana bileşen olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Salvia multicaulis*, 1.8-Cineole, Limonene, Caryophyllene oxide, Camphor, Caryophyllene, Cymene.

Determination of Essential Oil Composition of *Salvia multicaulis* Vahl. Species Growing in Flora of Siirt Province

Abstract

This study was carried out to determine the essential oil components of *Salvia multicaulis* Vahl, which is naturally distributed in the flora of Siirt province. The plant samples used in the study were collected from the Siirt-Veysekarani road Gündoğdu Valley in 2016. Essential oil component analysis was conducted in Siirt University Science and Technology Application and Research Center and as a result of the essential oil component analysis, a total of 19 different essential oil components were identified. The determination of essential oil components was done with the GC-MS (gas chromatography-mass spectrometer) device (Thermo Scientific Trace 1310 and ISQ Single Quadrupole). According to the results of the research, the highest ratio (50.96%) of the essential oil components was found to be 1.8-cineol, while the lowest ratio (0.21%) was found to be 2-cyclohexen-1-ol. Besides 1.8-cineole, limonene (10.25%), caryophyllene oxide (9.85%), camphor (5.16%), ethylphosphate (3.75%), β -caryophyllene (3.01%) o-cymene (2.15%), bornylacetate (2.14%), β -pinene (2.07%), and β -myrcene (2.07%) were the other prominent components. In similar studies on *Salvia multicaulis* the presence of different components the total number of components found varies according to the plant's harvesting location showed that the species collected has essential oils of different standards.

Keywords: *Salvia multicaulis*, 1,8-Cineole, Limonene, Caryophyllene oxide, Camphor, Caryophyllene, Cymene.

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Kezer Kampüsü, Siirt/Türkiye (ORCID: 0000-0001-7156-5269), doganarslan@siirt.edu.tr

1. Giriş

Dünyada 236 cins ve 7133 türü ile geniş alanda yayılış gösteren Lamiaceae familyasına (Kubitzki ve ark., 2004) ait en büyük cins yaklaşık 1000 tür ile geniş bir dağılım gösteren *Salvia* L., cinsidir (Walker and Sytsma, 2007). Lamiaceae familyasına bağlı bitkiler Akdeniz Bölgesi'ndeki iklim koşullarının hâkim olduğu, tropikal ve ılıman bölgelerde yüksek rakımlı düzlüklerde dağılış göstermektedir (Cantino ve ark., 1992). *Salvia* ise Orta ve Güney Amerika (500 spp.), Batı Asya (200 spp.) ve Doğu Asya (100 spp.) olmak üzere üç farklı gen merkezi ile eski ve yeni dünyanın hem tropikal ve hem de ılıman bölgelerinde yaygın olarak bulunur (Walker and Sytsma, 2007). Türkiye, *Salvia* için Asya'da önemli bir gen merkezi olup Türkiye'de toplam 97 türünün bulunduğu bildirilmektedir (Kahraman ve ark., 2011).

Sekonder metabolitlerinde ve farmakolojik etkilerinde yüksek çeşitlilik gösteren, dünyada birçok farmakopede yer alan *Salvia* cinsine ait bitkiler ve bunlara ait olan uçucu yağlar gıda, ilaç, baharat, aromatik, kozmetik ve parfümeri endüstrilerinde kullanılmalarının yanı sıra süs bitkisi olarak da yaygın şekilde değerlendirilirler (Lu and Yeap, 2002; Chalchat, ve ark., 1998; Demirci ve ark., 2003; Imbesi, 1964; Ulubelen, 1964; Perry ve ark., 2003). Bu kadar zengin içeriğe sahip olan ve tıbbi açıdan da önem taşıyan *Salvia* türlerinin içeriklerinin belirlenmesi bu bitkilerin aydınlatılması içinde önemlidir. Bu sebeple *Salvia* türlerinin uçucu yağ kompozisyonlarının ve sekonder bileşenlerinin belirlenmesine yönelik hem dünyada hem de Türkiye'de çok sayıda çalışmalar yürütülmüş ve halende yürütülmeye devam etmektedir. (Yılar ve ark., 2017)

Araştırmaya konu olan *Salvia multicaulis* türü, odunumsu bir rizomdan çıkan, sık dokulu bir örtü oluşturan 12-55 cm boyunda dik gövdeli, dallanmayan çok yıllık otsu formda bir bitkidir. Yaprakları basit, ovat-elliptikten suborbicular'a kadar farklılık göstermektedir. Korolla pembemsi-viyole, nadiren beyaz renklidir. Kayalık, kireçtaşı ve volkanik yamaçlar, şist ve kumlu yamaçlarda 550-2600 m rakımda görülmektedir (Özer, 2016). Kalker ve volkanik kayalıklarının bulunduğu yamaçlar, çakıllı ve kumlu yamaçlar, Quercus çalılıkları, Artemisia stebi, orman açıklıkları bu türün doğal yetişme ortamını oluşturmaktadırlar (Doğan, 2014). Bitkinin çiçek açma dönemi Nisan-Temmuz olup, Türkiye'de kayıtlı olduğu iller; Adana, Batman, Erzincan, Erzurum, Gümüşhane, Hakkâri, Kayseri, Malatya, Siirt, Sivas, Şırnak, Tunceli ve Van'dır (Yapıcı ve ark., 2009; Doğan, 2014).

Salvia multicaulis türünün Türkiye'de birçok yöresel adı vardır. Bunların en çok bilinenleri ise Pune, Kürt Reyhani, Adaçayı, Çok Dallı Adaçayı, Dağ çayı, Süt otu, Bozkulak, Giyacılık ve Mavi-mor alba'dır (Ekin ve Zorer, 2011; Doğan, 2014; Korkmaz ve Alpaslan, 2014; Furkan, 2016; Baytop, 2007; Tuzlacı, 2007). Türkiye'de, bitkinin toplanma zamanının Mayıs ve Haziran ayları, bitkinin kullanılan kısımlarının ise toprak üstü aksamının olduğu bildirilmektedir (Furkan, 2016; Çakılcıoğlu ve ark., 2007; Korkmaz ve Karakurt, 2015; Gelse, 2012)

Yemeklerde baharat olarak kullanılan bitkinin toprak üstü kısımları taze ve kuru olarak çay şeklinde demlenip tüketilmektedir. (Baytop, 1999; Korkmaz ve Karakurt, 2015; Özgökçe ve Yılmaz, 2003; Çakılcıoğlu ve ark., 2007; Furkan, 2016; Gelse, 2012; Karakurt, 2014; Doğan, 2014). Bu çay grip ve soğuk algınlığına karşı kullanılmaktadır (Baytop, 1999; Özgökçe ve Yılmaz, 2003; Korkmaz ve Karakurt, 2015; Furkan, 2016; Karakurt, 2014; Tetik ve ark., 2013).

Yaprakları haricen yara iyileştirici, yanık tedavisinde, iltihap giderici, çıban türü yaralarda iltihabı boşaltmak için, akrep sokmalarına karşı ve şişliklerin tedavisinde kullanılmaktadır (Baytop, 1999; Çakılcıoğlu ve ark., Tuzlacı, 2006; Akgül, 2008; Furkan, 2016; Doğan, 2014).

Bitkinin ayrıca, iştah açıcı, gargara, solunum ve idrar yolları rahatsızlıkları, halsizlik, öksürük, midevi, doğal antibiyotik, rahatlatıcı, böbrek taşı için, vücut direncini artırma, boğaz iltihabı, farenjit, bronşit, diyabet, bademcik enfeksiyonu, hazmı kolaylaştırıcı, astım tedavisi, nezle, halsizlik, öksürük, sancı giderici ve sinirleri yatıştırıcı olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Yapıcı ve ark., 2009; Korkmaz ve Karakurt, 2015; Akgül, 2008; Furkan, 2016; Karakurt, 2014; Doğan 2014; Cakilcioglu ve Turkoglu, 2010; Bulut, 2006; Tetik ve ark., 2013; Şimşek ve ark., 2002; Akan ve ark., 2008; Gençay, 2007). Ancak, bütün bu yararlarının yanında fazla kullanımı tansiyonun yükselmesine neden olmaktadır (Korkmaz ve Karakurt, 2015).

Toprak üstü kısımları geleneksel halk hekimliğinde kullanımının yanında, yün boyamada değerlendirilir. Kurutularak ve taze olarak hayvan beslemede yem olarak değerlendirilen bitki, sütün içine katılıp sütün daha yoğun kaymak tutması için de kullanılır (Özgökçe ve Yılmaz, 2003; Akgül, 2008; Doğan, 2014).

S. multicaulis'in belki de en önemli ürünü, çiçekli sürgünlerinden, çiçek ve yapraklarından elde edilen uçucu yağdır. Elde edilen bu uçucu yağın başlıca bileşenlerinin bornyl asetat, c-karyofilil α -pinene, camphor, α -copaene, myrtenol, sabinyl acetate, 1,8-cineole, Limonene, borneol olduğu bildirilmiştir (Ahmadi ve Mirza, 1999; Rustaiyan ve ark., 1999; Senatore ve ark., 2004; Morteza-Semnani ve ark., 2005)

Bu çalışmada, Siirt ili doğal yayılış alanından toplanan *Salvia multicaulis* Vahl.'in uçucu yağ bileşenleri tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bitki örnekleri 2016 yılında Haziran Siirt İli Merkez İlçesi Veyselkarani Yolu Gündoğdu Vadisi'nden (toplamanın yapıldığı alanın GPS koordinatları: 38°05'40.N 41°45' 59. E yükseklik 752 m) toplanmıştır. Örneklerden bir tanesi herbaryum tekniklerine göre kurutulmuş ve teşhis yapıldıktan sonra Siirt Üniversitesi Herbaryumu'nda SUFAF1010 nolu herbaryum numarası ile muhafaza altına alınmıştır. Toplanan diğer örnekler ise oda şartlarında kurutularak analizler için uygun koşullarda depolanmıştır.

Uçucu yağ eldesi, European Pharmacopoeia (2004)' e göre yapılmış olup, 500 mL'lik balonlara 35 gr hava kurusu bitki örneği konulup üzerine 350 mL saf su eklenmiştir. Ardından Clevenger aparatında 4 saat kaynatılarak uçucu yağ elde edilmiştir. Uçucu yağ bileşenlerinin tespiti ise Thermo Scientific Trace 1310 ve ISQ Single Quadrupole GC-MS (gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi) cihazı () ile yapılmıştır. Thermo TG-WAX-MS (0,25 mm iç çap * 60 m uzunlukta, 0,25 µm film kalınlığı) kolon kullanılmıştır. Kütle aralığı m/z 50-550 amu olarak ayarlanmıştır. Veri toplamada tarama modu (Scan Mode) kullanılmıştır. MS transfer line sıcaklığı 250 °C, MS iyonizasyon sıcaklığı 250 °C, kolon sıcaklığı başlangıçta 60 °C olup ve 6 dakika bekletilip, 4 °C/dak ısı artış oranı ile 230 °C' ye kadar yükselmiştir. 230 °C'de 15 dakika bekletilerek analiz sonuçlandırılmıştır. Her bileşenin tanımlanması Xcalibur programı ile kütle spektrumları kullanılarak (Wiley 9, NIST demo ve mainlib) yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada, yapılan analizlerin sonucunda elde edilen uçucu yağ bileşenlerine ait verilere göre uçucu yağın %96.23'lük kısmını 19 farklı bileşenin oluşturduğu tespit edilmiştir (Tablo 1). Farklı araştırmacılar, dünyanın farklı yerlerinden topladıkları *Salvia multicaulis* örnekleri ile yaptıkları uçucu yağ bileşen analizleri sonucunda 16 ile 52 arasında farklı bileşen olduğunu bildirmişlerdir (Ahmadi ve Mirza, 1999; Faheda ve ark., 2016; Bağcı and Kocak, 2008; Mohammadhosseini ve ark., 2008; Rustaiyan ve ark.,1999; Mohammadhosseini, 2015; Morteza-Semnani ve ark., 2005; Mohammadhosseini, 2012). Bitkilerde farklı alanlarda farklı sonuçların çıkmasında ekolojik, iklimsel, bitkinin toplanma döneminin ve metodolojik farklılıkların etkili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 1: *Salvia multicaulis*'e Ait Uçucu Yağ Bileşen Tablosu

Bileşen Adı	Miktar (%)	RT
β-Pinene	2.07	11:20
β-Myrcene	2.07	13:11
Limonene	10.25	14:49
1,8-Cineole	50.96	14.82
ρ -Cymene	2.15	17.22
1-Octen-3-ol	1.47	23.29
Alpha-copaene	0.96	24.99
Camphor	5.16	26.00
2-Cyclohexen-1-ol	0.21	27.15
Bornyl acetate	2.14	27.84
β-Caryophyllene	3.01	28.45
Ethyl phosphate	3.75	30.00
α-Caryophyllene	1.49	30.67
Borneol	1.38	31.43
Piperitone	0.63	32.44
Azulene	0.23	32.93
Caryophyllene oxide	9.85	39.41
Humulene epoxide II	0.54	40.82
Alpha-eudesmol	1.66	44.92
Toplam	99.98	

* Rt (Retention time): Alıkonma süresi (dakika)

Çalışmamızın analiz sonuçlarına göre uçucu yağ bileşenleri içerisinde en yüksek orana %50.96 ile 1,8-cineole sahip olurken en düşük orana %0.21 ile 2-Cyclohexen-1-ol'ün sahip olduğu tespit edilmiştir. 1,8-cineole'un yanında, limonene (%10.25), caryophyllene oxide (%9.85), camphor (%5.16), ethylphosphate (%3.75), β-caryophyllene (%3.01) p-cymene (%2.15), bornylacetate (%2.14), β-pinene (%2.07), β-myrcene (%2.07) öne çıkan diğer bileşenleri oluşturmuşlardır (Tablo 1). Tespit edilen uçucu yağ bileşen sayısının farklılığına rağmen çalışmada tespit edilen bileşenler farklı araştırmacıların tespit ettikleri bileşenler ile benzerlik göstermektedir (Ahmadi ve Mirza, 1999; Faheda ve ark., 2016; Bağcı and Kocak, 2008; Mohammadhosseini ve ark., 2008; Rustaiyan ve ark.,1999; Mohammadhosseini, 2015; Morteza-Semnani ve ark., 2005; Mohammadhosseini, 2012).

4. Sonuç

Bu araştırmada Siirt'te doğal yayılış alanından toplanan *Salvia multicaulis* örneklerinden elde edilen sonuçlara göre uçucu yağda 18 adet bileşen tespit edilmiştir. Tespit edilen bileşenler içerisinde 1,8-cineole, limonene, caryophyllene oxide, camphor öne çıkan bileşenler olmuştur. *Salvia multicaulis* üzerine yapılan benzer araştırmalarda, farklı bileşenler ile bileşen sayılarının ortaya çıkması ve bu çalışmada da benzer bir sonucun alınması bu türün doğal yayılış gösterdiği alanlarda, dünyanın farklı yerlerinde, farklı standartlarda

uçucu yağa sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca kültürü yapılmayan türlerin farklı kaliteye sahip olduğunu göstermesi açısından da önemlidir.

Analiz sonuçlarımıza göre uçucu yağda en yüksek oranda tespit edilen bileşen olan 1.8-Cineole (%50.96) tıbbi açıdan önemli olup (Santos ve ark.,2000; Lee ve ark., 2004; van Vuuren ve Viljoen, 2007; Gomes-Carneiro, 1998), Siirt şartlarında *Salvia multicaulis*'in kültüre alınması ile 1.8-Cineole üretimi için önemli bir kaynak oluşturabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Ahmadi, L., & Mirza, M. (1999). Essential oil of *Salvia multicaulis* Vahl. from Iran. Journal of Essential Oil Research, 11, 289-290.
- Akan, H, Korkut, M.M., & Balos, M.M., (2008). Arat Dağı ve Çevresinde (Birecik, Şanlıurfa) Etnobotanik Bir Araştırma. Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (1), 67-81.
- Akgül, A. (2008). Midyat (Mardin) Civarında Etnobotanik (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bacı, E., & Kocak, A. (2008). Essential Oil Composition of the Aerial Parts of Two *Salvia* L. (*S. multicaulis* Vahl. Enum and *S. tricochlada* Benth) Species from East Anatolian Region (Turkey). International Journal of Science&Technology, 3 (1), 13-18.
- Baytop, T. (2007). Türkçe Bitki Adları Sözlüğü. Türk Dil Kurumu Yayınları.
- Baytop, T. (1999). Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi (Geçmişte ve Bugün).
- Bulut, Y. (2006). Manavgat (Antalya) Yöresinin Faydalı Bitkileri. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Isparta.
- Cakilcioglu, U., & Turkoglu, I. (2010). An Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants in Sivrice (Elazığ-Turkey). Journal of Ethnopharmacology. 132, 165–175.
- Cantino, P.D., Harley, R.M., & Wagstaff, S.J. (1992). Genera of Lamiaceae: Status and Classification. In: Harley, R.M. & Reynolds, T. İçinde: Advances in Labiate Science (sayfa 511-522). Kew: Royal Botanic Gardens.
- Chalchat, J.C., Michet, A., & Pasquier, B. (1998). Study of The Clones of *Salvia officinalis* L. Yields and Chemical Composition of Essential oil. Flavourand Fragrance Journal. 13, 68-70.
- Çakılcıoğlu, U., Türkoğlu, İ., & Kürşat, M. (2007). Harput (Elâzığ) ve Çevresinin Etnobotanik Özellikleri. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları (DAUM) Dergisi. 5 (2), 22-28.
- Demirci, B., Baser, K. H. C., Yildiz, B., & Bahcecioglu, Z. (2003). Composition of Essential Oils of Six Endemic *Salvia* spp. From Turkey. Flavour and Fragrance Journal. 18, 116-121.
- Doğan, A. (2014). Pertek (Tunceli) Yöresinde Etnobotanik Araştırmalar. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ekin, Z., & Zorer Çelebi Ş., (2011). Van Doğal Meralarında Bulunan Bazı Bitkilerin Tıbbi ve Gıda Amaçlı Kullanımının Değerlendirilmesi. Türkiye IX. Tarla Bitkileri Kongresi. (s.,1461-1466). Bursa, Türkiye.
- European Pharmacopoeia. (2004). 5th ed.; Council of Europe: Strasbourg Cedex. France, 2004; Vol. I, pp. 217–218.
- Faheda, L., Stien, D., Ouainib, N., Eparvier, V., & El Beyrouthyb, M. (2016). Chemical Diversity and Antimicrobial Activity of *Salvia multicaulis* Vahl. Essential Chemical Biodiversity. 13, 591 – 595.
- Furkan, M. K. (2016). Adıyaman İlinde Yetişen Bazı Bitkilerin Etnobotanik Özellikleri. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Adıyaman.
- Gelse, A. (2012). Adıyaman ve Çevresinin Etnobotanik Özellikleri (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Van.
- Gençay, A. (2007). Cizre (Şırnak)’nin Etnobotanik Özellikleri (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Gomes-Carneiro, M. R., Felzenszwal, I., Paumgarten, F.J.R., (1998). Mutagenicity testing of (±) -camphor, 1,8-cineole, citral, citronellal, (-)-menthol and terpineol with the Salmonella/microsome assay. Mutation Research. 416, 129–136.
- Imbesi, A. (1964). Index Plantarum Quae İn Omnium Populorum Pharmacopies Sunt Adhuc Receptae Confecit. Scilla, Italy: Messanae.
- Kahraman, A., Doğan, M., & Celep, F. (2011). *Salvia siirtica* sp. nov. (Lamiaceae) from Turkey. Nordic Journal of Botany. 29, 397-401.
- Karakurt, E. (2014). Kelkit (Gümüşhane) İlçesinin Etnobotanik Özellikleri. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Korkmaz, M., & Alpaslan, Z. (2014). Ergan Dağı (Erzincan-Türkiye)’nin Etnobotanik Özellikleri, Bağbahçe Bilim Dergisi. 1(3), 1-31.

- Korkmaz, M., & Karakurt, E. (2015). Kelkit (Gümüşhane) İlçesinde Halk İlacı Olarak Kullanılan Bitkilerin Belirlenmesi Üzerine Etnobotanik Bir Çalışma. *Biological Diversity and Conservation*. 8 (3), 290-303.
- Kubitzki, K. Harley, R.M., Atkins, S., Budantsev, A., Cantino, P.D., Conn, B.J., Grayer, R., Harley M.M., de Kok, R., Krestovskaja, T., Morales, R., Paton, A.J., Ryding, O. & Upson, T. (2004). *Labiatae*. İçinde: *The Families and Genera of Vascular Plants*, (Volume 7, sayfa 167-275). Verlag, Berlin: Springer. Lee B.-H., Annis, P. C., Tumaaliia F., Choi, W.-S. (2004). Fumigant toxicity of essential oils from the Myrtaceae family and 1,8-cineole against 3 major stored-grain insects. *Journal of Stored Products Research*. 40, 553–564.
- Lu, Y., & Yeap, F.L. (2002). Polyphenolics of *Salvia* a review. *Phytochemistry*. 59, 117-140.
- Mohammadhosseini, M., Pazoki, A., & Akhlaghi, H. (2008). Chemical Composition of The Essential Oils From Flowers, Stems, and Roots of *Salvia multicaulis* Growing Wild in Iran. *Chemistry of Natural Compounds*. 44 (1), 127-128.
- Mohammadhosseini, M. (2012). Hydrodistilled Volatile Oils of the Flowers of *Salvia leriifolia* Bench. and *Salvia multicaulis* Vahl. As Two Growing Wild Plants in Iran. *Asian Journal of Chemistry*. 24 (4), 1432-1434.
- Mohammadhosseini, M. (2015). Chemical Composition of the Essential Oils and Volatile Fractions from Flowers, Stems and Roots of *Salvia multicaulis* Vahl. By Using MAHD, SFME and HS-SPME Methods. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 18 (6), 1360 – 1371.
- Morteza-Semnani, K., Moshiri, K., & Akbarzadeh, M. (2005). The essential oil composition of *Salvia multicaulis* Vahl. from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 8, 6-10.
- Özer, H. (2016). Erzurum Çevresinde Doğal Yayılış Gösteren *Salvia* Türleri ve Tıbbi Özellikleri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 25 (Özel sayı-2):340-345.
- Özgökçe, F., & Yılmaz, G. (2003). Dye Plants of East Anatolia Region (Turkey). *Economic Botany*. 57 (4), 454-460.
- Perry, N., Bollen, C., Perry, E.K., & Ballard, C. (2003). *Salvia* for Dementia Therapy: Review of Pharmacological Activity and Pilot Tolerability Clinical Trial. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*. 75, 651-659.
- Rustaiyan, A., Masoudi, S., Monfared, A., & Komeilizadeh, H. (1999). Volatile Constituents of Three *Salvia* Species Grown Wild in Iran. *Flavour and Fragrance Journal*. 14, 276-278.
- Santos, F. A. and Rao V. S. N., (2000). Antiinflammatory and Antinociceptive Effects of 1,8-Cineole a Terpenoid Oxide Present in many Plant Essential Oils. *Phytotherapy Research*. 14, 240–244.
- Senatore, F., Arnold, N.A., & Piozzi, F. (2004). Chemical Composition of The Essential Oil of *Salvia multicaulis* Vahl. var. *simplicifolia* Boiss. Growing Wild in Lebanon. *Journal of Chromatography A*. 1052 (1-2), 237-240.
- Şimşek, I., Aytakin, F., Yeşilada, E., & Yıldırım, Ş. (2002). Anadolu’da Halk Arasında Bitkilerin Kullanılış Amaçları Üzerinde Etnobotanik Bir Çalışma. 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı. (sayfa 29-31). Eskişehir, Türkiye.
- Tetik, F., Civelek, S., & Çakılcıoğlu, U. (2013). Traditional Uses of Some Medicinal Plants in Malatya (Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*. 146, 331–346.
- Tuzlacı, E. (2007). *Dekoratif Türkiye Bitkileri*. Alfa Yayınları. İstanbul.
- Tuzlacı, E. (2006). *Şifa Niyetine Türkiye’nin Bitkisel Halk İlaçları*. Alfa Yayınları, 1. Basım.
- Ulubelen, A. (1964). Cardioactive and Antibacterial Terpenoids from some *Salvia* Species. *Phytochemistry*. 64, 395-399.
- van Vuuren, S., F. and Viljoen, A., M., (2007). Antimicrobial activity of limonene enantiomers and 1,8-cineole alone and in combination. *Flavour and Fragrance Journal*. 22: 540–544.
- Walker, J. B., & Sytsma, K. J. (2007). Staminal evolution in the genus *Salvia* (Lamiaceae): molecular phylogenetic evidence for multiple origins of the staminal lever. *Annals of Botany*. 100, 375-391.
- Yapıcı, Ü.İ., Hoşgören, H., & Saya, Ö. (2009). Kurtalan (Siirt) İlçesinin Etnobotanik Özellikleri. *Dicle Üniversitesi, Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*. 12: 191–196.
- Yılar, M., Kadioğlu, İ., & Telci, İ. (2017). Tokat İlinde Doğal Olarak Yetişen *Salvia virgata* Jacq. ve *Salvia candidissima* subsp. *candidissima* Vahl. Bitkilerinin Uçucu Yağ Kompozisyonlarının Belirlenmesi. *Turkish Journal of Weed Science*. 20(1), 70-77.



Vergi Harcamalarının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği

Nihat Doğanalp^{1*}

¹ Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4934-179X)

(İlk Geliş Tarihi 23 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.679111)

ATIF/REFERENCE: Doğanalp, N. (2020). Vergi Harcamalarının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 201-205.

Öz

Devletlerin en önemli ve sağlıklı finansman kaynağı topladıkları vergilerdir. Ancak bazı durumlarda devletler ekonomik, sosyal, kültürel vb. sebeplerle bu önemli gelir kaynağından vazgeçebilirler. Vergi harcamaları devletin gelir kaybına yol açan yöntem olarak kamu harcamalarına yakınsayan bir uygulama olarak göze çarpmaktadır. Ancak bütçe disiplini ekseninde düşünüldüğünde hükümetlerin vergi harcamasının mali açıdan getirdiği yükü ve bu harcamalarla birlikte ortaya çıkacak faydayı etkin bir şekilde analiz etmeleri gerekmektedir. Bundan dolayı tüm ekonomilerde vergi harcamalarının sağlıklı ve sıkı bir disiplin ile takip edilmesi gerekmektedir.

1960'tan bu yana önem kazanmaya başlayan bir kavram olan vergi harcaması Türkiye'de 2000'den bu yana gündem oluşturmaya başlamış ve Maliye Bakanlığı bünyesinde ilk vergi harcaması raporu 2001 yılında yayımlanarak 10/12/2003 tarihli ve 5018 sayılı Kamu Mali Yönetimi ve Kontrol Kanunu'nda vergi harcaması ile ilgili mevzuata yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vergi Harcaması, Türk Vergi Sistemi, Vergi Teşvikleri

Economic Aspects of Tax Expenditures: Case of Turkey

Abstract

The most important and sound source of financing by the states is the taxes they collect. However, in some cases, states may be economical, social, cultural, etc. For these reasons, they can give up this important source of income. Tax expenditures stand out as an application converging to public expenditures as the method leading to the loss of income of the state. However, when the budget is considered in the axis of the discipline, governments must effectively analyze the financial burden of tax expenditure and the benefit that will occur with these expenditures. Therefore, in all economies, tax expenditures should be followed with a healthy and strict discipline.

1960 expenditure tax, a concept began to gain importance since from 2000, Turkey has started to create the agenda since the first tax expenditure report of the Ministry of Finance published in 2001 dated 10.12.2003 and the 5018 Public Financial Management and Control Law The legislation on tax expenditure has been included in.

Keywords: Tax Expenditure, Turkish Tax System, Tax Incentives

* Sorumlu Yazar: Selçuk Üniversitesi, Beyşehir Ali Akkanat İşletme Fakültesi, Beyşehir-Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4934-179X, ndoganalp@selcuk.edu.tr

1. Giriş

Bazı ülkelerin tüm mali faaliyetlerine yönelik harcamalar kasıtlı olarak veya yanlışlıkla gizlenmedikleri sürece kayıt altına alınabilir ve bu tür harcamalar kamu harcamaları olarak gösterilmez. Kelimenin en geniş anlamıyla bu tür faaliyetler vergi harcamaları veya harcama vergisi başlığı altında değerlendirilirler. Bu faaliyetler; vergi istisnaları, muafiyetler, vergi matrahının veya ödenmesi gereken verginin azaltılması gibi pek çok formda uygulanabilirler.

Vergi harcamaları, hükümetlerin belirli mükellef gruplarını (kategori, sektör, firma veya birey) desteklemek ve verilen ekonomik faaliyetlere teşvik sağlamak amacıyla kullandığı bir araçtır. Böyle bir durumda, hükümet bilinçli olarak kendi gelirinin azaltılması konusunda hemfikiridir. Hükümetin vergileri tüm üslerden toplaması ve daha sonra bütçenin harcama tarafından doğrudan hibeler veya yardım tahsis etmesi durumunda da aynı etki sağlanacaktır. Ana ayırım, bu tarzın kıyaslanamaz şekilde daha şeffaf olacaktır.

Vergi harcamaları, nitelikli bireylere/kuruluşlara fayda sağlayarak veya belirli faaliyetleri teşvik ederek hedeflenen kamu politikası hedeflerine ulaşmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, vergi eşitliğinin geliştirilmesi veya vergi yapısının diğer bölümlerindeki kusurların dengelenmesi de amaçlanabilir. Aynı hedeflere (örneğin ailelere mali yardım) doğrudan harcama veya vergi muafiyeti yoluyla da ulaşılabilir.

Belirli bir vergi önleminin vergi harcaması oluşturup oluşturmadığını belirlemek için, öncelikle bu önlemin bir ayırımı temsil ettiği normal vergi yapısının oluşturulması gerekir. Literatürde bazı vergi harcamalarının vergi mükelleflerinin davranışlarında meydana gelen değişiklikleri dikkate alarak, vergi harcamalarının etkisini değerlendirmek için hükümetlerin başvurduğu bir yöntem olduğunu savunan görüşler de yer almaktadır (Bratic, 2006: 114).

Ancak vergi harcamalarının da olumsuz özellikleri vardır, her şeyden önce vergi harcamalarıyla birlikte vergi sisteminin tarafsızlık ilkesi bozulmaktadır. Tarafsız bir vergi sistemi, herhangi bir vergi harcaması olmaksızın ve standart bir vergilendirme sistemi ile geniş bir vergi matrahını üstlenir. Vergi harcamalarının başka birçok olumsuz yönü vardır. Vergi idaresinin maliyetlerini arttırmaları ve vergi sisteminin ve kamu finans sisteminin bir bütün olarak şeffaflığını azaltırlar çünkü genellikle diğer harcama türleriyle aynı iç kontrol ve yasal yetkilendirme sistemine tabi değildirler; genellikle merkezi hükümet gelirlerinin azaltılması üzerinde doğrudan etkisi olan maliyetler ve faydalar hakkında tam bir anlayış ve analiz yapılmadan tanıtılır ve genellikle vergilendirme ilkelerinin bazılarını (eşitlik, eşitlik, üretkenlik, etkililik, istikrar ve etkililik ilkesi) bozarlar (Polackova vd., 2004: 11).

Weinberg (1987) vergi harcamalarını bazı vergi hükümlerinin, mükelleflerin belli davranışlarını teşvik etmek için veya belli bir çerçevede mükellefleri desteklemek üzere düzenlendiği, vergi kanunlarındaki bu tür vergi hükümlerinin, geleneksel bütçe harcamalarını andığı ve bu nedenle vergi harcamaları diye adlandırıldıkları ifade edilmiştir. Her ülkenin vergi sistemi kendine özgü bazı özellikler taşımaktadır. Her ne kadar bütün vergi sistemlerinin kurulmasında göz önünde tutulan bazı ortak amaçlar mevcut olsa da, ülkelerde vergileme ile ulaşılacak istenen amaçlar iktisadi seviye, tarihsel, sosyolojik ve siyasal yapıya göre farklılık göstermektedir (Nadaroğlu, 1985: 450). Vergi harcaması, devletin vergi gelirlerinin bir kısmından vazgeçmesi ile kendini gösteren vergisel düzenlemeler ve bu düzenlemelerin kamu gelirlerinde yarattığı kayıptır (Gülmez, 2003: 6). Vergi istisna ve muafiyet uygulamalarından doğacak vergi yükünün nasıl dağılacığı, ne tür iktisadi faaliyetlerin destekleneceği ve bu uygulamanın kamu gelirleri açısından nasıl bir kayba yol açacağı ekonomistlerin hemen hemen her dönemde ilgi duydukları bir konu olmuştur (Pedük, 2006: 17).

2. Vergi Harcaması Kavramı

Devletin faaliyetlerini yürütürken belirli amaçlar doğrultusunda vazgeçtiği bir gelir olan vergi harcamaları, vergi sistemlerinde istisna, muafiyet, vergi ertelemesi, düşük vergi oranı gibi yöntemlerle uygulanmaktadır. Vergi harcaması kavramının temeli ABD'de 1950'li ve 1960'lı yıllarda federal gelir vergisinde ve kurumlar vergisindeki istisna ve muafiyetlerin, vergi mahsuplarının (tax credits), vergi indirimlerinin (tax deductions) ve oran indirimlerinin (rate reliefs) esas itibarıyla federal bütçe harcamalarından farklı bir şey olmadığı görüşüne dayanmaktadır (Bittker, 1969: 244).

Vergi kavramına ilişkin çok sayıda farklı tanımlama yapılmış olmasına karşın literatürde en yaygın kabul görmüş tanımlama devletin birey veya tüzel kişiliğe sahip birimlerden konulan yasanın niteliği gereği cebren alınan ve bir karşılığın vaat edilmediği iktisadi değerdir (Nadaraoğlu, 2000: 193). Modern maliye anlayışı ve sosyal devlet anlayışının gelişmesiyle birlikte devletlerin belirli hedeflere ulaşmak için klasik kamu harcamalarından farklı olarak vergi harcamalarına başvurdukları görülmektedir. Vergi harcamalarının her ne kadar 2000'li yıllardan sonra Türkiye'de önem kazanmaya başladığı söylenebilir de yasal arka planının 1982 Anayasasının 2. maddesinde ifade edilen sosyal devlet ilkesi ile birlikte ortaya konmaya çalışıldığı söylenebilir.

Devletin kamusal faaliyet alanındaki en temel finansman kaynağı olan vergi uygulamalarıyla birlikte özel kesimden toplanan vergiler kamu harcaması vasıtasıyla yeniden özel kesime aktarılmaktadır. Vergi toplanması sürecinde devletin karşılaştığı iki tür maliyet söz konusudur. Bunlardan ilki vergi toplamının doğurduğu idari maliyetler, ikincisi ise devletin kendi iradesiyle vazgeçtiği vergi gelirleri olarak değerlendirilen vergi harcamalarının doğurduğu maliyetlerdir (Ferhatoğlu, 2005: 78).

ABD'de 1974 yılında yürürlüğe giren Bütçe Reform Yasası'nda vergi harcamalarının kamu harcamaları gibi bir formda uygulandığı ve bundan dolayı diğer kamu harcamaları gibi bütçe denetimine tabi tutulması gerektiği ifade edilmiştir (Pedük, 2005: 1-5).

Denk bütçe yaklaşımı çerçevesinde ABD'de ilk kez Stanley Surrey'in önerileri doğrultusunda ABD Hazine Bakanı Fowder tarafından hazırlanan ve 1968 yılında yayımlanan Vergi Harcama Bütçesi: Kavramsal Bir Analiz raporunda vergi harcamalarına ilişkin denk bütçe yaklaşımına vurgu yapılmıştır (Öztürk, 2011: 5). 1969'da ise uygulama esasları bakımından klasik kamu harcamalarından farklılıklar arz eden vergi harcamalarına ilişkin bütçe kamuoyuyla paylaşılmıştır

Vergi harcamalarına ilişkin devletlerin ayrı bir bütçe planlaması yapmalarında fayda vardır çünkü anayasa dışında vergi harcamalarına olanak tanıyan diğer mevzuat ve yönetmeliklerde vergi harcamaları doğrudan bütçede değil vergilerin toplanmasından

vazgeçilmek suretiyle yapılmış bir harcama kalemi olarak görülmekte ve bu da bütçedeki yükünü tespit etme noktasında belirsizliklere yol açmaktadır (Hepaksaz ve Çamurdan, 2010: 40).

Faydalarının yanısıra birçok olumsuz özelliği bulunan vergi harcamaları genelde karmaşık bir yapıya sahip olduğundan istenen sonuçlar her zaman planlandığı gibi gerçekleşmeyebilir. Ayrıca vergi harcamaları bir kere kanunlaştıktan sonra çıkar gruplarının baskılarıyla birlikte süreklilik kazanabilir. Sosyal yardım amacıyla kullanılan vergi harcamaları bile özellikle siyasi bağlantılara sahip kişiler tarafından istismar edilerek eş dost kayırmacılığı gibi etik dışı amaçlar için de kullanılabilir. Böylece kişisel çıkarlar için vergi kanunlarının esir alınması söz konusu olmaktadır (Horpedahl ve Pizzola, 2012:6-7).

2.1. Vergi Harcamalarının Unsurları ve Sınıflandırılması

Vergi harcamalarını kamu harcamalarından ayıran bazı özellikler vardır. Bu özellikler vergi harcamalarının unsurlarını oluşturmaktadır. Vergi harcamalarının varoluş nedeni, belli bir sosyal veya ekonomik nedenin olmasıyla bağlantılıdır. Ayrıca vergi harcamasının ortaya çıkması için bir tahsilattan vazgeçme söz konusu olmaktadır (Saraç, 2010: 264-265). Vergi harcamasından yararlandırılan mükellefler ödeyecekleri vergiden daha azını ödemektedir. Eğer yapılan bu indirim ve istisnalar tüm vergi mükelleflerine uygulanırsa, vergi harcaması ayrıcalıklı olmaktan çıkmaktadır. Örneğin Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu aracılığı ile belli bölgelere verilen teşvikler vergi harcaması kapsamında yer alabilir. Fakat bu teşvikler tüm ülkeye verilirse, burada vergi harcamasından bahsedilemez.

Vergi harcamaları çerçevesinde tanınacak ayrıcalıkların belirli kesim veya mükellef üzerinde bir fayda sağlaması beklenir. Tanınacak vergi ayrıcalığının hesaplanabilir olması ve özel bir amaca hizmet etmesi de gerekmektedir. Diğer taraftan vergi harcamasının uygulanmasına ilişkin yasal zeminin hazır olması başka bir ifadeyle vergi harcamasının etkisini azaltacak bir engelin bulunmaması gerekmektedir. Tüm bunlar birlikte değerlendirildiğinde vergi harcaması uygulamalarının normatif bir uygulama olduğu göze çarpmaktadır (Özker, 2002: 47).

Vergi harcamaları sınıflandırılırken tek bir yöntem belirlenmiş olmayıp bu hususta vergi harcamalarının sınıflandırılması öznel nitelik taşımaktadır. Bununla birlikte yaygın olarak vergi harcamalarının uygulanacağı vergi matrahına, amaçlarına/hedeflerine veya ölçüm tiplerine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Bu çerçevede ortaya çıkan vergi harcaması türleri:

- Muafiyetler ve istisnalar
- İndirimler
- Mahsuplar
- Vergi kredisi
- Düşük vergi oranı
- Vergi erteleme (vergi tatili) şeklinde sınıflandırılabilir.

2.2. Vergi Harcamalarının Hesaplanması ve Raporlanması

Vergi harcamalarının uygulanabilirliğindeki en önemli hususlardan birisi de bu harcamaların hesaplanabilir nitelikte olmasıdır. Verhi harcamalarını hesaplamada kullanılan üç yöntemden bahsetmek mümkündür. Bunlardan ilki ve en yaygın kullanılanı vazgeçilen gelir yöntemidir. Vergi harcamalarına ilişkin raporlama sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için mutlaka ilgili harcamaların hesaplanması gerekmektedir. Bu sayede vergi harcamaların bütçedeki yükü ve ekonomik katkılarını mukayeseli olarak değerlendirmek mümkün olmaktadır. Vergi harcamalarına ilişkin raporlama sistemleri ülkeden ülkeye farklılıklar gösterse de her ülkede bu raporların temel amacı vergi ayrıcalıkları ve kamu harcamalarının karşılaştırmasını yapmaktır (McDonald, 2010: 20).

Vergi harcamalarının ölçüm ve tahmininde güvenilirliğinin geçerliliği ancak güvenilir verilerin elde edilmesiyle mümkün olabilmektedir. İlk ve en iyi kaynak olarak vergi mükelleflerinin hazırlamış oldukları vergi beyannameleri kabul edilir. Sonrasında ise ulusal hesaplar, nüfus anketleri, firma anketleri ticaret ve üretim istatistikleri vergi harcamalarının tahmininde kullanılacak diğer verilerdir. Bu veriler aynı zamanda karşılaştırmalı değerlendirme yapmayı da mümkün kılar. Vergi harcamalarının ölçülmesinde ve tahmininde üç farklı model kullanılır. Bu modeller toplama modeli, dağıtma modeli ve mikrosimilasyon modeli olarak sıralanabilir. Yine bu modeller kullanılırken verilerin yeterliliği ve güvenilirliği önemini korur (Swift, 2006: 22). Vergi harcamaları da doğrudan kamu harcamalarına benzerlik gösteren bir harcama olmasına rağmen miktarını belirleme ve bütçe sürecine dâhil etmeden kaynaklanan zorluklar nedeniyle oldukça detaylı bir analiz sürecini gerektirmektedir (Yılmaz, 2013: 17).

Vergi harcamalarından doğacak en önemli maliyet bu harcamalar sebebiyle devletin uğramış olduğu gelir kaybıdır. Vergi harcamasının temelinde devletin elde edeceği vergi gelirinin tahsilatından vazgeçilerek birey veya tüzel kişilere bırakılması yatmaktadır. Devlete gelir kaybı şeklinde bir maliyet doğuran bu harcamalar bazı durumlarda iktisadi olarak beklenen faydayı sağlamakta yetersiz kalabilirler (Ferhatoglu, 2005: 82).

Bazı ülkelerde vergi harcamasına ilişkin raporlarını hazırlamak yasal bir zorunluluk iken bazı ülkelerde ise yasal zorunluluk olmasa da bu raporlar hazırlanabilmektedir. Pek çok ülkede yıllık olarak düzenlenen bu raporlar bazı durumlarda iki yılda bir bazen de ihtiyaç duyulduğunda hazırlanmaktadır (Pedük, 2006: 78-79).

Standart vergiden farklı olarak özel hükümlerin raporlanması bazen vergi harcaması bütçesi bazen de vergi harcaması raporları olarak tanımlanmaktadır. Bu raporlar, vergi kanunlarında yer alan harcama sisteminin bir özeti niteliğinde olup vergi harcamalarını değerlendirilme, teşvik etme ve vergi sistemini tasarlanma konusundaki bakış açısını da desteklemektedir (Coşkun, 2010: 56).

3. Türk Vergi Sistemi Ekseninde Vergi Harcamalarının Ekonomik Etkileri

VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı hazırlık çalışmalarında, vergi harcamaları “Bütçe Kapsamı Dışında Kalan Dolaylı Kamusal Harcama Alanları” arasında değerlendirilmiş ve Türkiye’deki vergi harcamalarına ilişkin olarak bu harcamaların bütçeleme sürecindeki sıkıntılara, vergi harcamalarının şeffaflığı ve hesaplanabilirliğine ilişkin sorunlara vurgu yapılmıştır (Gönül, 2002: 71).

Türk vergi sisteminde yer alan vergi harcamalarının geneline bakıldığında bu harcamaların bazılarının üretimin, ihracatın ve sermaye birikimin artırılmasına yönelik olarak düzenlendiği görülmektedir. Sağlık, spor, eğitim ve kültürel faaliyetlerin geliştirilmesi, doğal afete maruz kalanları korumak gibi sosyal amaçlarla da bu harcamalar TVS içinde kendine yer bulmuştur. Bunların dışında diplomatik nitelikteki ve kamusal nitelikteki kurum/kuruluşlara tanınan ayrıcalıklar da bu kapsamda değerlendirilmektedir (Gülmez, 2003: 95). Vergi harcamalarının yatırım, tasarruf, üretim veya tüketimi teşvik eden amaçlarının yanı sıra ekonomik istikrarı sağlamaya ekseninde ödemeler dengesini iyileştirme, kapasite kullanımını arttırma, servet ve gelir dağılımını düzenlemeye yönelik amaçlarına da rastlanmaktadır (McDonald, 2010: 15).

Maliye politikası çerçevesinde uygulanan vergi politikaları ile korunmak ve geliştirilmek istenen alanlar için vergi teşviki, önlenmek istenen alanlar için vergileri ağırlaştırmak suretiyle bir uygulama olduğu bilinmektedir. Bu yönüyle vergi harcamalarının ekonomik büyüme hedefine yönelik temel araçlardan birisi olduğu, bu çerçevede hükümetlerin vergi ayrıcalığı sağlayarak desteklemek istediği kesim veya iş kollarındaki vergi yükünü hafifletmek veya hiç vergi almadan dolaylı olarak kaynak aktarımında bulunmak olduğu söylenebilir (Edizdoğan, 2007: 162).

2018 yılında yayımlanan vergi harcamaları raporunda 2017-2021 dönemine ilişkin ilgili vergi kanunları çerçevesinde gerçekleştirilecek vergi harcaması tahminlerine yer verilmiştir. Bu tahminler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1: 2017-2021 Dönemi Vergi Harcaması Tahminleri (Milyon TL)

Kanun Adı	2017	2018	2019	2020	2021
Gelir Vergisi	49.284	57.954	68.267	78.619	87.800
Kurumlar Vergisi	19.567	23.560	28.031	32.435	36.159
Katma Değer Vergisi	34.806	41.909	49.797	57.469	64.084
Özel Tüketim Vergisi	17.619	21.215	24.903	27.970	31.190
Diğer Kanunlar	5.373	6.470	7.698	8.907	9.932
TOPLAM	126.650	151.108	178.696	205.401	229.165

Kaynak: Vergi Harcamaları Raporu, 2008: 284

Hükümetlerin vergi harcaması uygulamaları başta belli başlı sektörlerin gelişmesi ve nihai olarak ekonomik büyümeye katkı sağlaması amacıyla uygulansa da ilgili dönem GSYH’si içinde edindiği pay ile de hükümet açısından bir maliyet kalemi olarak da değerlendirilebilmektedir. Bu çerçevede 2017-2021 dönemine ilişkin vergi harcamalarının GSYH içindeki payları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: 2017-2021 Dönemi Vergi Harcaması Tahminlerinin GSYH’ye Oranı (%)

Kanun Adı	2017	2018	2019	2020	2021
Gelir Vergisi	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5
Kurumlar Vergisi	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Katma Değer Vergisi	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Özel Tüketim Vergisi	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
Diğer Kanunlar	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
TOPLAM	4,08	4,04	4,02	3,99	3,99

Kaynak: Vergi Harcamaları Raporu, 2008: 284

4. Sonuç ve Değerlendirme

Vergi harcaması sadece kamu harcamalarının devlet bütçesi aracılığıyla değil aynı zamanda vergi sistemi aracılığıyla da yapılan bir uygulamadır. Türk Vergi Sistemi ekseninde değerlendirildiğinde bunun en açık göstergesi vergi harcamalarının -muafiyetler hariç- devlete getirdiği maliyet yüküdür. 1997-2001 dönemine ilişkin veriler incelendiğinde devletin elde ettiği her 1 TL’lik kurumlar vergisi gelirin karşılık 2,7 TL’lik kurumlar vergisi hasılatından vazgeçtiği görülmektedir. Sadece kurumlar vergisinde bu kadar maliyet doğuran uygulamanın diğer vergi türleri de dikkate alındığında devlete önemli bir maliyet yükü getirdiği aşikardır.

Vergi harcamasının sınıflandırılması ve tahminiyle ilgili zorluklara rağmen, vergi harcaması tahminlerinin yıllık raporlaması ekonomistler ve vergi hukuku gözlemcileri için önemli bir politika analizi kaynağıdır. Diğer taraftan bu maliyet yükünün ölçümüne ilişkin etkin bir sistem geliştirilemediği de söylenebilir. Bu da sistem içerisinde var olan vergi harcaması unsurlarının etkin olarak kullanılıp kullanılmadığı ve uluslararası karşılaştırmalar yapmada yetersiz enformasyona neden olmaktadır.

Vergi harcamalarının etkileri ekseninde genel olarak bir değerlendirme yapılacak olursa barınma, sağlık hizmetleri ve tasarruf için temel vergi harcamaları, vergi sonrası gelirleri düşük gelirli vergi mükelleflerine göre daha yüksek gelirli vergi mükellefleri için daha fazla artırmaktadır, ancak en yüksek gelirli vergi mükellefleri gelirlerinin bir yüzdesi olarak tüm vergi mükelleflerinden nispeten daha az kazanmaktadır. Yüksek gelirli vergi mükelleflerinin vergi harcamalarından, düşük gelirli vergi mükelleflerine kıyasla daha fazla yararlandığı söylenebilir çünkü bu kesimlerin sübvansiyonlu faaliyetlere (örneğin ev sahipliği, işveren destekli sağlık sigortası ve emeklilik tasarruf planları) katılma olasılıkları daha fazladır. Ancak en yüksek gelir vergisi mükelleflerinin yararlanabilecekleri vergi harcaması miktarının da yasal olarak bir sınıra tabi olduğunu unutmamak gerekir.

Sonuç olarak ilgili birimler tarafından hazırlanacak olan vergi harcaması bütçesi ve analizleriyle, gerçekleştirilecek bir vergi reformunun vergi gelirleri ve ekonomi üzerindeki etkilerini ölçebilmek, reformun başarıya ulaşip ulaşmadığını görebilmek ve kamu kesiminin büyüklüğünü kestirebilmek mümkün hale gelecektir. Bununla birlikte devlet bütçesine ilaveten vergi harcaması bütçesiyle TVS ekseninde uygulanan harcama tutarları tam olarak tespit edilerek etkinlik ve verimlilik denetimleriyle kamuoyu açısından şeffaf bir tablo ortaya çıkabilecektir.

Kaynakça

- BITTKER, B. (1969). Accounting For Federal Tax Subsidies In The National Budget, National Tax Journal, 22(2), 244-261.
- BRATIC, V. (2006). Tax Expenditures: A Theoretical Review, Financial Theory and Practice, 30(2), 113-127.
- COŞKUN, Zeynep (2010), Tax Expenditures In The European Union and Turkey, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- EDİZDOĞAN, N. (2007). Kamu Maliyesi. Bursa: Ekin Kitabevi.
- FERHATOĞLU, Emrah (2005), Bir kamu harcaması türü olarak vergi harcaması ve Türk kurumlar vergisi açısından değerlendirilmesi, Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 5, 122-134.
- GÜLMEZ, B. (2003). Vergi Harcaması Kavramı, Türk Vergi Sistemine Dâhil Vergi Kanunlarının Değerlendirilmesi. Hesap Uzmanları Kurulu Bilim Raporu, İstanbul.
- GÖNÜL, H. Halil (2002). Vergi Harcamaları, Yaklaşım Dergisi, 111, 78-82.
- HEPAKSAN, Engin ve ÇAMURDAN, Burak (2010). Türk mali mevzuatındaki dış ticaret işlemlerine ilişkin mali yükümlülüklerin vergi harcaması uygulamaları açısından değerlendirilmesi, Finans Politik & Ekonomik Yorumlar, 47, 542.
- HORPEDAHL, J. ve PIZZOLA, B.M. (2012), A Trillion Little Subsidies: The Economic Impact of Tax Expenditures in the Federal Income Tax Code, Mercatus Center at George Mason University 24, 1-36.
- MCDONALD, Hayal. (2010). Türk Vergi Sistemindeki Vergi Harcamalarının Etkinlik ve Verimlilik Açısından Değerlendirilmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- NADAROĞLU, H. (2000), Kamu Maliyesi Teorisi (11. Baskı). İstanbul: Beta Yayınları.
- ÖZKER, A. Niyazi (2002). Vergi Hukuku ve Bütçe Politikalarında Vergi Harcaması Olgusu ve Uygulanabilir Etkinliği, e-akademi/Hukuk-Ekonomi ve Siyasal Bilimler Aylık İnternet Dergisi, 7.
- ÖZTÜRK, Nazım (2011), Kamu Ekonomisi, Bursa: Ekin Basım Dağıtım.
- PEDÜK, Türkben (2006). Vergi Harcamaları, İstanbul: Yaklaşım Yayıncılık.
- POLACKOVA, H. B., VALENDUC, M. A. C. ve SWIFT, L. Z., (2004). Tax Expenditures –Shedding Light on Government Spending through the Tax System, Lessons from Developed and Transition Economies. Washington, D.C.: The World Bank.
- SARAÇ, Özgür (2010). Vergi Harcamaları ve İktisadi Etkileri, Maliye Dergisi, 159, 262-277.
- SWİFT, Z. L. (2006). Managing The Effect of Tax Expenditures on National Budgets, World Bank Policy Research Working Paper .
- VERGİ HARCAMALARI RAPORU (2018). Ankara: Maliye Bakanlığı. [https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2019/01/Vergi-Harcamalar - Raporu-2018.pdf](https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2019/01/Vergi-Harcamalar-Raporu-2018.pdf)
- WEINBERG, Daniel H. (1987). The Distribuitonal Implications of Tax Expenditures and Comprehensive Income Taxation, National Tax Journal, 40(2), 237-253.
- YILMAZ, G. Akgül (2013). Kamu Maliyesi (4. Baskı). İstanbul: Türkmen Kitabevi.



Farklı Formlardaki *Ginkgo biloba*'nın Antioksidan Özelliklerinin Belirlenmesi

Önder Aybastier^{1*}

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0380-1992)

(İlk Geliş Tarihi 27 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.680343)

ATIF/REFERENCE: Aybastier, Ö. (2020). Farklı Formlardaki *Ginkgo biloba*'nın Antioksidan Özelliklerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 206-212.

Öz

Ginkgo biloba hem geleneksel hem de modern tıpta kullanılan ticari olarak önemli bir bitkidir. Dünyada ve ülkemizde ilaç, gıda takviyesi ve yaprak olmak üzere 3 farklı formda satışa sunulmaktadır. Bu çalışmada her 3 formdaki numunenin asitli ve asitsiz ortamda ultrasonik ekstraksiyonu gerçekleştirilerek antioksidan özellikleri incelenmiştir. Ekstraktların antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik madde içeriği sırasıyla ABTS ve Folin-Ciocalteu yöntemleri ile incelenmiştir. Ayrıca HPLC (yüksek performanslı sıvı kromatografi) analizleri de yapılarak içerdikleri antioksidan maddeler tespit edilmiştir. *Ginkgo biloba* bitkisinin en yüksek miktarda içerdiği antioksidan maddenin bir flavonoid glikozit olan rutin olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, ilaç formundaki ürünün gıda takviyesi ve yaprak formundaki ürünlerden daha iyi antioksidan özelliklere sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, *Ginkgo biloba*, gıda takviyesi, HPLC

Determination of Antioxidant Properties of *Ginkgo biloba* in Different Forms

Abstract

Ginkgo biloba is a commercially an important plant used in both traditional and modern medicine. It is offered for sale in 3 different forms as drug, food supplement and leaf in in the world and our country. In this study, antioxidant properties were investigated by extracting sample in all 3 forms in acidic and acid-free environment. The total antioxidant capacity and total phenolic content of extracts were investigated by ABTS and Folin-Ciocalteu methods, respectively. In addition, the antioxidant substances were determined by HPLC (high performance liquid chromatography) analysis. It was determined that the antioxidant substance that *Ginkgo biloba* plant contains in the highest amount is rutin, which is a flavonoid glycoside. As a result of the study, it has been demonstrated that the product in drug form has better antioxidant properties than products in food supplement and leaf form.

Keywords: Antioxidant, *Ginkgo biloba*, food supplement, HPLC

* Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0380-1992, aybastier@uludag.edu.tr

1. Giriş

Ginkgo biloba (mabet ağacı) 1000-3000 yıl arasında yaşayabilen çok uzun ömürlü bir ağaçtır (Hohmann ve ark., 2018). Boyu 30-40 m'yi bulabilmektedir. *Ginkgo biloba* yaklaşık 200 milyon yıldır yeryüzünde yaşayan en eski ağaç türüdür. *Ginkgo biloba* yaprakları ve tohumlarının tedavi amaçlı kullanımından ilk kez 5000 yıl önce Çin kaynaklarında bahsedilmiştir (Rouse, 1998). Günümüzde Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da *Ginkgo biloba* ağaçları bulunmaktadır (Nakanishi, 2005). Çin'de yüzyıllar boyu *Ginkgo biloba* yapraklarının nörolojik rahatsızlıklarda yararlı olduğuna inanılmış ve kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda antioksidan ve antiinflamatuvar etkisinin olduğu gösterilmiştir. Geleneksel Çin tedavi sisteminde, bitkinin meyveleri kullanılmasına karşın, Amerika ve Avrupa ülkelerinde yaprak ekstreleri kullanılmaktadır (Liu ve ark., 2018; Pohl ve Lin, 2018).

Ginkgo biloba yaprakları, terpenoidler, flavonoidler, biflavonoidler, organik asitler, fenolikler gibi bileşenler içermektedir (Chan ve ark., 2007). Çeşitli hastalıklara karşı koruyucu etkisinin iyi bir antioksidan olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Pietta ve ark., 2000). Klinik çalışmalar, dolaşım zayıflığı, kalp hastalığı, göz hastalığı, kulak çınlaması, kronik beyin hastalıkları, kısa süreli hafıza kaybı, beyin travması, depresyon, demans ve yaşlılıkla ilişkili durumların tedavisinde standardize ginkgo ekstraktı kullanılabileceğini göstermektedir. Ginkgo'nun birincil klinik uygulaması, beyin yetmezliği gibi periferik damar hastalığının tedavisinde olmuştur. Ginkgo yaprağı ekstresi hafızanın iyileştirilmesinde ve multipl sklerozun tedavisinde etkilidir. Ayrıca Alzheimer hastalığının ve diğer demans tiplerinin önlenmesi ve tedavisinde yardımcı olabilir (Pohl ve Lin, 2018; Walkoviak ve ark., 2019; Shu ve ark., 2019).

Ginkgo biloba bitkisinin "EGb761" olarak kodlanan standardize ekstresi birçok ülkede bitkisel ilaç olarak en sık kullanılan ürünlerden biridir (Yang ve ark., 2002). Günümüzde kullanılan standart GBE içinde flavon glikozitler, terpenoidler ve çeşitli organik asitler bulunur. Flavon glikozitler; kuarsetin, kamferol ve izohamnetin bileşiklerinden oluşur. Bunların güçlü antioksidan özellikleri vardır. Ortamda bulunan hidroksil, peroksil ve süperoksit radikalleri gibi serbest radikalleri sönmüleyerek hücreleri protein ve lipid gibi biyolojik makromoleküllerin oksidasyonuna karşı korurlar (Goh ve Barlow, 2002; Güleç ve ark., 2004).

Bitkinin ana bileşenleri; flavonoidler, proantosiyeninler, trilaktonik diterpenler (ginkgolid A, B ve C) ve seskiterpen bilabolidlerdir. *Ginkgo biloba*'nın sağlık üzerindeki etkilerinin içerdiği polifoneller, flavonoidler ve ginkgolitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ginkgolit metabolizmada trombosit aktive edici faktörü inhibe ederken, yapısındaki antioksidan maddeler ortamda bulunan hidroksil, süperoksit ve peroksil radikalleri gibi serbest radikalleri sönmüleyerek hücreleri protein ve lipid oksidasyonuna karşı korurlar. Bu nedenle, *Ginkgo biloba* yaprak özleri pek çok ülkede reçeteli bitkisel ilaçlar olarak kullanılmaktadır (DeFeudis ve Drieu, 2000; Omidkhoda ve ark., 2019).

Fenolik maddeler, meyve, sebze, baharat, kahve, çay ve şarap gibi bitkisel kaynaklı yiyecek ve içecekler ile insan vücuduna girerler. Tüm bitki dokularında bulunurlar, buldukları dokuya göre miktarları ve türleri değişebilir (Moco ve ark., 2007; Viskupicova ve ark., 2008). Fenolik maddelerin ekstraksiyonu ve analizi konusunda literatürde pek çok yöntem tanımlanmıştır. Ekstraksiyon için genellikle su, metanol, etanol, aseton veya bunların karıştırılmasıyla hazırlanan çözücüler kullanılır. Bağlı fenolik maddeler, asidik, bazik veya hem asidik hem bazik ortamda hidroliz edilerek ekstrakte edilir. (Mattila ve Kumpulainen, 2002; Shadidi ve Yeo, 2016). Son yıllarda, hedef bileşiklerin farklı materyallerden ekstraksiyonu için yeni ekstraksiyon teknikleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan ultrasonik ekstraksiyon, geleneksel ekstraksiyon yöntemleri yerine meyveler, yapraklar, saplar, ve bitki tohumları gibi bitkilerin farklı kısımlarından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik ekstraksiyon çalışmaları ekstraksiyon veriminde %6 ile %35 arasında iyileşmeler olduğunu ayrıca diğer ekstraksiyon yöntemlerinden daha hızlı bir yöntem olduğunu göstermiştir (Aybastier ve ark., 2013; Dent ve ark., 2015).

Dünyada en çok satılan bitkiler arasında yer alan *Ginkgo biloba*, ülkemizde ilaç, gıda takviyesi ve kuru yaprak olmak üzere 3 farklı şekilde satışa sunulmaktadır. Yapılan çalışmada bu 3 farklı ürünün ultrasonik ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Ekstraktların Folin-Ciocalteu yöntemi ile toplam fenolik madde, ABTS yöntemi ile antioksidan kapasite, HPLC ile de içerdiği fenolik maddelerin kantitatif tayini yapılmıştır. En yüksek antioksidan özelliklere sahip olan ürünün reçeteli ilaç olarak satılan form olduğu tespit edilmiştir. HPLC analizleri sonucu yapıdaki temel fenolik maddenin rutin olduğu belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Ginkgo biloba kuru yaprağı ve tablet formunda gıda takviyesi aktardan temin edilmiştir. Tablet formunda ilaç olarak satılan *Ginkgo biloba* yaprakları kuru ekstresi eczaneden temin edilmiştir. Asetonitril, formik asit, HCl ve metanol Merck'ten (Darmstadt, Almanya) satın alınmıştır. Etanol, ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)), Folin-Ciocalteu reaktifi, gallik asit, (±)-6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilokroman-2-karboksilik asit (troleks), protokatekuik asit, *p*-hidroksi benzoik asit, rutin, kamferol, kamferol-3-glikozit ve kuersetin Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO., ABD) satın alınmıştır. Tüm deneysel işlemlerde analitik saflıkta kimyasallar ve ultra saf su kullanılmıştır.

2.2. Ultrasonik ekstraksiyon

İlaç, *Ginkgo biloba* yaprağı ve gıda takviyesi ürünlerin her biri ayrı cam vialer alınarak üzerine %60 metanol çözeltisi ilave edilmiştir. Aynı işlem asidik ekstraksiyon için 2 M HCl içeren %60 metanol çözeltisi ilave edilerek de yapılmıştır. Cam vialer, ultrasonik banyoya yerleştirilerek 50 °C'de 100 dk süre ile 40 kHz ultrasonik ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon sonunda süzgeç kâğıdından süzülen ekstraktlar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.3. Toplam Fenolik Madde Tayini

Toplam fenolik madde tayini Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Aybastier ve ark., 2013). 0,1 M NaOH içinde %2'lik Na₂CO₃ olacak şekilde Lowry A çözeltisi ve %1'lik NaKC₄H₄O₆ içinde %0,5 CuSO₄ olacak şekilde Lowry B çözeltisi hazırlanmıştır. Lowry A ve Lowry B 50:1 (v/v) oranında karıştırılarak Lowry C çözeltisi hazırlanmıştır. Analiz tüplerine 0,1 mL örnek/standart ve 1,9 mL saf su, 2,5 mL Lowry C çözeltisi ve 0,25 mL Folin-Ciocalteu reaktifi eklenerek, 30 dk karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda 750 nm'de absorbansı ölçülmüştür. Toplam fenolik madde tayininde standart madde olarak gallik asit kullanılmıştır. Kalibrasyon grafiği oluşturmak için farklı konsantrasyonlardaki gallik asit çözeltileri hazırlanmıştır. Standartların konsantrasyonuna karşılık absorbans grafiği çizilerek, en küçük kareler yöntemiyle doğru denklemi belirlenmiştir. Numuneler için toplam fenolik madde miktarları elde edilen kalibrasyon denklemi kullanılarak mg gallik asit/g örnek şeklinde hesaplanmıştır.

2.4. Antioksidan Kapasite Tayini

Antioksidan kapasite tayini ABTS yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Aybastier ve ark., 2013). Etanol içinde 6 mM ABTS stok çözeltisi hazırlanarak, analizler için 1:10 oranında saf su ile seyreltilerek kullanılmıştır. Analiz için 0,1 mL örnek/standart üzerine 3,9 mL etanol ve seyreltilmiş ABTS çözeltisinden 1 mL eklenerek 6 dk beklenip, 734 nm'de absorbansı ölçülmüştür. Antioksidan madde içermeyen kör örneğin absorbansına göre her bir numunenin % inhibisyon değeri hesaplanmıştır. Antioksidan kapasite tayininde standart madde olarak troloks kullanılmıştır. Kalibrasyon grafiği oluşturmak için farklı konsantrasyonlarda troloks çözeltileri hazırlanmıştır. Troloks miktarına karşılık % inhibisyon grafiği çizilerek, en küçük kareler yöntemiyle doğru denklemi belirlenmiştir. Numuneler için antioksidan kapasite miktarları edilen kalibrasyon denklemi kullanılarak mg troloks/g örnek şeklinde hesaplanmıştır.

2.5. HPLC Analizi

Agilent 1200 HPLC sistemi ve XBridge (4,6 x 250 mm, 3,5 µm) kolon kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Fenolik bileşiklerin HPLC ile analizi için 10 µL enjeksiyon hacmi ve 0,5 mL/dk akış hızı ile çalışılmıştır. Hareketli faz olarak formik asitin sudaki %1'lik (h/h) çözeltisi (çözücü A) ve asetonitril (çözücü B) kullanılmıştır. 0-10 dk %13 B, 10-20 dk %41,5 B, 20-25 dk %70 B, 25-35 dk %10 B şeklinde gradient program uygulanmıştır. Toplam analiz süresi 35 dk ve kolon sıcaklığı 25 °C'dir. 280 nm dalga boyunda protokatekuik asit, *p*-hidroksi benzoik asit, 360 nm dalga boyunda rutin, kamferol, kamferol-3-glikozit, kuersetin tayin edilmiştir. Her bir maddenin miktarı, farklı konsantrasyonlarda çözeltiler kullanılarak en küçük kareler yöntemiyle elde edilen kalibrasyon denklemi yardımıyla mg/g örnek şeklinde hesaplanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite

Farklı formlardaki *Ginkgo biloba* ekstrasyonları, daha etkin bir ekstraksiyon gerçekleşmesi için ultrasonik ekstraksiyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklıkta antioksidan maddeler termal bozunmaya uğrayabileceğinden, düşük sıcaklıklarda da ekstraksiyon verimi düşebileceğinden ekstraksiyon sıcaklığı 50 °C olarak belirlenmiştir (Şahin ve ark., 2013). Glikozit yapıdaki antioksidan maddeleri hidroliz ederek aglikonlarına dönüştürerek de analiz etmek amacıyla her bir numune için hem asitli hem de asitsiz ortamda ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Folin-Ciocalteu yöntemiyle belirlenen toplam fenolik madde miktarları ve ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan kapasite miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı formlardaki *Ginkgo biloba*'nın toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite değerleri

	Toplam Fenolik Madde (mg gallik asit/g örnek)	Antioksidan Kapasite (mg troloks/g örnek)
İlaç	68,16±1,83	59,75±3,57
İlaç asidik ortam	80,27±6,55	56,48±8,66
Gıda takviyesi	19,00±0,32	15,88±0,43
Gıda takviyesi asidik ortam	20,24±0,21	15,43±1,66
Yaprak	22,18±0,03	41,06±1,88
Yaprak asidik ortam	19,44±3,12	32,61±1,80

En yüksek toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite değerlerine ilaç olarak satılan standart *Ginkgo biloba* ekstresinin sahip olduğu belirlenmiştir. Gıda takviyesi ürünün toplam fenolik madde miktarı yaprağın toplam fenolik miktarına yakinken, antioksidan kapasite değeri yapraktan daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni gıda takviyesi olarak satılan ürünün içine katılmış olabilecek yardımcı maddeler olabilir. Eklenen yardımcı maddeler toplam fenolik madde analizine girişim yaparak değerlerin artmasına yol açarken, antioksidan kapasite analizine girişim yapmadığından değerlerin düşük kalmasına yol açmış olabilir. Yaygın olarak kullanılan şeker yapısındaki yardımcı maddelerin toplam fenolik madde tayinine girişim yaptığı bilinmektedir (Singleton ve ark., 1999).

Asidik ortamdaki ekstraksiyon ile asit katılmadan yapılan ekstraksiyon sonuçları arasındaki farklar *Ginkgo biloba*'nın yapısında bulunan hidroliz olabilen bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Glikozit yapıdaki bir bileşik ile asidik hidroliz sonucu oluşan aglikonu farklı güçte antioksidan özelliğe sahip olabilirler (Xiao, 2017).

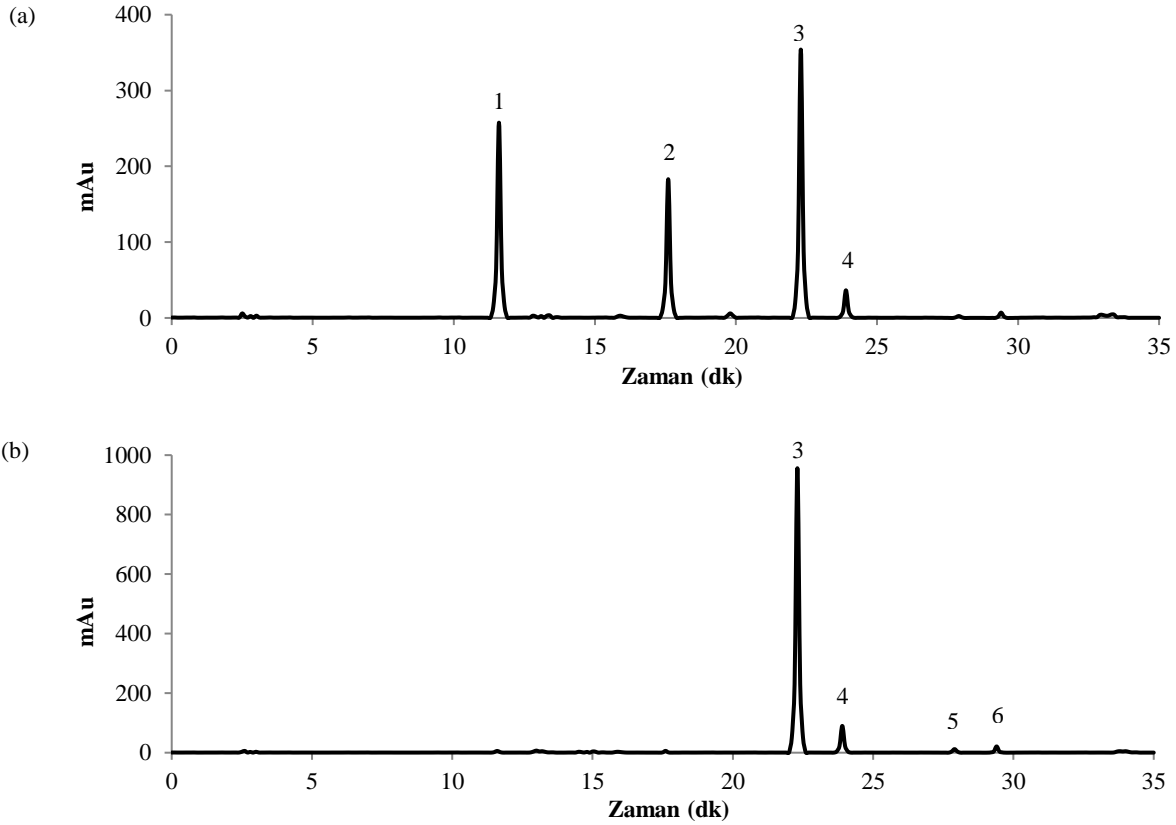
3.2. Antioksidan Madde İçeriği

Ekstraktların spektrofotometrik analizleri yapıldıktan sonra içerdikleri antioksidan maddelerin belirlenmesi için HPLC analizleri gerçekleştirilmiştir. Kantitatif tayin yapabilmek için öncelikle antioksidan maddelerin yüksek saflıktaki standartları kullanılarak her biri için kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. Antioksidan maddelere ait kalibrasyon verileri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Antioksidan maddeler için HPLC'de hazırlanan kalibrasyon verileri

	Dalgaboyu (nm)	Alikonma zamanı (dk)	Kalibrasyon denklemi	Regresyon katsayısı (R ²)	Değişim aralığı (mg/L)
Protokatekuik asit	280	11,60	$y = 26,5501x - 13,8184$	0,9915	10-300
<i>p</i> -hidroksi benzoik asit	280	17,63	$y = 30,0120x + 8,8352$	0,9891	10-200
Rutin	360	22,29	$y = 14,6890x - 2,3944$	0,9902	10-500
Kamferol-3-glikozit	360	23,94	$y = 78,2360x + 18,1260$	0,9928	10-100
Kuersetin	360	27,92	$y = 97,9530x + 6,7120$	0,9932	10-100
Kamferol	360	29,41	$y = 81,2450x + 16,4350$	0,9887	10-100

Her bir ekstrakt için yapılan HPLC analizi sonucu elde edilen kromatogramlardaki piklerin alikonma zamanı ve spektrumu kontrol edilerek hangi antioksidan maddeye ait olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1'de ilaç formundan hazırlan ekstrakta ait HPLC kromatogramı verilmiştir. Pik alanı değerleri ilgili kalibrasyon grafiğinde yerine koyularak kantitatif analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'de görülmektedir.



Şekil 1. İlaç formundaki *Ginkgo biloba*'nın asitsiz ekstraktının (a) 280 nm ve (b) 360 nm'deki HPLC kromatogramları (1:Protokatekuik asit, 2:*p*-hidroksi benzoik asit, 3:Rutin, 4:Kamferol-3-glikozit, 5:Kuersetin, 6:Kamferol)

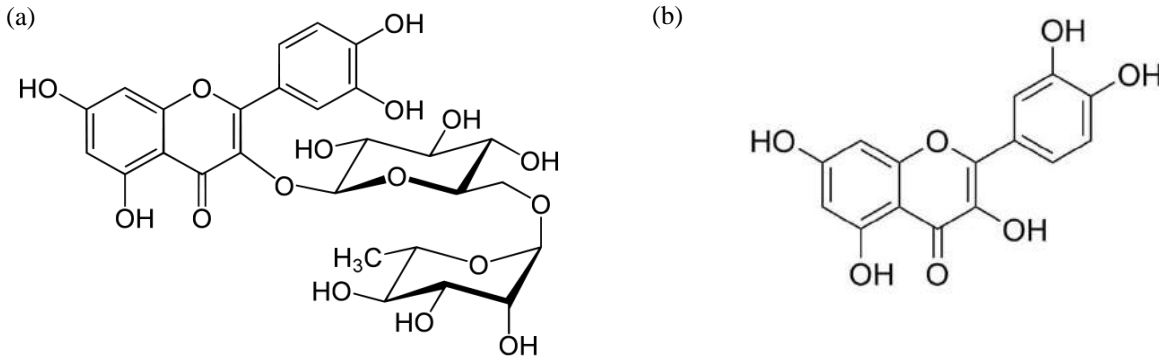
Tablo 3. Farklı formlardaki *Ginkgo biloba*'nın içerdiği antioksidan madde miktarları (mg/g)

	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Protokatekuik asit	3,22±0,36	2,67±0,13	0,08±0,01	0,05±0,01	0,17±0,01	0,10±0,01
<i>p</i> -hidroksibenzoik asit	2,28±0,11	0,70±0,04	0,06±0,01	-	-	-
Rutin	11,95±0,75	7,72±0,38	8,75±0,06	6,92±0,34	0,65±0,02	0,36±0,03
Kamferol-3-glikozit	1,11±0,09	1,48±0,11	0,03±0,00	0,06±0,01	0,05±0,01	0,05±0,01
Kuersetin	0,08±0,01	1,47±0,19	0,08±0,01	0,53±0,04	-	0,02±0,00
Kamferol	0,16±0,02	1,35±0,05	0,03±0,00	0,04±0,01	0,07±0,01	0,10±0,01

A1: İlaç
B1: Gıda takviyesi
C1: Yaprak
A2: İlaç asidik ortam
B2: Gıda takviyesi asidik ortam
C2: Yaprak asidik ortam

Analiz edilen tüm ekstraktlarda bir flavonoid glikozit olan rutin (kuersetin-3-rutinosit) temel fenolik madde olarak belirlenmiştir. Rutinin ve kuersetinin moleküler yapıları Şekil 2'de görülmektedir. Rutin, bir flavonoid olan kuersetinin 3. karbon atomuna bağlı –OH grubuna rutinozun eklenmesiyle oluşur. Tüm numunelerde asidik ekstraksiyon yapıldığında rutin miktarının azaldığı, kuersetin miktarının ise arttığı görülmektedir. Yaprığın asidik ekstraksiyonunda 0,02 mg/g kuersetin belirlenirken, asitsiz ekstraksiyonunda kuersetin tespit edilememiştir. Bunların nedeni, asidik ortamda rutinin asidik hidrolize uğraması sonucu kuersetinin ortaya çıkmasıdır (Boyle ve ark., 2000; Li ve ark., 2016).

Bir flavonoid olan kamferol ve onun glikoziti olan kamferol-3-glikozit de *Ginkgo biloba*'nın içeriğinde bulunmaktadır. Kamferol ile kamferol-3-glikozitin kimyasal yapıları ve etkileri kuersetin ile rutine benzemektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar flavonoidlerin antioksidan özelliklerinin yanında antiinflamatuvar, antikanser, antiviral, antiallerjik, antitrombotik ve damar genişletici gibi özelliklerinin de bulunduğunu göstermektedir (Montano ve ark., 2011; Wang ve ark., 2018).



Şekil 2. Rutin (a) ve kuersetinin (b) moleküler yapıları

Protokatekuik asit ve *p*-hidroksibenzoik asit, hidroksibenzoik asitler grubunda yer alan fenolik asitlerdir. *p*-hidroksi benzoik asit gıda takviyesi ürünün asidik ekstraksiyonu ve yaprağın asitli-asitsiz ekstraksiyonlarında gözlenmemiştir. Bu fenolik asitler pek çok bitkinin yapısında bulunurlar. Suda çözünürlükleri flavonoidlere göre daha iyidir. Fenolik asitler son yıllarda özellikle kanser ve koroner kalp hastalıkları gibi ölümcül hastalıklara karşı koruyucu etkide bulunma potansiyelleri nedeniyle üzerinde oldukça yaygın çalışmalar yapılan bileşiklerdir. Bununla birlikte antiinflamatuvar, antimikrobiyal, antioksidan, anti-trombotik ve damar genişletici gibi pek çok etkisi olduğu kanıtlanmış ve bu yararlı etkilerinin temel sebebinin antioksidan özellik göstermeleri olduğu rapor edilmiştir (Balasundram ve ark., 2006; Tanase ve ark., 2019).

Farklı formlardaki *Ginkgo biloba* ürünlerinin içerdikleri antioksidan madde miktarları açısından oldukça farklı oldukları belirlenmiştir. Bunun nedenlerinden biri hazırlanmalarında farklı kaynaklardan gelen, farklı yerlerde yetişmiş bitkiler kullanılmasıdır. Bitkilerin içerikleri yetiştiği bölgeye, aldıkları su, güneş ışığı ve kimyasal gibi faktörlere göre değişmektedir (Xu ve ark., 2017). Bu farklılığın diğer bir nedeni ise satılan bu ürünlerin hazırlanma aşamalarıdır. Yaprak, ağaçtan toplanıp, kurutulduktan sonra satılırken, gıda takviyesi ürün çeşitli işlemlere kapsül haline getirilerek satılmaktadır. İlaç olan ürün ise daha sıkı denetimlerle ve dünyanın her yerinde değiştirilmeyen standardize bir hazırlama yöntemi ile içeriği kontrol edilerek hazırlanmaktadır. Bu nedenlerle en güvenilir *Ginkgo biloba* formunun ilaç olarak satılan tablet form olduğu söylenebilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, sağlık üzerinde olumlu etkileri olduğu düşünüldüğü için yüz yıllardır kullanılan *Ginkgo biloba*'nın antioksidan özellikleri araştırıldı. Dünyada ve ülkemizde kolaylıkla ulaşılabilen film tablet formunda ilaç, kapsül formunda gıda takviyesi ve kuru yaprak olmak üzere üç farklı formun asidik ve asidik olmayan ortamda ultrasonik ekstraksiyon ile hazırlanan ekstraktları analiz edildi. *Ginkgo biloba* bitkisinin içerdiği temel antioksidan maddenin rutin olduğu belirlendi. Film tablet formunda ilaç olarak satılan standart *Ginkgo biloba* ekstresinin, gıda takviyesi ürün ve kuru yaprağa göre oldukça yüksek antioksidan özelliğe sahip olduğu belirlendi. Literatürde de belirtilen bazı yan etkilerin ve kullanılan başka ilaçlarla etkileşimlerin ortaya çıkmaması için, *Ginkgo biloba* bitkisi hekim tavsiyesi üzerine ve standardize ekstre içeren reçeteli ilaç formunda kullanılmadığı. Gıda takviyesi ya da yaprak olarak kullanıldığında içeriği ve dolayısı ile etkileri/yan etkileri değişkenlik gösterebileceğinden dikkatli olunmalıdır.

Kaynakça

- Aybastier Ö, Şahin S, Demir C, 2013. Response Surface Optimized Ultrasonic-Assisted Extraction of Quercetin and Isolation of Phenolic Compounds From *Hypericum perforatum* L. by Column Chromatography. Separation Science and Technology, 48: 1665-1674.
- Balasundram N, Sundram K, Samman S, 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry 99: 191–203.
- Boyle SP, Dobson VL, Duthie SJ, Hinselwood DC, Kyle JAM, Collins AR, 2000. Bioavailability and efficiency of rutin as an antioxidant: a human supplementation study. European Journal of Clinical Nutrition, 54: 774-782.
- Chan PC, Xia Q, Fu PP, 2007. Ginkgo Biloba Leave Extract: Biological, Medicinal, and Toxicological Effects. Journal of Environmental Science and Health Part C, 25: 211–244.
- DeFeudis FV, Drieu K, 2000. *Ginkgo Biloba* Extract (EGb 761) and CNS Functions: Basic Studies and Clinical Applications. Current Drug Targets, 1: 25-58.
- Dent M, Uzelac VD, Garofulic IE, Bosiljkov T, Jezek D, Brncic M, 2015. Comparison of Conventional and Ultrasound-assisted Extraction Techniques on Mass Fraction of Phenolic Compounds from Sage (*Salvia officinalis* L.). Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 29(3): 475-484.
- Goh LM, Barlow PJ, 2002. Antioxidant capacity in *Ginkgo biloba*. Food Research International, 35: 815–820.
- Güleç M, Yılmaz R, Iraz M, Ağlamış S, Söğüt S, 2004. Sisplatin Nefrotoksitesisi Oluşturulan Sıçanların Plazma Glutasyon Peroksidaz, Süperoksit Dismutaz, Adenozin Deaminaz Aktiviteleri ve Nitrik Oksit Seviyelerine *Ginkgo Biloba* Ekstraktının Etkileri. Türkiye Klinikleri, 24: 585-591.
- Hohmann N, Wolf EM, Rigault P, Zhou W, Kiefer M, Zhao Y, Fu CX, Koch MA, 2018. *Ginkgo biloba*'s footprint of dynamic Pleistocene history dates back only 390,000 years ago. BMC Genomics, 19:299.
- Li Y, Yao J, Han C, Yang J, Chaudhry MT, Wang S, Liu H, Yin Y, 2016. Quercetin, Inflammation and Immunity. Nutrients, 8: 167.
- Liu C, Liu S, Zhang L, Wang X, Ma L, 2018. Partition Behavior in Aqueous Two-Phase System and Antioxidant Activity of Flavonoids from *Ginkgo biloba*. Applied Sciences, 8: 2058.
- Mattila J, Kumpulainen J, 2002. Determination of free and total phenolic acids in plant-derived foods by HPLC with diode-array detection. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 3660-3667.
- Moco S, Capanoglu E, Tuginov Y, Bino R, Boyacioglu D, Hall RD, Vervoort J, De Vos R, 2007. Tissue specialization at the metabolite level is perceived during the development of tomato fruit. Journal of Experimental Botany, 58: 4131-4146.
- Montaño JMC, Burgos-Morón E, Pérez-Guerrero C, López-Lázaro M, 2011. A Review on the Dietary Flavonoid Kaempferol. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, 11, 298-344.
- Nakanishi K, 2005. Terpene trilactones from *Ginkgo biloba*: From ancient times to the 21st century. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 13: 4987–5000.
- Omidkhoda SF, Razavi BM, Hosseinzadeh H, 2019. Protective effects of *Ginkgo biloba* L. against natural toxins, chemical toxicities, and radiation: A comprehensive review. Phytotherapy Research, 33: 2821–2840.
- Pietta P, Simonetti P, Gardana C, Mauri P, 2000. Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) of *Ginkgo biloba* flavonol and Camellia sinensis catechin metabolites. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 23: 223-226.
- Pohl F, Lin PKT, 2018. The Potential Use of Plant Natural Products and Plant Extracts with Antioxidant Properties for the Prevention/Treatment of Neurodegenerative Diseases: In Vitro, In Vivo and Clinical Trials. Molecules, 23: 3283.
- Rouse J, 1998. *Ginkgo biloba*: Mind, Mood, and Memory. Journal of Applied Nutritional Science, 6 (7):1-2.
- Shahidi F, Yeo JD, 2016. Insoluble-Bound Phenolics in Food. Molecules, 21: 1216.
- Shu Z, Shar AH, Shahan M, Wang H, Alagawany M, El-Hack MEA, Kalhor SA, Rashid M, Shar PA, 2019. Pharmacological Uses of *Ginkgo biloba* Extracts for Cardiovascular Disease and Coronary Heart Diseases. International Journal of Pharmacology, 15: 1-9.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM, 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299: 152–178.
- Şahin S, Aybastier Ö, Işık E, 2013. Optimisation of ultrasonic-assisted extraction of antioxidant compounds from *Artemisia absinthium* using response surface methodology. Food Chemistry, 141: 1361-1368.
- Tanase C, Cosarca S, Muntean DL, 2019. A Critical Review of Phenolic Compounds Extracted from the Bark of Woody Vascular Plants and Their Potential Biological Activity. Molecules, 24: 1182.
- Viskupicova J, Ondrejovic M, Sturdik E, 2008. Bioavailability and metabolism of flavonoids. Journal of Food Nutrition and Research 47(4): 151–162

- Walkowiak A, Ledziński L, Zapadka M, Kupcewicz B, 2019. Detection of adulterants in dietary supplements with *Ginkgo biloba* extract by attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate methods PLS-DA and PCA. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 208: 222–228
- Wang J, Fang X, Ge L, Cao F, Zhao L, Wang Z, Xiao W, 2018. Antitumor, antioxidant and anti-inflammatory activities of kaempferol and its corresponding glycosides and the enzymatic preparation of kaempferol. *Plos One*, 13(5): e0197563.
- Xiao J, 2017. Dietary flavonoid aglycones and their glycosides: Which show better biological significance? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(9): 1874-1905.
- Xu DP, Li Y, Meng X, Zhou T, Zhou Y, Zheng J, Zhang JJ, Li HB, 2017. Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(96).
- Yang C, Xu YR, Yao WX, 2002. Extraction of Pharmaceutical Components from *Ginkgo biloba* Leaves Using Supercritical Carbon Dioxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 846-849.



Rapid Prototype Development of Single-Phase Grid-Connected PV Inverter Using STM32F4 and Matlab

Süleyman Yarikkaya¹, Kadir Vardar^{2*}

¹ Afyon Kocatepe University, Dinar Vocational School, Computer Programming, Afyonkarahisar, Turkey (ORCID: 0000-0003-1582-6588)

² Kütahya Dumlupınar University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kütahya, Turkey (ORCID: 0000-0002-0197-0215)

(İlk Geliş Tarihi 27 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.680586)

ATIF/REFERENCE: Yarikkaya, S. & Vardar, K. (2020). Rapid Prototype Development of Single-Phase Grid-Connected PV Inverter Using STM32F4 and Matlab. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 213-223.

Abstract

In this paper, the program source code of the STM32F407 microcontroller for PV (photovoltaic) inverter circuit was tested using Simulink before applying it to a power electronics circuit. Firstly, a single-phase grid-connected PV (photovoltaic) inverter structure is modeled in Matlab / Simulink environment. In the light of these simulation results, the control blocks of the inverter are programmed using the MikroC ARM compiler for the STM32F407 microcontroller. Before the circuit design stage, a model was developed to work with Matlab / Simulink in order to prevent possible errors and losses of the microcontroller code of the designed PV inverter. This model includes power electronics semiconductors and passive components, PV panels, grid and data communication blocks. The C source code containing the inverter control blocks (MPPT, PLL, DC Link PI and Current controller) are loaded into the STM32F4 Discovery kit. At each step of the simulation, the current and voltage information obtained from the Matlab model is sent to the STM32F4 kit via serial communication. The current and voltage information is processed in microcontroller software and switching pulses of IGBTs are created and transferred back to Matlab model. In this way, a rapid and secure prototype hardware development method is presented with the joint operation of Matlab and STM32F4. The results obtained from the simulation and Matlab-STM32F4 joint study are given comparatively.

Keywords: PV inverter, Matlab, STM32F4, Rapid Prototype.

STM32F4 ve Matlab Kullanılarak Tek Faz Şebeke Bağlantılı PV İnverterin Hızlı Prototip Geliştirilmesi

Öz

Bu çalışmada, PV (photovoltaic) inverter devresi için STM32F407 mikrodeneleyicisine ait oluşturulan program kaynak kodunun bir güç elektroniği devresine uygulanmadan önce Simulink kullanılarak testi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, tek faz-şebeke bağlantılı bir PV (photovoltaic) inverter yapısı Matlab / Simulink ortamında modellenmiştir. Bu simülasyon sonuçları ışığında inverterin kontrol blokları STM32F407 mikrodeneleyici için MikroC ARM derleyicisi kullanılarak programlanmıştır. Tasarlanan PV invertere ait mikrodeneleyici kodunun devre tasarım aşamasına geçmeden önce olası hata ve kayıpların önüne geçmek amacıyla Matlab/Simulink ile birlikte çalışabilmesi için bir model oluşturulmuştur. Bu model, güç elektroniği yarıiletken ve pasif elemanları, PV paneller, şebeke ve veri haberleşmesi gerçekleştiren blokları içermektedir. İnverter kontrol bloklarını (MPPT, PLL, DC Link PI ve Akım kontrolcüsü) içeren C kaynak kodu STM32F4 Discovery kitine yüklenmiştir. Simülasyonun her bir adımında Matlab modelinden elde edilen akım ve gerilim bilgileri, seri iletişim ile STM32F4 kitine yollanmaktadır. Akım ve gerilim bilgileri mikrodeneleyici yazılımında işlenmekte ve IGBT'lere ait anahtarlama palsleri oluşturulup tekrar Matlab modeline aktarılmaktadır. Bu şekilde Matlab ve STM32F4 ortak çalıştırılması ile hızlı ve güvenli bir prototip donanım geliştirme yöntemi sunulmuştur. Simülasyon ve Matlab-STM32F4 ortak çalışmasından elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

* Sorumlu Yazar: Kütahya Dumlupınar University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kütahya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0197-0215, kadir.vardar@dpu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: PV inverter, Matlab, STM32F4, Hızlı Prototip.

1. Introduction

Renewable energy is a good alternative to supply global energy needs. Technological developments play an important role in the transition from fossil fuel consumption to renewable energy. Technological developments are increasing rapidly with the researches in this field in recent years (Reis et al., 2015). It is an advantageous solution to transfer the energy produced in small power PV systems to the grid via single phase (Arafa, Mansour, Sakkoury, Atia, & Salem, 2016). Power electronics elements are used for the safe connection of renewable energy sources (Tsengenes & Adamidis, 2011). With digitalization, an increasing trend in power electronics, the use of DSPs (Digital Signal Processors) in inverters has increased rapidly. The software of DSPs used in control systems has also become more complex with the developing control algorithms. With the traditional design methods, the control process is extending due to both the use of documentation and coding errors. For this reason, design and development processes and various modeling structures have been established (Castoldi, Aguiar, Azauri, & Monteiro, 2006; Vardar, Sürgevil, & Akpınar, 2009; Zhang, Zhang, Wang, & Pan, 2010; Durbaba, Akpınar, Balıkcı, Azizoğlu, & Kocamış, 2019).

In the design and development process of a power electronics, system simulations are used. The simulations allow software operation without damaging any power electronics element or controller (Model in the Loop-MIL). From the simulated design to the application stage, the necessary controller software is made for the controller. If it is possible to run the controller software in the simulation, the test is performed by embedding the source code in the simulation (Software in the Loop-SIL). This makes it possible to verify the software. If the simulation software does not have the ability to process source code, the controller source code is loaded into the microprocessor/microcontroller hardware. The controller and the simulation are run jointly by sharing data (Processor in the Loop-PIL). Thus, the controller is tested by connecting to the simulation instead of the actual system (Moreira, 2015).

In this study, hysteresis current controlled single-phase grid-connected PV inverter was designed and the microcontroller source code was created quickly and safely by applying MIL and PIL stages. First, a single-phase grid-connected PV inverter was simulated using Matlab / Simulink. Then the source code of the software for the STM32F407 microcontroller was prepared using the MikroC Pro for ARM compiler to run the controller algorithm STM32F4 Discovery kit designed in the simulation. The control part was removed from the simulation and replaced with an S-function block to communicate with the STM32F407 microcontroller. This block enables data communication between Matlab/Simulink and STM32F4 kit. The power electronics elements and the grid part work on Matlab/Simulink, while the controller part physically works on the STM32F4 Discovery kit. The current and voltage information obtained from the power part in Simulink model are sent to the microcontroller and the gate control signals obtained from the microcontroller output are taken to Simulink and applied to the model. Thus, the development of the microcontroller code of the designed PV inverter has been completed and its accuracy has been tested safely.

In this study, single-phase grid-connected PV inverter structure and features are presented in the second chapter. In Section 3, simulation block structures of PV inverter modeled with Matlab/Simulink are given. The simulation structure created by Matlab/Simulink and STM32F407 microcontroller is in Section 4. In Section 5, the results of the MIL and PIL simulations performed are presented and compared.

2. Single-Phase Grid-Connected PV Inverter

PV systems are one of the most important renewable energy systems. These systems generate DC energy and this energy must be converted to AC energy to be transferred to the grid. For this purpose, inverter circuits that convert DC energy to AC energy are used (Hannan, Abd Ghani, & Mohamed, 2010). Inverters are one of the most important devices in grid-connected PV systems because they provide power conversion and grid synchronization (Jana, Saha, & Das Bhattacharya, 2017). The general structure of the single-phase grid-connected PV inverter is given in Figure 1. In this study, a voltage controlled, current controlled h-bridge inverter structure is used. In this structure, the DC voltage produced by the PV array is kept in balance with the C_{DC} capacitor and the fluctuations are suppressed. This DC voltage is then connected to the inverter input. Here, both the input voltage and the output current are controlled by the power stage formed by 4 semiconductor switching elements (Insulated Gate Bipolar Transistor-IGBT). The voltage level of the inverter input is determined by the MPPT (maximum power point tracking) algorithm. With the L filter used between the inverter and the grid, the inverter output current is filtered into a sinusoidal structure and transferred to the grid.

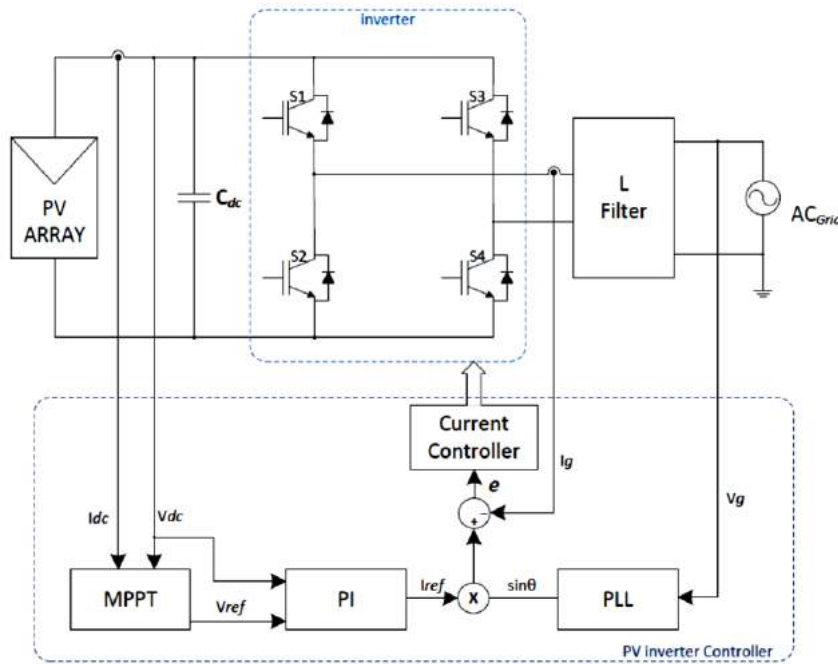


Figure 1. Single-phase grid-connected PV inverter block diagram.

Because of the PV panel current and voltage characteristic curves are not linear, the power to be obtained from the PV panels varies according to the drawn current and voltage of the panel. When the maximum power is drawn from the PV panels, the intersection point of the voltage obtained with the current drawn is called the maximum power point (MPP). The maximum power point varies depending on environmental factors such as temperature and radiation. For this reason, various MPPT algorithms are used to tracking the MPP and enable the PV panels to operate at the maximum power point. One of the well-known and commonly used algorithms among these algorithms is the Perturb and Observation (P&O) algorithm (Gupta & Saxena, 2016).

The DC link reference voltage value obtained from the MPPT block is followed by a DC link controller designed by using the PI controller structure. In this block, the reference voltage value is subtracted from the DC link voltage value and the error value is obtained. When the calculated error is applied to the input of PI controller, the reference inverter current value is produced at the output of the controller. PI controller is preferred for DC link control due to its good dynamic performance. The transfer function G_{PI} used for the PI controller is given by equation (1).

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (1)$$

With the PLL structure, phase angle information is obtained by monitoring the grid voltage and a unit sine wave is generated at the output of the block in the same phase as the grid. The reference current amplitude, which is the output of the DC link controller, is multiplied by the unit sine wave generated by the PLL to obtain the inverter output reference current. In this way, the inverter output current is synchronized with the grid voltage. (Ciobotaru, Teodorescu, & Blaabjerg, 2006).

The control block section starts with the MPPT block, where maximum power point tracking (MPPT) is performed. This block provides maximum power from PV panels. After the MPPT block, the DC link PI controller and PLL blocks are used to generate the inverter reference current value. Finally, a Current Controller is used to generate switching signals for semiconductors.

3. MIL Simulation Model of PV Inverter

The grid-connected PV inverter simulation created in Matlab / Simulink is given in Figure 2. In this simulation, a PV array consisting of 13 solar panels connected in series to a single arm was used. The maximum power of this PV array is 3968 W. It can supply this power to the system when DC link current value is 5.58 A and voltage value is 711.1 V. A 3300 μ F capacitor is connected to reduce the DC voltage fluctuations in the PV panel output. There is a 3mH series inductance at the output of the inverter in order to filtering the inverter output current and providing the grid connection. The sampling time for the simulation is set to 20 μ s. The sampling time of the control blocks was determined to 2 ms to suit a real system.

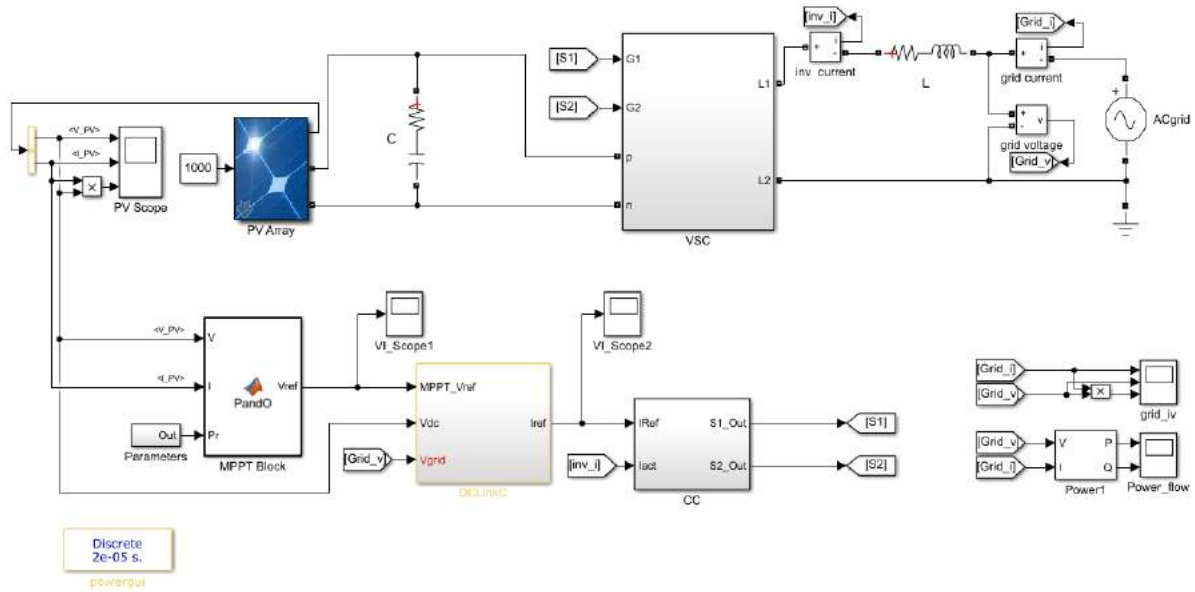


Figure 2. PV inverter simulation with Matlab / Simulink.

In the model created in Matlab / Simulink, the power part is generated using a single-phase H-bridge inverter structure in the VSC (Voltage Source Converter) block (Figure 3). IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) semiconductors are chosen as the switching elements. Here, the pins p and n are the DC link inputs of the converter circuit. The DC energy produced in the panels is converted to AC voltage at the inverter output and transferred to the grid via L1 and L2 inductors. Inputs G1 and G2 are IGBT trigger terminals.

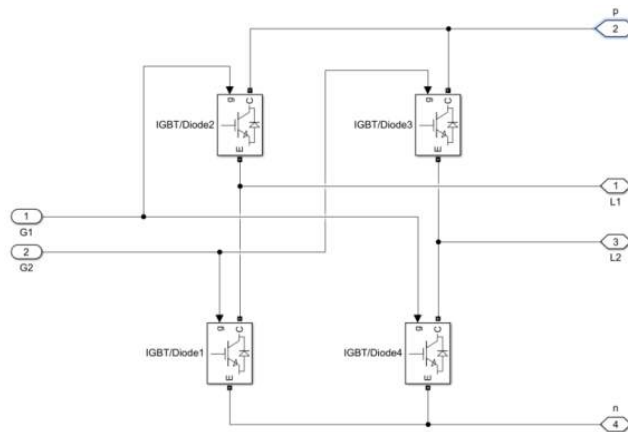


Figure 3. VSC block structure created in simulation.

In this study, perturb and observation algorithm is used for tracking the maximum power point. The flow chart of the designed algorithm is given in Figure 4. In this method, panel operating voltage and current values are measured periodically and instantaneous DC link power (P_{DC}) is calculated. The calculated instantaneous power is compared with the previous output instantaneous power. If the output power increases by increasing the operating voltage, the operating reference voltage is increased. If the output power decreases by increasing the operating voltage, the operating reference voltage is decreased. The main advantage of this technique is that it is very simple and easily applicable. The disadvantage is that the working point oscillates at a high rate around the MPP point and is not exactly constant at the MPP point (Selvan, Nair, & Umayal, 2016).

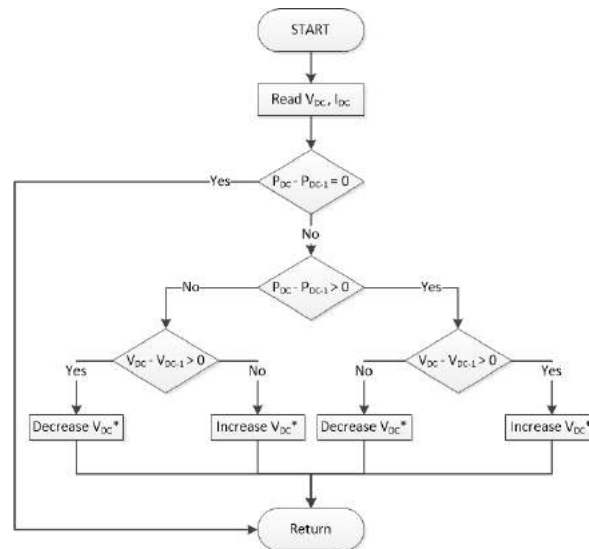


Figure 4. Perturb and observation algorithm flow chart.

DC link reference voltage value is generated from MPPT block output. In the MPPT algorithm, there are lower limit, upper limit, initial value and change amount (ΔV) parameters for DC link reference voltage value to be produced. The parameter values used in this study are 600V, 720V, 700V and 0.5V, respectively.

In the simulation, both the PI controller and the PLL block are included in the DC Link Controller block. Reference DC link voltage value (V_{DC}^*) generated in MPPT block, grid voltage value (V_{Grid}) and DC Link voltage value (V_{DC}) are entered in the block and reference current value (I_{ref}) is generated. Figure 5 shows the structure of the DC Link Controller block.

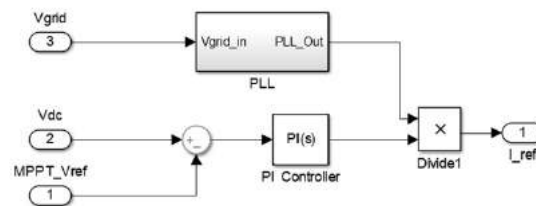


Figure 5. DC Link Controller block structure in simulation.

In this study, a hysteresis controller is used as the current controller (CC) and the block diagram is given in Figure 6. With this controller by comparing the current reference value obtained from the DC Link Controller block output and the current value read from the inverter output, inverter control signals (S_1 and S_2) are produced, which enable it to hold within $\pm 1A$ hysteresis band.

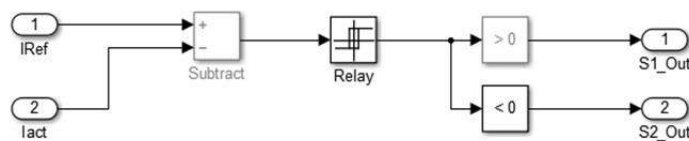


Figure 6. Current controller block structure in simulation.

4. PIL Simulation Model of PV Inverter

In order to develop safe and rapid prototypes, the simulation block diagram with the PIL structure created using Matlab / Simulink is given in Figure 7. Unlike the MIL simulation, the control blocks (MPPT, DC Link Controller and Current Controller) were removed and replaced with the Matlab-STM32F4 S-function block. This block provides communication between the Matlab / Simulink program and STM32F4 using the UART communication protocol. In each step of the Matlab simulation, the inverter output current (inv_i), grid voltage ($Grid_V$), PV panel output current (I_{PV} , I_{DC}) and PV panel output voltage (V_{PV} , V_{DC}) values which are inputs of the communication block, are sent to the microcontroller. The switching data (S_1 and S_2) for controlling the inverter, which is the output of the communication block, is read from microcontroller. With this structure, the co-operation work between STM32F4 and Simulink is established.

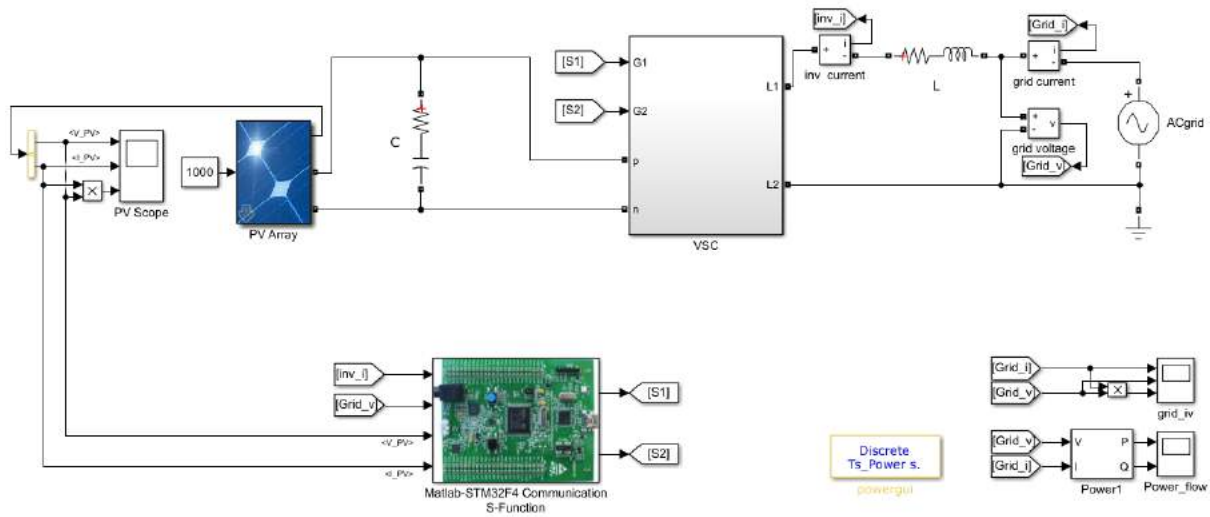


Figure 7. Matlab and STM32F4 joint work Simulation.

The flow chart showing the general working logic of this structure is given in Figure 8. The controller part is operated in the STM32F4 Discovery kit. On the computer side; grid, PV panels, semiconductor inverter circuits and measuring circuits were modeled using Matlab / Simulink program. The system is first started by running the model created in Matlab / Simulink on the computer. At each step of the simulation; current and voltage values are obtained by analyzing power electronics circuits. The obtained values are sent to the STM32F4 Discovery kit using the UART communication protocol by s-function block. The STM32F4 Discovery Kit generates the IGBT gate switching signals by running the control algorithm after reading this incoming data. The generated switching data is sent back to Matlab / Simulink model by using UART communication protocol. IGBT switching states are updated with this received data by Matlab / Simulink program. With the updated switching data, the simulation runs another iteration step for obtaining new inverter current and voltage values. These new current and voltage values are sent back to the microcontroller kit and the system continues to run cyclically.

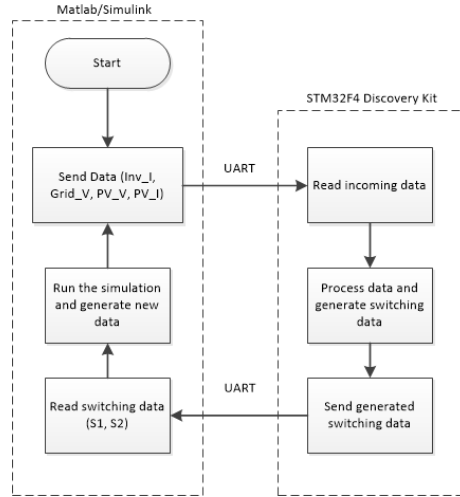


Figure 8. General flow chart of PIL simulation structure.

In each iteration step in Matlab / Simulink, the S-Function block runs once. With this block, the communication port of the computer is reached and communication is made with STM32F4 discovery kit. After the S-function block runs, the block input data is sent to the STM32F4 kit via communication and the switching data is expected from the kit. If no switching data is received within 10 seconds, the simulation stops with a timeout error. If switching data is received, the incoming data is transferred to the block output.

The S-Function block runs the Matlab m-file, which contains different nested functions. In the Setup function section in this m-file, there are process steps such as global variable definitions, input-output pin numbers of S-Function block and parameters of serial communication port. This section is a part where the settings are made when the simulation is run for the first time. The output section is the part where the port reading, writing to the port and block input-output data assignments are performed in each step of the simulation. For the prepared PIL simulation, the source code of S-function block is given in the Appendix 1.

In this study, STM32F4 discovery development board which is shown in Figure 9 is used. This kit includes a 32-bit ARM-based 168 MHz STM32F407 microcontroller with floating point unit.

The kit has 1 mini USB port and 1 micro USB port. These ports are available for programming, communication for applications and debugging mode. The development board has 4 USART (universal synchronous / asynchronous receiver transmitters) and 2 UART (universal asynchronous receiver transmitters) units for serial communication.



Figure 9. STM32F4 Discovery kit.

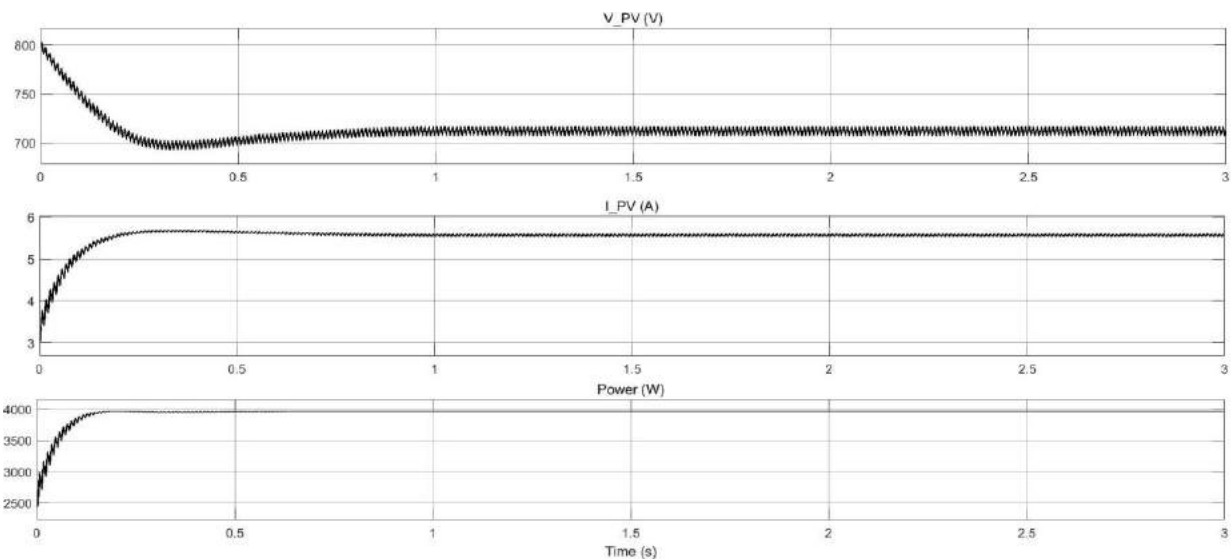
In this study, serial communication was carried out using the UART4 unit. PC10 and PC11 pins were assigned as transmit (Tx) and receive (Rx) pins, respectively. The PC connection with this kit was made via a USB-RS232 converter. Serial communication was used with one stop bit, no parity bit, 8-bit data and 115200 bps (bit per second).

The C source code containing inverter control blocks (MPPT, PLL, DC Link PI and Current controller) has been prepared using the MikroC ARM compiler. The MikroC source code for the generated PIL simulation is given in the Appendix 2.

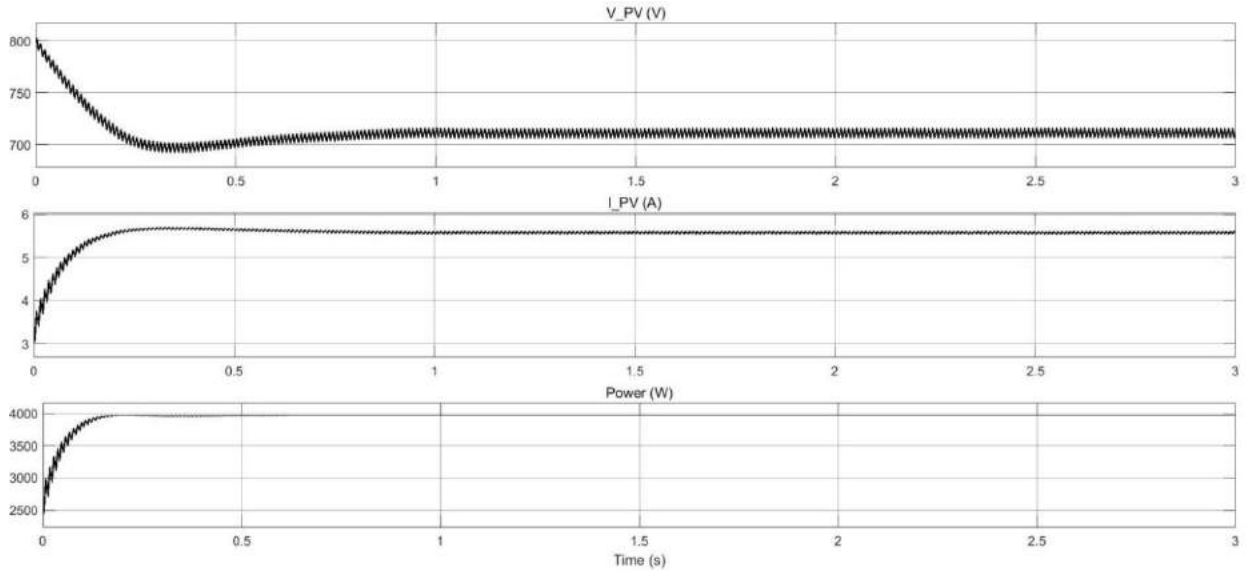
5. MIL and PIL Simulation Results of PV Inverter

In the MIL and PIL simulation studies, PV panel temperature is set to 25 °C and radiation intensity is set to 1000 W/m². DC link PI controller parameter values are used as $K_p = 0.3$ and $K_i = 2.5$.

As a result of MIL simulation of PV Inverter, the graphs of current, voltage and instantaneous power obtained from PV panel output are given in Figure 10a. The PV panel output voltage is also the DC link voltage of the inverter. When the graphs are examined, it is seen that the transient state lasts about 1 second and the state is switched to steady state after 1 second. The output voltage of the PV panel decreases to 697 V in transient state and operates steady state at 712 V after approximately 1 second. In the transient state, the maximum value of PV inverter current passing through the panels is 5.67 A. In the steady state, the value of panel current is 5.57 A. When the instantaneous power graph is examined, it is seen that the transferred power from the PV panels to grid is between 3965-3968 W in steady state. The current, voltage and instantaneous power graphs of the PV panel output obtained from the PIL simulation study of the PV Inverter are given in Figure 10b. When the graphs of PIL and MIL simulations are compared, it is seen that the results are approximately similar to each other.



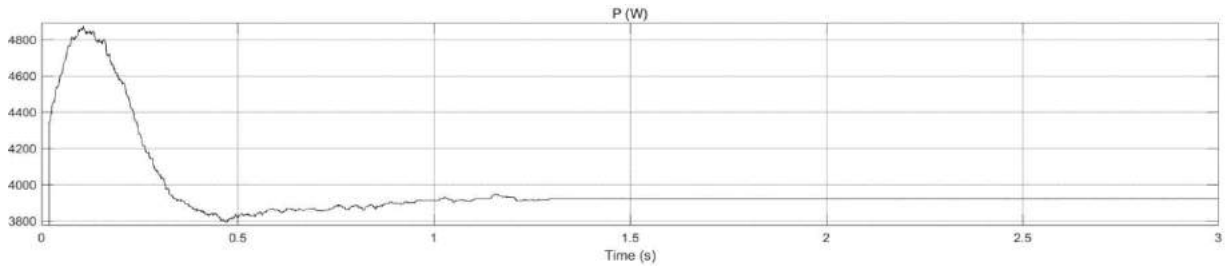
(a)



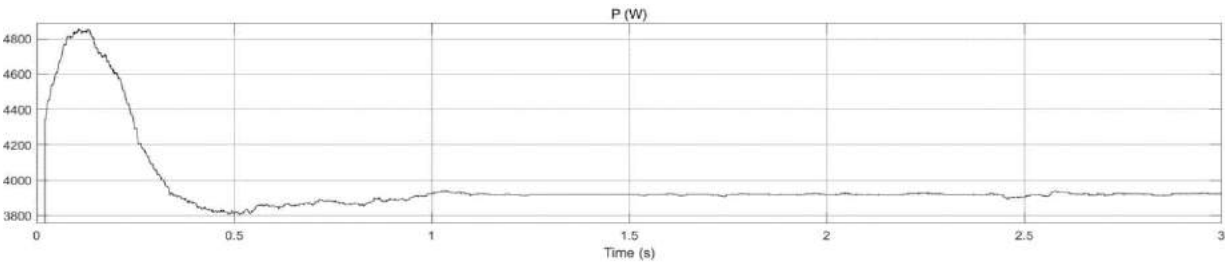
(b)

Figure 10. PV Inverter DC Link voltage, current and power values a) MIL simulation b) PIL simulation

The graphs of the power values transferred to the grid by a single-phase grid-connected PV inverter are given in Figure 11a and Figure 11b. In both simulation models, it is seen that the transient power value increases above 4800 W and goes to steady state within 1.3 sec. In steady state, 3920 W of power is transferred to the grid. When the power transmission graph of MIL simulation is examined in Figure 11a, no oscillation is seen in steady state.



(a)



(b)

Figure 11. Inverter output power a) MIL simulation b) PIL simulation

In the transferred power graph of the PIL simulation in Figure 11b, small oscillations are observed with 20W amplitude in continuous state. These small oscillations are thought to be due to the fact that Matlab/Simulink and STM32F407 have different decimal precision.

6. Conclusion

With this study, the simulation of a single-phase grid-connected PV inverter which is a power electronics circuit, the development of control software and the safe testing of this software before implementation is carried out. The inverter source code is prepared in the MikroC compiler for STM32F407 microcontroller. The developed code was validated by running Matlab / Simulink and STM32F407 microcontroller together with serial communication. Thus, a rapid prototype development method for this microcontroller structures without damaging semiconductor components is presented.

References

- Arafa, O. M., Mansour, A. A., Sakkoury, K. S., Atia, Y. A., & Salem, M. M. (2016). Realization of single-phase single-stage grid-connected PV system. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 4(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.08.004>
- Castoldi, M. F., Aguiar, M. L., Azauri, A. O., & Monteiro, J. R. B. A. (2006). A rapid prototype design to investigate the FPGA - Based DTC strategy applied to the speed control of induction motors. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 955–960. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2006.372304>
- Ciobotaru, M., Teodorescu, R., & Blaabjerg, F. (2006). Control of single-stage single-phase PV inverter. *EPE Journal (European Power Electronics and Drives Journal)*, 16(3), 20–26. <https://doi.org/10.1080/09398368.2006.11463624>
- Gupta, A. K., & Saxena, R. (2016). Review on widely-used MPPT techniques for PV applications. *1st International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security, ICICCS 2016*, 270–273. <https://doi.org/10.1109/ICICCS.2016.7542321>
- Hannan, M. A., Abd Ghani, Z., & Mohamed, A. (2010). An enhanced inverter controller for PV applications using the dSPACE platform. *International Journal of Photoenergy*. <https://doi.org/10.1155/2010/457562>
- Jana, J., Saha, H., & Das Bhattacharya, K. (2017). A review of inverter topologies for single-phase grid-connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72 (November 2016), 1256–1270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.049>
- Moreira, C. O. (2015). Rapid Control Prototyping Using an STM32 Microcontroller.
- Reis, G. L., Mata, P. C. A., Silva, W. W. A. G., Silva, R. M., Martins, A. L. N., Fernandes, V. A., & Silveira, E. P. (2015). Design and implementation of a prototype of a single phase converter for photovoltaic systems connected to the grid. *IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference, COBEP/SPEC 2016*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/COBEP.2015.7420293>
- Selvan, S., Nair, P., & Umayal, U. (2016). A Review on Photo Voltaic MPPT Algorithms. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 6(2), 567. <https://doi.org/10.11591/ijece.v6i2.9204>
- Tsengenes, G., & Adamidis, G. (2011). Investigation of the behavior of a three phase grid-connected photovoltaic system to control active and reactive power. *Electric Power Systems Research*, 81(1), 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.08.008>
- Vardar, K., Sürgevil, T., & Akpınar, E. (2009). Rapid prototyping applications on three-phase PWM rectifier and shunt active power filter. *ELECO 2009 - 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 258–262. <https://doi.org/10.1109/ELECO.2009.5355298>
- Zhang, W., Zhang, Y., Wang, R., & Pan, X. (2010). A model-based DSP control platform for rapid prototype of SVPWM. *International Conference on Signal Processing Proceedings, ICSP*, 2523–2526. <https://doi.org/10.1109/ICOSP.2010.5656854>
- Durbaba, E., Akpınar, E., Balıkcı, A., Azizoglu, B. T., & Kocamis, A. E. (2019). Fast Prototyping of A Photovoltaic System by Using DSP in MATLAB Simulation Loop, *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Lisbon, Portugal, 1768-1773*, <https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926786>

Appendix-1

```
function STM32F4(block)
    global s, a
    setup(block);

function setup(block)
    global s, a
    s = serial('COM3');
    s.InputBufferSize=128;
    s.BaudRate=115200;
    s.FlowControl='none';
    s.DataBits=8;
    s.StopBits = 1;
    s.Terminator = 'LF'
```

```
fopen(s);
```

```
%% Register number of input and output ports
```

```
block.NumInputPorts = 4;  
block.NumOutputPorts = 2;  
block.SetPreCompInpPortInfoToDynamic;  
block.SetPreCompOutPortInfoToDynamic;  
block.InputPort(1).Complexity = 'Real';  
block.InputPort(1).DataTypeId = 0;  
block.InputPort(1).Dimensions = 1;  
block.InputPort(1).SamplingMode = 'Sample';  
....  
block.SampleTimes          = [-1 0];  
block.SetAccelRunOnTLC(true);  
block.RegBlockMethod('Outputs', @Output);
```

```
function Output(block)  
global s, a  
Iact=(block.InputPort(1).Data);  
Vgrid=(block.InputPort(2).Data);  
PV_Vout=(block.InputPort(3).Data);  
PV_Iout=(block.InputPort(4).Data);  
fprintf(s,'%9.4f,Iact); %send data  
fprintf(s,'%9.3f,Vgrid);  
fprintf(s,'%9.3f,PV_Vout);  
fprintf(s,'%9.3f\n',PV_Iout);  
RecDataStr =fscanf(s,'%c'); %read charecter data  
StrReceive=strsplit(RecDataStr,');  
ReceiveData1=str2double(StrReceive(1));  
ReceiveData2=str2double(StrReceive(2));  
block.OutputPort(1).Data = ReceiveData1;  
block.OutputPort(2).Data = ReceiveData2;
```

Appendix-2

```
Void main(){  
UART4_Init_Advanced(115200,_UART_8_BIT_DATA,_UART_NOPARITY,_UART_ONE_STOPBIT,&_GPIO_MODULE_UART  
4_PC10_11);  
Delay_ms(100); // wait for port open  
// Initial values of Variables  
Sw1=1; Sw2=0; Kp=0.3; Ki=0.25*0.0002;  
IrefOld=0; vdc_errorOld=0; MpptVrefold=700; MpptVref=700;  
PV_Vold=0; PV_Pold=0; Vmax=720; Vmin=600; deltaV= 0.05; TimeCount=0;  
while (1) {
```

```

if(UART4_Data_Ready() ) { // if data is received
    UART4_Read_Text(ReceiveBuffer, "\n", 64); // reads text until '\n' newline
    strncpy(Iacttxt, ReceiveBuffer, 9); // read first 9 charecter
    strncpy(Vgridtxt, ReceiveBuffer +9, 9); // read second 9 charecter
    strncpy(PV_Vouttxt, ReceiveBuffer +18, 9);
    strncpy(PV_Iouttxt, ReceiveBuffer +27, 9);
    Iact= atof(Iacttxt); Vgrid= atof(Vgridtxt); // convert to double
    PV_V= atof(PV_Vouttxt); PV_I= atof(PV_Iouttxt);
    TimeCount++;
    if(TimeCount >= 100){
        TimeCount =0;
        pv_P= pv_V * pv_I ;
        Dpv_V= pv_V - pv_Vold;
        Dpv_P= pv_P - pv_Pold;
        if (Dpv_P != 0){
            if (Dpv_P < 0) {
                if (Dpv_V < 0) MpptVref = MpptVrefold + deltaV;
                else MpptVref = MpptVrefold - deltaV; }
            else {
                if (Dpv_V < 0) MpptVref = MpptVrefold - deltaV;
                else MpptVref = MpptVrefold + deltaV; }
        }
        if (MpptVref >= Vmax || MpptVref <= Vmin) MpptVref=MpptVrefold;
        MpptVrefold=MpptVref; pv_Vold=pv_V; pv_Pold=pv_P;
    }
    vdc_error=PV_V-MpptVref ;
    Kpvalue= Kp*( vdc_error - vdc_errorOld);
    Kivalue= Ki*( vdc_error);
    Iref=IrefOld + Kpvalue + Kivalue ;
    vdc_errorOld = vdc_error; IrefOld=Iref;
    PLLOut=Vgrid/310.0 ;
    IrefAc=PLLOut*Iref;
    I_error =IrefAc-Iact;
    if(I_error>1) { Swh1=1; Swh2=0; }
    else if(I_error <-1) { Swh1=0; Swh2=1; }
    SendBuffer1 [0]=48+Swh1;
    SendBuffer1 [1]=44; // comma character
    SendBuffer1 [2]=48+Swh2;
    SendBuffer1 [3]=44; // Add termination character LF
    UART4_Write_Text(SendBuffer1); // sends back text
    UART4_Write(10); } }

```



Elektronik Atık (E-Atık) Geri Dönüşüm Merkezlerinin Maliyetlerinin Minimize Edilerek Kuruluş Yerlerinin Belirlenmesi

Melek Işık^{1*}, İrfan Macit²

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6078-7026)

² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5966-5726)

(İlk Geliş Tarihi 29 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 22 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.680596)

ATIF/REFERENCE: Işık, M., & Macit, İ. (2020). Elektronik Atık (E-atık) Geri Dönüşüm Merkezlerinin Maliyetlerinin Minimize Edilerek Kuruluş Yerlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 224-231.

Öz

Teknolojik gelişmeler ile kullanıcıların mevcut teknolojilerini yenileme istekleri hızla artarken eski elektronik eşyalara her gün bir yenisi eklenmektedir. Teknolojinin sunduğu son olanakları içinde barındıran ve piyasaya sunulan her yeni ürün, eski ürünleri rafa kaldırarak, bizleri de bilgi çağına ortaya çıkardığı elektronik atık (e-atık) gerçeğiyle yüzleştirmektedir. İlerleyen teknoloji ile ortaya çıkan yeni ürünler artarken tüketicinin kullandığı ürünler daha kullanım aşamasındayken elektronik atığa dönüşmektedir. Dünyada, en ciddi katı atık problemi yaşanan sektör elektrik ve elektronik endüstrisidir, çünkü bu endüstride demode olma ve hurda elektronik cihazlar artış göstermektedir. E-atıklar hem miktar açısından hem de içerdikleri etken maddeler açısından atıldıkları zaman insan ve çevreyi tehdit etmektedir. Günümüzde önemli olan elektronik atıkların doğaya zarar vermeden geri dönüşümlerinin sağlanarak yeni ürünler ortaya çıkarmada doğru yöntemlerle geri kazanmaktır. Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda yapılan bu çalışmada, Türkiye'deki 38 şehirdeki elektronik atık toplama merkezlerinin gelen atıklar için seçilen 10 şehirden hangilerine geri dönüşüm merkezlerinin kurulmasına karar verecek matematiksel model kurulmuştur. Sonuçta seçilen bir şehire geri dönüşüm merkezi kurulması gerektiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Atık (E-atık), Geri Dönüşüm Merkezi, Matematiksel Model.

Determination of the Establishment Places by Minimizing the Costs of Electronic Waste (E-Waste) Recycling Centers

Abstract

With the technological advances, the desire of the users to renew their existing technologies is increasing rapidly and a new one is added to the old electronic devices every day. Each new product, which incorporates the latest opportunities offered by the technology and puts the old products on the shelf, confronts us with the fact of electronic waste (e-waste) created by the information age. While the new products emerging with the advancing technology increase, the products used by the consumers turn into electronic waste while they are in use. In the world, the solid waste problem is mostly faced by the electricity and electronics industry because products are getting obsolete and scraped in this industry. E-waste threatens the human and environment in terms of quantity and active substance they contain when they are disposed of. Nowadays, it is important to recycle electronic waste without damaging nature and to recover it with the right methods in creating new products. In this study which is performed according to the information above, a mathematical model is built that decides to in which of the selected 10 cities should be established recycling centers to meet the wastes collected from the waste collection centers among 38 cities of Turkey. As a result, it is determined that one recycling center should be established in one of the selected cities.

Keywords: Electronic Waste (E-waste), Recycling Center, Mathematical Model.

* Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6078-7026, demirtasm@cu.edu.tr.

1. Giriş

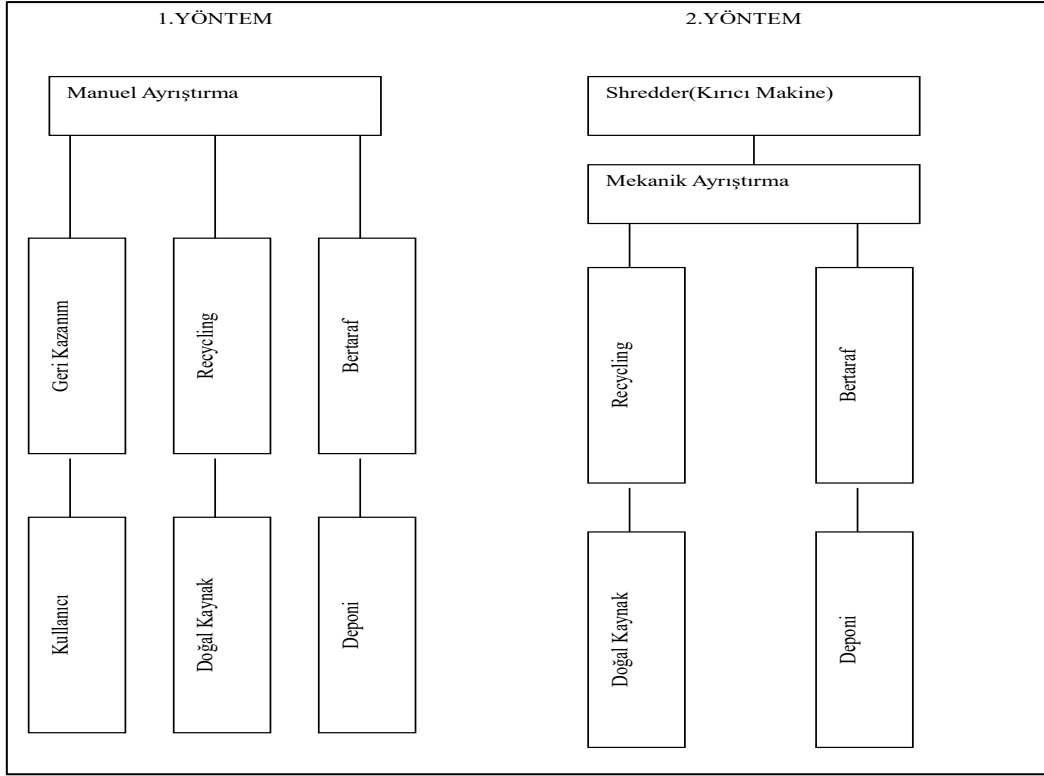
Günümüzde, elektronik aletler kullanılmadığı zaman ve kullanım süresini doldurdıkları zaman bertaraf edilmeye hazır hale gelerek elektronik atık (e-atık) adını almaktadırlar. E-atıklar, elektronik aletlerin kullanıcısı tarafından ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş ülkeler e-atıkların çoğunu meydana getirmektedirler ve e-atık problemini Asya ve Afrika ülkelerine ihraç ederek çözmeye çalışmaktadırlar. E-atıklar (Televizyon, bilgisayar, yazıcı, telefon, vb.) başlıca plastikler, metaller ve cam içermektedir. E-atıklar demonte edildiklerinde, geri dönüşüm için parçalandıklarında insan ve çevre sağlığını tehdit eden maddeler içermektedir.

Elektronik atık geri dönüşüm merkezlerinin yer tespiti bertaraf için önemlidir. Yer tespit ederken optimizasyon yönteminden yararlanılması ile optimum çözüm noktası tespit edilebilmektedir. Bloemhof-Ruwaard ve arkadaşları (1994), tesisler ile atık işleme üniteleri arasında eş zamanlı dağıtım ağı tasarımı ve bu ağda ürün akışı ve atık akışının koordinasyonu üzerine çalışmışlardır. Burada amaç, tesis ve atık işleme birimlerinin kurulum sabit maliyetlerini ve ürün ile atık akışı ile ilgili değişken maliyetlerinin toplamını minimize etmektir. Problem, tesislerdeki ve atık işleme birimlerindeki kapasite kısıtlarını, hizmet gerekliliklerini (üretim toplam talebi karşılamalıdır) ve üretim sonucu oluşan atıkların, atık işleme birimlerinde işlenmesi kısıtlarını içermektedir. Kapasite kısıtları olan iki-seviyeli dağıtım ve atık işleme problemi için alternatif matematiksel modelleri ele almışlardır (Bloemhof-Ruwaard, Salomon, & Van Wassenhove, 1994). Daniel ve arkadaşları (1997), yöneylem araştırması ile çevresel planlamaya katkıda bulunmayı amaçlamışlardır. Yöneylem Araştırmasının çevresel planlama ile dinamik ve etkileşimli olarak ilgili olduğu gösterilmiştir (Daniel, Diakoulaki, & Pappis, 1997). Bircan ve Kartal (2003), kantitatif karar verme tekniklerinden doğrusal programlama tekniğinin işletme kapasitelerinin en kârlı biçimde kullanılması amacıyla yönelik bir çimento işletmesinde bir kapasite planlaması gerçekleştirmişlerdir. Çevre güvenliği açısından işletmenin son 4,5 yıllık verileri baz alınarak optimum kapasite kullanımı için bir pazar sınırlaması modeli geliştirilmiştir. Model ile fiili durumdaki işletmenin dar boğaz oluşturan üniteleri ve atıl kapasiteleri belirlenmiştir (Bircan & Kartal, 2003). Kang ve Schoenung (2005), Amerika'da e-atık miktarı, mevcut geri dönüşüm programları ve geri kazanmak için mevcut çeşitli yöntemleri açıklamışlardır. Özellikle cam, plastik ve metaller için çeşitli geri dönüşüm teknolojileri incelemişlerdir (Kang & Schoenung, 2005). Queiruga ve arkadaşları (2008), elektronik atıkların işlenmesi konusunda yapılan yeni Avrupa yasal düzenlemelerinin sonucunda, İspanya'da elektronik atık geri dönüşüm merkezleri kurulmasını araştırmışlardır. Geri dönüşüm tesislerinin kurulabilme uygunluklarına göre İspanya belediyelerini sıralayan bir metod sunulmuştur. Alternatifleri sıralamak için, çok kriterli karar metodlarından PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) uygulanmıştır (Queiruga, Walther, Gonzalez-Benito, & Spengler, 2008). Nie ve arkadaşları (2009), belediye arıtma tesisinin genişletilmesi hususunda katı atık yönetim sistemi kurallarını içeren modelleme yaklaşımı uygulamışlardır (Nie, Huang, & Li, 2009). Ahluwalia ve Nema (2011), elektronik atık yönetiminde maliyet, çevresel risk, sosyal olarak algılanan risk ve sağlık riskinin hedefleri için çok amaçlı bir karar destek modeli amaçlamışlardır (Ahluwalia & Nema, 2011). Neto ve arkadaşları (2017), elektronik atıkların ekonomik ve çevresel avantajlarını ortaya koymak adına ikisi Brezilya'da biri İsviçre'de olmak üzere üç elektro-elektronik ürün üreticisi için geri dönüşüm ve yeniden kullanımını içeren tersine lojistik kavramını incelemişlerdir (de Oliveira Neto, Correia, & Schroeder, 2017). Khoshand ve arkadaşları (2019), İran'da elektronik atıkların farklı alternatiflerinin değerlendirilmesi için bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yaklaşımına göre bir model geliştirmişlerdir. Veritabanı oluşturmak için bir anket yapılmış ve daha sonra her bir kriter açısından her alternatifin göreceli önemi değerlendirilmiştir (Khoshand, Rahimi, Ehteshami, & Gharaei, 2019).

Geri dönüşüm tesisinin kuruluş yerinin belirlenmesi kararı, yapılan yatırımlardan ileriki dönemlerde en verimli şekilde yararlanmak amacıyla verilmesi gereken önemli bir karardır. Bu karar yanlış verildiği zaman işletmede birçok ciddi sıkıntılara yol açmaktadır. Buna bağlı olarak tesis yeri seçimi yüksek miktarda para ve zaman kaybına yol açmaktadır. Literatürdeki sezgisel ve matematiksel modeller uygulanabilirlik yönünden incelenmiştir. Literatürdeki uygulanabilir kısıtlarda göz önüne alınarak bir model sunulmuştur. Önerilen bu model, Türkiye'de elektronik atıkların toplanılması öngörülen 38 şehirden ve bu atıkların geri dönüşümünün yapılacağı 10 aday tesis yerinden seçilecek yer için matematiksel model oluşturulmuş ve yazılım aracılığı ile çözüm sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Elektronik atıkların geri kazanılmasında Şekil 1.' de görüldüğü üzere 2 ana teknik vardır. Birinci tekniğin ikinci tekniğe göre farklılığı kullanıcının girmesi ve el ile ayrıştırma yapılmasıdır. İkinci teknikte ise mekanik ayrıştırma yapılarak kırıcı makinede elektronik atıklar geri kazanılmaktadır. Bu tekniklerden biri seçilerek tesisin düzenlenmesinin nasıl olması gerektiği tespit edilmektedir.



Şekil 1. Elektronik Atık Geri Kazanımı

2.1. Yöntem

1940’lardan bu yana yönelem teknikleri geliştirilmiş ve bilgisayarların yardımıyla geleneksel kuruluş yeri seçiminde kullanılan çeşitli yöntemler oluşturulmuştur. Bu çalışmada, matematiksel model incelenmiş olup modeli çözmek için bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

2.1.1. Matematiksel Model

Modelde eğer n adet aday yer içerisinde m adet tesis yeri belirlenecekse her tesis yalnızca bir aday yere atanabilir ve bir aday yere birden fazla tesis atanmaması koşulu vardır. Amaç fonksiyonu tüm maliyetlerinin toplamı en küçülenmesi baz alınarak çözüme gidilmektedir (Daskin, 1995).

i: tesis sayısı için kullanılan indis (i=1,2,...m)

j: aday yeri için kullanılan indis (j=1,2,...n)

Karar Değişkenleri:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i.\text{tesis } j.\text{ aday yerine atanmış ise,} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Parametreler:

c_{ij} = i tesisini j aday yerine kurmaktan doğan maliyetlerin toplamı

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min}z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$y_{ij} = \{0,1\} \quad (2)$$

Modelde y_{ij} i. tesisin j. yere atanıp atanmadığını gösteren karar değişkenidir. c_{ij} kurulumdan doğan maliyetlerin gösterimidir. Denklem (1)' de amaç fonksiyonunda gösterilen toplam maliyetlerin minimum edilmesidir. Denklem (2)'de 0,1 tamsayı olma koşuludur.

2.1.2. Önerilen Model

Bu çalışma kapsamında, belirli şehirlerde var olan elektronik atık toplama merkezleri ile bu toplanan elektronik atıkların geri dönüşümlerinin yapılabileceği tesislerin en uygun yerleşim yerlerinin belirlenebilmesi için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Modelde, matematiksel modelleme tekniğinden yararlanılmıştır. Varsayımlar aşağıda gösterilmiştir;

- 1) Türkiye'deki nüfusun 500.000'den fazla olduğu 38 şehirde elektronik atık toplama merkezleri kuruludur.
- 2) Geri dönüşüm merkezi kapasitesi 300000'dir.
- 3) Maksimum 10 tane geri dönüşüm merkezi kurulmaktadır.
- 4) Sadece açık olan tesislere taşıma yapılmaktadır.

Önerilen model, Türkiye içinde geri dönüşüm merkezlerinin minimum maliyet ile hangi illerde kurulacağını göstermektedir.

i: i. Şehirdeki Toplama Merkezi (i=1,2,...,m)

j: j. Geri Dönüşüm Merkezi (j=1,2,...,n)

Karar Değişkenleri:

$$h_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer geri dönüşüm merkezi açık ise,} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Parametreler:

s_j = j. geri dönüşüm merkezinin kurulum maliyeti

w_i = i. toplama merkezinin e-atık miktarı

Değişken:

c_j = j. geri dönüşüm merkezi kapasitesi

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min}z = \sum_{j=1}^n s_j h_j \quad (3)$$

Kısıtlar:

$$c_j h_j \leq \sum_{i=1}^m w_i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j \leq C_{\max} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n h_j \leq P_{\max} \quad (6)$$

$$1 \leq \sum_{j=1}^n h_j \quad (7)$$

$$h_j = \{0,1\} \quad (8)$$

Önerilen modelde, h_j tesisin j. yere atanıp atanmadığını gösteren karar değişkenidir. s_j kurulumdan doğan maliyetlerin gösterimidir. c_j geri dönüşüm merkezi kapasitesi ve w_i toplama merkezlerinden gelen e-atık miktarıdır. Denklem (3) maliyeti minimize etmektedir. Kısıtlardan Denklem (4) kapasitenin talebi karşılama kısıtı, Denklem (5) geri dönüşüm merkezi kapasite kısıtı ve geri dönüşüm merkezi kapasitesi maksimum kapasitesi $C_{\max} = 300000$ 'dir. Maksimum açılacak tesis sayısı $P_{\max} = 10$ kısıtı da Denklem (6)'de verilmiştir. Denklem (7) ise en az bir tane geri dönüşüm merkezi kurulma kısıtıdır. Denklem (8)'de 0,1 tamsayı olma koşuludur.

2.2. Materyal

Türkiye'deki 38 şehrin elektronik atık toplama merkezleri için 10 şehirde geri dönüşüm merkezleri kurulması planlanmaktadır. Bu toplama merkezleri için yerleşim yerlerinin ve miktarının belirlenmiş kısıtlar ve varsayımlar doğrultusunda belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada aşağıdaki verilerden yararlanılmıştır:

- i. Şehirlerin yıllık elektronik atık üretme miktarları
- ii. Elektronik atık geri dönüşüm merkezleri kurulum maliyetleri

Tablo 1. İllere göre fabrika kurulum maliyetleri(TL)

	Bina Maliyeti	Makine Maliyeti	Arsa Maliyeti	Toplam Maliyet (s_j)
Adana	1000000	400000	45000	1445000
Ankara	1000000	400000	337500	1737500
Antalya	1000000	400000	81000	1481000
Bursa	1000000	400000	270000	1670000
Gaziantep	1000000	400000	45000	1445000
Mersin	1000000	400000	45000	1445000
İstanbul	1000000	400000	1012500	2412500
İzmir	1000000	400000	337500	1737500
Konya	1000000	400000	9000	1409000
Şanlıurfa	1000000	400000	45000	1445000

2010 yılında yapılan analize göre kurulması düşünülen 10 şehrin kurulum maliyetleri Tablo 1' de gösterilmiştir. Tesis kurulum maliyeti bina kurulumu, makine maliyetleri ve arsa fiyatı baz alınarak hesaplanmıştır. Arsa maliyetleri 4500 metrekare arsa üzerinde kurulacaktır ve her bir şehirdeki organize sanayi bölgesindeki maliyetle çarpılarak bulunmuştur. TÜİK verilerine göre seçilen 38 şehirden çıkan elektronik atık miktarları Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. İllere göre nüfus sayıları ve yıllık üretilen elektronik atık miktarları

İller	E-atık(ton) w_i	İller	E-atık(ton) w_i
Adana	30100	Kayseri	17476
Adıyaman	8741	Kocaeli	21569
Afyonkarahisar	10524	Konya	29386
Ankara	67001	Kütahya	8759
Antalya	26839	Malatya	10831
Aydın	14205	Manisa	19799
Balıkesir	16775	Mardin	11187
Bursa	36598	Mersin	23939
Çorum	8247	Muğla	11492
Denizli	13610	Ordu	10731
Diyarbakır	21911	Sakarya	12528
Elazığ	8119	Samsun	18434
Erzurum	11774	Sivas	9577
Eskişehir	10873	Şanlıurfa	22846
Gaziantep	23400	Tekirdağ	10926
Hatay	20793	Tokat	9311
İstanbul	188608	Trabzon	11109
İzmir	56090	Van	14695
Kahramanmaraş	15066	Zonguldak	9238

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada, Türkiye'nin nüfusu 500.000'den fazla olan 38 ili ele alınmış ve bu illerden toplanan elektronik atıkların işleneceği, toplama merkezlerinin kapasiteleri de göz önünde bulundurularak, en fazla 10 adet geri dönüşüm tesisi kurulması istenmektedir. Bu problemde geri dönüşüm tesisinin açılıp açılmama durumuna göre kurulum maliyetini minimize eden matematiksel model kurulmuş ve veriler GAMS programına girilerek optimum tesis yeri belirlenmiştir. Şekil 2.'de Türkiye'deki şehirler gösterilmiştir.

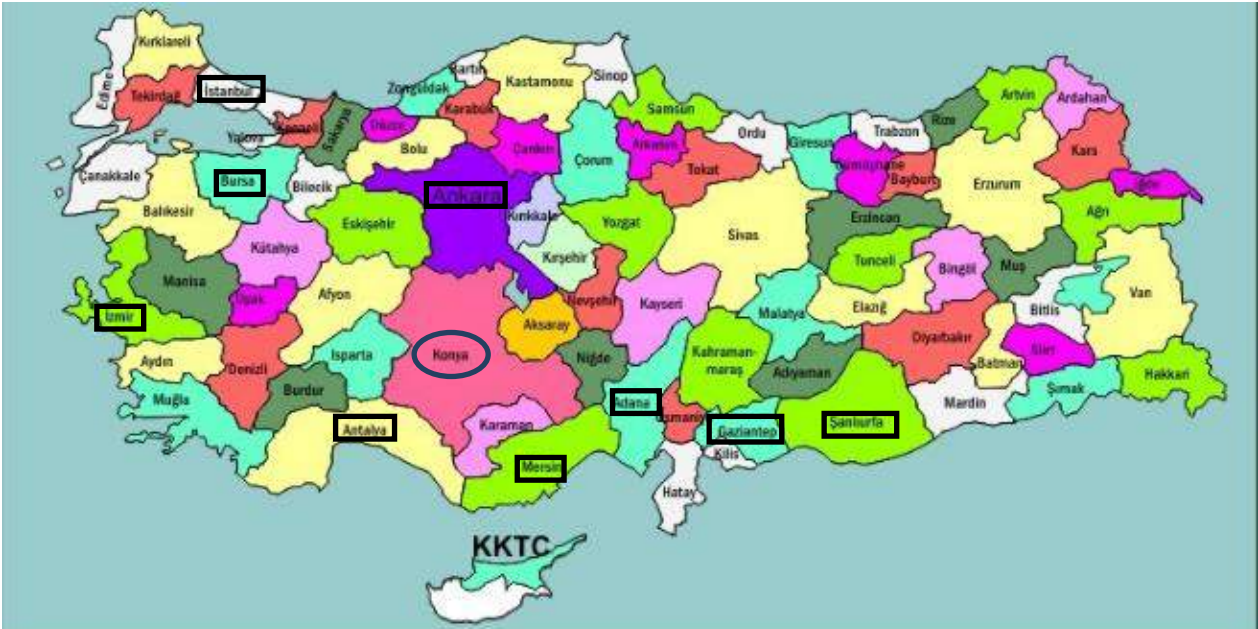


Şekil 2. Türkiye'de bulunan şehirler (web:t24.com.tr)

Geri dönüşüm merkezlerinin kurulabileceği şehirler nüfus yoğunluğu bakımından şu şekildedir: Ankara, İstanbul, İzmir, Bursa, Adana, Konya, Antalya, Mersin, Gaziantep ve Şanlıurfa'dır. Geri dönüşüm merkezlerinin kapasite kısıdı göz önünde bulundurularak geri dönüşüm merkezi kurulum maliyetini minimize ederek gelen talep kısıdıyla optimum şekilde çözmek amaçlanmıştır. Elektronik atık geri dönüşüm merkezlerinin belirlenme kriterleri aşağıda gösterilmiştir.

- Taşıma Maliyeti
- Ulaşım Olanakları
- Anayol Bağlantısı
- Seçilen Tesislere Elektronik Atık Gönderen Şehirlerin Nüfus Yoğunluğu
- Seçilen Tesislere Elektronik Atık Gönderen Şehirlerin Elektronik Atık Yoğunluğu
- Seçilen Yerin Maliyeti
- Arazi, İnşaat ve Kira Maliyeti
- Arazinin Topografik Yapısı
- Kredi Olanakları
- İklim Föktörü
- Teşvikler
- Vergi ve Harçlar
- Devletin Yatırım ve İskan Politikaları
- Alt Yapı Hizmetlerine Erişim Kolaylığı

Modelin sonucuna göre Şekil 3.'de işaretlenen 10 tane önerilen geri dönüşüm merkezlerinden 38 ilin e-atıklarının kazanımlarının yapılması için yuvarlak içine alınan Konya şehrine kurulması sonucuna ulaşılmıştır. Konum olarak merkezi bir yerde olması nedeniyle de tesis kurulması uygun görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye'de belirlenen geri dönüşüm merkezi şehirleri

4. Sonuç

Hızla gelişen teknolojinin olumsuz tarafını oluşturan e-atıklar hızla dünyayı tehdit eder duruma gelmektedir. Çevre ve iş sahası oluşturma açısından düşünüldüğünde elektronik atıklar uygun yöntemlerle geri kazanılırsa önemli bir sektör olma yolundadır. Elektronik atıklar hem insan, çevre ve doğayı tehdit eden bir tehlike, hem de yeni iş imkanı sağlayacak ve yüksek getiri potansiyeli olan bir sektör olarak görülmektedir. E-atıklarla ilgili geri dönüşümün göz önüne alınması özendirilmektedir. Tehlikeli atıkların insan, çevre ve doğayı riske sokmadan bertarafı konusunda yeni teknolojiler geliştirilmektedir.

Elektronik atıklar göz önünde bulundurulduğunda çağımızın önemli sorunlarından birinin olması yanında yeni bir sektör oluşturması bakımından da büyük bir fırsattır. Yapılan çalışmada geri dönüşüm tesisinin kurulum, operasyonel, sabit maliyetlerini minimize ederek en fazla 10 şehirden hangilerine kurulması gerektiğine karar verilmesi amaçlanmıştır. Kısıtlarda toplam talebi karşılayacak kapasite bulundurulması koşulunu içermektedir. Önerilen modelde, Konya şehrine kurulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Fakat bu çözümü iyileştirmek adına daha büyük veri setleri ile çalışması ve yeni yöntemlerin denenmesi hedeflenmektedir. Gelecek çalışmalarda, geri dönüşüm merkezlerinin artırılması ve bölgesel bazda değerlendirilmelerin yapılması amaçlanmaktadır.

Kaynakça

- Ahluwalia, P. K., & Nema, A. K. (2011). Capacity planning for electronic waste management facilities under uncertainty: multi-objective multi-time-step model development. *Waste Management & Research*, 29(7), 694-709.
- Bircan, H., & Kartal, Z. (2003). Doğrusal programlama tekniği ile kapasite planlaması yaklaşımı ve çimento işletmesinde bir uygulaması.
- Bloemhof-Ruwaard, J. M., Salomon, M., & Van Wassenhove, L. N. (1994). On the coordination of product and by-product flows in two-level distribution networks: Model formulations and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 79(2), 325-339.
- Daniel, S. E., Diakoulaki, D. C., & Pappis, C. P. (1997). Operations research and environmental planning. *European journal of operational research*, 102(2), 248-263.
- Daskin, M.S., (1995). Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications. *New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.*
- De Oliveira Neto, G. C., Correia, A. d. J. C., & Schroeder, A. M. (2017). Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 42-55.
- Kang, H.-Y., & Schoenung, J. M. (2005). Electronic waste recycling: A review of US infrastructure and technology options. *Resources, Conservation and Recycling*, 45(4), 368-400.
- Khoshand, A., Rahimi, K., Ehteshami, M., & Gharaei, S. (2019). Fuzzy AHP approach for prioritizing electronic waste management options: a case study of Tehran, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10), 9649-9660.
- Nie, X., Huang, G. H., & Li, Y. (2009). Capacity planning for waste management systems: an interval fuzzy robust dynamic programming approach. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59(11), 1317-1330.
- Queiruga, D., Walther, G., Gonzalez-Benito, J., & Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste management*, 28(1), 181-190.



Mersin Körfezi'nde Avlanan Ahtapotun (*Octopus vulgaris*) Yağ Asidi Düzeylerindeki Mevsimsel Değişimler

Ali Rıza Köşker*¹

¹ Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4807-3546)

(İlk Geliş Tarihi 29 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 23 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.681843)

ATIF/REFERENCE: Köşker, A. R. (2020). Mersin Körfezi'nde Avlanan Ahtapotun (*Octopus vulgaris*) Yağ Asidi Düzeylerindeki Mevsimsel Değişimler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 232-238.

Öz

Octopus vulgaris oldukça geniş bir dağılım alanına sahip ve Akdeniz'de yaygın bir ahtapot türüdür. Ahtapot gibi ekonomik potansiyele sahip su ürünlerinin besinsel içeriklerinin belirlenmesi gerek bu türün besinsel kalitesinin ortaya konulması, gerekse de tüketiciler için besleyici potansiyellerinin ortaya konulması açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada Mersin Körfezi'nden avlanan *O. vulgaris* türü ahtapotun manto ve kol dokularındaki yağ asidi profilleri ve düzeylerindeki değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ahtapot örnekleri Aralık 2018 - Ağustos 2019 döneminde üç mevsim boyunca (kış, ilkbahar ve yaz) Mersin Körfezi'nde çalışan ticari balıkçı teknelerinden tedarik edilmiştir. Temin edilen ahtapot örnekleri enstrümental analizler yapılabildiği kadar -18 °C'de muhafaza edilmiştir. Yağ asidi analizleri Gaz kromatografisi (GC) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda incelenen örneklerdeki maksimum toplam doymuş yağ asidi (SFA), toplam tekli doymamış yağ asidi (MUFA) ve toplam çoklu doymamış yağ asidi (PUFA) düzeyleri sırasıyla, manto dokularında % 35.80, % 11.73 ve % 44.20 olarak belirlenmişken, ahtapot kol dokularında % 38.76, % 11.78 ve % 44.71 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, manto ve kol dokularında üç mevsim boyunca tespit edilen temel yağ asitlerinin palmitik asit (C16:0), stearik asit (C18:0), oleik asit (C18:1 n 9), vaksenik asit (C18:1 n 7), eikosapentaenoik asit (EPA, 20:5 n 3), araşidonik asit (20:4 6) ve dekoheksaenoik asit (DHA, 22:6 n 3) olduğu belirlenmiştir. Özellikle EPA ve DHA düzeyleri açısından Mersin Körfezi'nden üç mevsim boyunca avlanan *O. vulgaris* türü ahtapotların oldukça önemli bir doymamış yağ asidi kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular *O. vulgaris* türü ahtapotların yağ asidi düzeyleri açısından önemli bir su ürünleri türü olduğunu teyit eder niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Ahtapot, *Octopus vulgaris*, Yağ asitleri, EPA, DHA

Seasonal Changes in the Fatty Acid Levels of Octopus (*Octopus vulgaris*) Caught in Mersin Bay

Abstract

Octopus vulgaris has a wide distribution area and is a common octopus species in the Mediterranean. Determination of the nutritional content of seafood products with economic potential such as octopus is important in terms of both revealing the nutritional quality of this species and revealing their nutritional potential for consumers. In this study, it was aimed to determine the changes in fatty acid profiles and levels in the mantle and arm tissues of common octopus (*O. Vulgaris*), which was caught from Mersin Bay. Octopus samples were supplied from commercial fishing boats operating in Mersin Bay for three seasons (winter, spring and summer) in December 2018 - August 2019 period. Octopus samples were kept at -18 °C until instrumental analyzes. Fatty acid analyzes were carried out using Gas chromatography (GC) device. The maximum total saturated fatty acid (SFA), total monounsaturated fatty acid (MUFA) and total polyunsaturated fatty acid (PUFA) levels in the samples examined as a result of the analyzes were determined as 35.80%, 11.73% and 44.20% in the mantle tissues, 38.76, 11.78% and 44.71% in the arm tissues, respectively. As a result of the study, palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1n9), vaccenic acid (C18:1n7), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n3), arachidonic

¹ Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4807-3546), akosker@cu.edu.tr

acid (20:4n6) and decosahexaenoic acid (DHA, 22:6n3) of essential fatty acids detected in mantle and arm tissues for three seasons. Especially in terms of EPA and DHA levels, common octopus that have been caught for three seasons from Mersin Bay are found to be an important source of unsaturated fatty acids. The findings confirm that the *O. vulgaris* is an important seafood species in terms of fatty acid levels.

Keywords: Common octopus, *Octopus vulgaris*, Fatty acids, EPA, DHA

1. Giriş

Yüksek ekonomik ve ekolojik önemi ile öne çıkan bir cephelopod türü olan *O. vulgaris* (Cuvier, 1797) oldukça geniş bir dağılım alanına sahiptir. En yaygın bulunduğu bölge Atlantik kıyıları ve Akdeniz olsa da, Brezilya, Güney Afrika ve Japonya kıyılarına kadar yayılım göstermektedir (Şen, 2006; Nessim ve Riad, 2010; De Luca ve ark., 2016; Sauer ve ark., 2020). Bu denli geniş bir dağılım alanına sahip olması nedeniyle özellikle bu bölgelerde geleneksel beslenme alışkanlıkları arasında kendisine yer bulabilen bir su ürünüdür. (Sangiullano ve ark., 2017; Sauer ve ark., 2020). Dünya geneli ahtapot avlanma miktarı 2016 yılı için 35.930 ton (FAO FishStat, 2019) düzeyindedir. Cephelopod tüketimi özellikle güney Avrupa ülkelerinde önemli bir pazar ortaya çıkarmıştır. Özellikle İtalya ve İspanya gibi ülkelerde ahtapot avcılığının yanı sıra önemli miktarlarda ithalat da yapılmaktadır (Pierce ve ark. 2010; Pita ve ark. 2015). İspanya'da 1998-2003 yılları arasında ahtapot avcılığı miktarları azalmasına rağmen, talepten dolayı toplam ekonomik değerler sabit kalmıştır (Pierce ve ark. 2010). Bir diğer güney Avrupa ülkesi olan Portekiz'de balıkçılık ekonomisinin karaya çıkarılan cephelopod miktarlarına yönelik artan bir bağımlılığı mevcuttur (Pierce ve ark. 2010). Özellikle ahtapot avcılığının önemli bir sosyal ve ekonomik değeri vardır ve küçük ölçekli balıkçılık giderek ekonomik olarak bu kaynağa bağımlıdır (Pita ve ark. 2015).

Türkiye'de ahtapot avcılığı yıllar içerisinde fazla bir değişim göstermemekle birlikte 2018 yılında avlanan ahtapot miktarı 223,7 ton düzeyindedir (TÜİK, 2019). Türkiye'de de yoğunlukla kıyı bölgelerinde talep görmekle birlikte, son yıllarda özellikle büyükşehirlerde artan taleple birlikte ahtapotun ekonomik değeri daha da öne çıkmaktadır. Ekonomik ve ekolojik açıdan önemli bir su ürünü olan *O. vulgaris* türünün biyolojik özellikleri ve dağılımı (Duysak ve ark., 2008; Ulaş ve ark., 2019;) ve metal içeriklerine (Yazkan ve ark., 2004; Küçüksezgin, 1999) yönelik yapılmış çeşitli araştırmalar mevcuttur. Bu çalışmaların yanı sıra Türkiye kıyılarında avlanan ahtapotun besinsel içeriği ve yağ asidi profili açısından zengin içeriğini sahip olduğunu bildiren farklı araştırmalar da mevcuttur (Ozogul ve ark., 2008; Şen ve Çaklı, 2011; Ayas, 2012). Ahtapot gibi ekonomik potansiyele sahip su ürünlerinin besinsel içeriklerinin belirlenmesi gerek bu türün besinsel kalitesinin ortaya konulması, gerekse de tüketiciler için besleyici potansiyellerinin ortaya konulması açısından önem arz etmektedir. Bu amaçla mevcut çalışmada Mersin Körfezi'nden üç mevsim boyunca avlanan ahtapotların kol ve mantolarındaki yağ asidi profilleri mevsimsel olarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örnek Temini

Çalışmada kullanılan ahtapotların örnekleme çalışmaları Berdan Çayı (36°43'31.8"N 34°54'27.0"E) ile Yeşilovacık (36°08'53.6"N 33°39'40.7"E) bölgeleri arasında (Şekil 1) ticari balıkçı teknesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örnekleme Aralık 2018 ile Ağustos 2019 tarihleri arasında üç mevsim (kış, ilkbahar ve yaz) olarak gerçekleştirilmiş ve her bir mevsim için 30 ahtapot örneği temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan ahtapotların ağırlık ortalamaları kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri için sırasıyla 224.32, 242.31 ve 236.24 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Örnekleme alanı

Çalışmada kullanılan ahtapotlar soğuk zincir ile Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi İşleme Laboratuvarına ulaştırılmıştır. Ahtapot örnekleri gruplandırma ve diseksiyon işlemleri gerçekleştirilene kadar -20°C'de muhafaza edilmiştir.

2.2. Yağ Asitleri Analizleri

Yağ asidi analizleri ekstrakte edilmiş lipitten, Ichihara ve ark. (1996) tarafından geliştirilmiş metoda göre yapılmıştır. 25 mg ekstrakte edilmiş lipid örneğinin üzerine 4 ml 2M'lık KOH ve 2 ml n-heptan eklenmiş, ardından karışım oda sıcaklığında 2 dakika süre ile vorteks yardımıyla karıştırılmıştır. Vortex işlemi sonrasında 4000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında oluşan heptan tabakası gaz kromatografisi (GC) cihazında analiz edilmek üzere alınmıştır.

Yağ asitleri kompozisyonunun belirlenmesi amacıyla enstrümantal analizler, alev iyonizasyon dedektörlü (FID) ve 30m x 0.32mm ID x 0.25µm film kalınlığında SGE kolonlu otomatik örnekleme Gaz kromatografisi cihazı (Perkin Elmer, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Enjektör ve detektör sıcaklıkları sırasıyla önce 220 °C sonra 280 °C'ye ayarlanmıştır. Ayrıca fırın sıcaklığı 5 dakika boyunca 140°C'de muhafaza edilmiştir. Sonrasında 200 °C'ye kadar, her dakikada 4 °C arttırılarak, 200 °C'den 220'ye de her dakika 1°C arttırılarak getirilmiştir. Enjeksiyon miktarı 1 µl olarak uygulanmıştır. Taşıyıcı gazın kontrolünün 16 psi'de olması sağlanmıştır. Split uygulaması 1:50 oranında gerçekleştirilmiştir. Yağ asitleri, 37 bileşenden oluşan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) standart karışımının geliş zamanlarına bağlı olarak karşılaştırma ile tanımlanmıştır. Aynı koşullarda gerçekleştirilen iki GC okumasının sonuçları, standart sapma değerleri ile birlikte % olarak ifade edilmiştir.

2.3. İstatistiksel Analizler

İstatistik analizler SPSS 22 paket programı (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) kullanılarak yapılmıştır. Ahtapotların kol ve mantolarında yağ asidi düzeylerindeki mevsimler arası önemli farklılıkları belirlemek varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. İstatistiksel farklılıklar p<0.05 önem seviyesinde Duncan testi kullanılarak belirlenmiştir. İstatistiksel karşılaştırmalar her grup için üç tekrarlı olarak yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Mersin Körfezi'nden kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yakalanan *O. vulgaris* türü ahtapotların kol ve manto dokularındaki yağ asidi düzeyleri Tablo 1'de gösterilmiştir. İncelenen örneklerdeki maksimum Σ SFA, Σ MUFA ve Σ PUFA düzeyleri sırasıyla, manto dokularında %35.80, %11.73 ve %38.17 olarak belirlenmişken ahtapot kol dokularında %38.76, %11.78 ve %39.07 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, manto ve kol dokularında üç mevsim boyunca tespit edilen temel yağ asitlerinin palmitik asit (C16:0), stearik asit (C18:0), oleik asit (C18:1n9), vaksenik asit (C18:1n7), eikosapentaenoik asit (EPA, 20:5n3), dekosahexaenoik asit (DHA, 22:6n3) ve araşidonik asit (C20:4n6) olduğu belirlenmiştir.

Toplam SFA düzeyleri kol ve manto örneklerinde sırasıyla; %9.45-11.78 ve %10.29-11.73 aralıklarında tespit edilmiştir. Manto örneklerinde toplam SFA düzeyleri benzer düzeylerde bulunmuşken, kol örneklerinde toplam SFA düzeylerinin kış mevsiminde anlamlı farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 2). İncelenen kol dokularında toplam SFA düzeyleri mevsimler arası istatistiksel farklılıklar göstermişken (p<0.05), manto örneklerinde mevsimsel olarak istatistiksel farklılıklar gözlenmemiştir (p>0.05). Çalışma sonucunda en yüksek değerlere sahip doymuş yağ asidi çeşitlerinin stearik asit ve palmitik asit olduğu gözlenmiştir. Mevsimler boyunca palmitik asit düzeyleri açısından kol ve manto örneklerinde istatistiksel farklılıklar gözlenmemiştir (p>0.05). Ancak stearik düzeylerinin mevsimler arası karşılaştırmaları sonucunda manto ve kol örneklerinde istatistiksel açıdan farklılıklar gözlenmiştir (p<0.05).

Toplam MUFA düzeyleri kol ve manto örneklerinde sırasıyla; %33.85-38.76 ve %34.93-35.80 aralıklarında tespit edilmiştir. İncelenen kol dokularında toplam MUFA düzeyleri açısından mevsimler arası istatistiksel farklılıklar gözlenmişken (p<0.05), manto dokularında ise mevsimsel olarak MUFA değerleri açısından istatistiksel farklılıklar gözlenmemiştir (p>0.05). Her iki dokuda da toplam en yüksek MUFA düzeyleri kış mevsiminde belirlenmiştir (Şekil 2). Çalışma sonucunda en yüksek değerlere sahip tekli doymamış yağ asidi çeşitlerinin oleik asit ve vaksenik asit olduğu gözlenmiştir. Mevsimler boyunca oleik asit düzeyleri açısından kol örneklerinde istatistiksel farklılıklar gözlenmişken (p<0.05), manto örneklerinde istatistiksel farklılıklar gözlenmemiştir (p>0.05). Vaksenik asit düzeylerinin mevsimler arası karşılaştırmaları sonucunda ise manto ve kol örneklerinde mevsimler arasında istatistiksel açıdan farklılıklar gözlenmemiştir (p>0.05).

Toplam PUFA düzeyleri kol ve manto örneklerinde sırasıyla; %40.03-44.71 ve %42.49-44.20 aralıklarında tespit edilmiştir. İncelenen örneklerde kol dokularında PUFA değerleri açısından mevsimler arasında istatistiksel farklılıklar gözlenmişken (p<0.05), manto doku örneklerinde farklılık gözlenmemiştir. Çalışma sonucunda en yüksek değerlere sahip çoklu doymamış yağ asidi çeşitlerinin eikosapentaenoik asit (EPA), dekosahexaenoik asit (DHA) ve araşidonik asit olduğu gözlenmiştir. Kol ve manto örneklerinde toplam PUFA, EPA ve DHA düzeylerinin kış mevsiminde en düşük düzeylerde olduğu, en yüksek düzeyler ise her iki doku örneğinde de yaz mevsiminde belirlenmiştir (Şekil 2). Araşidonik asit düzeylerinin ise diğer çoklu doymamış yağ asitlerinin tersine kış mevsiminde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Toplam PUFA ve EPA düzeylerinin her iki dokuda da mevsimler arası istatistiksel farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (p<0.05). Ancak DHA düzeyleri manto dokularında mevsimler arası istatistiksel farklılık göstermemiştir (p>0.05).

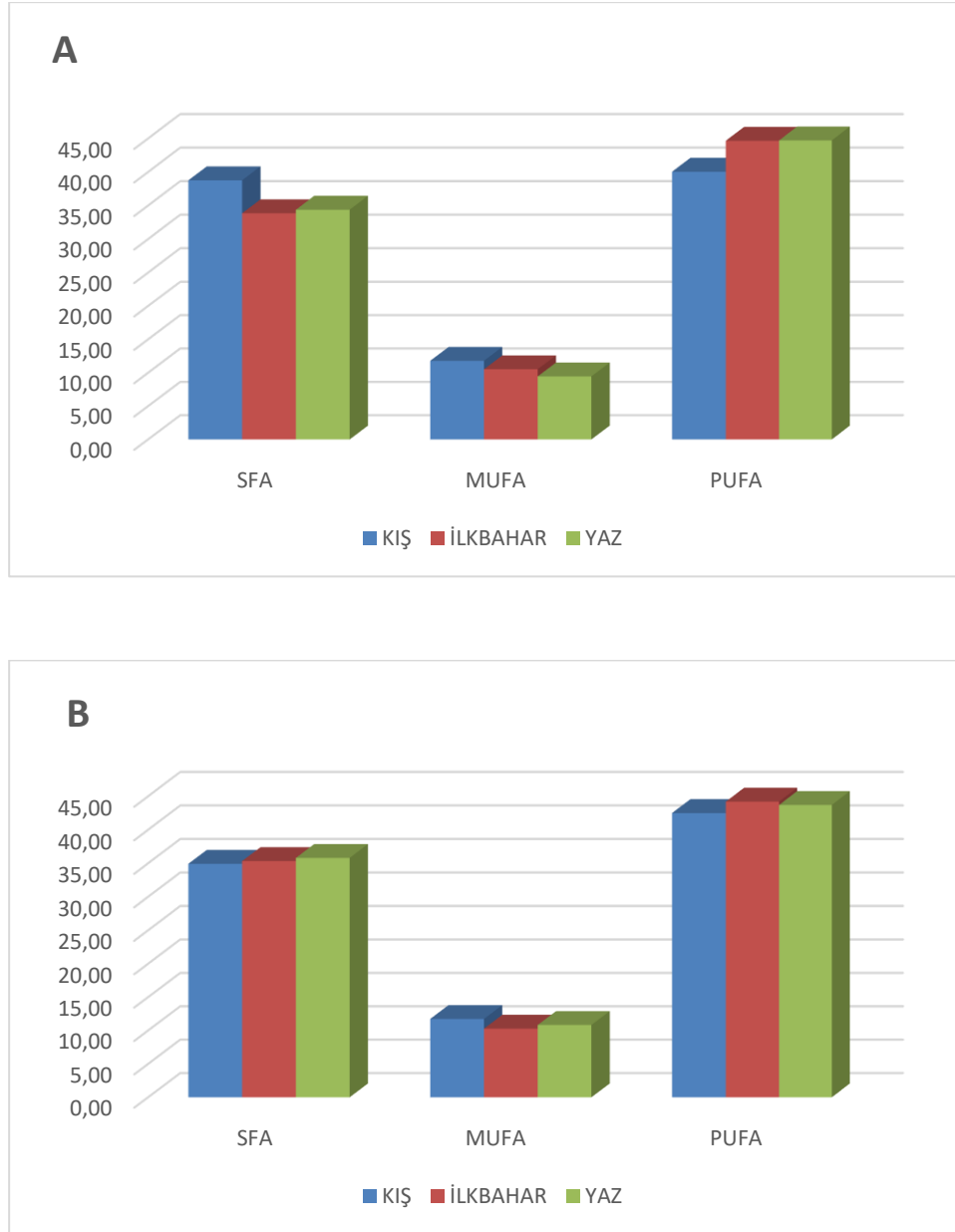
Mevcut çalışmada *O. vulgaris* türü ahtapotların manto ve kol dokularında belirlenen temel yağ asitleri palmitik asit, stearik asit, EPA ve DHA olarak belirlenmiştir (Tablo1). Elde edilen bu bulgular Passi ve ark. (2002), Miliou ve ark. (2006), Zlatanov ve ark. (2006), Ozogul ve ark. (2008) ve Ayas (2012) tarafından bildirilmiş bulgularla benzerlik göstermiştir. Mevcut çalışmada toplam SFA düzeyleri İtalya (Passi ve ark., 2002) ve Yunanistan (Miliou ve ark.,2006; Zlatanov ve ark., 2006) kıyılarında avlanan ahtapotlarda belirlenen değerlerden daha düşük düzeylerde bulunmuştur. Ancak kuzeydoğu Akdeniz’de Ozogul ve ark. (2008) ve Ayas (2012) tarafından yapılmış çalışmalardan daha yüksek düzeyde belirlenmiştir. Mevcut çalışmada belirlenen doymuş yağ asitlerinde en yüksek oranın her iki dokuda da palmitik asitte olduğu gözlenmiştir. Ozogul ve ark. (2008) tarafından yapılmış çalışmada da benzer şekilde en yüksek oranda bulunan doymuş yağ asidi çeşidinin palmitik asit olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Ayas (2012) tarafından aynı bölgede avlanmış ahtapotların baskın doymuş yağ asidi çeşidinin palmitik asit olduğu bildirilmiştir.

Tablo 1. Ahtapot dokularındaki yağ asidi düzeyleri (%).

	Kol			Manto		
	Kış $\bar{X} \pm S_x$	İlkbahar $\bar{X} \pm S_x$	Yaz $\bar{X} \pm S_x$	Kış $\bar{X} \pm S_x$	İlkbahar $\bar{X} \pm S_x$	Yaz $\bar{X} \pm S_x$
C14:0	1.29±0.23 ^{ab}	1.46±0.07 ^a	0.87±0.08 ^b	1.33±0.02 ^a	1.22±0.16 ^a	0.80±0.06 ^b
C15:0	0.50±0.04 ^a	0.53±0.01 ^a	0.33±0.03 ^b	0.50±0.02 ^a	0.52±0.05 ^a	0.32±0.02 ^b
C16:0	16.78±0.40 ^a	16.03±0.26 ^a	15.66±0.64 ^a	16.11±0.86 ^a	17.02±0.23 ^a	16.31±0.01 ^a
C17:0	3.33±0.20 ^a	2.26±0.04 ^b	2.19±0.01 ^b	3.36±0.25 ^a	2.56±0.12 ^b	2.34±0.10 ^b
C18:0	14.69±0.54 ^a	10.97±0.09 ^c	12.82±0.62 ^b	12.30±0.78 ^{ab}	11.72±0.33 ^b	13.86±0.47 ^a
C20:0	0.14±0.01 ^a	0.11±0.01 ^b	0.11±0.00 ^b	0.11±0.01 ^a	0.09±0.00 ^a	0.15±0.04 ^a
C22:0	0.14±0.01 ^b	0.14±0.00 ^b	0.20±0.01 ^a	0.12±0.00 ^b	0.13±0.04 ^b	0.21±0.01 ^a
C24:0	1.91±0.04 ^c	2.37±0.01 ^a	2.19±0.01 ^b	1.12±0.04 ^c	2.10±0.04 ^a	1.82±0.06 ^b
SFA	38.76±1.45 ^a	33.85±0.22 ^b	34.37±0.11 ^b	34.93±1.90 ^a	35.33±0.01 ^a	35.80±0.45 ^a
C14:1	0.00±0.00 ^a	0.05±0.06 ^a	0.00±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a	0.05±0.06 ^a	0.00±0.00 ^a
C15:1	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.11±0.01 ^a	0.17±0.01 ^a	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
C16:1	0.71±0.02 ^a	0.43±0.01 ^c	0.50±0.03 ^b	0.52±0.22 ^a	0.48±0.04 ^a	0.50±0.00 ^a
C17:1	0.67±0.01 ^a	0.23±0.00 ^c	0.33±0.01 ^b	0.70±0.06 ^a	0.28±0.03 ^b	0.32±0.03 ^b
C18:1n9	3.68±0.08 ^a	3.49±0.21 ^a	2.94±0.18 ^b	4.00±0.01 ^a	3.88±0.28 ^a	4.17±0.33 ^a
C18:1n7	2.29±0.14 ^a	2.42±0.06 ^a	2.13±0.09 ^a	2.23±0.08 ^a	2.46±0.17 ^a	2.33±0.01 ^a
C20:1n9	3.90±0.13 ^a	3.36±0.10 ^b	2.60±0.10 ^c	3.57±0.32 ^a	2.58±0.09 ^b	2.21±0.01 ^b
C22:1n9	0.33±0.02 ^a	0.14±0.01 ^c	0.19±0.00 ^b	0.15±0.02 ^b	0.31±0.04 ^a	0.15±0.07 ^b
C24:1n9	0.22±0.02 ^c	0.41±0.00 ^b	0.67±0.00 ^a	0.30±0.04 ^a	0.26±0.01 ^a	1.15±0.90 ^a
MUFA	11.78±0.38 ^a	10.52±0.24 ^b	9.45±0.21 ^c	11.73±0.47 ^a	10.29±0.33 ^a	10.83±0.62 ^a
C18:2n6	0.83±0.04 ^a	0.11±0.01 ^c	0.31±0.00 ^b	0.08±0.04 ^b	0.11±0.01 ^b	0.88±0.04 ^a
C18:3n6	0.28±0.00 ^a	0.27±0.01 ^a	0.17±0.03 ^b	0.23±0.01 ^a	0.23±0.01 ^a	0.15±0.01 ^b
C18:3n3	0.10±0.00 ^a	0.09±0.01 ^b	0.06±0.00 ^c	0.09±0.00 ^a	0.09±0.01 ^a	0.12±0.04 ^a
C20:2 cis	0.65±0.04 ^a	0.49±0.01 ^b	0.53±0.04 ^b	0.59±0.02 ^a	0.53±0.10 ^a	0.64±0.03 ^a
C20:3 n6	0.27±0.04 ^a	0.19±0.00 ^{ab}	0.17±0.04 ^b	0.14±0.06 ^a	0.13±0.01 ^a	0.08±0.00 ^a
C20:4 n6	11.62±0.79 ^a	5.78±0.21 ^c	9.38±0.30 ^b	10.38±0.21 ^a	6.25±0.04 ^c	9.32±0.25 ^b
C20:5n3	8.78±0.28 ^c	17.95±0.28 ^a	14.28±1.05 ^b	9.39±0.12 ^c	17.48±0.48 ^a	13.19±0.04 ^b
C22:2 cis	0.00±0.00 ^b	0.08±0.00 ^a	0.04±0.04 ^{ab}	0.08±0.02 ^a	0.09±0.01 ^a	0.00±0.00 ^b
C22:6 n3	17.51±0.04 ^b	19.71±0.62 ^a	19.79±0.19 ^a	21.54±0.05 ^a	19.31±0.06 ^a	19.33±1.34 ^a
PUFA	40.03±1.16 ^b	44.65±1.09 ^a	44.71±1.31 ^a	42.49±0.40 ^a	44.20±0.45 ^a	43.70±1.67 ^a

Aynı satırda yer alan farklı harfler (a–d) mevsimlere bağlı olarak görülen istatistiksel farklılıkları ifade etmektedir ($p < 0.05$). $\bar{X} \pm S_x$: Ortalama±Standart sapma.

Tekli doymamış yağ asitleri arasında baskın olarak bulunan yağ asitlerinin oleik asit, vaksenik asit ve eicosenoic asit olduğu belirlenmiştir. Mevcut çalışmada belirlenen MUFA düzeylerinin farklı bölgelerden avlanan ahtapotlardaki Passi ve ark. (2002), Miliou ve ark. (2006) ve Zlatanov ve ark. (2006), tarafından bildirilmiş değerler ile örtüştüğü belirlenmiştir. Benzer örnekleme alanında yapılmış farklı araştırmalarda bildirilmiş bulgular da mevcut çalışma ile örtüşmektedir (Ozogul ve ark., 2008 ve Ayas, 2012).



Şekil 2. Ahtapot dokularındaki SFA, MUFA ve PUFA düzeylerindeki (%) mevsimsel değişimler. A: Kol, B: Manto.

İncelenen her iki ahtapot dokusunda da çoklu doymamış yağ asitleri arasında en yoğun belirlenenler EPA, DHA ve araşidonik asit olmuştur. Mevcut çalışmada belirlenen toplam PUFA düzeyleri Akdeniz’de avlanan *O. vulgaris* türü ahtapotların yağ asitlerinin araştırıldığı diğer çalışmalardan (Passi ve ark., 2002; Miliou ve ark., 2006; Zlatanov ve ark., 2006; Ozogul ve ark., 2008 ve Ayas, 2012) daha düşük düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Denizel türlerde yağ asidi düzeyleri örneklenen canlıların yakalandığı bölgelerin lokal ve dönemsel özellikleri, bölgedeki biyolojik çeşitlilik, türlerin üreme dönemleri, topluluk kompozisyonu, ekosistem fonksiyonu, yapısal karmaşıklık ve kıyı şeridi gelişimi ile ilişkili habitat türlerinde değişikliklerin yanı sıra insan aktivitesiyle ilişkili antropojenik etkiler gibi değişkenlerle farklılıklar gösterebilmektedir (Ozogul ve ark., 2008; Arechavala-Lopez ve ark., 2019). Yağ asidi düzeylerindeki bu farklılıkların örnekleme alanlarının bölgesel ve dönemsel özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Sonuç olarak, Mersin Körfezi'nden kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde avlanan *O. vulgaris* türü ahtapotların yağ asidi düzeyleri açısından önemli bir su ürünleri türü olduğu belirlenmiştir. Ancak denizel türlerin bölgeye ve avlandıkları döneme göre besinsel özelliklerinden dolayı ortaya çıkabilecek farklılıklar göz önünde bulundurulduğunda, özellikle ekonomik değere sahip su ürünlerinde besinsel özelliklere yönelik araştırmaların rutin olarak gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi süresince gösterdikleri destek ve yardımlardan dolayı Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İşleme Teknolojisi Laboratuvarındaki meslektaşlarıma çok teşekkür ederim.

Kaynakça

- Archavala-Lopez, P., Capó, X., Oliver-Codorniú, M., Sillero-Rios, J., Busquets-Cortés, C., Sanchez-Jerez, P., & Sureda, A. (2019). Fatty acids and elemental composition as biomarkers of *Octopus vulgaris* populations: Does origin matter?. *Marine pollution bulletin*, 139, 299-310.
- Ayas, D. (2012). Seasonal Variations of Fat and Fatty Acid Composition in Muscle Tissues of Mediterranean Octopuses. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11(4), 724-731.
- De Luca, D., Catanese, G., Procaccini, G., & Fiorito, G. (2016). *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797) in the Mediterranean Sea: Genetic diversity and population structure. *Plos One*, 11(2), e0149496.
- Duysak, Ö., Sendão, J., Borges, T., Türeli, C., & Erdem, Ü. (2008). Cephalopod Distribution in Iskenderun Bay (Eastern Mediterranean-Turkey). *Journal of Fisheries Sciences. com*, 2(2), 118-125.
- FAO FishStat. (2019). Global aquaculture production for species (tonnes): Pacific oyster and Scallop. Retrieved from <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en> [December 2019].
- Ichihara, K. I., Shibahara, A., Yamamoto, K., & Nakayama, T. (1996). An improved method for rapid analysis of the fatty acids of glycerolipids. *Lipids*, 31(5), 535-539.
- Küçüksezgin, F. (1999). *Trace metal concentrations in marine organisms from the Eastern Aegean, Turkey* (No. IAEA-TECDOC--1094).
- Miliou, H., Fintikaki, M., Tzitzinakis, M., Kountouris, T., & Verriopoulos, G. (2006). Fatty acid composition of the common octopus, *Octopus vulgaris*, in relation to rearing temperature and body weight. *Aquaculture*, 256(1-4), 311-322.
- Nessim, R. B., & Riad, R. (2003). Bioaccumulation of heavy metals in *Octopus vulgaris* from coastal waters of Alexandria (Eastern Mediterranean). *Chemistry and Ecology*, 19(4), 275-281.
- Ozogul, Y., Duysak, O., Ozogul, F., Özkütük, A. S., & Türeli, C. (2008). Seasonal effects in the nutritional quality of the body structural tissue of cephalopods. *Food Chemistry*, 108(3), 847-852.
- Passi, S., Cataudella, S., Di Marco, P., De Simone, F., & Rastrelli, L. (2002). Fatty acid composition and antioxidant levels in muscle tissue of different Mediterranean marine species of fish and shellfish. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7314-7322.
- Pierce, G. J., Allcock, L., Bruno, I., Bustamante, P., Gonzalez, A., Guerra, A., ... & Pereira, J. (2010). Cephalopod biology and fisheries in Europe. ICES.
- Pita, C., Pereira, J., Lourenco, S., Sonderblohm, C., & Pierce, G. J. (2015). The traditional small-scale octopus fishery in Portugal: framing its governability. In *Interactive governance for small-scale fisheries: Global reflections* (pp. 117-134). Springer.
- Sangiuliano, D., Rubio, C., Gutiérrez, A. J., González-Weller, D., Revert, C., Hardisson, A., ... & Paz, S. (2017). Metal concentrations in samples of frozen cephalopods (cuttlefish, octopus, squid, and shortfin squid): an evaluation of dietary intake. *Journal of Food Protection*, 80(11), 1867-1871.
- Sauer, W. H., Gleadall, I. G., Downey-Breedt, N., Doubleday, Z., Gillespie, G., Haimovici, M., ... & Markaida, U. (2020). World Octopus Fisheries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1-151.
- Şen, E. B., & Çaklı, Ş. (2011). Dondurularak depolanan ahtapotun (*Octopus vulgaris* Curvier, 1797) kimyasal ve duyuşsal kalite karakteristiklerindeki değişimler. *Su Ürünleri Dergisi*, 28(3), 83-87.
- Şen, H. (2006). Ahtapot (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) Yetiştiriciliği. *Su Ürünleri Dergisi*, 23(1), 207-213.
- TUIK (2019). <http://www.tuik.gov.tr/ZipGetir.do?id=30697&class=onceki>. [December 2019]
- Ulaş, A., Göktürk, D., & Gül, B. (2019). Preferences of the Common Octopus *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 (Cephalopoda: Octopodidae) to Artificial Nests Placed in Different Habitats at Urla Islands, Aegean Sea, Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 71(3), 453-462.
- Yazkan, M., Özdemir, F., & Gölükcü, M. (2004). Antalya Körfezinde Avlanan Bazi Yumusakçalar ve Karideste Cu, Zn Pb ve Cd İçeriği. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 28(1).
- Zlatanov, S., Laskaridis, K., Feist, C., & Sagredos, A. (2006). Proximate composition, fatty acid analysis and protein digestibility-corrected amino acid score of three Mediterranean cephalopods. *Molecular nutrition & food research*, 50(10), 967-970.



Pasif Başkalaşımın Çıkış Varyansı Kısıtlı Kontrolcü İle Yönlendirilen İha Üzerinde Etkileri

Fırat Şal^{1*}

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Fakültesi, Uçak Gövde-Motor Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2412-4131)

(İlk Geliş Tarihi 20 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 23 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.682796)

ATIF/REFERENCE: Şal, F. (2020). Pasif Başkalaşımın Çıkış Varyansı Kısıtlı Kontrolcü İle Yönlendirilen İha Üzerinde Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 239-242.

Öz

Bu çalışma çıkış varyansı kısıtlı kontrolcü (OVC) ile yönlendirilen pasif başkalaşım yeteneğine sahip İHA'lar hakkında yeni sonuçlar sunmaktadır. Kanat ve kuyruk takımının uçak uzunlamasına ekseninde belli aralıklarda hareketlerinin, sabit hızda düz seviye uçuşunu varyans kısıtlı kontrolcüler ile sağlayan İHA'ların kontrol enerjisi üzerindeki etkileri bu konferans kâğıdının ana önceliğidir. Zanka-I adlı bilindik İHA kullanılmış ve onun datalarından ilgili analizlerde faydalanılmıştır. İlk olarak, sabit kanatlı İHA'ların dinamik modellenmesi verilmiştir ve pasif başkalaşımın bu modellerdeki etkisi ayrıca araştırılmıştır. Sonrasında, pasif başkalaşımın çıkış varyansı kısıtlı kontrolcünün kontrol enerjisi üzerindeki etkisi ilgili İHA için 3 boyutlu Matlab grafiği kullanılarak sunulmuştur. Kontrol enerjisi ile kanat ve kuyruk takımının ileri geri hareketleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Başkalaşım, İHA, OVC, Kontrol Enerjisi.

Effect of Passive Morphing on UAVs Guided By Output Variance Constrained Controller

Abstract

This paper presents novel results for UAVs having passive morphing property and guided by output variance constrained controller (i.e. OVC). Effects of forward and backward motions of wing and horizontal tail in aircraft longitudinal axis in prescribed interval on control energy of variance constrained controller satisfying straight level and constant speed flight of UAV are main interest of this conference paper. A known UAV named as ZANKA-I is used and its data is benefitted for related analyses. Firstly, dynamic modeling of fixed-wing UAVs is given and effect of passive morphing on these models is also investigated. Then, effect of passive morphing on control energy of output variance constrained controller for related UAV using 3-D Matlab graph is presented. Comparisons between control energy versus forward and backward motions of wing and horizontal tail are done.

Keywords: Morphing, UAV, OVC, Control Energy.

* Sorumlu Yazar: İskenderun Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde-Motor Bölümü, Hatay, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2412-4131, frat.sal@iste.edu.tr

1. Giriş

Geçmiş 40-50 yılda insansız hava araçları (İHA'lar) gerek sivil gerekse de askeri amaçlar ile yaygın bir şekilde kullanılmıştır. İHA'ların böylesine yaygın bir şekilde kullanımının nedenleri şu şekilde sıralanabilir: Kolay imal-edilebilirlik, ucuz işletme maliyeti, esnek yapısal donanım vb. Bu ve benzeri üstünlüklerinde dolayı İHA'lar birçok farklı uygulamalarda (ekin görüntülenmesi, ilaçlama, kıyı emniyet, vb.) kullanılmıştır. Referans [1]: Austin, 2010'da birçok farklı diğer uygulamaları görülüp incelenebilir. Bu makale çalışması kapsamında pasif başkalaşım özellikli, alçak irtifa, kısa menzil, kısa süre havada kalabilen bir İHA göz önünde bulundurulmuştur.

Bu makale çalışmasında literatürde bilinen birçok kontrolcüye (örneğin PID, LQR, LQG, Hinf) göre birçok üstünlük barındırmasından dolayı, çıkış varyansı kısıtlı kontrolcü, İngilizce bilinen adıyla Output Variance Constrained Controller (yani kısaltılmış hali OVC) kontrolcü uçuş kontrol sistemi olarak ilgili İHA'da seçilmiştir (bkz. Hsieh, Sketon ve Damra, 1989 [2] ve Zhu and Skelton, 1991 [3]). Pasif başkalaşım özellikli Zanka-I isimli bu İHA'nın otonom otomatik kontrolü OVC kontrolcüsü ile sağlanacaktır. OVC kontrolcüsünün üstün özelliklerden birisi ikinci derece bilgi kullanıyor olmasıdır. Bu kontrolcü aynı zamanda Kalman filtresi ile birlikte çalışmada ölçülemeyen durum değişkenleri olduğu durumda bile sağlıklı kontrol sinyalleri üretebilmektedir.

Bu makale çalışmasında öncelikle pasif başkalaşım özellikli Zanka-I adlı İHA'nın dinamik modellenmesi sunulmuştur. Peşinden Zanka-I adlı İHA'nın belli başlı fiziksel özellikleri listelenmiştir. Sonrasında İHA'nın otonom uçuşunda kullanılacak OVC kontrolcüsü özetlenmiştir. En sonda ise kanat ve kuyruk takımı pasif başkalaşımının kontrol enerjisine etkileri sunulmuştur. Bu çalışmada literatürde ilk defa pasif başkalaşım özellikli bir İHA üzerinde birçok üstün özelliği bulunan OVC kontrolcüsü ilk defa uygulanmış olup, pasif başkalaşım parametreleri olan kanat ve kuyruk takımının enerji değerler üzerinde etkileri analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde kullanılan Zanka-I adlı pasif başkalaşım özellikli sabit kanatlı İHA'nın öncelikle dinamik modellenmesi ve sonrasında ise otonom kontrolünde kullanılacak OVC kontrolcüsü özetlenmiştir.

2.1. Dinamik Modelleme

Genel olarak sabit kanatlı İHA'ların modellenmesi için şu referanslar incelenebilir: Nelson, 2007 [4] and Zagi, website [5]. Denklemler 1 ve 2' de sırası ile boylamasına ve yanlamasına durum-uzay modelleri sırası ile verilmiştir:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{u} \\ \Delta \dot{w} \\ \Delta \dot{q} \\ \Delta \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u & X_w & 0 & -g \\ Z_u & Z_w & u_0 & 0 \\ M_u + M_w Z_w & M_w + M_w Z_w & M_q + M_w u_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta w \\ \Delta q \\ \Delta \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\delta_T} & X_{\delta_e} \\ Z_{\delta_T} & Z_{\delta_e} \\ M_{\delta_T} + M_w Z_{\delta_T} & M_{\delta_e} + M_w Z_{\delta_e} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_T \\ \Delta \delta_e \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{v} \\ \Delta \dot{p} \\ \Delta \dot{r} \\ \Delta \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_p & -(u_0 - Y_r) & -g \cos(\theta_0) \\ L_w^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_v^* & L_p^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_p^* & L_r^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_r^* & 0 \\ N_v^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_v^* & N_p^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_p^* & N_r^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_r^* & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v \\ \Delta p \\ \Delta r \\ \Delta \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & Y_{\delta_r} \\ L_{\delta_a}^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_{\delta_a}^* & L_{\delta_r}^* + \frac{I_{xz}}{I_x} N_{\delta_r}^* \\ N_{\delta_a}^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_{\delta_a}^* & N_{\delta_r}^* + \frac{I_{xz}}{I_z} L_{\delta_r}^* \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_a \\ \Delta \delta_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

Şekil 1'de Zanka-I isimli pasif başkalaşım özellikli İHA'nın fotoğrafı paylaşılmıştır. Tablo 1'de ise bazı fiziksel özellikleri listelenmiştir. Ayrıca referanslar [7] ve [8]'de başkalaşım ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

Tablo 1. Zanka-I'in Bazı Fiziksel Özellikleri (Oktay et al., 2016 [6])

Nitelik	Miktar
Toplam Ağırlık	2.2 kg
Boş Ağırlık	2 kg
Kanat Açıklığı	1.3 m
Kanat Kord Uzunluğu	25 cm
Kanat Açıklık Oranı	5.2
Güç Sistemi	Brushless DC motor
Maksimum Menzil	30 km
Maksimum Havada Kalış Süresi	0.5 h
Maksimum Havada Kalış Süresi için Gerekli Hız	40 km/h



Şekil 1: Zanka-I'in Fotoğrafi (Oktay et al., 2016 [6])

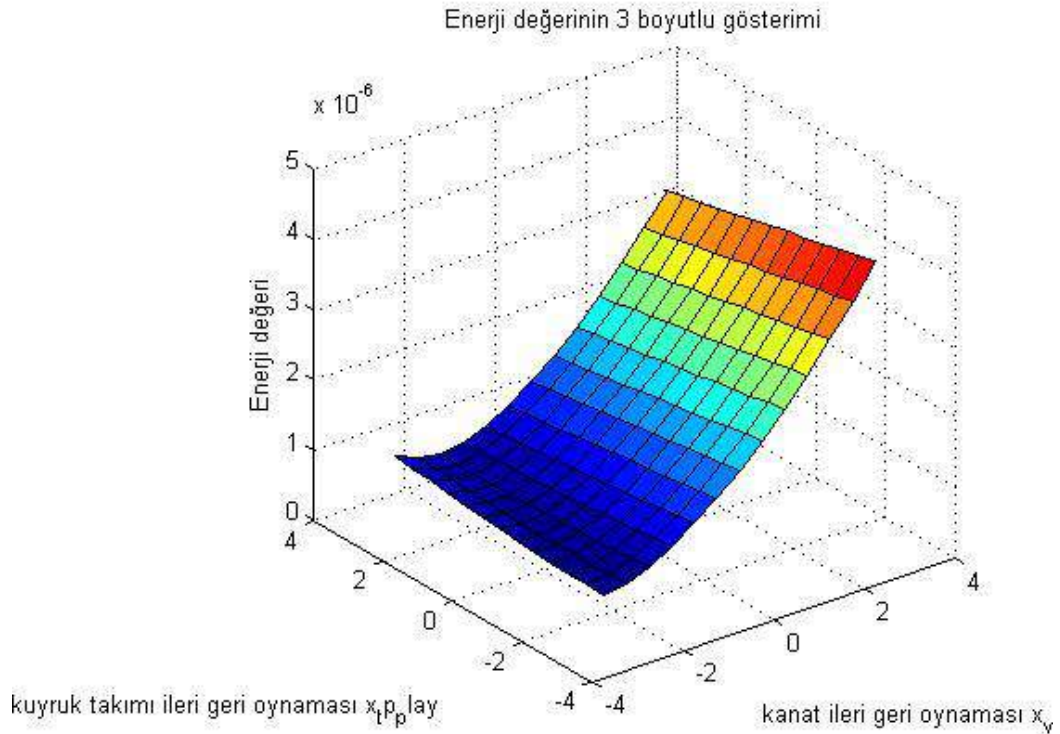
2.2. OVC Kontrolcüsü

Pasif başkalaşım özellikli İHA'mızın kontrolünde speisifi bir kontrolcü olan OVC kontrolcüsünden faydalanılmıştır. Verilen sürekli, doğrusal, zamandan bağımsız, kararlı hale getirilebilir ve saptanabilir bir sistem için, $R > 0$ pozitif tanımlı bir giriş penaltı matrisi mevcut iken, bir full dereceli dinamik kontrolcü aşağıdaki şartı sağladığında OVC kontrolcüsü oluşturulmuş olmaktadır.

$$\min_{A_c, F, G} J = E_{\infty} u_p^T R u_p = tr(RGX_c G^T) \quad (3)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde kanat ve kuyruk takımının hareketinin enerji değerine etkisi incelenmiş olup, Şekil 2 deki gibi sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2: Kanat Ve Kuyruk Takiminin Hareketinin Enerji Değerine Etkisi

Şekil 2’de verilen 3 boyutlu Matlab çıktısı figürde, x- eksenini Zanka-I adlı İHA’nın kuyruk takımının (hem yatay kuyruk hem de düşey kuyruk birlikte eş zamanlı) ileri geri hareketini (+ ileri yönü, - geri yönü işaret etmekte) temsil etmekte, y- eksenini Zanka-I adlı İHA’nın kanadının ileri geri hareketini (+ ileri yönü, - geri yönü işaret etmekte) temsil etmekte, z- eksenini ise erişilen kuyruk takımı ve kanat konumuna göre uçuş kontrolünde kullanılan OVC kontrolcüsünün enerji değerini ifade etmektedir. Bu şekilden anlaşılmaktadır ki kanat ileri hareketi enerji değerini arttırmakta, geri hareketi ise Zanka-I İHA konfigürasyonunda enerji değerini azaltmaktadır. Ayrıca kuyruk takımının ileri hareketi enerji değerini arttırmakta, geri hareketi ise Zanka-I İHA konfigürasyonunda enerji değerini azaltmaktadır. Pasif başkalaşım özellikli Zanka-I İHASının üzerinde farklı kontrolcü çalımları için ayrıca Referanslar [9] ve [10]’da ele alınabilir.

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında çıkış varyansı kısıtlı kontrolcü (OVC) ile yönlendirilen pasif başkalaşım yeteneğine sahip İHA’lar hakkında yeni sonuçlar elde edilmiştir. Kanat ve kuyruk takımının uçak uzunlamasına ekseninde belli aralıklarda hareketlerinin, sabit hızda düz seviye uçuşunu varyans kısıtlı kontrolcüler ile sağlayan İHA’ların kontrol enerjisi üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Kanat ileri hareketi enerji değerini arttırır iken, geri hareketi azaltmaktadır. Kuyruk takımı ileri hareketi de benzeri etkiyi yaratmaktadır.

Teşekkür

TÜBİTAK’a 114M856 no’lu proje üzerinden teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Austin, R. (2010), Unmanned aircraft systems, Wiley.
- [2] Hsieh, C., Skelton, R. E., and Damra, F. M. (1989), Minimum energy controllers with inequality constraints on output variances, *Optimal Control Application and Methods*, 10 (4), 347-366.
- [3] Zhu, G. and Skelton, R. E. (1991), Mixed L_2 and L_∞ problems by weight selection in quadratic optimal control. *International Journal of Quadratic Optimal Control*, 63 (5) : 1161-1176.
- [4] Nelson, R. C. (2007), Flight Stability and Automatic Control. 2nd ed., McGraw-Hill, New York, chapters 2-6.
- [5] Zagi-The original R/C EPP foam wing homepage (2015), <http://www.zagi.com>.
- [6] Oktay T., Konar M., Onay M., Aydın M., Mohamed M. A. (2016), Simultaneous small UAV and Autopilot System Design, *Aircraft Engineering And Aerospace Technology*, cilt.88, ss.818-834, 2016 .
- [7] 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*, cilt.18, ss.57-62.
- [8] Oktay T., Çoban S. (2017), Simultaneous longitudinal and lateral flight control system design for both passive and active morphing TUAVs, *Elektronika Ir Elektrotehnika*, cilt.23, ss. 15-2017.
- [9] Mohamed, M., Oktay, T., Konar, Autopilot Parameters Tunings For Best Performance, Simultaneous small UAV and autopilot system design, 8th Ankara International Aerospace Conference, Ankara, Türkiye, 10 - 12 Eylül 2015.
- [10] Oktay, T., Konar, M., Onay, M., Mohamed, M., Integrated Autopilot Tuning and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Design, 6th European Conference For Aeronautics and Space Science, Krakow, Polonya, 29 June - 03 July 2015.



Diyarbakır Sulu Koşullarında II. Ürün Olarak Yetiştirilen Bazı Mısır Çeşitlerinde Verim ve Bazı Tarımsal Karakterler İle Karakterler Arası İlişkilerin Belirlenmesi

Bedirhan Sarikurt¹, Gülşah Bengisu^{2*}

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1214-0011)

(İlk Geliş Tarihi 20 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 23 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.681220)

ATIF/REFERENCE: Sarikurt, B. & Bengisu, G. (2020). Diyarbakır Sulu Koşullarında II. Ürün Olarak Yetiştirilen Bazı Mısır Çeşitlerinde Verim Ve Bazı Tarımsal Karakterler İle Karakterler Arası İlişkilerin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 243-247.

Öz

Bu çalışma Diyarbakır ekolojik şartlarında bazı melez mısır çeşitlerinde verim ve bazı tarımsal karakterler ile tarımsal karakterler arasındaki ilişkileri saptamak amacıyla, Diyarbakır ili Ergani ilçesi gülerce köyünde 2004 yılı II. ürün yetiştirme sezonunda yürütülmüştür. Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Denemede 12 farklı mısır çeşidi kullanılmıştır. Bu çalışmada materyal olarak özel tohumculuk firmalarından temin edilen DK.585 (Dekalp), Progen 1595 (Özbuğday Tohum), Rx.770 (May), Trebia (May), Bora (May), Sele (May), Goldfrenk (Polen Tohumculuk), Folkner (Polen Tohumculuk), Goldeclat (Polen Tohumculuk), P.3394 (Pioneer), P.35P12 (Pioneer) ve P.33J56 (Pioneer) ticari melez mısır çeşitleri kullanılmıştır. Çalışmada, tepe püskülü çiçeklenme süresi, bitki boyu, ilk koçan yüksekliği, bitki sap kalınlığı, koçan boyu, koçan çapı, koçanda tane sayısı, koçanda tane ağırlığı, tane verimi parametreleri incelenmiştir. Araştırmada, tane verimleri 1137.67-1489.67 kg/da arasında değişim göstermiştir. Dk-585, RX-770, BORA ve GOLDECLAT çeşitleri yüksek verim vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, ikinci ürün, verim, korelasyon, Diyarbakır

Determination Research On The Determining Of Yield And Some Agricultural Characters And The Relationship Among The Characters On Maize Cultivars Grown As Second Crop Under Irrigated Conditions Of Diyarbakır Plain

Abstract

This study was conducted to determine the yield and some agricultural characters and relationships among characters on maize cultivars grown as double crop under irrigation conditions of Diyarbakır Plain at the Gülerce Vilage of Ergani Town of Diyarbakır in double crop season of 2004. It was designed as randomized blocks with three replications, it was tested 12 maize cultivars in experiment. In this study, DK.585 (Dekalp), Progen 1595 (Özbuğday Seed), Rx.770 (May), Trebia (May), Bora (May), Sele (May), Goldfrenk (Pollen Seed) obtained from private seed companies as materials, Folkner (Pollen Seed), Goldeclat (Pollen Seed), P.3394 (Pioneer), P.35P12

*Sorumlu Yazar: Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1214-0011, gbengisu@hotmail.com

(Pioneer) and P.33J56 (Pioneer) commercial hybrid corn varieties were used. In this study, the top tassel flowering time, plant height, first cob height, plant stalk thickness, cob height, cob diameter, grain number in cob, tanae weight in cob, grain yield parameters were investigated. In this study, grain yields were changed between 1137.67-1489.67 kg/da. Dk 585, RX 770, BORA and GOLDECLAT cultivars gave higher yield.

Keywords: Corn, second crop, yield, correlation, Diyarbakır

1. Giriş

Mısır, binlerce yıldan beri tarımı yapılan birkaç ender bitkiden biridir. Anavatanı Amerika kıtası olup buradan Dünya'nın her yerine yayıldığı bilinmektedir. A.B.D' nin New Mexico eyaletinde yapılan arkeolojik kazılarda, kayalardan oluşmuş barınaklarda ve mağaralarda bulunan mısır taneleri ve mısır koçanı parçalarının yaklaşık 5000 yıllık oldukları tespit edilmiştir. Öte yandan 1954 yılında, Meksika'nın başkenti Mexico City' de yapılan arkeolojik kazılarda ise, toprağın 50-60 m derinliğinde, yaklaşık 7000 yıllık olduğu belirlenen mısır çiçek tozlarına rastlanmıştır. Yabani mısır bugüne kadar bulunamadığı için, mısırın orijini ve tarihine ilişkin kesin bir bilgi elde edilememiş, bu konuda çeşitli teoriler üretilmiş ve hepsi de günümüzde hala tartışılmaktadır. Ancak, yapılan tüm arkeolojik kazılardan elde edilen bulgular, mısır bitkisinin 8.000 ile 10.000 yıllık bir geçmişi olduğunu göstermektedir.

Güneydoğu Anadolu bölgesinin özellikle Diyarbakır, Batman, Mardin ve Şanlıurfa mera alanlarının vejetasyon etüdleri sonucunda "zayıf mera" olduğunu bildiren pek çok araştırma vardır (Seydoşoğlu, 2018; Seydoşoğlu ve Kökten, 2018; Seydoşoğlu ve Kökten, 2019; Seydoşoğlu ve ark. 2018). Bu nedenle, II. ürün mısır yetiştiriciliği açısından son derece önemlidir. Çünkü, tane mısır hasadından sonra kalan mısır anızının hayvanların otlatılması açısından da önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, Diyarbakır sulu koşullarında II. ürün olarak yetiştirilen bazı mısır çeşitlerinde verim ve bazı tarımsal karakterler ile karakterler arası ilişkilerin belirlenmesidir.

2. Materyal ve Metot

Bu araştırma, Diyarbakır İli Ergani İlçesi Gülerce Köyünde Hüdaî Polat'a ait çiftçi tarlasında II. Ürün olarak 2004 yetiştirme sezonunda bir yıl süre ile yürütülmüştür. Bu çalışmada materyal olarak özel tohumculuk firmalarından temin edilen DK.585 (Dekalp), Progen 1595 (Özbuğday Tohum), Rx.770 (May), Trebia (May), Bora (May), Sele (May), Goldfrenk (Polen Tohumculuk), Folkner (Polen Tohumculuk), Goldeclat (Polen Tohumculuk), P.3394 (Pioneer), P.35P12 (Pioneer) ve P.33J56 (Pioneer) ticari melez mısır çeşitleri kullanılmıştır. Deneme alanları yarı-kurak ve çok sıcak iklim koşullarının oluşturduğu, kırmızı kahverengi büyük toprak gurubuna giren, düz ya da düze yakın eğimlerde, derin veya orta derin ABC profilli zonal topraklardır. Diyarbakır ilinde, yıllık yağışın yaklaşık olarak tamamı Ekim ve Mayıs ayları arasında düşmektedir. Yaz aylarında hemen hiç yağış görülmemekte, hava oransal nemi de düşük olduğundan toprak evaporasyonla çok hızlı su kaybetmektedir. Araştırmanın yürütüldüğü aylara ve uzun yıllara ait bazı iklim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Diyarbakır iline ait bazı iklim verileri

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)	Nispi Nem %
Haziran	26.4 25.9	33.8	16.4	16.0 7.2	23.3 36
Temmuz	31.4 31.0	38.2	20.7	0.0 0.7	11.9 27
Ağustos	30.0 30.3	37.5	20.5	0.0 0.6	14.1 27
Eylül	25.0 24.9	34.0	15.3	0.0 2.6	19.0 31
Ekim	18.2 17.1	26.7	10.8	1.3 30.8	41.2 48
Kasım	8.1 9.8	13.9	3.7	123.1 54.6	69.4 68

Tablo 1'den izleneceği üzere denemenin yürütüldüğü dönemde en düşük ortalama sıcaklık 8.1 °C ile Kasım ayında; en yüksek ortalama sıcaklık 31.4 °C ile Temmuz ayında saptanmıştır. Uzun yıllar ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında en düşük ortalama sıcaklığın 9.8 °C ile Kasım ayında, en yüksek ortalama sıcaklığın ise 31.0 °C ile Temmuz ayında saptandığı gözlenmiştir. Deneme süresince gerçekleşen yağışa bakıldığında; en düşük toplam yağışın 0 mm ile Temmuz, ağustos ve eylül aylarında, en yüksek toplam yağışın 123.1 mm ile Kasım ayında saptandığı gözlenmiştir. Uzun yıllar ortalama değerlerine bakıldığında toplam yağış miktarının en düşük 0.6 mm ile Ağustos ayında, en yüksek 54.6 mm ile Kasım ayında saptandığı gözlenmiştir. Nispi nem değerlerine bakıldığında ise denemenin yürütüldüğü dönemde en düşük nispi nem değeri % 11.9 ile Temmuz ayında, en yüksek nispi nem değeri % 69.4 ile Kasım

ayında kaydedilmiştir. Nispi nem değerleri bakımından uzun yıllar değerlerine bakıldığında en düşük nispi nem %27 ile Temmuz ve Ağustos aylarında, en yüksek nispi nem % 68 ile Kasım ayında saptanmıştır.

Deneme Tesadüf Blokları Deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Denemede her bir parsel 4 ekim sırasından oluşturulmuştur. Denemede, sıra arası 70 cm, sıra üzeri 20 cm, sıra uzunluğu 5m, parsel alanı 14m², hasatta parsel alanı ise 7m² oluşturulmuştur. Denemede bloklar arasında çeşitli bakım işlemlerine kolaylık sağlanması bakımından 2 m boşluk bırakılmıştır ve bakım işlemlerinin tamamı zamanında uygulanmıştır. Buğday hasadından sonra ekime hazırlanan deneme alanında 2.8x5 m=14 m² büyüklüğündeki parsellere, her ocağa iki tohum gelecek şekilde elle ekim yapılmıştır. Ekim 02/07/2004 tarihinde el ile yapılmıştır. Ekimden hemen sonra karık usulü sulama yapılmıştır. Ekimden önce deneme alanına dekara 10 kg/da saf azot ve 10 kg/da saf fosfor gelecek şekilde 20.20.0 kompoze gübresi uygulanmıştır. Ayrıca, bitkiler 40-50cm boylandığında üst gübre olarak dekara 10 kg saf azot gelecek şekilde üre verilmiştir. Çıkıştan sonra bitkiler iki-üç yapraklı dönemde iken seyreltme yapılmıştır. Gübre uygulamalarından sonra ve yetiştirme süresince toplam 6 kez sulama yapılmıştır. Sulamalar karıklara su verilmek suretiyle yapılmıştır. Çıkış sonrası görülen yabancı otlar el çapası ile çapalanmak suretiyle yok edilmiştir. Hasat; 02 Kasım 2004 tarihinde ortadaki iki sıradan koçanlar elle koparılacak, toplanacak suretiyle yapılmış, diğer iki sıra ise kenar tesiri olarak hasat edilmemiştir.

Verilerin Değerlendirmeleri MSTAT-C istatistik paket programı kullanılarak tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizi yapılmıştır. Etkili farklılıkları görmek için F testi kullanılmıştır. Ortalama değerler arasındaki karşılaştırmalar Duncan (%5) testine göre yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tepe püskülü çiçeklenme süresi (gün) yönünden çeşitler arasında fark önemli çıkmıştır (p<0.05). Yapılan LSD (%5) testine göre çeşitler arasında tepe püskülü çiçeklenme süresi (gün) yönünden 4 farklı grup oluşmuştur. Tepe püskülü çiçeklenme süresi değerleri 71.00 -74.67 gün arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). En yüksek tepe püskülü çiçeklenme süresi değeri 74.67 gün ile P 35P12 çeşidinden elde edilmiş, en düşük tepe püskülü çiçeklenme süresi değeri ise 71.00 ile RX 770, GOLDFRENK ve P 33J56 çeşitlerinde gözlenmiştir.

Tablo 2. Araştırmada İncelenen Bazı Özellikler

ÇEŞİTLER	Tepe Püskülü Çiçeklenme süresi (gün)	Bitki Boyu (cm)	İlk Koçan Yüksekliği (cm)	Bitki Sap Kalınlığı (mm)	Koçan Boyu (cm)
DK 585	71.33c	289.30	88.57	36.40	19.41a
PROGEN 1595	72.00bc	270.47	92.00	36.73	18.59ab
RX 770	71.00c	253.53	94.67	35.13	18.88ab
TREBIA	73.67ab	282.13	99.53	36.76	17.10a-c
BORA	74.33a	256.50	79.63	36.80	16.52bc
SELE	72.33bc	282.90	98.73	35.80	14.50c
GOLDFRENK	71.00c	286.57	102.67	35.53	17.65ab
FOLKNER	71.33c	284.23	104.57	34.40	17.37ab
GOLDECLAT	71.67c	267.27	96.43	35.06	18.50ab
P 3394	73.67ab	281.70	99.20	34.33	16.08bc
P 35P12	74.67a	254.30	84.40	33.40	16.09bc
P 33J56	71.00c	271.03	101.70	35.86	16.38bc
ORTALAMA	72.33	273.33	95.18	35.52	17.25
LSD (%5)	1.687	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	2.50

Tablo 2 incelendiğinde; bitki boyu yönünden çeşitler arasında fark önemli değildir (p>0.05). Bitki Boyu değerleri 253.53 -289.30 cm arasında değişim göstermiştir. En yüksek Bitki boyu değeri 289.30 cm ile DK 585 çeşidinden elde edilmiş, en düşük Bitki Boyu değeri ise 253.53 cm ile RX 770 çeşidinde gözlenmiştir.

Varyans analiz sonuçlarına göre mısır bitkisinde ilk koçan yüksekliği (cm) yönünden çeşitler arasında fark önemli değildir (Tablo 2). İlk koçan yüksekliği değerleri 79.63 -104.57cm arasında değişim göstermiştir. En yüksek ilk koçan yüksekliği değeri 104.57cm ile FOLKNER çeşidinden elde edilmiş, en düşük ilk koçan yüksekliği değeri ise 79.63cm ile BORA çeşidinde gözlenmiştir.

Tablo 2'de görüldüğü gibi varyans analiz sonuçlarına göre mısır bitkisinde bitki sap kalınlığı (mm) yönünden çeşitler arasında fark önemli değildir. Bitki sap kalınlığı değerleri 33.40-36.80 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek sap kalınlığı değeri 36.800mm ile P 35P12 çeşidinden elde edilmiş, en düşük sap kalınlığı değeri ise 33.400mm ile P 35P12 çeşidinde gözlenmiştir.

Mısır bitkisinde koçan boyu (cm) yönünden çeşitler arasında fark önemli çıkmıştır. Yapılan LSD (%5) testine göre çeşitler arasında koçan boyu yönünden 5 farklı grup oluşmuştur. Koçan boyu değerleri 14.50 -19.41cm arasında değişim göstermiştir. En yüksek koçan boyu değeri 19.41cm ile DK 585 çeşidinden elde edilmiş, en düşük koçan boyu değeri ise 14.50 cm ile SELE çeşidinde gözlenmiştir.

Tablo 3. Mısırın Koçan İle İlgili Bazı Özellikler

ÇEŞİTLER	Koçan Çapı (cm)	Koçanda Tane Sayısı (adet)	Koçanda Tane Ağırlığı (g/koçan)	Tane Verimi (kg/da)
DK 585	48.37ab	674.90	206.00	1489.67
PROGEN 1595	49.07ab	581.07	200.00	1428.00
RX 770	50.50a	603.23	206.00	1470.67
TREBIA	49.30ab	619.17	183.33	1286.67
BORA	50.27ab	668.70	202.67	1447.00
SELE	49.80ab	652.90	159.33	1137.67
GOLDFRENK	45.27c	520.43	175.33	1251.67
FOLKNER	47.43bc	708.43	194.67	1389.67
GOLDECLAT	47.40bc	636.47	202.67	1447.00
P 3394	47.37bc	581.50	183.33	1308.67
P 35P12	47.83a-c	532.17	193.33	1380.00
P 33J56	48.60ab	556.80	165.33	1180.67
ORTALAMA	48.43	611.31	189.33	1351.44
LSD (%5)	2.538	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.

Koçan çapı (mm) yönünden çeşitler arasında fark önemli çıkmıştır($p<0.05$). Yapılan LSD (%5) testine göre çeşitler arasında koçan çapı yönünden 5 farklı grup oluşmuştur. Koçan çapı değerleri 45.27-50.50 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek koçan çapı değeri 50.50 mm ile RX 770 çeşidinden elde edilmiş, en düşük koçan çapı değeri ise 45.27 mm ile GOLDFRENK çeşidinde gözlenmiştir.

Koçanda tane sayısı (adet) yönünden çeşitler arasında fark önemli değildir($p>0.05$). Koçanda Tane Sayısı değerleri 520.43 -708.43 adet arasında değişim göstermiştir. En yüksek koçanda tane sayısı değeri 104.57cm ile FOLKNER çeşidinden elde edilmiş, en düşük koçanda tane sayısı değeri ise 520.43 adet ile GOLDFRENK çeşidinde gözlenmiştir.

Tablo 3'te görüldüğü gibi varyans analiz sonuçlarına göre mısır bitkisinde koçanda tane ağırlığı (gr/koçan) yönünden çeşitler arasında fark önemli değildir($p>0.05$). Koçanda tane ağırlığı değerleri 159.33 -206.00 (gr/koçan) arasında değişim göstermiştir. En yüksek koçanda tane ağırlığı değeri 206.00 (gr/koçan) ile RX 770 ve DK 585 çeşitlerinden elde edilmiş, en düşük koçanda tane ağırlığı değeri ise 159.33 (gr/koçan) ile SELE çeşidinde gözlenmiştir.

Varyans analiz sonuçlarına göre mısır bitkisinde tane verimi (kg/da) yönünden çeşitler arasında fark önemli değildir($p>0.05$). Tane verimi değerleri 1137.67 -1489.67 (kg/da) arasında değişim göstermiştir. En yüksek tane verimi değeri 1489.67 (kg/da) ile DK 585 çeşidinden elde edilmiş, en düşük tane verimi değeri ise 1137.67 (kg/da) ile SELE çeşidinde gözlenmiştir.

Tüm özellikler açısından incelendiğinde; birçok araştırmacının bulgularıyla benzerlikler ve farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (Turan ve Yılmaz, 2000; Keskin ve ark. 2005; Kılıç ve Gül, 2007; Tezel, 2007; Elmalı ve Soylu 2008; Erdal, 2016, Taş ve ark. 2016; Okay ve Yazgan, 2016; Seydoşoğlu ve Saruhan 2017; Gür ve Kara, 2019; Özdemir ve Sade, 2019; Ağaçeksen ve Öktem, 2020). Bu farklılığın nedeni olarak, denemede kullanılan çeşitlerin, toprak yapısının, ekolojik faktörlerden, çeşitlerin genetik yapılarından kaynaklandığı söylenebilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada; verim yönünden çeşitler arasında fark oluşmadığı görülmektedir. Çeşit seçiminde; bölgemize uygun çeşitler seçilmiş olup en uygun çeşit seçimine gidilmiştir. Çeşitler arasında tane verimi yönünden fark istatiki olarak önemli çıkmamıştır. Ancak üreticileri yönlendirmek açısından diğer çeşitlere oranla daha yüksek verimli bulunan DK.585, PROGEN 1595, RX 770, BORA VE GOLDECLAT gibi çeşitler Diyarbakır İli bölgesinde yetiştirilebileceği tasfiyesi edilebilir.

5. Açıklama

Bu çalışmanın verileri, ilk yazarın yüksek lisans tezinden alınarak yapılmıştır.

Kaynakça

- Ağaçkesen, M.N., & Öktem, A. (2020). Farklı zamanlarda yapılan hasadın merit tatlı mısır çeşidinde (*Zea mays* L. saccharata Sturt) taze koçan verimi ve bazı verim unsurlarına etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 23 (1): 69-76.
- Elmalı, H., & Soylu, S. (2008). Melez atdışi mısırdaki farklı taban gübresi çeşitlerinin tane verimi, verim unsurları ve kalite üzerine etkileri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(44), 104-112.
- Erdal, Ş. (2016). Mısırdaki normal ve kuraklık stresi koşullarında tane verimi ile ilişkili seleksiyon kriterlerinin belirlenmesi. *Derim*, 33(1), 131-143.
- Gür, İ., & Kara, B. (2019). Trabzon ekolojik koşullarında bazı hibrit atdışi mısır çeşitlerinin (*zea mays indentata sturt*) performansları. *Black Sea Journal of Agriculture* 2(2): 103-108
- Keskin, B., Akdeniz, H., Yılmaz, İ.H., & Turan, N. (2005). Yield and quality of forage corns (*Zea mays* L.) as influenced by cultivar and nitrogen rate. *Journal of Agronomy* 4(2), 138-141.
- Kılıç, H., Gül, İ. (2007). Hasat zamanının diyarbakır şartlarında ikinci ürün olarak yetiştirilen mısır çeşitlerinde verim ve bazı tarımsal karakterler ile silaj kalitesine etkileri üzerine bir araştırma. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(3-4),43-52.
- Okay, D., & Yazgan, S. (2016). Farklı su uygulama düzeylerinin mısır bitkisi verimi üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 30(1), 1-12.
- Özdemir, E., & Sade, B. (2019). Atdışi mısır (*Zea mays indentata* Sturt.) genotiplerinde verim ve verim unsurlarının genetik analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 33(1), 83-92.
- Seydoşoğlu, S. (2018). Bazı doğal mera alanlarının bitki örtüsü özellikleri, mera durumu ve sağlığının belirlenmesi, *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 19(4), 368-373.
- Seydoşoğlu, S., & Kökten, K. 2018. Batman ili beşiri ilçesi mera vejetasyonlarının bazı özellikleri, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55(4), 491-497.
- Seydoşoğlu, S., Kökten, K., & Sevilmiş, U. (2018). Basic vegetation characteristics of village pastures connected to mardin province and its provinces, *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5(4), 406-413.
- Seydoşoğlu, S., & Saruhan, V. (2017). Farklı ekim zamanlarının bazı silajlık mısır çeşitlerinde verim ve verim unsurlarına etkisinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54 (4), 377-383.
- Seydoşoğlu, S., & Kökten, K. (2019). Batman mera vejetasyonlarının bazı özellikleri, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(1), 27-33.
- Taş, T., Öktem, A.G, Öktem, A., & Sürücü, A. (2016). Harran ovası koşullarında yetiştirilen mısır bitkisinde (*Zea Mays* L. İndentata) farklı ekim sıklığının silaj verimi ve bazı tarımsal özelliklere etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25, 64-69.
- Tezel, M. (2007). Mısırdaki (*Zea mays* L.) verim ve verim unsurları için kalıtım parametrelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 128s,
- Turan, N., & Yılmaz, İ. (2000). Van koşullarında I. ve II. ürün olarak yetiştirilen bazı silajlık mısır çeşitlerinin hasıl verim ve bazı verim unsurlarının belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 31(2), 63-71.



PVsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu

Eyüp Akcan^{1,2}, Melih Kuncan^{3*}, Mehmet Recep Minaz⁴

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4133-4344)

² Batman Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Batman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4133-4344)

³ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9749-0418)

⁴ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8046-6465)

(İlk Geliş Tarihi 20 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 23 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.685909)

ATIF/REFERENCE: Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M.R. (2020). Pvsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.

Öz

Elektrik enerjisi, son yüzyılda, insanlığın günlük yaşam standartlarında temel bir gereklilik haline gelmiştir. Dünyada elektrik enerjisi ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu yüksek elektrik enerjisi ihtiyacının tedarik edilmesinde şu anda ağırlıklı olarak termal veya hidroelektrik enerji üretim santrallerinden faydalanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminin olumsuz etkileri olan sera gazı emisyonu ve diğer çevresel olumsuzluklarla ilgili artan endişe, elektrik üretimi için PV (fotovoltaik) sistemler gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinin giderek daha fazla farkındalık, önem ve talep görmesine sebep olmaktadır.

Çevre dostu elektrik üretim sistemlerine olan talep, her geçen gün daha fazla artış göstermektedir. Bu artışa karşılık verebilmek için, yenilenebilir enerji tabanlı üretimde, güneş fotovoltaik tabanlı enerji üretim sistemlerinin en değerli katkı payına sahip olması dolayısıyla, küresel anlamda bu sistemlere büyük bir odak oluşmuş durumdadır. Elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinden faydalanmak için genel olarak güneş fotovoltaik teknolojisi kullanılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında güneş enerji potansiyeli yüksek olan Türkiye için, PV sistemler çok büyük önem taşımaktadır. PV enerji sistemlerinin performansına, coğrafi konumun ve güneş görme potansiyelinin yanı sıra güneş modülü tipleri de etki etmektedir.

Bu makalede; Türkiye'nin güneydoğusundaki Batman ilinde birbirine bağlı 30 kW güneş fotovoltaik şebekenin tam bir modellenmesi ve simülasyonu gösterilmiştir. Performans oranını ve sistemde meydana gelen farklı kayıpları analiz etmek için PVsyst yazılım programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerji sistemleri, PV sistem, Modelleme ve Simülasyon, Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler, PVsyst.

Modeling and Simulation of 30 kW Grid Connected Photovoltaic System with PVsyst Software

Abstract

In the last century, electrical energy has become a basic requirement in humanity's daily living standards. Electricity demand in the world is increasing day by day. Thermal or hydroelectric power plants are currently used to supply this high electrical energy requirement. Increasing concern about greenhouse gas emissions and other environmental adversities, which is adverse effects of electrical energy production; This causes renewable energy technologies such as PV systems for electricity generation to be kept increasing and demanded.

³ Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9749-0418), melihkuncan@siirt.edu.tr

The demand for environmentally friendly electricity generation systems are increasing day by day. In order to respond to this increase, since solar photovoltaic (PV) based energy generation systems have the most valuable contribution, there is a great focus on these systems globally in renewable energy-based production. Solar photovoltaic technology is used to make use of solar energy in electrical energy production. In this respect, for Turkey with high potential for solar energy, PV systems are of great importance. In addition to the geographical location and solar vision potential, solar module types also affect the performance of PV energy systems. In this article; a complete modeling and simulation of the 30 kW solar photovoltaic interconnected network in Batman in southeastern Turkey, is shown. PVsyst software program was used to analyze the performance rate and the different losses occurring in the system.

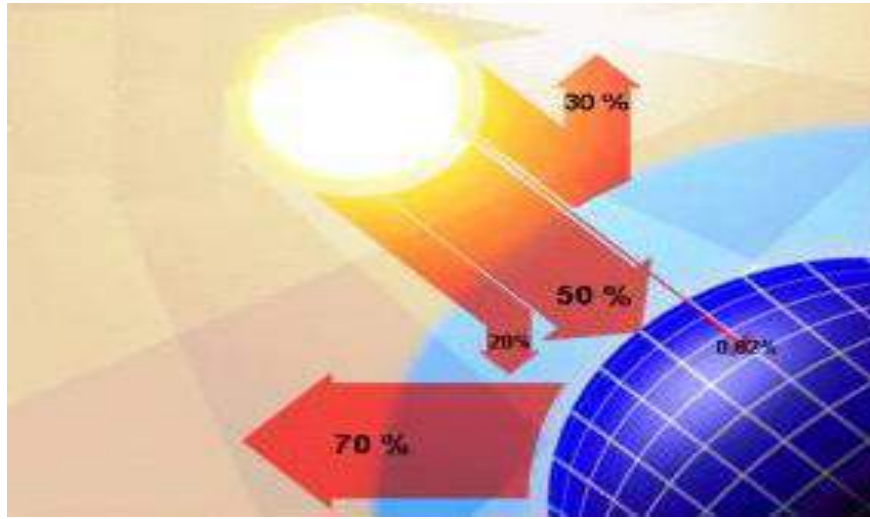
Keywords: Solar energy systems, PV system, Modeling and Simulation, Grid Connected Photovoltaic Systems, PVsyst.

1. Giriş

Elektrik enerjisi; tarım, sanayi, binalar, ulaşım gibi birçok uygulama alanlarında gereklidir. Enerji üretimi için kömür gibi fosil yakıtların tüketimindeki artış, küresel ısınmaya sebebiyet verip çevreyi olumsuz şekilde etkileyen yüksek sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, insanlığın yakın gelecekteki natürel konforunun daha fazla bozulmaması için fosil yakıtlara alternatif olarak güneş, rüzgâr, biyokütle gibi temiz enerji kaynaklarının kullanılmasına ihtiyaç vardır. Bu kaynaklar, doğası gereği sürekli olarak yenilendiği için yenilenebilir enerji olarak adlandırılmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının sınırsız ve temiz kaynaklar olmaları onların enerji üretiminde kullanımlarında artışa yol açmıştır. Yenilenebilir güneş enerjisi de küresel enerji krizine en umut verici çözümlerden biridir. Ayrıca elektrik hatlarını kırsal ve uzak bölgelere ulaştırmanın ekonomik olmayışı, Güneş fotovoltaik (PV) sistemlerini elektrik üretimi için dünya çapında tutulur hale getirmiştir [1-4].

Güneş ışınlarının elektrik enerjisine çevrilmesinde fotovoltaik (PV) paneller kullanılır. Elektrik enerjisinin elde edilmesinde PV panellerin kullanılması çevre kirliliğini azaltırken enerji verimliliğini arttırmaktadır [3-5].

Güneş enerjisi, Güneş'in iç çekirdeğinde gerçekleşen füzyon (hidrojenin helyuma dönüşmesi) sebebiyle oluşan ışıma enerjisidir. Atmosfer dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık 1370 W/m² büyüklüğündedir. Ancak yeryüzüne ulaşan ışıma miktarı atmosferdeki kırılmadan dolayı 0-1100 W/m² değerlerinde görülür. Dünya yüzeyine ulaşan bu ışımanın oluşturduğu enerjinin küçük bir kısmı dahi, mevcut enerji tükemimizin çok daha fazlasıdır. Güneş enerjisinden faydalanmaya yönelik araştırma ve çalışmalar özellikle 1970'li yıllardan sonra artmıştır. Güneş enerjisi sistemleri teknolojik açıdan ilerleme kaydederken maliyet açısından ise düşüş göstermiştir. Aynı zamanda temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğunu insanlığa kanıtlamıştır [6].



Şekil 1. Güneş'ten gelen ışınların Dünya'ya ulaşımı [7]

Şekil 1'de gösterildiği gibi; Güneş'ten gelen ışımanın yaklaşık %30'luk kısmı atmosferden geri yansır. Güneş ışımasının yaklaşık %50'si atmosferi geçip yeryüzüne ulaşır. Ulaşan bu ışımanın enerjisi ile sıcaklık artar. Buna bağlı olarak yeryüzü yaşanılabilir hale gelir. Rüzgâr hareketlerine ve okyanuslardaki dalgalanmalara da bu ısınma sebep olur. Güneşten gelen ışımanın yaklaşık %20'lik kısmı ise atmosferde ve bulutlarda kalır. Yer yüzeyine gelen güneş ışımasının %1'den daha küçük kısmı ise bitkiler tarafından fotosentez yapılarak harcanır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su harcayarak, şeker ve oksijen üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Güneş, nükleer enerji dışında kalan bütün enerjilerin dolaylı veya doğrudan kaynağıdır [6].

Fotovoltaik; kelime anlamı bakımından fotondan elektrik üretimi demektir. Bu üretim ise fotovoltaik paneller (PV) yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Fotovoltaik sistemler, yaygın olarak Güneş'ten elektrik üretiminde kullanılmaktadırlar. Birçok bileşen bir araya gelerek fotovoltaik sistemleri oluşturur. Fotovoltaik sistemler sadece güneş panellerinden ibaret değildir. Panellerin yanı sıra akü, invertör ve şarj kontrol cihazı gibi bazı temel bileşenler de bu sistemler için oldukça önem taşımaktadır. Fotovoltaik sistemlerin en temel parçaları güneş ve elektriğin üretildiği kısımdır. Şarj kontrol cihazı; güneş panelinden gelen dc enerjiyi düzenleyip sabit tutar ve akülerin şarjı için stabil bir dc elektrik enerjisi oluşturur. İnverterler; DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Akü kalitesi solar depolamalı off grid fotovoltaik sistemler için oldukça önemlidir [4, 8].



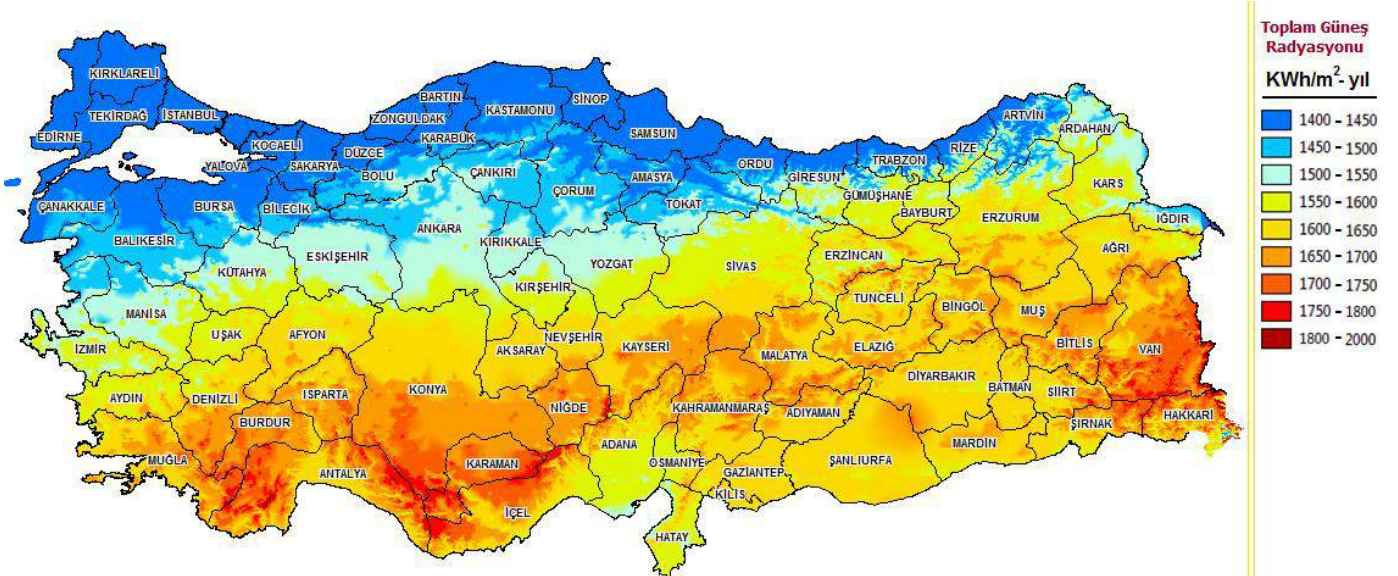
Şekil 2. Fotovoltaik Sistemler ile üretilen enerjinin On-Grid Sistem Şeması [8]

Bu çalışmada; PVsystV 6.8.5 yazılım programı kullanılarak, Batman merkezde bulunan bir okulun enerji ihtiyacının çatı tipi fotovoltaik sistemlerle karşılanması amacıyla tasarlanacak olan sistemin üreteceği enerji miktarı, sistem performansı ve sistemde bulunan elemanların birbirleriyle uyumluluğu üzerine değerlendirmeler yapılabilen simülasyon yapılması amaçlanmıştır. Binanın coğrafi konumu PVsyst yazılım programında belirtilmiş ve program içerisinde sunulan hizmetlerden biri olan Meteororm 7.2 veri tabanından bölgenin meteoroloji verileri sentetik olarak üretilmiştir.

Şekil 2’de On-Grid şeması görülmektedir. Gün ışığının olmadığı durumlarda okulun enerji ihtiyacının şebekeden karşılanacağı, yeterli olması durumunda ise üretim fazlasının şebekeye aktarılacağı şekilde tasarlanmıştır. Sistem performans analizi, IEC 61724 standartlarında belirtilen performans parametreleri dikkate alınarak yapılmıştır.

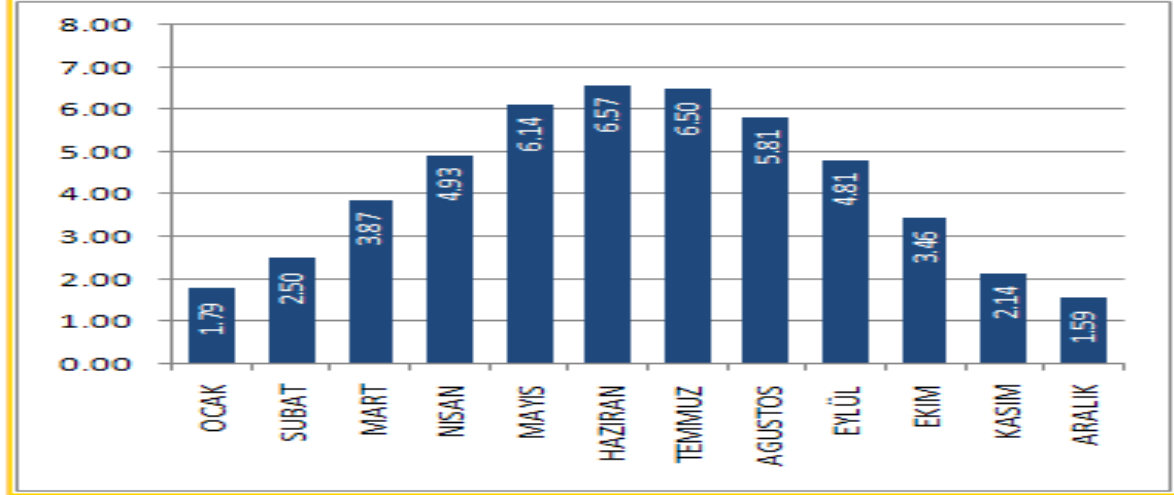
2. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Coğrafi olarak, 36° ile 42° kuzey enlemleri ve 26° ile 45° doğu boylamları arasında bulunan Türkiye, güneş kuşağı içindedir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, toplam güneşlenme süresi yıllık 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), gelen toplam güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu hesaplanmıştır. Günlük ortalama güneşlenme süresi 7,5 saat, günlük ortalama ışınım şiddeti 4,18 kWh/m² olan ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Şekil 3.3’te, Türkiye’de illere düşen yıllık ışınım miktarlarını gösteren güneş enerjisi potansiyel atlası verilmiştir [9].



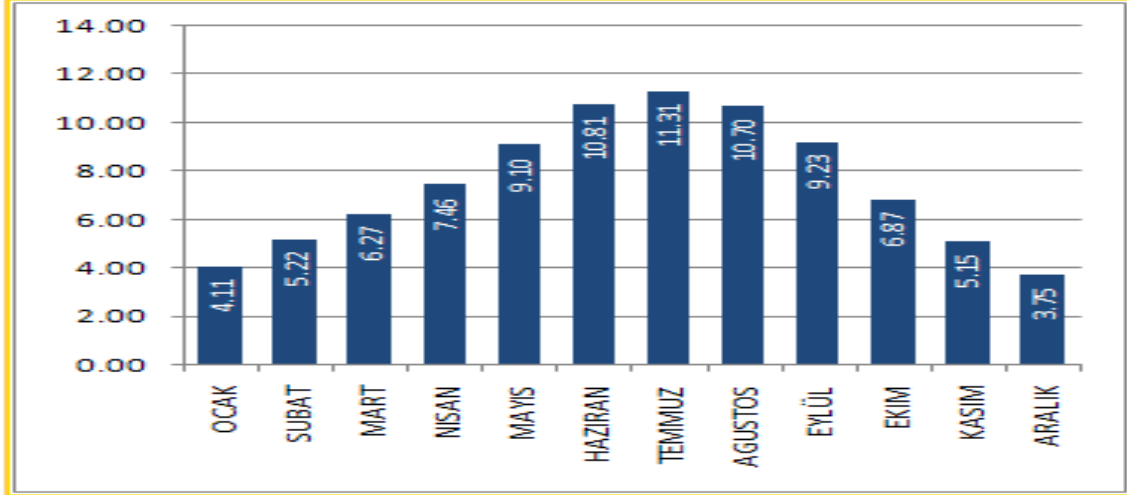
Şekil 3. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası(GEPA) [10]

TÜRKİYE Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



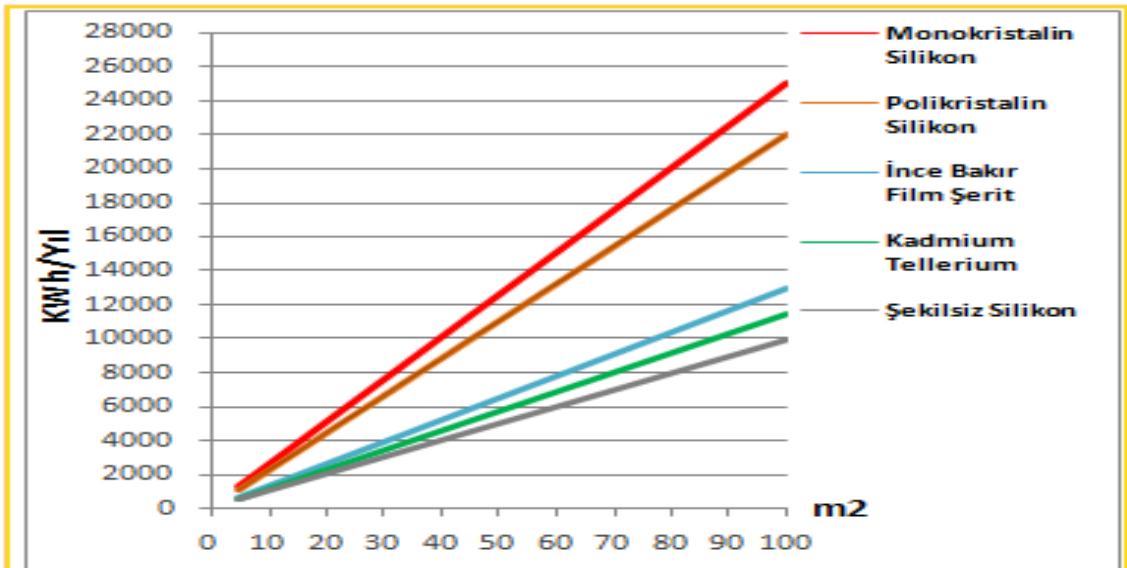
Şekil 4. Türkiye Global Radyasyon Değerleri[10]

TÜRKİYE Güneşlenme Süreleri (Saat)



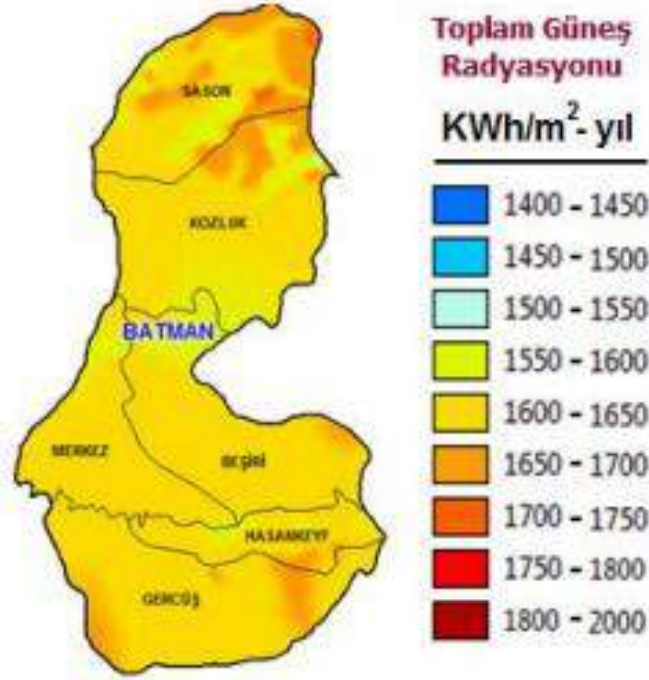
Şekil 5. Türkiye Güneşlenme Süresi(Saat) [10]

TÜRKİYE PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)



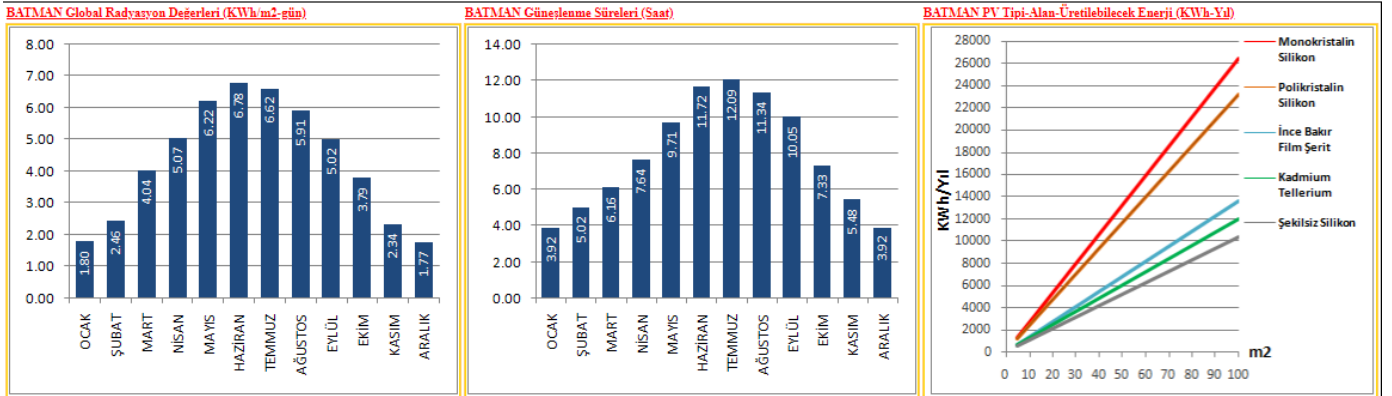
Şekil 6. Türkiye PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji(Kwh-Yıl) [10]

3. Batman'da Güneş Enerjisi Potansiyeli



Şekil 7. Batman Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [11]

Karasal iklimin hakim olduğu Batman şehrinin kuzeyi ve kuzeydoğusunda sarp ve dağlık araziler, güneyinde ise engebeli araziler görülmektedir. Yaz ayları sıcak ve kurak geçen bu bölgede, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Konum olarak Batman, 41 derece 10 dakika ve 41 derece 40 dakika doğu boylamları arasında; 38 derece 40 dakika 37 derece 50 dakika kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Batman ilinin rakımı ise 550 metredir [12].



Şekil 8. Batman global radyasyon değeri, güneşlenme süresi, PV tipi [11]

4. PVsyst Simülasyon Programı

PVsyst programı, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen, şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız PV sistemler, PV sulama sistemleri ve DC şebekeler gibi fotovoltaik sistem tasarımlarının yapılıp sonuçlarının incelenmesi amacıyla kullanılan simülasyon programıdır. Bu program; benzerlerine kıyasla, daha detaylı hesaplamalara ve farklı parametrelerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır [13].

Bir PV sistemi; bir PV dizisi, akü ve güç koşullandırma elemanları içerir. PV sistemi, güneş enerjisini DC enerjiye dönüştürür ancak kullanılan yükler çoğunlukla AC yüklerdir. Bu nedenle sistemde bulunan inverter, DC'yi AC'ye dönüştürür. PV sistem iki şekilde çalışabilir; şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız... Şebekeye bağlı PV sistemin elektrik enerjisi doğrudan şebekeyi besler ve geleneksel enerji kaynağına paralel çalışır. Şebekeye bağlı PV sistemi, iletim ve dağıtım kayıplarının olmaması veya pillere ihtiyaç

duyulmaması için, elektriğin son kullanıcıya yakın bir yere kurulur. Performansı; yerel hava koşullarına, PV dizisinin yönüne, PV dizisinin eğimine ve inverter performansına bağlıdır [14].

5. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Şebeke bağlantılı ve enerji depolamalı bir PV (Photovoltaics–Fotovoltaik) sistemin, PVsyst programı ile gerçekleştirilmesi aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Coğrafi Konuma Ait Verilerin PVsyst Programına Girişi

Coğrafi konuma ait verilerin girişi aşağıdaki sırayla girilmektedir.

Project design

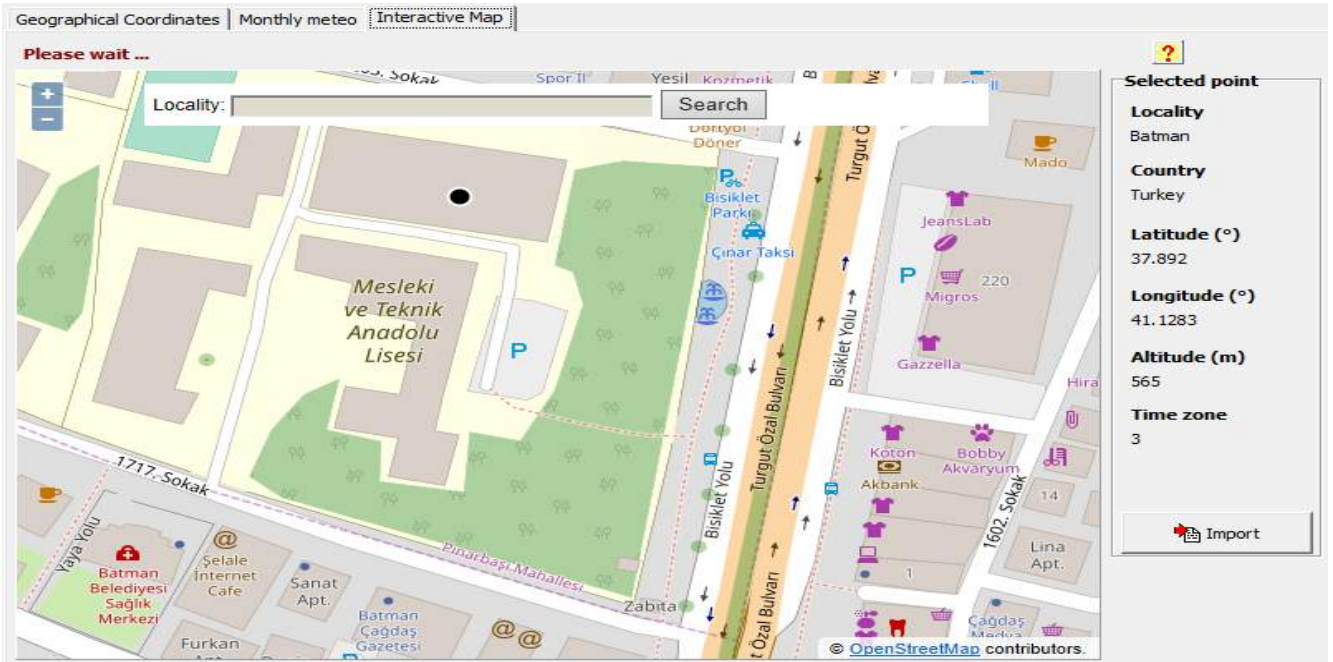
Grid-Connected

Meteo database

Geographical sites

Barkarby	Barkarby	Sweden	MeteoNorm 7.2 station
Bastia/Poretta	Bastia/Poretta	France	MeteoNorm 7.2 station
Batamaj	Batamaj	Russian Federation	MeteoNorm 7.2 station
Batman MN72.SIT	Batman	Turkey	Meteonorm 7.2 (2003-2010), Sat=91%
Batman Nasa 1983.SIT	Batman	Turkey	NASA-SSE satellite data 1983-2005
Batsfjord	Batsfjord	Norway	MeteoNorm 7.2 station
Belfast/Aldergrove	Belfast/Aldergrove	United Kingdom	MeteoNorm 7.2 station
Belmullet Peninsula	Belmullet Peninsula	Ireland	MeteoNorm 7.2 station

İstenilen coğrafi konuma çift tıklanır.



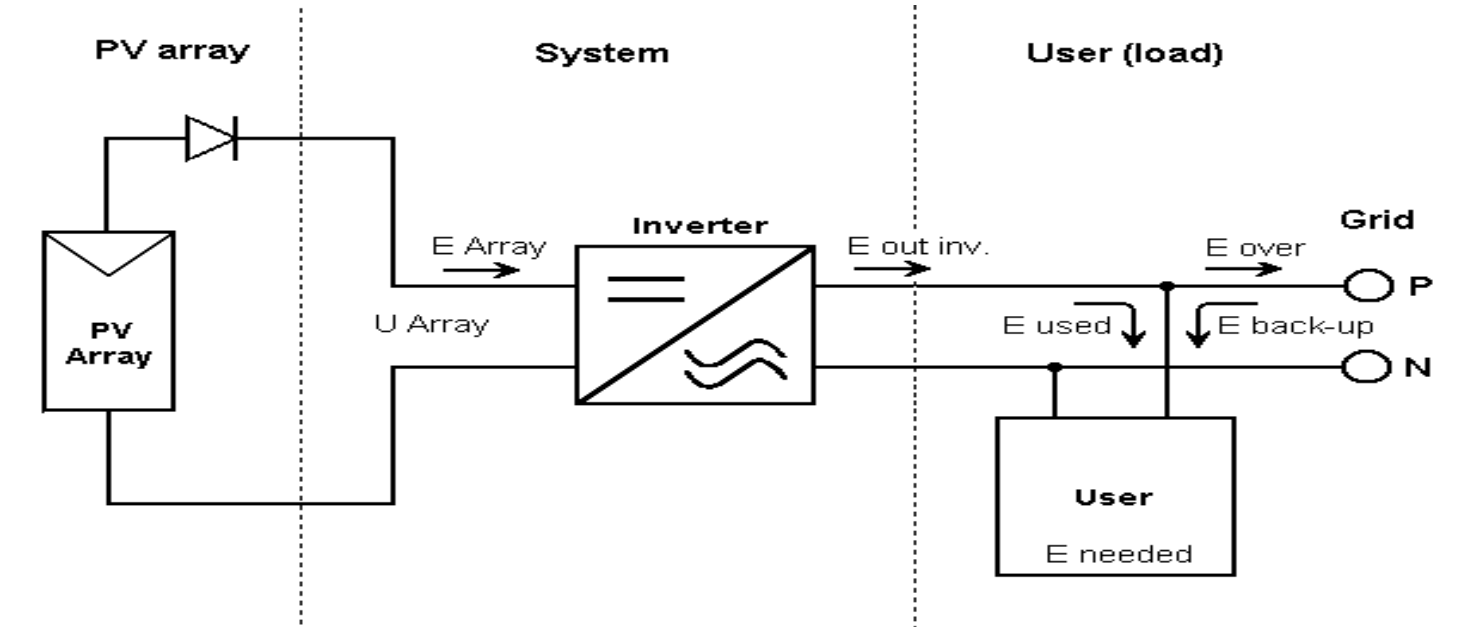
Şekil 9. Coğrafi koordinatlar giriş penceresi

İstenilen konum, Şekil 9'daki gibi belirlendikten sonra Import'a basılarak coğrafi konum bilgisi girilmiş olur.

Şekil 10. Coğrafi koordinatlar değerlerinin penceresi

6. Güneş PV Şebeke Sisteminin Tanımı

Şebekeye bağlı bir PV sistemi; güneş panelleri, inverterler, bir güç koşullandırma ünitesi ve şebeke bağlantı ekipmanından meydana gelmektedir. Enerji depolama için kayıplar meydana gelmeyeceğinden dolayı güneş enerjisinden üretilen gücün etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Önerilen model Şekil 11’de PV sistem yazılımı ile gösterilmiştir [15].



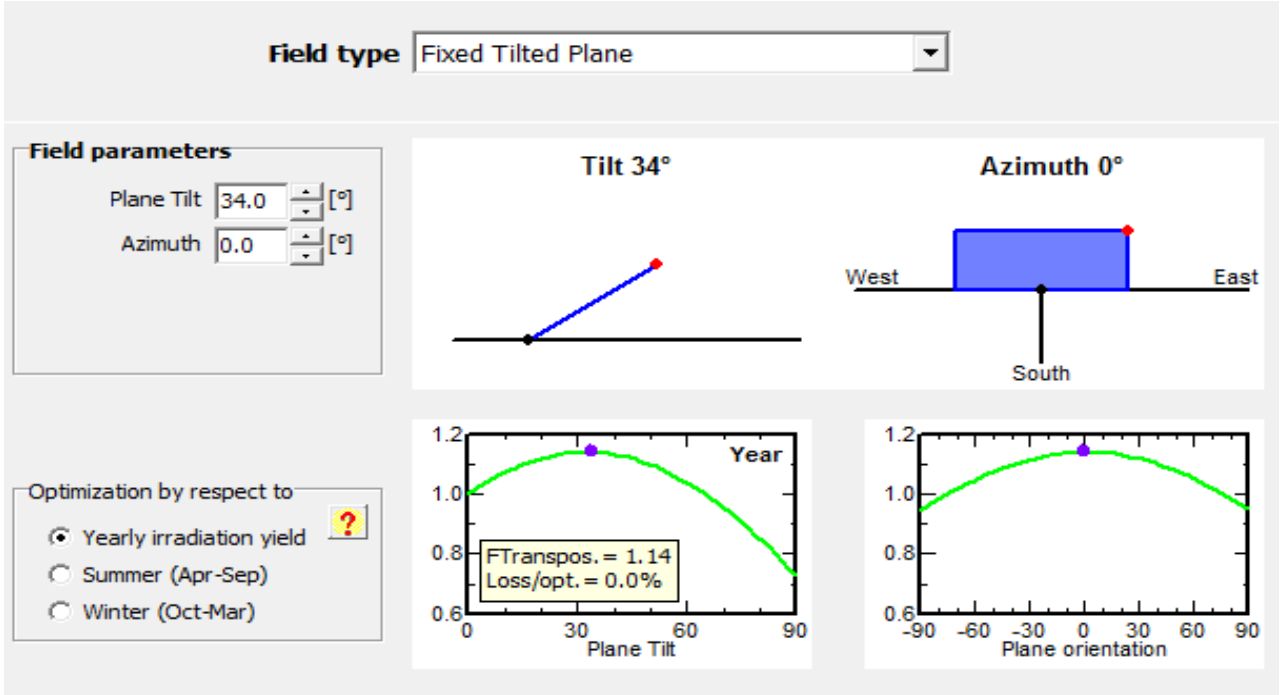
Şekil 11. Şebekeye bağlı PV sistemi

7. PV (Fotovoltaik) Sistemin Yönlendirmesi



Butonuna basılarak PV sistemin yönlendirilmesi yapılır. Batman iline ait coğrafi konum girilir ve azimut değeri sıfır oluncaya kadar enlem değeri değiştirilir.

Güneş azimut açısı, herhangi bir bölgede ve zamanda, Güneş'e doğru varsayılan doğrunun, yataydaki izdüşümünün güney doğrultusu ile arasında kalan açıdır [16].

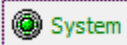


Şekil 12. PV Paneller için panel açısı ve Azimuth değer tablosu

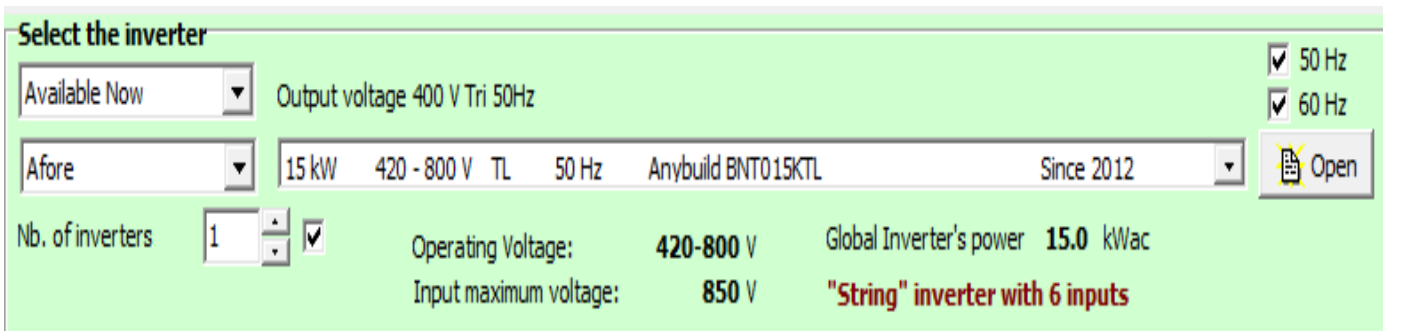
8. İnverter (Evirici) ve PV Panellerin Belirlenmesi

İnverter

Fotovoltaik paneller kullanılarak enerji elde edilmesi aşamasında evirici, alternatif enerjinin anlık olarak incelenmesi ve depolama işlemleri hassas bir şekilde yapılmalıdır. Şebekeye bağlı herhangi bir sistemde, doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için inverter gereklidir. İnverter, tasarım için PVsyst yazılımında çok önemli bir rol oynamaktadır [17-19].

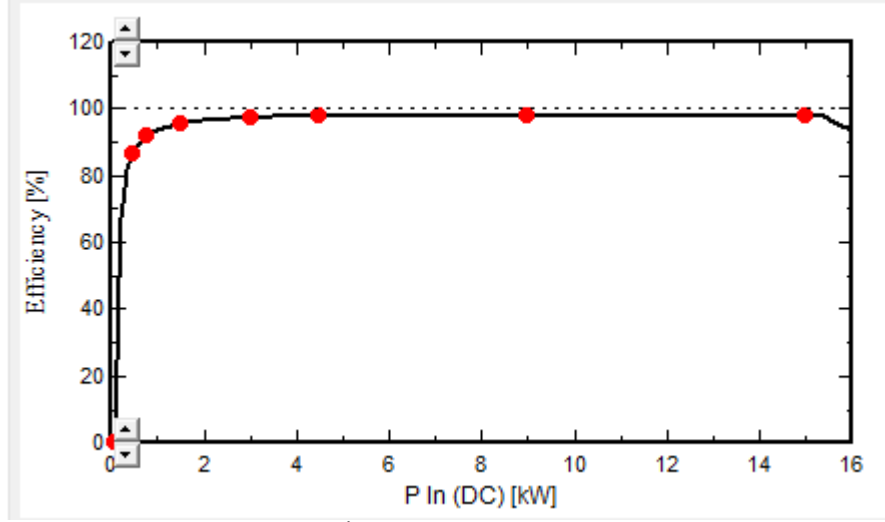


Butonuna tıklanır. Açılan pencereden Şekil 13'te görüldüğü gibi uygun inverter seçimi yapılır.



Şekil 13. İnverter Seçim Ekranı

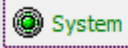
Seçilen inverterin verimlilik eğrisi Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. İnverter Verimlilik Eğrisi

9. Sistemde Kullanılacak PV Modülünün Belirlenmesi

PVsyst programında, sistem tasarlanırken planlanan güç veya pv modüllerin yerleştirileceği mevcut alan üzerinden hesaplama yapılabilir. Bu çalışmada, 30 kW olarak planlanmış kurulu güç değeri esas alınarak PV panel ve inverter seçimi yapılmıştır.



Butonuna tıklanır. Açılan pencereden Şekil 15’de görüldüğü gibi uygun PV panel seçimi yapılır.

Select the PV module

Available Now All PV modules Approx. needed modules **50**

Silfab

Use Optimizer Sizing voltages : V_{mpp} (60°C) **31.5 V**
V_{oc} (-10°C) **50.3 V**

Şekil 15. PV Modül Seçim Ekranı

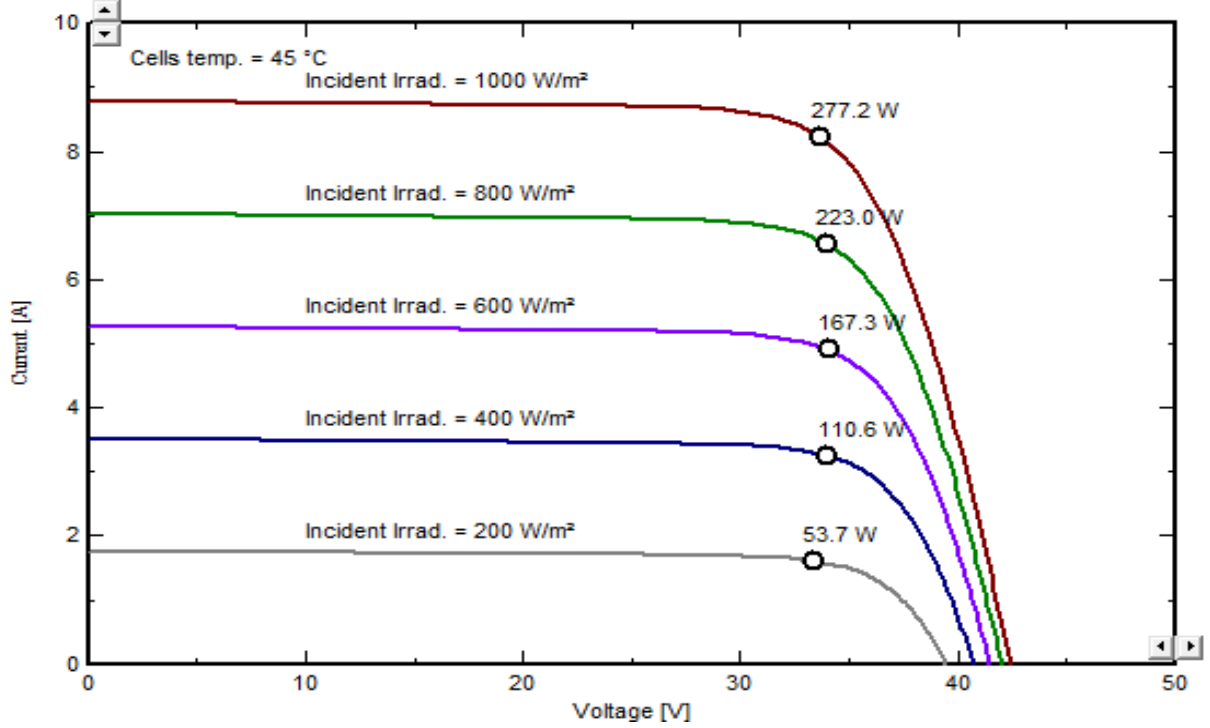
Seçilen panele ait özellikler Şekil 16’da verilmiştir.

Description Silfab, SLG 300P	
Module	
Length	<input type="text" value="1970"/> mm
Width	<input type="text" value="990"/> mm
Thickness	<input type="text" value="38.0"/> mm
Weight	<input type="text" value="23.00"/> kg
Module area	1.950 m²
Cells	
In series	<input type="text" value="72"/>
In parallel	<input type="text" value="1"/>
Cell area	<input type="text" value="243.4"/> cm ²
Total nb. cells	72
Cells area	1.752 m²

Şekil 16. Panel özellikleri

Şekil 17’de 300 Watt’lık bir yük için Silfab SLG 300P PV karakteristik eğrisini göstermektedir.

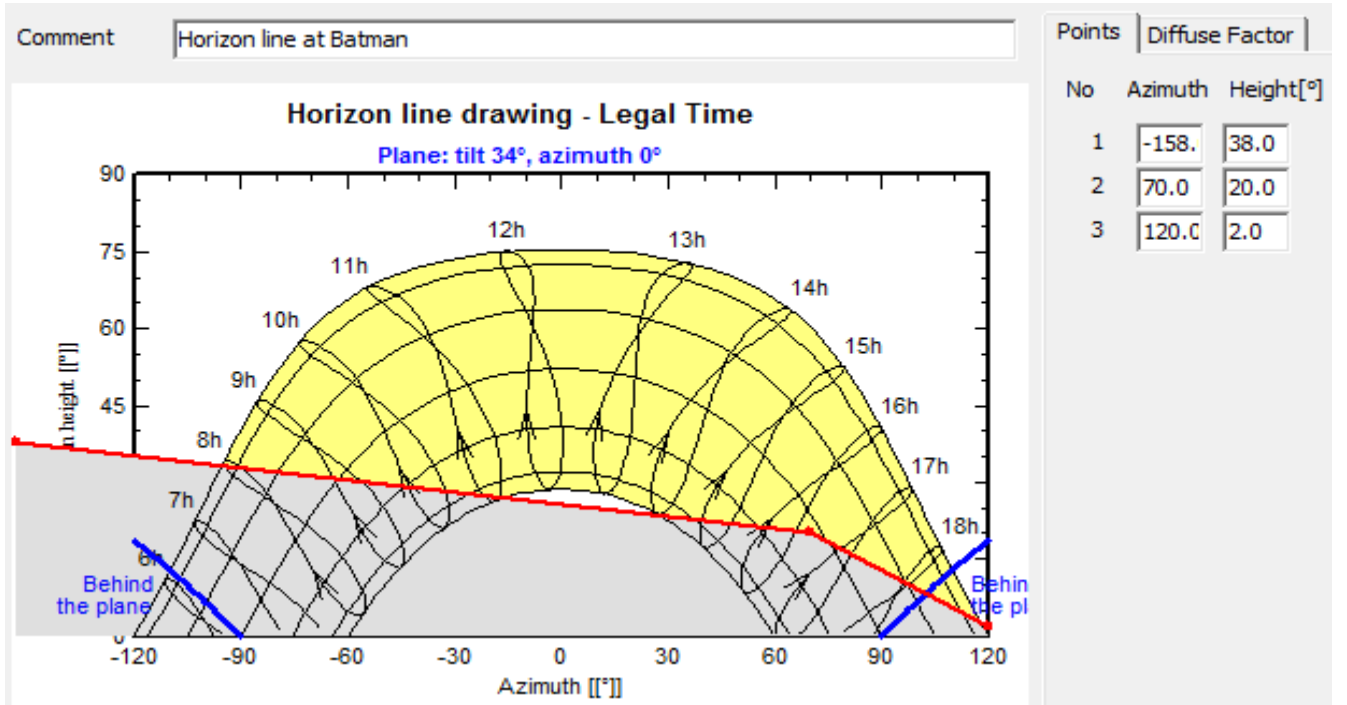
PV module: Silfab, SLG 300P



Şekil 17. PV Modül Karakteristik Eğrisi

10. PV Panel İçin Eğim ve Yönelim

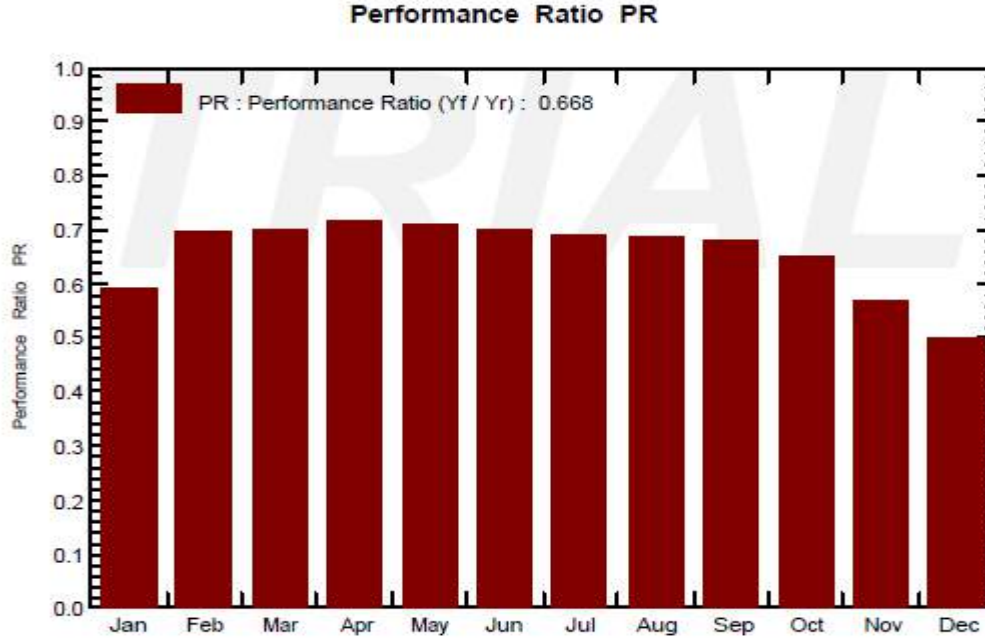
PV paneller, Batman ili için maksimum güneş ışınımı elde etmek için Şekil 18'deki güneş yoluna göre en iyi yönlendirme için optimize edilmiş ve Şekil 12'de gösterildiği gibi eğim açısının 34° ve Azimut açısının 0° olması gerektiği sonucu elde edilmiştir.



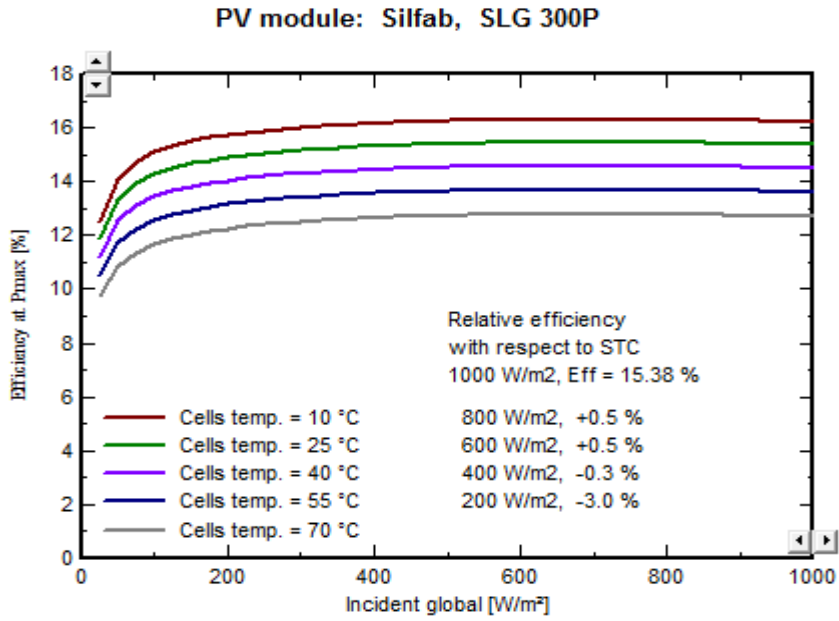
Şekil 18. Ufuk çizgi diyagramı

11. PVSyst Simülasyon Sonuçları

Şekil 19'da yılın her ayı için, olay enerjisinin performans oranının grafiksel bir temsilidir. Ortalama oran 0.668'dur.



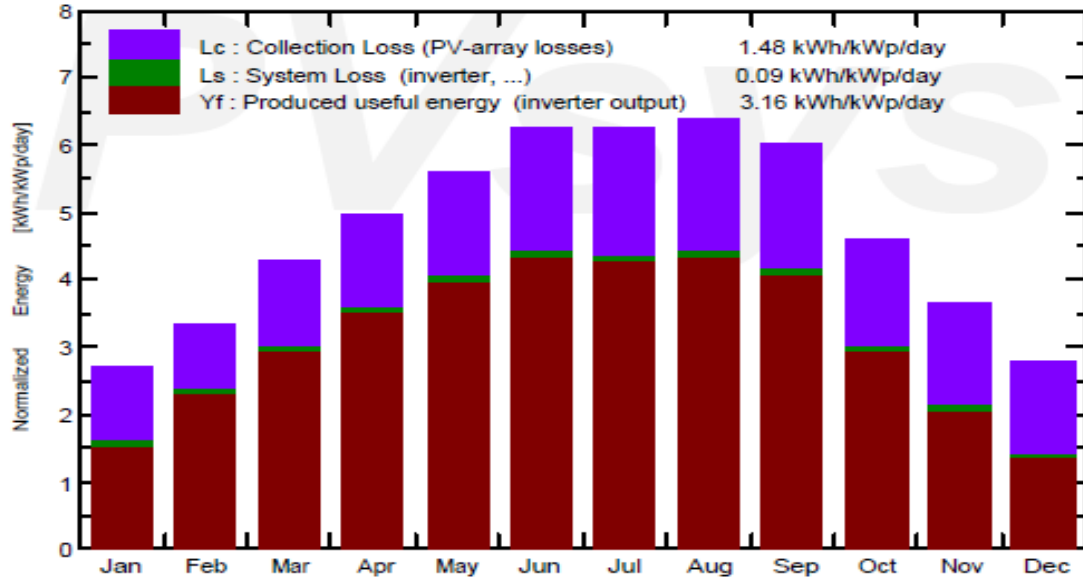
Şekil 19. performans oranı aylık değişim grafiği



Şekil 20. PV Hücre Sıcaklık/Verim Grafiği

Şekil 20'ye bakıldığında sıcaklığın yükselmesi sonucu PV hücrelerin veriminde düşme meydana geldiği görülmektedir.

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 30.6 kWp



Şekil 21. Normal üretim ve kayıp faktörler

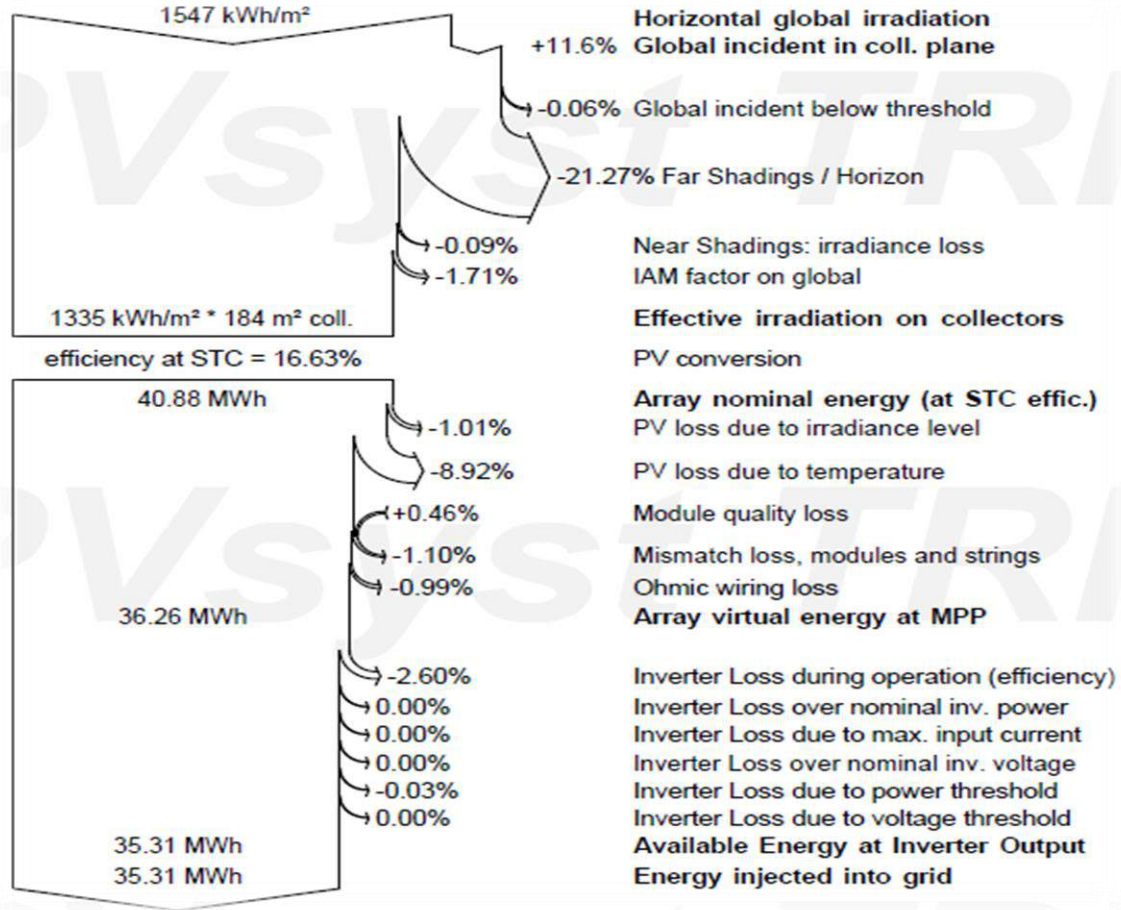
Şekil 21; yıl boyunca 4,3 (kWh / gün) toplam enerji çıkışını, 0,75 (KWh / gün) PV dizi kaybını ve 0,09 (KWh / gün) olan sistem veya inverter kayplarını temsil eder.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	55.6	30.97	2.36	82.7	52.0	1.537	1.488	0.588
February	70.5	37.76	4.69	93.5	70.1	2.043	1.985	0.693
March	112.8	63.69	9.98	132.3	101.2	2.907	2.831	0.699
April	140.9	70.72	14.18	148.6	118.6	3.331	3.245	0.714
May	181.6	78.18	19.97	173.8	142.8	3.882	3.783	0.711
June	204.5	83.91	27.06	187.3	154.7	4.099	3.998	0.697
July	207.4	73.34	31.89	193.4	162.8	4.172	4.068	0.687
August	192.9	72.86	31.09	197.3	164.1	4.232	4.130	0.684
September	153.4	53.80	25.07	179.8	146.5	3.841	3.747	0.681
October	103.7	43.08	18.94	141.6	105.9	2.883	2.808	0.648
November	70.1	29.31	9.94	110.0	69.5	1.970	1.912	0.568
December	53.6	26.29	4.58	86.1	46.8	1.364	1.317	0.500
Year	1547.1	663.90	16.72	1726.4	1334.9	36.261	35.310	0.668

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation
 T_Amb T amb.
 GlobInc Global incident in coll. plane
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 EArray Effective energy at the output of the array
 E_Grid Energy injected into grid
 PR Performance Ratio

Şekil 22. Genel sonuçlar



Şekil 23. Tüm yıl boyunca kayıp diyagramı

12. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan Batman şehrinin güneş enerji potansiyeli araştırılmıştır. Çalışmada, güneş enerjisinin şehir ekonomisine katkı sağlaması amacıyla; bu potansiyelin elektrik üretiminde, hidroelektrik enerjiye alternatif olarak nasıl işletilebileceği üzerine araştırma çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada PVsyst yazılım programı kullanılmıştır. Türkiye güneş enerjisi bakımından Dünya'nın en zengin bölgeleri arasında yer almasına karşın PV santral yatırımları oldukça az olduğu yapılan kapsamlı literatür çalışmaları sonucunda gözlenmiştir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada PV sistemler üzerinde yoğunlaşmış, Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Batman ilinin mevcut güneş enerjisi potansiyelini kullanmak, yaygınlaştırmak ve çatı tipi bir PV sistem tasarımının nasıl yapılacağını akademik çalışma olarak göstermek amaçlanmıştır.

Bu bağlamda, Batman'da bulunan bir okulun çatısına uygulanması düşünülen yerin coğrafi konumu PVsyst programında işaretlenmiş ve bölgenin meteoroloji verileri, simülasyon aracının sunduğu Meteororm 7.2 veritabanından sentetik olarak üretilmiştir. Simülasyon aracının sağladığı meteoroloji verileri ile YEGM'den sağlanan veriler arasında çok fark olmadığı görülmüştür. Uygulanması düşünülen bu PV sistemin gerçekleştirilmesi durumunda ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağı PVsyst simülasyon programı üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca okulda üretilen 35.31 MWh-yıl enerji şebekeye satılarak okul için gelir elde edilmesi planlanmıştır. Yapılan çalışma gösteriyor ki PV sisteminden elektrik üretimi Batman ili için iyi bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır. Sistemin tasarlandığı yerlerin enerji ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, sistemin bu ihtiyacın ne kadarını karşıladığı ölçülebilir ve maliyet analizleri yapılabilir. Bu çalışma referans alınarak, bu konum için daha büyük kapasiteli sistemler tasarlanabilir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerjinin önemi ve coğrafi konum olarak enerji potansiyeli yüksek olan bölgelere PV sistemler kullanılarak temiz enerji elde edilmesinin önemine dikkatlerin çekilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma için belirlenen yerin bir okul olmasının hem öğrencilere vizyon anlamında katkı sağlaması hem de dünyanın enerji konusunda göz ardı edemeyeceği güneş enerjisine eğilim konusunda çok önemli bir yere sahip olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma için örnek bir bölge için kurulması planlanan PV güneş enerji sistemiyle elektrik enerjisi üretimi için analiz ve tasarım çalışması yapılmıştır. Bu çalışma göstermiştir ki farklı güç ve koşullara göre bu çalışma baz alınarak farklı uygulamalar için faydalı olacak bir çalışma olması amaçlanmaktadır.

13. Teşekkür

Bu makalenin yazarları, verilen destekten dolayı Siirt Üniversitesi Otomasyon ve Kontrol Sistemleri Laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederler.

14. Kaynakça

- [1] Kandilli, İ., Güven, A., Karakaş, E., & Kuncan, M. (2016, October). Güneş enerjisi kullanılarak sulama sistemleri için yeni bilgi tabanlı model, new knowledge-based model for irrigation systems with solar energy. 1. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (IMSEC 2016), 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016).
- [2] Yadav, P., Kumar, N., & Chandel, S. S. (2015, April). Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst. In *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)* (pp. 0358-0363). IEEE.
- [3] Bulut, N., Kuncan, M., & Horoz, S. (2018, August). Türkiye’de Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları ve Siirt Güneş Enerji Potansiyeli. *Ahtamara 1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Tam Metin Kitabı*. Gevaş, Van (pp. 1315-1319).
- [4] Kandilli, İ., Minaz, M.R., Kuncan, M., & Kuncan, F. (2017, October). Güneş Enerjisiyle Arabalarda Soğutma ve Isıtma Sisteminin Tasarımı. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis)* (pp. 365-370)
- [5] Ayım-Otu, B., Kuncan, M., Horoz, S. (2019). Research on Renewable Energy (Solar) in Ghana. *Uluslararası Bilim ve Mühendislik Sempozyumu*, Siirt.
- [6] Kandilli, İ., Karakaş, E., & Kuncan, M.(2017). Solar Powered Boat Design. 8. *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ.
- [7] <http://www.yegm.gov.tr/anasayfa.aspx>, (ziyaret tarihi: 08.01.2020).
- [8] <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=663>, (ziyaret tarihi: 28.01.2020).
- [9] <https://muhendistan.com/fotovoltaiik-sistemler-nedir/>, (ziyaret tarihi: 29.01.2020).
- [10] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, (ziyaret tarihi: 08.01.2020).
- [11] <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>, (ziyaret tarihi: 08.01.2020).
- [12] <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/72.aspx>, (ziyaret Tarihi: 29.01.2020).
- [13] <https://batman.ktb.gov.tr/TR-56576/cografya.html>, (ziyaret Tarihi: 29.01.2020).
- [14] Aksangör, N.N. (2019). Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin PVsyst Programı Yardımı İle Performans Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [15] Saraswat, R. (2016, July). Comparative performance evaluation of solar PV modules from different manufacturers in India by using PVsyst. In *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)* (pp. 1-3). IEEE.
- [16] Soualmia, A., & Chenni, R. (2016, November). Modeling and simulation of 15MW grid-connected photovoltaic system using PVsyst software. In *2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 702-705). IEEE.
- [17] https://akhisarmy.mcbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf, (ziyaret tarihi: 29.01.2020).
- [18] Sharma, S., Kurian, C. P., & Paragond, L. S. (2018, March). Solar PV system design using PVsyst: a case study of an academic Institute. In *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)* (pp. 123-128). IEEE.
- [19] Erdoğan, Y., Dinçler, T., Kuncan, M., & Ertunç, H. M. (2014). Güneş panelleri için yüksek verimli maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) tasarımı. Türk Otomatik Kontrol Toplantısı, Kocaeli-Türkiye, 1055-1060.



Büyük Verinin İnteraktif Görselleştirilmesi: Tableau Üzerine Öğrenci Deneyimleri

Süleyman Eken^{1*}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9488-908X)

(İlk Geliş Tarihi 16 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 7 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.659823)

ATIF/REFERENCE: Eken, S. (2020). Büyük Verinin İnteraktif Görselleştirilmesi: Tableau Üzerine Öğrenci Deneyimleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 262-271.

Öz

Büyük veri görselleştirme, büyük veri kümelerinin önemini daha iyi ifade etmek ve veriler içindeki gizli desenleri ortaya çıkarmak için görsel öğelerin kullanımını tanımlar. Veri görselleştirme; grafikler, çizgeler, haritalar, tablolar veya çeşitli öğeler şeklinde olabilir. İnteraktif görselleştirme ise birden çok görsel arasında bağlantı kurmak ve bir görsel üzerinde direkt işlem yapılmasını sağlar. Veri görselleştirme; karar vericilerin özellikle istatistiksel analiz veya bilgisayar biliminde geçmişi olmayanların, analitik verileri hızlı ve etkili bir şekilde kavramasını mümkün kılar. Bu çalışmada 2018-2019 Bahar döneminde Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde verilen "Büyük Veri Analizine Giriş" dersi kapsamında yapılan Tableau kullanarak büyük verilerin interaktif olarak görselleştirilmesi durum çalışmasından bahsedilmiştir. Farklı veri kümeleri üzerinde değerli bilgilerin çıkarılması, görsellerin birbirleriyle ilişkilendirilmesi, grafikler üzerinde gruplama, filtreleme ve aksiyon gerçekleştirme, pano üzerinde birden fazla görsel yerleştirme ve etkileşimli özgeçmiş hazırlama gibi tecrübeler elde edilmiştir. Ders sonrası yapılan tartışmaya göre bazı öğrencilerin iş zekâsı alanında çalışma yönelimleri olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Görsel analitik, interaktif görselleştirme, büyük veri analitiği, bilgi görselleştirme, interaktif özgeçmiş, coğrafi görselleştirme, metin görselleştirme, keşifsel veri analizi.

Interactive Visualization of Big Data: Student Experiences on Tableau

Abstract

Data visualization describes the use of visual elements to better express the significance of massive datasets and to uncover hidden data patterns. Data visualization can take the form of charts, graphs, maps, tables, or different elements. However, interactive data visualization enables direct actions on a plot to change elements and link between multiple plots. Data visualization makes it possible for decision makers, particularly those without a background in statistical analysis or computer science, to quickly and effectively comprehend analytical data. In this study, a case study on interactive visualization of big data by using Tableau within the scope of "Introduction to Big Data Analysis" course given in Computer Engineering Department at Kocaeli University in 2018-2019 Spring semester was discussed. Experiences such as extracting valuable information on different datasets, linking plots with each other, grouping, filtering and action implementation on graphics, multiple visual placement on the dashboard and preparing interactive resumes have been gained. According to the discussion after the lesson, it was seen that some students had the desire to work in the field of business intelligence.

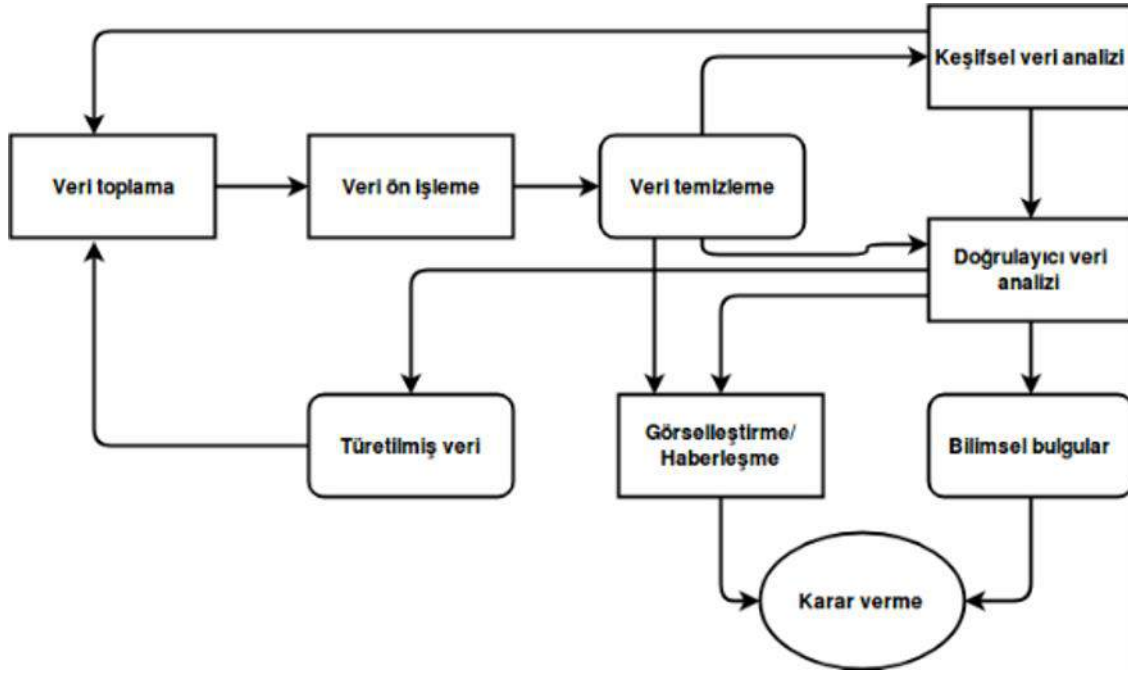
Keywords: Visual analytics, interactive visualization, big data analytics, information visualization, interactive resume, geovisualization, text visualization, exploratory data analysis.

* Sorumlu Yazar: Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9488-908X, suleyman.eken@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

Görselleştirme, klasik olarak verileri grafiksel olarak gösterme süreci olarak tanımlanır. Aynı verileri temsil etmenin çok farklı yolları vardır: dağılım (scatter) grafikleri, doğrusal (linear) grafikler, çubuk (bar) grafikler ve pasta (pie) grafikler. Ayrıca, aynı temsil tipini kullanan aynı veriler, şekle bakımlara bağlı olarak çok farklı algılanabilir. Görselleştirme asıl olarak insanlar ve veriler arasında grafiksel bir arayüz sağlamaktadır. Görselleştirme son yıllarda verileri güzelleştirme sanatı olarak algılanmaktadır. Veri görselleştirme uzmanları ve sanatçılar her gün veri tasarımı dünyasında şartıcı şeyler ortaya koymaktadırlar. Veri görselleştirme yeni bir çalışma alanı da değildir ve birçok farklı alandaki verileri görselleştirmek için önemli bir araçtır (Friendly, 2008; Eken ve Kumru, 2014; Ulvi vd., 2013; Eken vd. 2012). Teknik olarak veri görselleştirme; veri sanatı, infografik ve veri panolarını (data dashboards) kapsar.

Şekil 1’de de görüldüğü üzere veri görselleştirme, sonuçların gösterilmesi açısından en efektif bir yoldur (Tuft, 2001). Son yıllarda araştırmacılar veri görselleştirme adımının son ürüne uygulanmasından ziyade veri bilimi sürecindeki her bir adıma uygulanabileceğini söylemişlerdir. Her bir veri bilimi süreci adımı ile ilgili görsel çıkarım ve yorumlama yapmak mümkün olup görselleştirme sonrası adımlar için karar alma ve kritik işlerin yapılması mümkün olmaktadır (Fox ve Hendler, 2011). Dağılım grafikleri, kutu grafikleri, histogramlar, gövde ve yaprak grafikleri ve daha fazlası gibi birçok görselleştirme tekniği geliştirilmiştir. Disiplinlerarası çalışmalarda keşifsel veri analizi (Exploratory Data Analysis, EDA) için başka görselleştirme teknikleri de uygulanabilir. Zihin haritaları (Buzan ve Griffiths, 2013), kavramsal haritalar (Novak ve Cañas, 2006) ve iş akışı görselleştirmeleri (Mou vd., 2017) bunlardan birkaçıdır. Bu görselleştirme tekniklerinin kullanılmasıyla farklı disiplinlerden gelen araştırmacılar; incelenen konuyu hızlı bir şekilde öğrenebilir, veri kümeleri hakkında fikir edinebilir ve incelenen konunun odaklandığı hipotezlerini tartışabilir, veri kümeleri hakkında öngörü kazanabilir ve hipotezleri tartışabilir (Tansley ve Tolle, 2009; Ma, 2017).



Şekil 1. Veri bilimi sürecindeki temel adımlar

Ayrıca veri görselleştirmede kullanıcının görselle etkileşime geçip geçmemesine göre statik ve interaktif/etkileşimli görselleştirmeden bahsetmek mümkündür. Statik görselleştirmeler genellikle internette yayınlanan veya bildiriler olarak basılan infografikler olarak görülür. Genellikle belirli bir veri hikayesine odaklanan kullanıcılar, önlerinde bulunanların ötesindeki ek hikayeleri keşfetmek için tek bir görünümün ötesine geçemezler. Hikaye, özellikle ilgi çekici bir tek sayfa düzeninde yakalanır. İnteraktif görselleştirmeler internette yaygın olarak yalnızca uygulamalar olarak görülür. Kullanıcılar seçtikleri görselleştirilmiş bir hikayeyi oluşturmak için belirli veri noktalarını seçebilirler. Veri görselleştirme uygulamaları olarak daha iyi bilinen bu görselleştirmeler, kullanıcının seçtikleri bir hikaye oluşturarak veri görselleştirme sürecinin bir parçası olmasına izin verir (Herman vd., 2018). Hedef müşteri, veri hikayesi ve yatırım getirisi/karlılığı gibi parametreler hangisinin kullanılacağını bulmaya yardımcı olabilecek önemli göstergelerdir. Somut olarak etkileşimli görselleştirme sistemleri, kullanıcıların aşağıdaki işlevler aracılığıyla bilgilerle etkileşime girmelerini sağlar (Zudilova-Seinstra vd., 2009; Murray, 2017):

- ◆ Şekil, renk, sınırlar ve örnekleme hızı gibi görselleştirme parametrelerini/niteliklerini iyileştirme (refine),
- ◆ Seçim, çeviri, döndürme, ölçeklendirme, toplama ve bir zaman yolunu takip etme gibi temel manipülasyon görevleri vasıtasıyla görselleştirilmiş nesnelere etkileşim kurma (interact),
- ◆ Kırpma ve ayırıştırma yoluyla veri kümesi içinden istenilen bilgi parçalarını çıkararak filtreleme (filter),
- ◆ Aynı veri kümesinin birden fazla alternatifi ve/veya temsili arasında dönüşüm yapma (transform).

İnteraktif görselleştirmenin mevcut uygulamaları, kullanıcıların temel grafik parametrelerini daha karmaşık çoklu-algılamalı görselleştirme sistemlerine yönlendirmelerini sağlayan basit araçlardan oluşmaktadır. Temel etkileşim, kullanıcıların seçim, ölçeklendirme, toplama, filtreleme vb. temel komutlarla büyük veri kümeleri ile etkileşime girdiği yayıncılık ve eğitim alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Washington Post, 2019; Gapminder, 2019). Daha gelişmiş İnteraktif görselleştirme uygulamaları, insan duyu sisteminin tam spektrumundan faydalanmasına izin verir ve sanal gerçeklik (VR) (Tamayo vd., 2018), çok biçimli (multimodal) görselleştirme sistemleri (MSS) (Srinivasan vd., 2018) ve artırılmış gerçeklik (AR) içerir (Büschel vd., 2018).

Makalenin geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir: 2. bölümde açık kaynak ve ticari interaktif büyük veri görselleştirme araçlarından bahsedilmiştir. 3. bölümde 2018-2019 Bahar döneminde Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde verilen "Büyük Veri Analizine Giriş" dersi (Ders kaynakları, 2019) kapsamında yapılan Tableau kullanarak büyük verilerin interaktif olarak görselleştirilmesi durum çalışmalarından bahsedilmiştir. 4. bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. Büyük Veri Görselleştirme Araçları

Büyük veri analitiği ve görselleştirme araçlarına girişimci ve araştırmacıların göstermiş olduğu büyük ilgi neticesinde bu bölümde, büyük veri kümesini görselleştirmek için kullanılacak doğru aracı bulmaya yönelik bir takım araçlardan bahsedilmiştir (Caldarola vd., 2015). Büyük veriyi görselleştirme için kullanılan araçlar şu ana başlıklar altında kategorize edilebilir: kapsam, görselleştirme yapısı, işletim sistemi, lisans, ölçeklenebilirlik, genişleyebilirlik (Caldarola ve Rinaldi, 2017).

Kapsam kategorisinde aracın daha çok tek başına masaüstü sunum veya ağ tabanlı uygulamalar için mi yoksa yazılım kütüphaneleri veya programlama dili modülleri için mi geliştirildiğine bakılır. Görselleştirme yapısında, aracın ne tür grafiksel nesnelere ve görsel bileşenler için uygun olduğu değerlendirilir. Bazı araçlar sadece bir grafiksel nesne için tasarlanmışken bazıları birden fazla görsel türünü destekleyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Aracın üzerinde çalıştığı işletim sistemi (örneğin; Linux, Windows, Mac OS X) de yine ele alınan konulardandır. Lisans kriterinde aracın ticari veya açık kaynak lisansları (Apache License, GNU GPL, vb.) ile lisanslanmasına bakılır. Ölçeklenebilirlik kriteri, çok büyük veri kümesini desteklemek için araçların yatay olarak ölçeklendirme (sisteme yeni düğüm/bilgisayar ekleme veya çıkarma) mekanizmaları hakkındadır. Bazı araçlar Apache Hadoop gibi çok büyük veri kümelerini işleme kapasitesine sahip uygulama çerçevesine bağlanabilme veya bulut sistemi kullanabilme kapasitesine sahiptir. Genişleyebilirlik altında araçların yeni eklentilerle genişletilebilmesi veya var olan depolama birimlerine bağlanabilmesi incelenir. Örneğin bazı araçlar spesifik yollarla Matlab ve R'a bağlanabilir. Görselleştirme araçları; grafik türlerine, ücretli veya ticari olmalarına ve programlama gerektirip gerektirmemesine göre Tablo 1'de özetlenmiştir.

2018-2019 Bahar döneminde Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde verilen "Büyük Veri Analizine Giriş" dersi kapsamında, programlama gerektirmeyen ticari araçlardan Tableau ve geliştiriciler için tasarlanmış Seaborn ve matplotlib görselleştirme deneyimi için gösterilmiştir. Bu çalışmada ise interaktif görselleştirme sunan Tableau üzerinde durulmuştur. Tableau, hem ücretsiz sürümü hem de zengin ve interaktif veri görselleştirme olanakları ile veri görselleştirmeye ilgilenenler için vazgeçilmez araçlardan birisi. Bir business intelligence (iş zekâsı) yazılımı olarak Tableau, özel şirketlerden kamu kuruluşlarına bir çok alanda veri analizi ve veri görselleştirme amaçlı kullanılıyor.

Gartner analizleri, bilgi teknoloji ürünleri üzerinde araştırma ve tavsiyelerde bulunmaktadır. Büyük çaplı şirketlerin bilgi teknoloji yöneticileri, kamu kuruluşları, teknoloji şirketleri tarafından takip edilen bir değerlendirme kuruluşudur. Teknoloji ürünü geliştirilmesi, alımı ve kullanımı sürecinde karar verme aşamasında başvurulabilecek önemli bir otoritedir (Gartner, 2019). Analitik ve iş zekâsı platformları üzerine 2018'de verilen Gartner raporuna göre Tableau Desktop, Tableau Server ve Tableau Online gibi ürünleri ilk sıralarda yer almaktadır (Gartner BI Report, 2019). Ders içinde interaktif görselleştirme amaçlı Tableau seçilmesinin motivasyonu da budur. Özellikle kullanım kolaylığı ile öne çıkan, bir çok ihtiyaç için halihazırda modülleri bulunan ve ek ihtiyaçlar için hızlıca çözümler geliştiren oldukça genç markalardan biridir. Tableau, sunmuş olduğu kullanım kolaylığı ve öğrenim eğrisinin düşük olması bakımından birçok farklı çevrenin sıklıkla kullanılmakta olduğu bir program haline gelmiştir. Tableau ile sunumlarda ve hazırlanan raporlarda farklı görselleştirme yöntemleriyle panolar aracılığıyla fark oluşturulabilir çalışmalar yapılabilir. Tableau ile verileri keşfetmek (explore), analiz etmek (analyze), sunmak (present) ve paylaşmak (share) mümkündür.

Ders için "Tableau for Teaching" programı kapsamında ders süresi boyunca yazılım lisansları alınmıştır. Tableau Desktop 10 versiyonu kullanılmıştır. Ders öncesinde öğrencilere uygulamanın web sitesinde yer alan "Classroom Training" bölümlerini gözden geçirmeleri tavsiye edilmiştir (Tableau Classroom Training, 2019). Derste ise Tableau ile ilgili olarak şu konular anlatılmıştır: Başlangıç ekranı ve temel İşlemler, ayırık ve sürekli kavramları, grafik çeşitleri, veriyi düzenleme, yükleme ve birleştirme, analitik panel, hesaplamalar (calculations), parametreler, filtreleme, pano, panolar üzerinde etkileşim sağlama (actions), hikaye oluşturma, farklı dosya türlerine bağlanma, veri hazırlama, çalışmaları mobil uyumlu hale getirme ve nete yayınlama. Takip eden bölümde öğrencilerin yapmış oldukları çalışmalardan örnek durum çalışmaları verilmiştir.

Tablo 1. Görselleştirme araçları

Programlama gerektirmeyen araçlar		
Çizim ve grafikler	Ücretsiz	RAWGraphs, ChartBlocks
	Ticari - Bireyler veya iş için	Tableau, Power BI, QlikView, Datawrapper, Visme
	Ticari - İşletmeler için	Grow, iCharts
	İnfografik	Infogram, Visual.ly
	Haritalar	InstantAtlas
	Ağ grafikleri	Gephi
	Matematiksel grafik	Wolfram Alpha
Geliştiriciler için olan araçlar		
Çizim ve grafikler	Ücretsiz	ECharts, D3.js, Plot.ly, Chart.js, Google Charts, Ember Charts, Chartist.js, Seaborn, matplotlib
	Ticari	Highcharts, FusionCharts, ZingChart
	Haritalar	Leaflet, OpenLayers, Kartograph, CARTO
	Ağ grafikleri	Sigma
	Finansal grafikler	dygraphs

3. Örnek Durum Çalışmaları

Öğrencilerin herkese açık veri kümelerine (public dataset) erişimlerini sağlama ve bu veri kümelerinden bir/birkaçı üzerinde Tableau kullanarak yukarıda anlatılan konuların pekiştirilmesi ve interaktif görselleştirmenin daha iyi öğrenilmesi için bir geri bildirim aktivitesi verilerek kendilerini değerlendirmeleri sağlanmıştır. Ayrıca iş bulma sürecinde çok büyük bir etkiye sahip olan özgeçmiş dokümanının interaktif olarak oluşturulması ile ilgili bir deneyim de ders kapsamında sağlanmıştır.

3.1. Herkese Açık Veri Kümesi Bulma ve İnteraktif Görselleştirme

Genelde lisans öğrencilerinin bir probleme yönelik herkese açık bir veri kümesi bulmaları çok zor olmakta ve buldukları veri kümesinin ise ne kadar işe yaracağını kestirememeleri bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek kaliteli veri kümeleri ararken dikkat edilmesi gereken birkaç husus şu şekilde özetlenebilir:

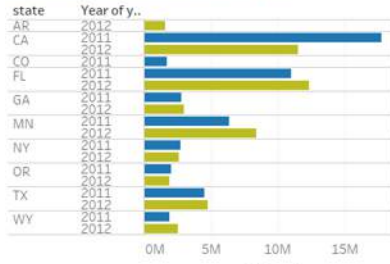
- ◆ Yüksek kalitede bir veri kümesi dağınık (messy) olmamalıdır; çünkü temizlik için çok fazla zaman harcamak gerekebilir.
- ◆ Yüksek kaliteli bir veri kümesinde çok fazla satır veya sütun olmamalıdır. Bu nedenle çalışması kolaydır.
- ◆ Veriler ne kadar temiz olursa büyük bir veri kümesinin temizlenmesi çok fazla zaman alabilir.
- ◆ Cevap aranan probleme çözümün elde edilecek veri kümesi ile olacağı unutulmamalıdır.

Ders kapsamında öğrencilere veri kümesi bulabilecekleri farklı web siteleri tanıtılmıştır: Google Dataset Search, Kaggle, UCI Machine Learning Repository, Data.gov, World Bank Open Data (The 50 best public dataset, 2019). İlgili kaynaklardan interaktif görselleştirme için en az bir tane veri kümesinin seçilmesi sağlanmıştır. İlgili veri kümeleri için Tableau üzerinde şu şekilde bir pano hazırlanması istenmiştir:

- a. En az dört farklı görselleştirme türü (örneğin, çubuk grafik, dağılım-scatterplot-grafiği, harita vb.) içersin.
- b. Her görselleştirme farklı ilişkileri göstermelidir.
- c. Her görselin mantıklı, değerli bilgileri içerecek şekilde olmasına dikkat ediniz.
- d. Grafiklerde grupta, filtreleme, aksiyonlar, hesaplamalar (veya daha fazlası) gibi bir takım konuların içermesini sağlayınız.

ABD’de bal üretimi ile ilgili bir veri kümesi (Kaggle, 2019) üzerinde yapılan interaktif görselleştirme sonucu Şekil 2’de verilmiştir. 1985-2016 yılları arasında intihar oranları üzerinde (Veri kümesi 1, 2019) yapılan interaktif görselleştirme sonucu Şekil 3’te verilmiştir. IMDB 5000 film veri kümesi üzerinde (Veri kümesi 2, 2019) yapılan interaktif görselleştirme sonucu Şekil 4’te verilmiştir.

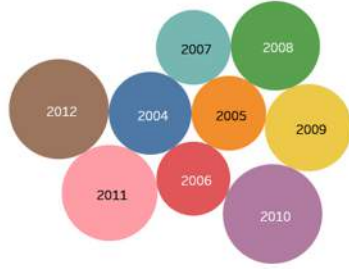
2011 ve 2012 yıllarında Amerikada 1.500.000 lbs üzerinde bal üretimi yapan 10 farklı eyalet



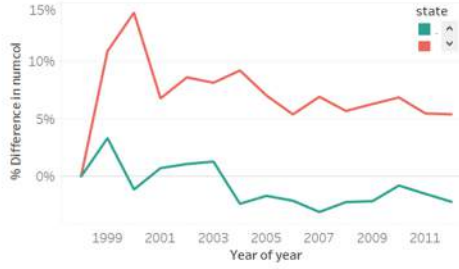
2010 yılında tüm eyaletlerdeki toplam stok miktarı



2004-2012 yıllarında ürünlerin tüm eyaletlerde ortalama ne kadara satıldığı



North Dakota ve California eyaletlerindeki toplam koloni sayısının yıllara göre karşılaştırması

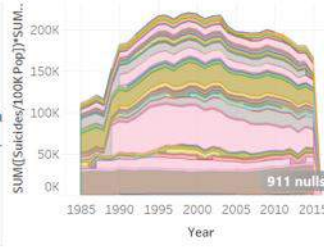


Şekil 2. ABD'de bal üretimi veri kümesi üzerinde interaktif görselleştirme

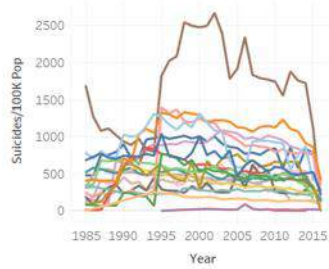
İntihar sayısı 80'den fazla olan ülkeler



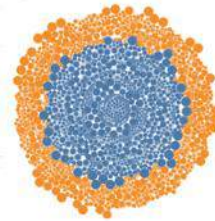
Yıllara göre ülkelerdeki intihar sayılarının ülke nüfusuna oranı



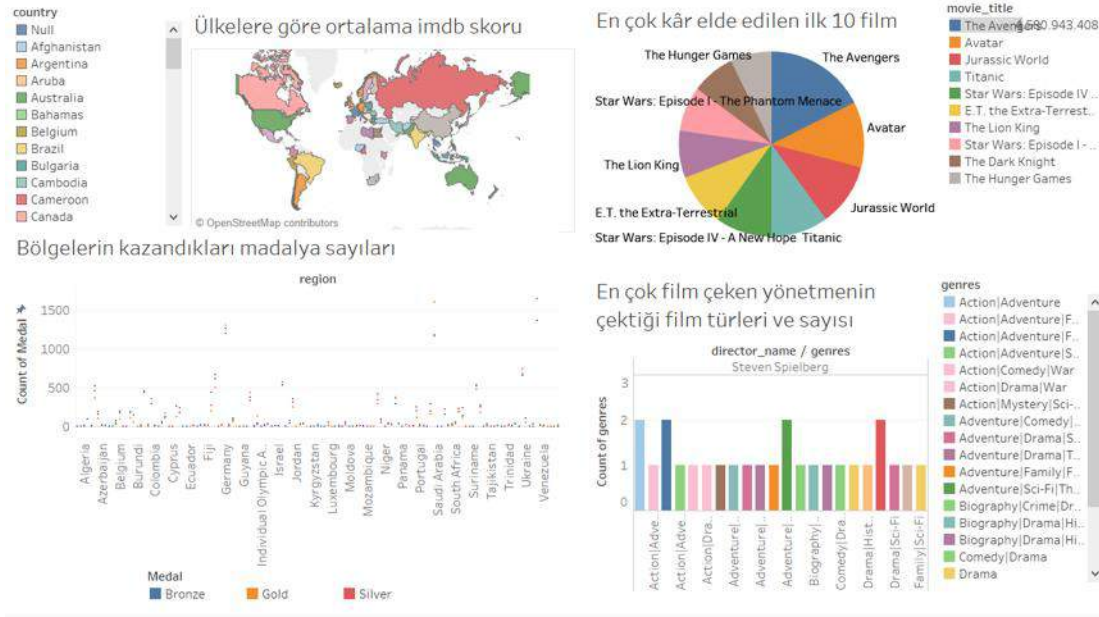
Yıllara göre intihar oranları



İntihar edenlerin cinsiyetlerine göre ayrımı



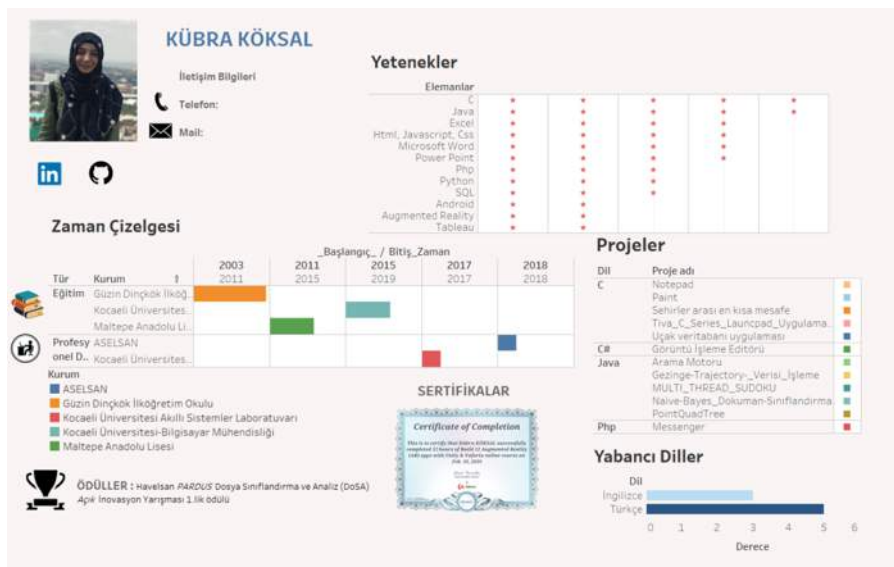
Şekil 3. İntihar oranları veri kümesi üzerinde interaktif görselleştirme

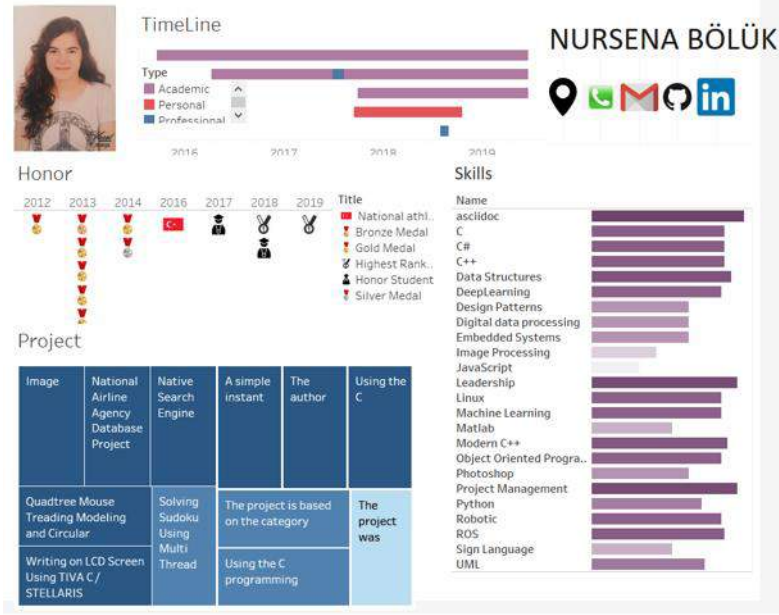


Şekil 4. IMDB 5000 veri kümesi üzerinde interaktif görselleştirme

3.2. İnteraktif Özgeçmiş Hazırlama

İşverenler her iş başvurusunu okumak için sadece altı saniye harcarlar. Bu nedenle özgeçmişin kalabalığın arasından sıyrılması önemlidir. Veri okuryazarlığının işyerinde en çok talep edilen becerilerden biri olduğu bir dünyada özgeçmişler bilgiyi net ve kullanışlı bir şekilde aktarma yeteneğini yansıtmalıdır. İnteraktif bir özgeçmişin potansiyel bir işveren için standart PDF veya Word belgesinden çok daha etkileyicidir. Eğitim veya tecrübeleri gösteren kronolojik bilgileri listelerden farklı olarak Gantt grafikleri ile zaman çizelgesi şeklinde vermek en önemli öğelere dikkat çekilmesini sağlamaktadır. İnceleyen kimse ilk bakışta kariyerinizin şeklini görebilir ve ardından detayları okumak için her bir çubuğun üzerinde gezinebilir. İnteraktif bir özgeçmiş ile daha sade bir tasarım ve detay arasında seçim yapmak zorunda kalınmamış olur. Tasarımı basit tutarak ve özgeçmişini inceleyen kimsenin istediğiniz gibi ayrıntılara dalmasına izin vermek için ipuçlarını kullanabilirsiniz. Ders kapsamında hazırlanan interaktif özgeçmişlerden bazıları Şekil 5'te verilmiştir. Tableau ile hazırlanmış diğer interaktif özgeçmişlere şuradan göz atabilirsiniz (Veri kümesi 3, 2019).



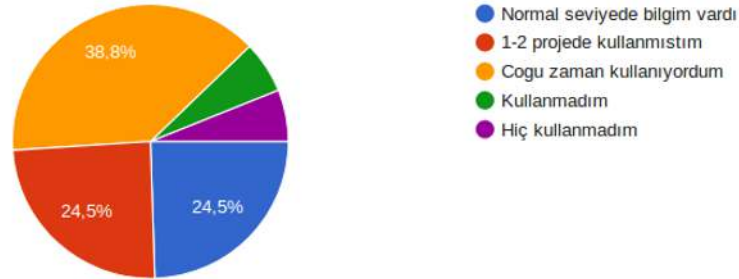


Şekil 5. (a) İnteraktif özgeçmiş örneği 1 (b) İnteraktif özgeçmiş örneği 2

3.3. Öğrenci Görüşleri

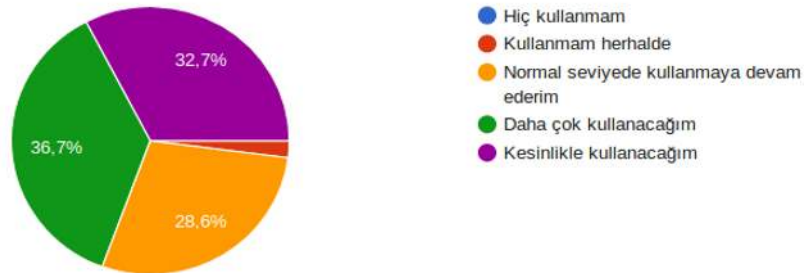
49 öğrenci ile ders sonrasında yapılan anket ve oranlar pasta grafik olarak aşağıda sunulmuştur.

Açık kaynak araçları/teknolojileri ders öncesindeki kullanma sıklığınız nedir?



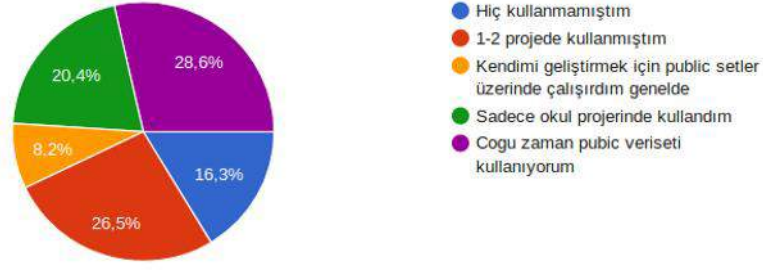
Şekil 6. Ders öncesi açık kaynak araç kullanım dağılımı

Açık kaynak araçları/teknolojileri ders sonrası kullanma sıklığınız ne olacak?



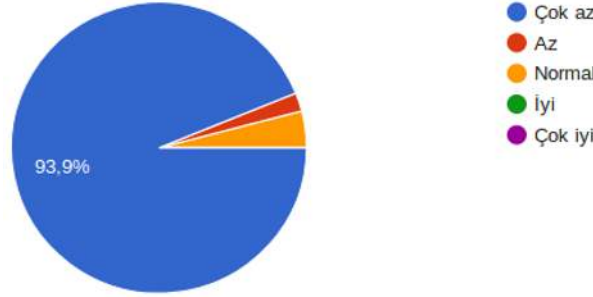
Şekil 7. Ders sonrası açık kaynak araç kullanım dağılımı

Ders öncesi herkese açık veri kümesi bulma ve kullanma seviyeniz ne idi?



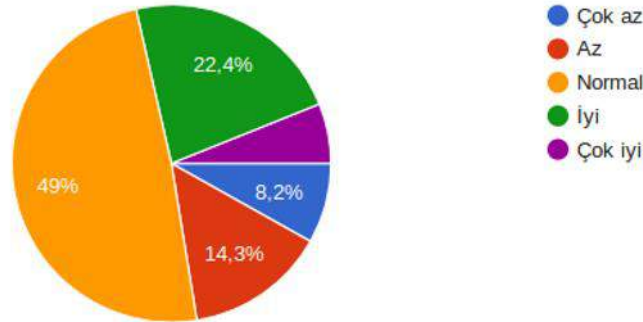
Şekil 8. Ders öncesi herkes açık veri kümesi üzerinde çalışma dağılımı

Ders öncesi Tableau kullanarak veri analizi ve görselleştirme yetkinliğiniz ne idi?



Şekil 9. Ders öncesi Tableau kullanma dağılımı

Ders sonrası Tableau kullanarak veri analizi ve görselleştirme yetkinliğiniz nedir?



Şekil 10. Ders sonrası Tableau kullanma dağılımı

Anket sonuçlarında da görüldüğü üzere öğrencilerin açık kaynak teknolojilerini kullanabilme, herkese açık veri kümesi bulabilme ve Tableau kullanarak veri analizi ve görselleştirme yetkinlikleri çok artmıştır. Özellikle görselleştirme ile ilgili yapılan öğrenci yorumlarından birkaçı aşağıdaki gibidir:

“Hocam ders kapsamı bakımından büyük veri ile ilgili birçok ihtiyacı karşılamaktadır. Ve her öğrencinin ilgisini çekebilecek konular vardır. Mesela Tableau benim çok hoşuma gitti. Boş kaldığım zamanlar Tableau ilgili çalışmalar yapmaya çalıştım.”

“Gerçekten öğrenmemiz sağlandı. Farklı farklı yerlerde görselleştirme yapabilmemiz, kod yazabilmemiz, dağıtık işlemler yapabilmemiz iş hayatı öncesi kendimize güvenimizi de artırdı. İnteraktif CV yapımı ise iş hayatımız için olumlu bir etken.”

4. Sonuç

Bu çalışmada, 2018-2019 Bahar döneminde Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde verilen "Büyük Veri Analizine Giriş" dersi kapsamında yapılan interaktif görselleştirme üzerinde durulmuştur. Genel olarak öğrencilerin şu konular üzerinde kazanım sağladıkları görülmüştür: Tableau ile farklı veri kümeleri arasında iletişim kurabilmeleri, veri kümesinin görselleştirme öncesinde düzenlenmesi, verinin farklı türden birçok grafik türü ile nasıl görselleştirileceği, interaktif harita kullanımı, interaktif veri analizi, interaktif özgeçmiş hazırlama, pano oluşturma ve kullanıcıya pano üzerindeki elementlerle etkileşim sağlanması, filtreleme ve bazı alanların vurgusunun yapılmasını sağlama vb. Lisans seviyesinde hem bilimsel hem de iş amaçlı olarak verilerin analizinin görsel bir şekilde yapılabileceğini göstermesi açısından çalışma önemlidir.

İleriye dönük olarak ders kapsamında işlenen tüm modülleri içerecek şekilde büyük veri kümelerinin nasıl analiz edileceğini ve herhangi bir şirketin ve organizasyonun karar alma sürecini iyileştirecek kalıpları tanımlamanın öğrenilmesinde faydalı olacak kişisel öğretim programı ve öğrenciler üzerinde yansımaları üzerinde bir çalışma yapılması planlanmaktadır.

Kaynakça

- Buzan, T., & Griffiths, C. (2013). *Mind Maps for Business 2nd edn: Using the ultimate thinking tool to revolutionise how you work*. Pearson UK.
- Büschel, W., Vogt, S., & Dachselt, R. (2018). Investigating link attributes of graph visualizations in mobile augmented reality. In *Proceedings of the CHI 2018 Workshop on Data Visualization on Mobile Devices. MobileVis* (Vol. 18).
- Caldarola, E. G., Picariello, A., & Castelluccia, D. (2015). Modern enterprises in the bubble: Why big data matters. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 40(1), 1-4.
- Caldarola, E. G., & Rinaldi, A. M. (2017). Big Data Visualization Tools: A Survey-The New Paradigms, Methodologies and Tools for Large Data Sets Visualization. In *DATA* (pp. 296-305).
- Eken, S. (2019) Büyük Veri Analizine Giriş Ders kaynakları. Erişim Adresi: https://piazza.com/kocaeli_university/spring2019/blm442/resources (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Eken, S., & Kumru, P. Y. (2014). Haritalar Üzerinde Suç Verilerinin Görüntülenmesi ve Analizinin Sağlanması: Kocaeli İli Örneği. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2014(3), 67-72.
- Eken, S., Türkoğlu, S., & Sayar, A. (2012). Integration of OpenGL Graphic Libraries with Spatial Database as an Analysis and Visualization Tool. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 11(3), 110-123.
- Fox, P., & Hendler, J. (2011). Changing the equation on scientific data visualization. *Science*, 331(6018), 705-708.
- Friendly, M. (2008). A brief history of data visualization. In *Handbook of data visualization* (pp. 15-56). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gapminder (2019). Erişim Adresi: <https://www.gapminder.org/tools/> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Gartner (2019). Erişim Adresi: <https://www.gartner.com/en> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Gartner BI Report (2019). Erişim Adresi: <https://www.gartner.com/reviews/market/analytics-business-intelligence-platforms> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Herman, L., Juřík, V., Stachon, Z., Vrbík, D., Russnák, J., & Řezník, T. (2018). Evaluation of User Performance in Interactive and Static 3D Maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(11), 415.
- Kaggle (2019). Erişim Adresi: <https://www.kaggle.com/jessicali9530/honey-production> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Lee, B., Srinivasan, A., Stasko, J., Tory, M., & Setlur, V. (2018, May). Multimodal interaction for data visualization. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces* (p. 11). ACM.
- Ma, X. (2017). Linked Geoscience Data in practice: Where W3C standards meet domain knowledge, data visualization and OGC standards. *Earth Science Informatics*, 10(4), 429-441.
- Mou, X., Jamil, H. M., & Ma, X. (2017, April). Visflow: A visual database integration and workflow querying system. In *2017 IEEE 33rd International Conference on Data Engineering (ICDE)* (pp. 1421-1422). IEEE.
- Murray, S. (2017). *Interactive data visualization for the web: an introduction to designing with*. " O'Reilly Media, Inc."
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006). The theory underlying concept maps and how to construct them. *Florida Institute for Human and Machine Cognition*, 1, 2006-2001.
- Schutt, R., & O'Neil, C. (2013). *Doing data science: Straight talk from the frontline*. O'Reilly Media, Inc..
- Tableau Classroom Training (2019). Erişim Adresi: <https://www.tableau.com/learn/classroom> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Tamayo, J. L. R., Hernández, M. B., & Gómez, H. G. (2018). Digital Data Visualization with Interactive and Virtual Reality Tools. Review of Current State of the Art and Proposal of a Model. *Revista ICONO14 Revista científica de Comunicación y Tecnologías emergentes*, 16(2), 40-65.
- Tansley, S., & Tolle, K. M. (2009). *The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery* (Vol. 1). A. J. Hey (Ed.). Redmond, WA: Microsoft research.
- The 50 best public dataset (2019). Erişim Adresi: <https://medium.com/towards-artificial-intelligence/the-50-best-public-datasets-for-machine-learning-d80e9f030279> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Tufte, E. R. (2001). *The visual display of quantitative information* (Vol. 2). Cheshire, CT: Graphics press.
- Ulvi, M., Eken, S., & Sayar, A. (2013). Service Oriented Visual Interpretation Tool for Times Series Data. *Anadolu University of Sciences & Technology-A: Applied Sciences & Engineering*, 14(3).

- Veri kümesi 1 (2019). Erişim Adresi: <https://www.kaggle.com/russellyates88/suicide-rates-overview-1985-to-2016> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Veri kümesi 2 (2019). Erişim Adresi: <https://www.kaggle.com/carolzhangdc/imdb-5000-movie-dataset> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Veri kümesi 3 (2019). Erişim Adresi: <https://public.tableau.com/en-us/s/interactive-resume-gallery> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Washington Post, A World Apart (2019). Erişim Adresi: <https://www.washingtonpost.com/sf/local/2013/11/09/washington-a-world-apart> (Erişim tarihi: 10 Aralık 2019)
- Zudilova-Seinstra, E., Adriaansen, T., & Van Liere, R. (2009). Overview of interactive visualisation. In Trends in Interactive Visualization (pp. 3-15). Springer, London.



Comparison of Risk Assessment Methods within the Scope of Occupational Safety in the Construction Sector

Muhammet Fatih Ak^{1*}

¹ Antalya Bilim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4342-296X)

(İlk Geliş Tarihi 6 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 23 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.670906)

ATIF/REFERENCE: Ak, M. F. (2020). Comparison of Risk Assessment Methods within the Scope of Occupational Safety in the Construction Sector. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 272-282.

Abstract

Occupational health and safety (OHS) history dates back to ancient human history due to a decrease the occupational accidents and diseases. Human is obliged to do work in order to sustain life. The works in general consist of the works done with body strength. OHS is a basis to reduce occupational accidents in an acceptable level, and it covers employee health, safety, and welfare in the workplace. There are certain or uncertain risks in terms of workplace structure and location. OHS investigates the actions to be taken to minimize these risks on the basis of workplace safety. Workers exposed to occupational hazards have a higher risk of developing work-related illnesses and injuries. Risk assessment is one of the most important structures in terms of identifying and evaluating the risks to which the employee and employer are exposed. Comparisons of risk assessment methods, which are divided into two categories as quantitative and qualitative, in the scope of occupational health and safety and the detailed analysis of the study, the differences between the methodologies have been revealed and accordingly, the and the necessary applications have been put forward.

Occupational safety risk assessment is mandatory for the implementation of risk control in the workplace, professional activities and protection of worker health. The employer can carry out this work in-house or by taking external services. The aim of this study is to compare the risk assessment methods used in the analysis of hazards and risks that may arise in terms of occupational health and safety and to evaluate their effectiveness in determining the measures to be taken as a result.

Keywords: Construction, Hazard Prevention, Occupational Safety, Risk Assessment

Risk Değerlendirme Metotlarının İnşaat Sektöründe İş Güvenliği Kapsamında Karşılaştırılması

Öz

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) iş kazalarının ve meslek hastalıklarının en düşük seviyeye indirgemeyi amaçlayan geçmişi insanlık tarihi ile paralel olan bir kavramdır. İşçinin sağlık, güvenlik ve refahı iş güvenliği kapsamındadır. İnsanoğlu geçmişten günümüze hayatını idame ettirebilmek adına iş yapmak mecburiyetinde kalmıştır. Yapılacak işler yapısı ve yerleşkesi itibariyle belirli veya belirsiz riskler barındırmaktadır. İSG temelinde bu risklerin minimum seviyede kalması için alınması gereken aksiyonları araştırmaktadır. Mesleki tehlikelere maruz kalan işçilerin işle ilgili hastalık ve yaralanma geliştirme riski daha yüksektir. Risk değerlendirmesi çalışan ve işverenin maruz kaldığı risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi açısından en önemli yapılardan birisidir. Nicel ve nitel olmak üzere iki kategoriye ayrılan risk değerlendirme metotlarının iş sağlığı ve güvenliği kapsamında karşılaştırılmaları de detaylı analizlerini içeren çalışmada metodolojiler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuş, buna bağlı olarak da uygulama aşamasında yapılması gerekenler ortaya konulmuştur.

İş güvenliği risk değerlendirmesi işyerinde risk kontrolünün uygulanması, mesleki faaliyetler ve işçi sağlığının korunması adına zorunlu niteliktedir. İşveren bu çalışmayı kendi bünyesinde yapabileceği gibi dışarıdan hizmet olarak da yaptırabilir. Bu çalışmanın amacı; iş sağlığı ve güvenliği açısından ortaya çıkabilecek tehlike ve risklerin analizinde kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması ve sonucunda alınması gereken önlemlerin belirlenmesinde etkinliklerini değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat, Tehlike Önleme, İş güvenliği, Risk Değerlendirmesi

* Sorumlu Yazar: Antalya Bilim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4342-296X, fatih.ak@antalya.edu.tr

1. Introduction

Work has always been and will always be one of the main and most important aspects of human life throughout the history. Work was a matter of literal survival; with the existence of human beings came to the responsibility of having to work to get food to stay alive, to have shelter for protection, to search for water, to stay warm, all the previous are tasks that require everyone to work. People spend most of their day at their work, they make, create, interact, react, do all kinds of activities, which consequently gives the workplace a high probability as a place where accidents could happen [1]. In order to control any dangers and eliminate hazardous situations, a set of ground rules has to be made that everyone could follow to ensure everyone’s safety and health. This set of rules should be well understood by people in the workplace, and it changes from one workplace to another depending on the present factors that could cause danger or accidents in the place [2]. Occupational health and safety regulations are much needed in this particular sector because construction industry is one of the most hazardous sectors when it comes to the safety of its workers; the workers carry on very labor-intensive work while being faced with many challenges that could be a source of danger or accident-causing. Almost all sector workers carry on very labor-intensive work to bring the desired, needed output [3]. They’re faced by many challenges and dangers in their workplace as they come in contact and interact with various different factors that might be a source of danger or accident-causing; whether these factors are machines, heights, weather or tools. Construction industry has a very high rate of accidents compared to other sectors due to several factors including heights, chemicals, heavy machinery and dangerous tools and equipment [4].

There are two kinds of risk assessment approaches which are reactive and proactive. Reactive approach is a traditional approach. In this approach, it is essential to investigate accidents and system disorders. Focuses on post-event review and reorganization. Proactive approach can be accepted as a contemporary approach. It focuses on examining the safety management system, risk assessment and safety culture rather than system malfunction. It focuses on pre-incident, employee and unsafe practices. From the above examples and explanations indicates that proper, accurate risk analyses regarding construction work are needed for the protection of workers who give too much to society and provide shelter [5].

Construction leads all industries in total worker deaths. More than %20 of fatal accidents at the workplace in the European zone took place within the construction sector while closely followed by the manufacturing sector, transportation and storage. Figure.1 shows total fatal injury rates in years between 2014-2017 while Figure.2 shows total fatal injury rates in the construction sector for the same period [6-8].

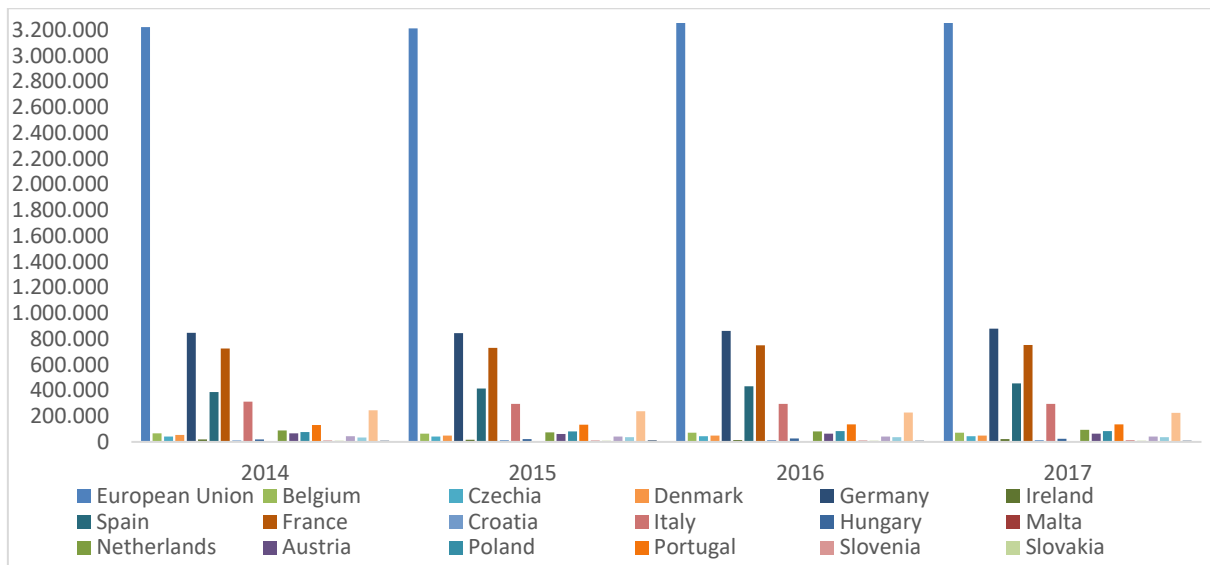


Figure 1. Fatal Injury Rates years between 2014-2015 in the EU-28 [7]

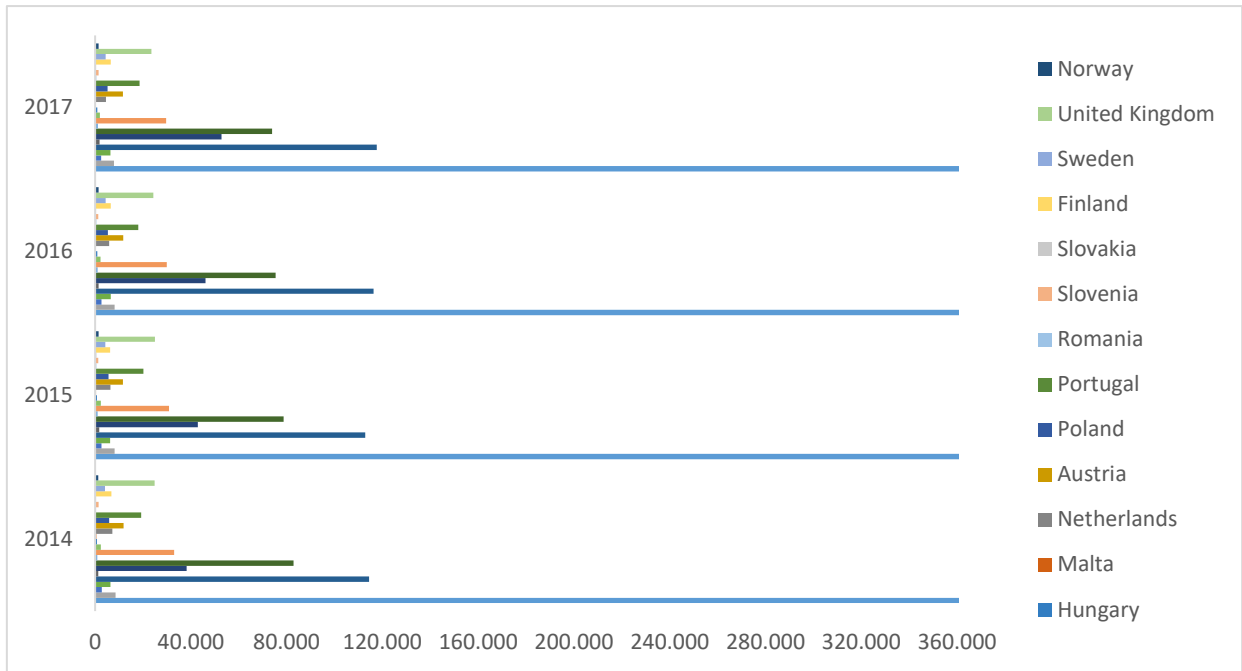


Figure 2. Construction Worker Fatalities and Injury Rates years between 2014-2015 [7]

The chart compares the fatal injury rates of different sectors in years between 2014-2017. It can be seen that all sectors witnessed inclination in the injury rates in the year 2015 except for construction sector, whose fatal injuries rates increased. Throughout the world it can be observed that construction industry has been accepted as very hazardous industry. Figure.2 shows the rates of accidents from 2014 to 2017 in the construction sector. We can see that the total fatal injuries as well as the fatal injury rate increased from 2014 to 2017. Falls, slips and trips have the highest rate of fatal injuries, which explain why in the previous chart roofers had the highest rate of injuries. The construction sector in Turkey ranks first in fatal accidents. Construction sector is classified as 'very hazardous' class where fatal occupational injuries occur more frequently. Figures 3 and 4 show the total number of accidents for Turkey in the construction sector by year.

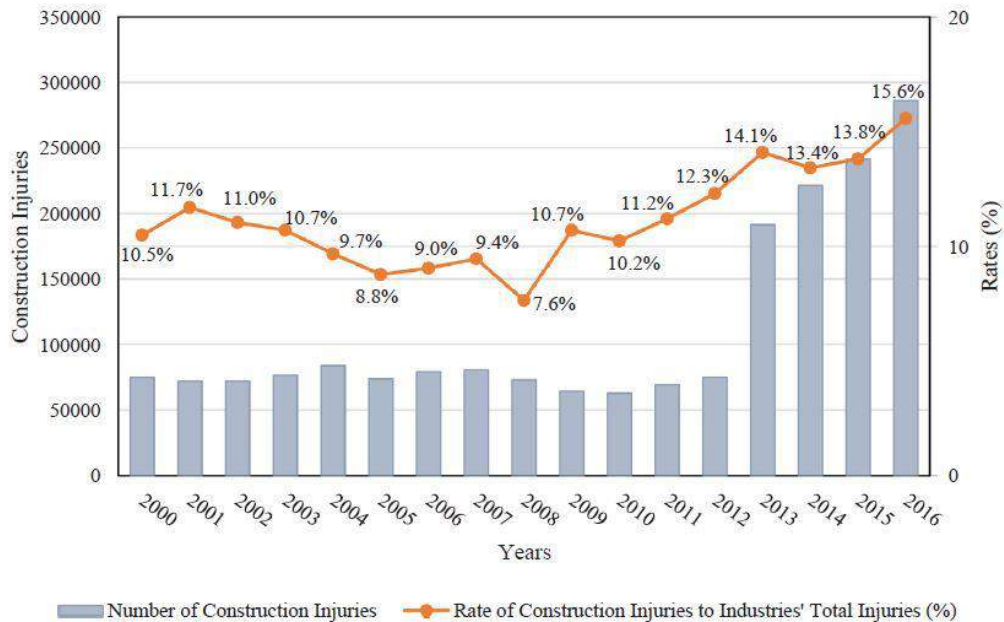


Figure 3. The number of occupational accidents occurred and the total number of occupational accident rate in the construction sector [8].

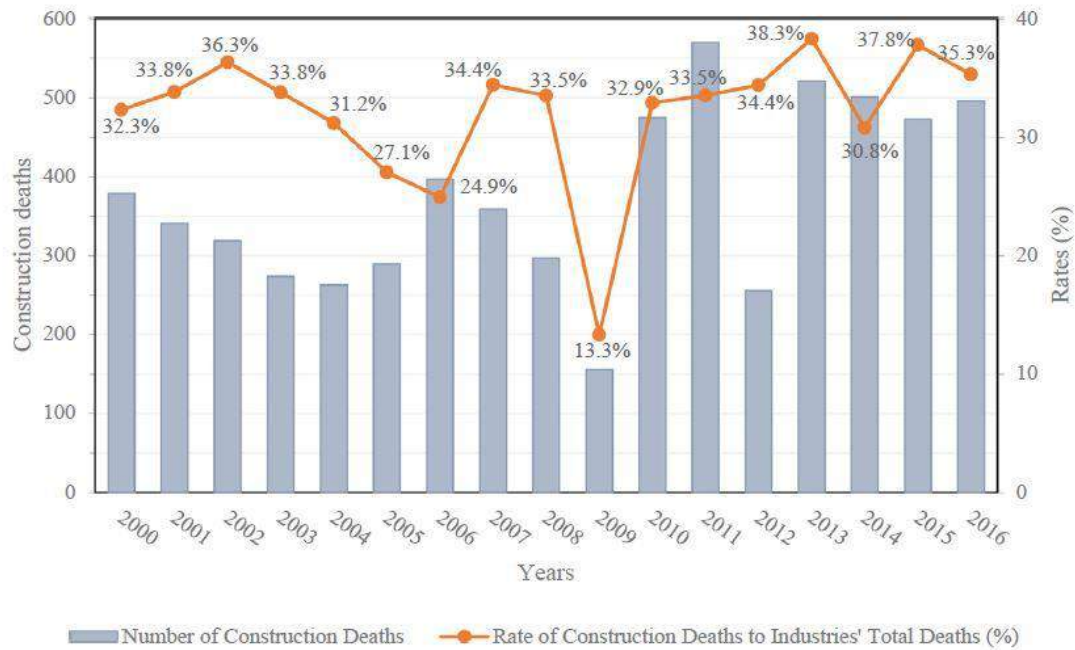


Figure 4. The number of deaths and the total number of deaths rate occurred in the construction sector [8].

In this study, risk assessment methods are compared with the occupational health and safety perspective. The risk is the inability to achieve a targeted result, loss or damage over a period of time. Risk assessments indicate the most important risk groups to take control measures. Risk management is the process of identifying, controlling, eliminating or minimizing uncertain events for proper risk assessment. Risk assessment process requires and contains necessary actions are taken without delay for undesired trends or results. The importance of the issue in the risk management of the occupational health and safety will be examined with content that provides practical solutions and explains how it can identify and meditate their risks. Risk assessment studies give 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 affect the risk management system and gives proactive measures in order to deal with problems.

2. Literature Review

In the light of reviewing and observing studies that have been carried out regarding the occupational risk analysis in the construction sector. A number of specific studies were considered for comparison explained. Samantra et al. (2017) suggest an integrated risk assessment way for metropolitan construction projects. Fuzzy sets used to weigh the parameters (occurrence and impact). Nieto-Morote and Ruz-Vila (2010) present a fuzzy set theory integrated risk assessment methodology in the construction sector with using Analytical Hierarchy Process (AHP). AHP is used to build and weigh risks and fuzzy sets approach is used to deal with subjective perceptions. Zavadskas, E. K et.(2010) proposes a risk assessment model for risk identification in the construction industry. TOPSIS method was used to classify objects and seek the most optimum solution. Taylan et al. (2014) aim to assess construction projects and their risks under specific uncertain situations, to locate the risk under a suitable category and expect its severity in advance. In this study, Fuzzy AHP (FAHP) and Fuzzy TOPSIS were used to create favorable weights for a fuzzy linguistic variable of construction projects overall risk. A. Ahmed et al. (2014) made analysis tool for construction projects with using classical Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Method. The main aim was to create an improved FMEA approach. Aminbakhsh et al. (2013) present a robust method for prioritization of occupational risks in the construction projects to create more adequate targets without compromising safety. They used used AHP method to make a decision help system in order to classify risk factors. Shin et al. (2016) suggest the appropriate choice between two decision-making methods. AHP and FAHP methods used to analyze criteria, make pairwise comparisons and rank alternatives in nuclear power plant construction project. Amiri, M. P. (2010) proposes risk assessment model selection. TOPSIS method used to produce a standard rational procedure for developing the ideal model according to the selection criteria. Zavadskas et al. (2010) present the applicability of grey theory techniques for defining the utility of an alternative. Gul et al. (2018) create a new approach to a Fine Kinney-based risk assessment in comparison to other methods. FAHP- FVIKOR is used to rank hazards [9-20]. According to the previous studies, it can be observed that: FMEA, Fine Kinney, L Matrix, AHP are the most commonly used methodologies when it comes to risk assessments. Table.1 indicates literature review studies for construction risk assessment.

Table 1. Occupational safety risk assessment studies in the literature.

	Study	Applied Method	Application Area
1	S.Aminbakhsh et al.(2012)	AHP	Construction
2	A.Pinto (2013)	QRAM	Construction
3	A.Karasan et al.(2018)	FMEA,Fine-Kinney	Medical
4	A.Azimifard et al. (2018)	AHP-TOPSIS	Mining
5	W.Wang et al. (2018)	Fine-Kinney	Construction, Manufacturing
6	A. Kokangül et al. (2015)	AHP-Fine-Kinney	Manufacturing Company
7	G. Raviv et al. (2016)	AHP	Construction
8	R. Fattahi et al. (2017)	FMEA	Steel Industry
9	E.Ilbahar et al. (2017)	Fine-Kinney	Construction
10	M.Gul and M.F.Ak (2018)	Fuzzy Risk Assessment: L-Matrix	Mining
11	M.Yazdi (2017)	AHP-TOPSIS	Manufacturing
12	C.Dagsuyu et al. (2016)	FMEA-L Matrix	Medical
13	M. Mangeli et al. (2018)	FMEA	Copper Leaching Factory

3. Risk Assessment in the construction

In order to choose a comprehensive and consistent risk assessment study, there are several conditions exist. Objectives of the study, requirements of decision-makers, type and scope of risk under analysis, the possible significance of results, required expertise, person and other resource levels, availability of information and data, need to change or update risk assessment, other regulatory and contractual requirements are conditions to apply proper risk assessment.

In the following part of the paper, the methods mentioned before are defined and explained in order to provide a clear understanding of each one.

3.1 L-Matrix Method

Risk matrices are a method of combining qualitative or semi-quantitative outcome / probability ratings for determining risk level or risk rating. The format of the matrix and the definitions used are based on the context in which the matrix is used, and it is important to use a design that suits the conditions. The matrix method (L-type Matrix) is especially used to evaluate cause and effect relationships. It is used for determining the risks that require urgent and needs to be taken as soon as possible. Risk assessment matrices have more traditionally been used by Military Standard, System Safety Program Requirements. The risk score is calculated on the basis of probability and severity parameters. The work should not be started until the identified risk is reduced to an acceptable level and should be stopped immediately if there is an ongoing activity. In the L matrix method, the probability and severity parameters are evaluated on a scale of 1 to 5 and the risk score is calculated by multiplying them. The risk assessment format is shown in Table.2 [21-24].

Table 2. Risk Evaluation of L Matrix

RISK LEVEL	DESCRIPTION
TRIVIAL	No action and document records are required to be kept.
TOLERABLE	No control is required except routine and periodic control. Long-term research can be done for better alternatives. Monitoring is required to ensure that controls are maintained.
MODERATE	Efforts should be made to reduce risk. Risk mitigation measures should be assessed and implemented in the medium term.In assessments, control steps should be tightened to identify the need for measures for improvement.
SUBSTANTIAL	The work should not be started until the risk is reduced. Important resources and necessary individual, collective protection methods and equipment are needed to reduce risk.
INTOLERABLE	Work must not be started or stopped until the risk is reduced. The study should be continued when the risk is reduced to an acceptable level. Time to take action is instant, not to be expected.

Cause and effect relations are considered in evaluation step of the L-matrix. Furthermore, it is used for the risks that are urgent and that should be taken immediately. Simplicity of application and limited requirements are two main reasons to prefer L-matrix method. The success rate precautions could be subjective since the method allows to application of risks with limited experts. Using this method, the likelihood of an event occurring, and its consequence is graded and measured. The multiplication of likelihood, P and severity, S gives an estimated value of risk. In the L matrix method, 5x5 matrix is used [25,26].

3.2 FMEA

FMEA method is used in identifying and reducing existing failures or failures that could happen in the future, with the input of the three factors: severity (S), probability (P) and detectability (D) which are multiplied to calculate a risk priority. Since the classical risk assessment method consists of two parameters, FMEA gives the advantage to make a detailed analysis of risk with its three parameters. Risk priority number can be found with the multiplication of three parameters. The purpose of the FMEA method is to determine the system faults in the company and the effect of these faults. Furthermore, easiness of use and limited requirements are two main reasons to choose to apply FMEA method. Design FMEA, Process FMEA, System FMEA, Service FMEA are 4 different types of FMEA that are mostly used. FMEA method consider reliability, quality, maintainability at the same time for whole organization and whole system. The following relation is used in the calculation of the Risk Priority Number [27-28].

$$RPN = \text{Probability (P)} * \text{Severity (S)} * \text{Detectability(D)} \quad (1)$$

The numbering scale is 1 to 10 and 10 is the worst case of the risk. The risk priority number (RPN) is calculated regarding the multiplication of the three factors to clarify the decision. The problems of the FMEA are: each factor has the same value during the multiplication, however, it is not a realistic approach on the operational leg. On the other hand, the result of the RPN may have many possible combinations thereby it establishes an ignorance of each factor's importance. Moreover, personal viewpoints also decline the reliability of the FMEA method. In terms of preference, FMEA method is mostly coming from the health sector. Figure 5. Shows the flowchart of FMEA method [29-30].

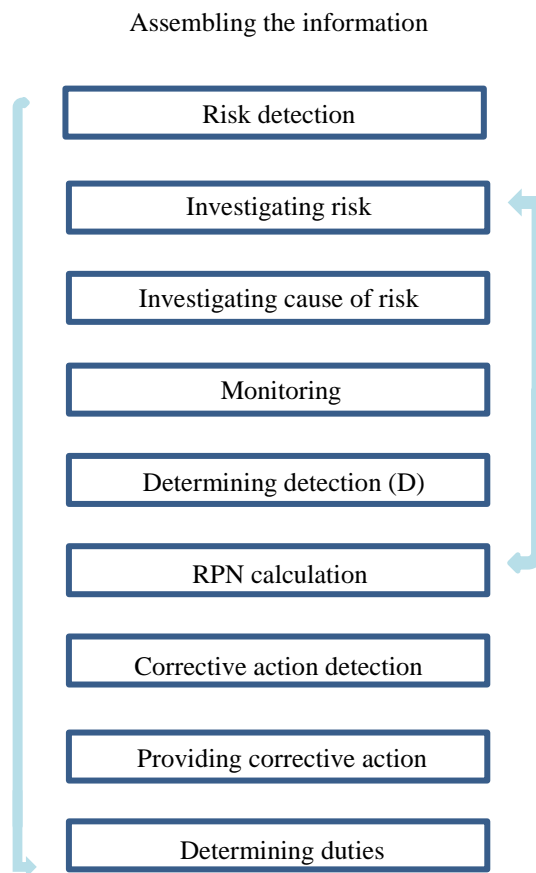


Figure 5. FMEA Method Flowchart [30]

3.3 Fine Kinney

The Fine Kinney method is one of the most commonly used methods in risk assessment. Probability (P), severity (S), and frequency (F) that would occur at the end of the event. Risk assessment depends on P, S and F. Combination of historical data and forecasts values can be obtained with the Fine Kinney risk analysis method. Moreover, the Kinney method also contains the risk exposure of people at risk. Since it contains frequency and past data, it is more reliable than the classical risk assessment methods, which are easy and common to use. Due to the reasons mentioned, the Fine Kinney method is preferred by many businesses. Table 3. indicates Fine Kinney risk assessment scale for Fine Kinney method [30-31]. The severity scale ranges from 0.1 to 10 while the probability and frequency scale ranges from 1 to 10. Risk priority number can be calculated as follows:

$$RPN = \text{Probability} * \text{Severity} * \text{Frequency}$$

Table 3. Description of risk classification

TOTAL RATING	RISK LEVEL	DESCRIPTION
0.1-20	NEGLIGIBLE	No action and document record are required to be kept.
21-70	LOW	No control is required except for routine and periodic control. Long-term research can be done for better alternatives. Monitoring is required to ensure that controls are maintained.
71-200	MEDIUM	Efforts should be made to reduce risk. Risk mitigation measures should be assessed and implemented in the medium term. In assessments, control steps should be tightened to identify the need for measures for improvement.
201-400	HIGH	The work should not be started until the risk is reduced. Important resources and necessary individual, collective protection methods and equipment are needed to reduce risk.
Over 400	EXTREME	Work must not be started or stopped until the risk is reduced. The study should be continued when the risk is reduced to an acceptable level. Time to take action is instant, not to be expected.

3.4 Analytic Hierarchy Process

Analytic Hierarchy Process was proposed by professor Thomas Saaty in 1980. It is used in the area of decision making for complicated cases by setting priorities and pairwise comparisons. AHP produces weights for the evaluations. The weights are higher for the more important evaluations. An application consists of ; i) evaluating criteria weights ii) calculating the matrix of scores, iii) rate the options.

The subjective views of the experts are not an obstacle for Analytic hierarchy process (AHP) due to the geometric mean of each individual judgment. Therefore, the inconsistency is declined by the monitoring method of AHP. Moreover, this method is also open to multi-variables via group decisions and pairwise comparisons. The lack of measurements for the risk analysis is not a problem for AHP since it values the facts with the scaling tool. Atomization of the structure, expert comparison and hierarchical order are the three fundamentals of AHP. After the determination of the main problem, the subproblems are determined and compared in pairwise to place in a hierarchy form with the given scale values. The diverse risk variables adapt to AHP method easily due to its subproblem features, however, not many risk assessments are preferred the AHP method due to its lack of financial perspective. In other words, this method forms a framework, which sets realistic and objective decisions on investments to occupational safety from experts. AHP model can be used in risk analysis with considering main objectives of occupational safety and health 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 the ability to evaluate hierarchical structure as a whole of both quantitative and qualitative criteria. The pairwise comparisons are organized in a matrix and priorities are derived from the matrix as its principal eigenvector. Sample AHP structure can be seen in Figure 6. The 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: [33-35].

- 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 λ_{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)

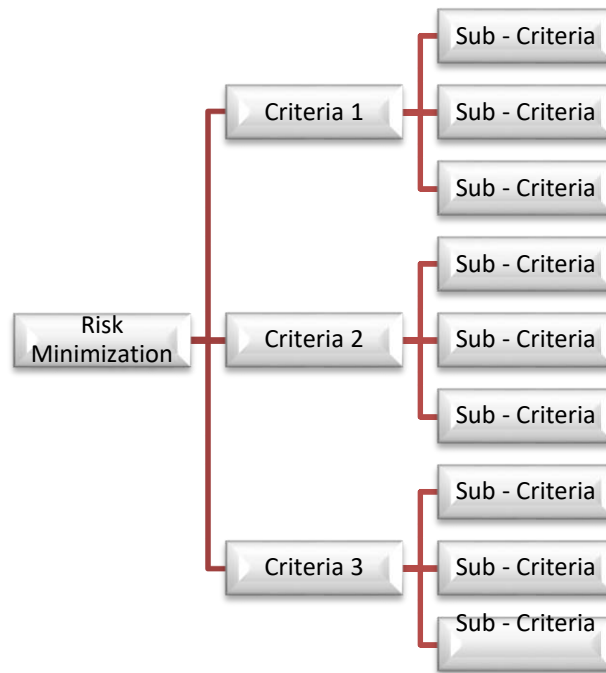


Figure 6. AHP Structure

3.5 Preliminary Hazard Analysis

Preliminary hazard analysis (PHA) is used as initial stage of risk assessment. It is used for identification of existing hazards, possible consequences of hazards and determination of control measures to be taken to eliminate or reduce corresponding risks. Precautionary measures for existing risks prevent major risks that may arise later. Expert opinion is crucial for hazard analyses and evaluation of them. Prioritization process helps to deal with with occupational safety and health issues. In order to be able to carry out preliminary hazard analysis, one or two experts who are confident in their knowledge will suffice [36-37]. There are 5 basic steps of preliminary hazard analysis. Firstly, all relevant documents, data, diagrams should be examined to define hazards. Evaluation of hazards includes errors and safety issues. Then the consequences of the identified hazard are determined. Exposure and effect correlations are used to measure the effects. For specific events which have critical effects, the event frequency is considered and estimated. Frequency and consequence parameters are used to propose control measures to decrease critical risk level into acceptable level.

4. Research Findings and Discussions

After risk assessment methods application has been determined to deal with and avoid occupational risks, it can be easily set up control measure planning according to obtained results. Occupational risk analysis comes up with the benefits of decreasing accidents and diseases. All risk assessment methods are separated from each other under certain criteria.

L and X matrix methods are applicable for almost every sector but when it comes to the construction sector they may not be preferable. It's easy to apply this technique because of the low level of document requirements and relatively small sets of risk parameters. It could be a useful guide for pre risk assessment process. It is not possible to carry out a risk assessment with fewer parameters and narrow scale in a for construction sector with the high possibility of occupational hazards and related risks. It is very difficult to avoid, understand and take control measures with these methods.

Comparisons of risk assessment methods under certain criteria are shown in Table 4. Comparisons of risk assessment methods have been compared in terms of low (+), medium (++) and high (+++) according to 5 basic criteria which are teamwork, required documents, required time, scope and required expertise.

Table 4. Comparison of Risk Assessment Methods for Construction

Criteria List	AHP	Fine Kinney	FMEA	PHA	L Matrix
Teamwork	+++	+++	+++	+++	+
Required Documents	++	+++	+++	+	+
Required Time	+++	+++	+++	++	+
Scope	++	+++	+++	++	++
Required Expertise	+++	++	++	++	+

+++ : High ++: Medium +:Low

Fine Kinney method consists of commonly used mathematical technique and easy to apply. The probability, frequency and severity parameters give more quantitative results. However, Fine Kinney technique is not recommended for cumulative risk groups. Risk cannot be identified if the factors are not identified correctly. In case of being exposed to the same risk by multiple employees, a mistake can occur in scoring. The Fine Kinney method has not been proposed as a unique methodology for risk assessment in the construction that's why fuzzy logic and multi criteria decision making methods integration can be done for more comprehensive studies. Fine Kinney method can be referred to a complementary method.

Consideration of detectability as one more parameter of risk assessment process makes FMEA different from classical risk analysis methods, in addition to the probability and severity factors. It is used as a reliable evaluation technique for determining the effects of system and equipment faults. FMEA is so common risk assessment method in the space industry, chemical industry, and the automotive industry. It can easily have implemented by a risk assessment team with moderate experience. It is an easy technique to use. FMEA can applied for different systems, processes, design, and services in different ways. FMEA can be a proper risk assessment method for construction but a long time is required to apply this technique, so it is a time-consuming technique. Today, construction structures are large-scale. This includes physical, chemical and ergonomic risks together. In such a structure, the FMEA method alone is not sufficient. If a team does not focus on details properly, some occupational hazards would be lost.

AHP implementation includes a hierarchical process by its structure. It is so straightforward and favorable, simple to apply by pairwise comparisons, all-purpose usage, it is beneficial to see relationship between sub-processes, Since it decomposes a problem into parts and builds a hierarchy, it helps to determine importance of each element, moreover, AHP is very convenient to changes and additions to the hierarchy due to its flexibility and stability, one of the main advantages of AHP is that decision-maker can evaluate each risk and source of hazard separately. It provides not only subjective but also objective information, it gives the opportunity to consider consistency in evaluation, it is applicable for any system or company. AHP method requires a high level of expertise and long-time for construction sector because a total number of pairwise comparisons can be too much and the capacity of decision makers can be limited to solve problems.

PHA is one of the simplest approaches applied in risk assessment methods. It can be used with other techniques such as; checklists and decision matrix. It can be used to determine the best options for equipment or installation. In this method, all-hazards cannot be considered and evaluated. Generally, it is not enough alone for risk analysis. It requires additional techniques. Quality of team knowledge affects the result and this may subjectivize the risk assessment study. The PHA method is one of the qualitative methods but not enough for comprehensive risk assessment. Since construction sector requires detailed and comprehensive risk assessment studies. The application of PHA is difficult and inefficient to apply to complex systems. It has not been proposed as a common risk analysis methodology to be applied to indirect and directly related parts of a construction organization. It can be used as a complementary technique.

It is very difficult to find a study that specifically integrates classical methods, fuzzy sets and multi criteria decision making methods when considering occupational safety risk assessment. In the literature there is a specific study which combined the Fine-Kinney method, and fuzzy inference systems in occupational safety and health risk assessment is that of Ilbahar et al. (2018) [26]. The current study is different from previous studies on several points: (1) Where this study deals with the comparison of the risk assessment methods in the construction sector in accordance with the specified criteria. (2) It is shown that the integration of multi criteria decision making methods into classical methods will increase consistency and scope, although it requires expertise. (3) While this study presents comparison of risk assessment methods and depends on a real case of construction sector, previous studies had focused only application of occupational safety and health risk assessment. The uncertainty level can be reduced to the lowest level by adding multi criteria decision making methods to the comparison methods, prioritizing and weighting risks.

5. Results

Occupational health and safety is the whole of studies and analyzes aimed at minimizing the problems that may occur in all processes related to work and workers. In terms of occupational health and safety, the construction sector requires detailed examination and research in terms of structural difficulties, sensitivity, and rapidly changing equipment and technologies. Workers are one of the most important and constant parts of construction works. Employees' working in an unsafe and dangerous environment and the inadequacy of the precautions required different risk assessments. The fact that construction works are included in the most dangerous group in terms of occupational accidents and occupational diseases in the OHS hazard classification list necessitates a comprehensive and effective risk assessment in the construction sector. Statistical data also show that fatal occupational accidents occur in this sector and are among the most important sectors. Risk assessment is one of the most important elements in this system. It is an essential part of a proactive system. This study aims to make a comparison of occupational safety risk assessment methods for construction sector. The methods that consider occupational safety impact from other viewpoints such as because of the major accidents or applicability, expertise requirement, teamwork, duration, scope, documentation requirement were also discussed. It is the first study that particularly reviewed and compared common occupational safety risk assessment methods for construction sector in detail. Observations and findings show that research in inherent occupational safety assessment is still very much lacking of occupational safety and health concepts and future works should at least adhere to these concepts. Especially nowadays, it has been observed that risk assessment studies are carried out with simple methodologies on paper and the scope is quite limited. The point to be expressed in this study is the integration of these methods, which can be dealt with as a basis, and their integration with more comprehensive and specialized structures. Construction sector is one of the most hazardous sectors. Considering these reasons, risk assessment studies should be established in a more comprehensive, feasible, objective structure that requires teamwork. This study is done in order to increase awareness to set an example of possible occupational accidents and diseases in the construction sector. This study also compared the advantages and disadvantages of the methods that can be used with the studies in the literature and indicated the necessity to update and elaborate the risk assessments with the results obtained.

As conclusion, the study reveals that each method has its unique characteristics. However, it can be so clear some reviewed methods such as L matrix and PHA can not be enough for comprehensive risk assessment in the construction sector. It is not the purpose of the paper to criticize any of the existing and traditional methods. Rather the main goal is to provide a comprehensive comparison of methods with their specifications and applicability for occupational safety risk assessment of construction sector and design to select the appropriate method that is convenient for their needs. The study also indicates the significance of integrated methods dedicated to different construction stages to increase reliability, flexibility and accuracy of the occupational safety risk assessment process. Occupational safety risk assessment is mandatory for the implementation of risk control in the workplace, professional activities and protection of worker health. The employer can carry out this work in-house or by taking external services. The aim of this study is to compare the risk assessment methods used in the analysis of hazards and risks that may arise in terms of occupational health and safety and to evaluate their effectiveness in determining the measures to be taken as a result. In the study, it has been emphasized that the construction sector risk assessment studies should be carried out more comprehensively and consistently because they are in a very dangerous group. For this reason, the necessity of integrating multi criteria decision making methods into classical risk assessment methods has been demonstrated. Objective and comprehensive risk assessment studies based on expert opinions will contribute to the proactive approach to prevent accidents in the construction industry.

References

- [1] Gul, M., Guneri A.F. (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] 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*.
- [3] Guneri, A.F., Gul, M., and Ozgurler S. (2015). A fuzzy AHP methodology for selection of risk assessment.
- [4] Waehrer, G. M., Dong, X. S., Miller, T., Haile, E., Men, Y. Costs of occupational injuries in the construction in the United States. *Accident Analysis & Prevention* 39(6) (2007) 1258–1266.
- [5] 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.
- [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] Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/>
- [8] Başağa H.B., Temel B.A., Atasoy M., Yildirim İ., "A study on the effectiveness of occupational health and safety trainings of construction workers in Turkey", *SAFETY SCIENCE*, vol.110, pp.344-354, 2018
- [9] Samantra, C., Datta, S., & Mahapatra, S.S. (2014). Risk assessment in IT outsourcing using fuzzy decision-making approach: An Indian perspective. *Expert Syst. Appl.*, 41, 4010-4022.
- [10] Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, 29(2), 220–231. doi: 10.1016/j.ijproman.2010.02.002
- [11] Edmundas Kazimieras Zavadskas, Zenonas Turskis & Jolanta Tamošaitiene (2010). Risk assessment of construction projects, *Journal of Civil Engineering and Management*, 16:1, 33-46, DOI: 10.3846/jcem.2010.03
- [12] Taylan, O., Bafail, A.O., Abdulaal, R.M., & Kabli, M.R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Appl. Soft Comput.*, 17, 105-116.

- [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]Ahmed, A. (2014). Composite FMEA for risk assessment in the construction project based on the integration of the conventional FMEA with the method of pairwise comparison and markov chain, M.S. thesis, School of Industrial and Information Engineering, Politecnico Di Milano, Milan, Italy,
- [16]Aminbakhsh, S., Gunduz, M., & Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99–105.
- [17]Shin, D., Shin, Y. and Kim, G. (2016) Comparison of Risk Assessment for a Nuclear Power Plant Construction Project Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 4, 157-171. doi: 10.4236/jbcpr.2016.43010.
- [18]KarimiAzari, A. R., Mousavi, N., Mousavi, S. F., & Hosseini, S. B. (2011). Risk assessment model selection in construction industry. *Expert Systems with Applications*, 38, 9105–9111.
- [19]Turskis, Z., Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria optimization system for decision making in the construction design and management, *Inzinerine Ekonomika – Engineering Economics* (1): 7–15.
- [20]Gul, M., Guven, B., Guneri A.F. (2018b) A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *J Loss Prevent Proc* 53:3–16
- [21]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.
- [22]Unsar, S., Necdet, S. General assessment of the occupational accidents that occurred in Turkey between the years 2000 and 2005. *Safety Science* 47(5) (2009) 614–619.
- [23]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*.
- [24]Ceylan, H. ve Başhelvacı, V.S. (2011), “ Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama”, " *Journal of Engineering Research and Development*, Vol.3,
- [25]Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information sciences*: 8: 199-249.
- [26]Saaty, T.L. (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
- [27]İlbarhar, E., Karaşan, A., Cebi, S., & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124-136. doi:10.1016/j.ssci.2017.10.025
- [28]Karasan, A., İlbarhar, E., Cebi, S., & 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. doi:10.1016/j.ssci.2018.04.031
- [29]Wang, W., Liu, X., Qin, Y., & Fu, Y. (2018). A risk evaluation and prioritization method for FMEA with prospect theory and Choquet integral. *Safety Science*, 110, 152-163. doi:10.1016/j.ssci.2018.08.009
- [30]Dağsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M., & Kokangül, A. (2016). Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 286-294. doi:10.1016/j.cie.2016.09.015
- [31]Mohammadi, A.; Tavakolan, M. Construction project risk assessment using combined fuzzy and FMEA. In *Proceedings of the 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting*, Edmonton, AB, Canada, 24–28 June 2013; pp. 232–237.
- [32]Fattahi, R., & Khalilzadeh, M. (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety Science*, 102, 290-300. doi:10.1016/j.ssci.2017.10.018
- [33]Hwang, C.-L., Yoon, K., 2012. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a State-of-the-art Survey*. Springer Science & Business Media, pp. 186.
- [34]Pinto, A. (2014). QRAM a Qualitative Occupational Safety Risk Assessment Model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets. *Safety Science*, 63, 57-76. doi:10.1016/j.ssci.2013.10.019
- [35]Yürek, K., Ersöz Kaya, İ. (2019). Yol İnşaatı Şantiyelerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1357-1366 . DOI: 10.31590/ejosat.667469
- [36]Gudienė, N., Banaitis, A., Podvezko, V., & Banaitienė, N. (2014). Identification and evaluation of the critical success factors for construction projects in Lithuania: AHP approach. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20, 350–359.
- [37]Pourrat, M., Delescluse C., Merlin S., Sauvion S., Carret S., Fontan J.E. Oral administration of medications to infants: implementation of a preliminary risk analysis in a hospital service of pediatrics. *Ann Pharm Fr*.2014;72(2):112-121.
- [38]Gong, L., Zhang, S., Tang, P., and Feng, Y., Implication of Mishaps to Preliminary Hazard Analysis of Hypersonic Vehicles. *Procedia Engineering*, Volume 80, (2014), pp. 437-444.



Entropy Generation and Exergy Destruction During and After Weaning from Mechanical Ventilation in Patients with Respiratory Failure

Jale Çatak^{1*}, Elif Develi², Serkan Bayram³

¹ Istanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-2718-0967)

² Yeditepe University, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-6140-3319)

³ Sureyyapaşa Chest Diseases and Thoracic Surgery Training and Research Hospital, Department of Thoracic Surgery, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-7651-1200)

(İlk Geliş Tarihi 18 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 23 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.690568)

ATIF/REFERENCE: Çatak, J., Develi, E. & Bayram, S. (2020). Entropy Generation and Exergy Destruction During and After Weaning from Mechanical Ventilation in Patients with Respiratory Failure. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 283-289.

Abstract

BACKGROUND: Mechanical ventilation is a useful supportive treatment for patients with respiratory failure who are not able to maintain the level of ventilation required to maintain the oxygenation and carbon dioxide elimination. Mechanical ventilation is often life-saving, but it also has risks. Thermodynamic analyses are used to test the feasibility of processes leading to a better understanding of the system's overall performance. Energy losses (entropy) and the destruction of maximum useful work (exergy) leading to reduced respiratory work of breathing efficiency, can be calculated by thermodynamic analysis of the respiratory muscles.

OBJECTIVE: To determine the entropy generation, exergy destruction, and glucose consumption during and after weaning from mechanical ventilation in patients with respiratory failure by thermodynamic analysis.

METHODS: In this study, a human respiratory system during and after weaning from mechanical ventilation modeled thermodynamically using the first and second laws of thermodynamics. The work of breathing data adapted from the literature. Mass and energy analyzes are carried out according to the 1st law of thermodynamics, while entropy generation is calculated according to the 2nd law of thermodynamics which enables us to measure energy losses. In this thermodynamic model, the body temperature was considered at 37 °C, and the surrounding air condition was taken at 25 °C.

RESULTS: Exergy destructions during and after weaning from mechanical ventilation were calculated as 2.23×10^{-2} and 1.75×10^{-2} kJ/min, respectively. Entropy generation by the patients through the breathing cycle was 7.48×10^{-5} (kJ/K)/min during mechanical ventilation while 5.89×10^{-5} (kJ/K)/min after weaning from mechanical ventilation, respectively. The glucose consumed for work of breathing in patients during and after weaning from mechanical ventilation was calculated as 0.58-0.45 mmol/min, respectively.

CONCLUSION: After weaning from mechanical ventilation, the patients have significantly decreased entropy generation, exergy destruction, and glucose consumption, indicating to the improvements in the structure of respiratory mechanics and diaphragm perfusion. The reductions in entropy generation and exergy destruction after weaning from mechanical ventilation also indicates an increase in the mechanical efficiency of the respiratory muscles. According to the results of the energy balance analysis, the decrease in muscle energy requirement, was determined and the calculations found that the patient used 1.3 times more glucose during mechanical ventilation than after weaning from mechanical ventilation for work of breathing. In this study, the thermodynamic approach was used to determine the benefit of mechanical ventilation. More powerful work and multidisciplinary data are needed to progress reliable procedures.

Keywords: Mechanical ventilation, Entropy generation, Exergy destruction, Respiratory thermodynamics, Thermodynamic analysis

* Corresponding Author: Istanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0002-2718-0967, jalecatak@gmail.com

1. Introduction

Mechanical ventilation (MV) is a useful supportive treatment for patients with respiratory failure who are not able to maintain the level of ventilation required to maintain the oxygenation and carbon dioxide elimination. Critically ill patients may require ventilator support, and they are regarded ventilator-dependent due to their insufficiency to tolerate weaning attempts. The use of MV varies significantly from short term to long term and from acute care in the hospital to extended care at home. One of the most common applications of MV is for the management of postoperative patients recovering from anesthesia and medications [1, 2].

Work of breathing (wob) is the performance necessary to respire air into the lungs (energy expenditure of respiratory muscles), which constitutes 5% of total body oxygen consumption in a normal resting state but can increase significantly during acute illness. Wob values range from 2.4 to 7.5 J/min and from 0.2 to 0.9 J/L in healthy subjects at rest [3]. Wob is measured in joules/L, joules/min, and sometimes kg/m/min and may be computed concerning the oxygen cost of breathing or the pulmonary pressure manifolded by the exchange in pulmonary volume. The measurement of the wob in respiratory physiology (work = pressure x volume) is analogous to the typical definition of work in physics (work = force x distance) [1].

Increased work of breathing and respiratory muscle weakness are considered as the main reasons for respiratory failure after thoracic surgery [2]. During critical illness, many patients become dependent on the ventilator. The measurement of the wob was found to be a useful objective variable to determine the capability for independent ventilation and an objective indicator of dependence on mechanical ventilation [4, 5].

The first law of thermodynamics claims that energy can neither be created nor destroyed, but transformed from one form to another or transported through heat, mass, and work transfer. The second law of thermodynamics describes entropy. Entropy is used to measure energy losses in a system. The randomness of a system measured by entropy. Exergy is described as the maximum useful work, in every irreversible process like breathing, entropy production leading to the destruction of the exergy. Accordingly, exergy determines the usable energy loss caused by entropy generation.

Respiration is the production of adenosine 5'-triphosphate (ATP) energy by the chemical degradation of organic nutrients in various ways which are taken from foods and found in the human body. Nutrient and oxygen are transported to our cells through the bloodstream. The nutrients carried to our cells are burned by oxygen, and thus, the energy state formed by the nutrient-oxygen combination causes respiration [6].

Respiratory muscle can be regarded as a thermodynamic machine like piston that converts chemical energy into mechanical work (wob) during each breathing cycle. The energy utilized is converted to wob by respiratory muscles during each breathing cycle. During the breathing process, heat is generated as a by-product and dissipated to the surroundings by generating entropy based on the second law of thermodynamics. The tissue randomness increases due to entropy accumulation in this periodically breathing process, which may lead to a decrease in wob efficiency over time and eventually may lead to damage in respiratory muscle.

Thermodynamic analyses are used to test the feasibility of processes leading to a better understanding of the system's overall performance. The sources of losses due to irreversibilities in each breathing process in the system can be identified by thermodynamic analyses. Energy losses (entropy) and the destruction of maximum useful work (exergy) leading to reduced respiratory wob efficiency can be calculated by thermodynamic analysis of the respiratory muscles.

In recent years, numerous studies have been published on thermodynamic analysis of processes based on metabolism in the biological systems [7-19]. However, in the literature, there is a limited number of studies on respiratory thermodynamics [8, 10, 15,19]. It has been observed from the literature survey that no such research has been done regarding the work of breathing in mechanical ventilation evaluated by thermodynamically. Therefore, this study was carried out in order to characterize the structure of damaged respiratory mechanics by thermodynamic analysis in patients with respiratory failure and to resolve the thermodynamic changes in respiratory mechanics.

2. Material and Method

2.1. Model Description

A human respiratory system during and after weaning from MV was modeled thermodynamically using the first and second laws of thermodynamics. The data of work of breathing by the respiratory muscles of the patients during and after weaning from MV is adapted from the literature [2]. Calculations were done by applying the first and second laws of thermodynamics. Mass and energy analyzes are carried out according to the 1st law of thermodynamics by energy balance equation, while entropy generation is calculated according to the 2nd law of thermodynamics, which enables us to measure energy losses. In the blood concentration, consumed glucose alters with the second law efficiency (η_{II}) So, the energy, mass, entropy, and exergy equations are carried out around the respiratory muscles for calculating the glucose consumed, exergy destructed and entropy generated as a function of 2nd law efficiency and the 2nd law efficiency has been assumed 0.3. Experimental outcomes on the first law efficiencies which performed with animals such as mouse and frog are reported within the range 0.14 and 0.35 while the 2nd law efficiencies are given between 0.17 and 0.42 [20]. In this thermodynamic model, the body temperature was considered at 37 °C, and the surrounding air condition was taken at 25 °C. This study is limited by the consumption of glucose to produce ATP in the respiratory muscle cells.

3. Results and Discussion

3.1. Mathematical Formulation

In this thermodynamic analysis, glucose consumption, exergy destruction, and entropy production were calculated for the work of breathing of the patients by the respiratory muscles during and after weaning from MV. Wob done by the respiratory muscles by using adenosine triphosphate (ATP), which produced in the metabolic pathways. To reposition the myosin head, ATP is dissociated into adenosine diphosphate (ADP), to provide the relaxation of the actin-myosin complex following the contraction of the muscle fibres [21]. By conversion of the glucose to the metabolic end-products heat is generated, which equals nearly 2/3 of the enthalpy change and a cause of the entropy accumulation.

3.2. Energy Balance

The energy balance equation around the respiratory muscle system (Fig. 1),

$$Q - W + \sum_i (mh)_{in} - \sum_i (mh)_{out} = \Delta E = 0 \quad (1)$$

where $i=1, 2, 3,$ and 4 mean glucose, oxygen, carbon dioxide, and water, respectively. Under the steady-state conditions, $\Delta E = 0$ during respiratory muscle contracting. We modified the wob data from the literature during and after weaning from mechanical ventilation (Table 1) [2].

Table 1. Ventilatory parameters and wob during and after weaning from MV in five patients [2].

Variable	Unit	During MV	After weaning from MV
VE	L/min	11	10.3
Wob	J/min	8.90	7.01
Wob	kJ/min	8.9×10^{-3}	7.01×10^{-3}

MV, mechanical ventilation; VE, minute ventilation; Wob, work of breathing per minute (Values are mean \pm SD, paired t-test).

After substituting the enthalpy of formation (ΔE), the heat released during work of breathing from the respiratory muscle was calculated. We calculated the mass exchanges by Çatak et al. [11] which lists the thermodynamic data of each constituent (absolute entropy, chemical composition chemical exergy, enthalpy of formation, heat capacity, and mass) entering and leaving through the muscle system boundaries.

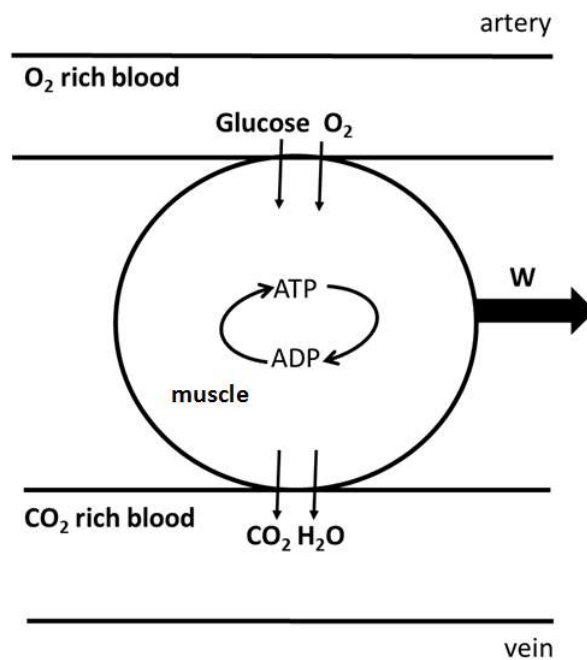


Figure 1. The schematic definition of the process of muscle contraction, ATP generation, and work performance in the respiratory muscle.

3.3. Exergy Destruction

Exergy destroyed in the blood is calculated from Dinçer and Çengel [7]:

$$Ex_{destroyed} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) - W + (mex)_{in} - (mex)_{out} \quad (2)$$

T_0 is the reference temperature, and T is the boundary temperature of the respiratory muscle system. Based on their thermophysical state and chemical composition, the specific exergy of the species is calculated:

$$ex = ex_{ch} + h - T_0 s - \sum x_i \mu_i^0 \quad (3)$$

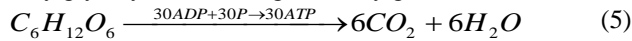
where, μ_i^0 is pure species' chemical potential and $Ex_{destroyed}$ refer to the exergy loss in the bloodstream, which equals (entropy accumulation in the bloodstream) x (the body temperature). $T_0 = T_{out}$ is the reference temperature, and $T = T_{in}$ is the boundary temperature of the respiratory muscle system. In this analysis, it has been assumed that the respiratory system keeps on the fixed temperature at 37 °C. Exergy of formation is given in Çatak et al. [11] for each chemical when $T_0 = T_{out} = 298$ K. Also, $T = T_{in} = 310$ K. Firstly, the amount of heat released from the respiratory muscle during the work of breathing process and transferred by the blood is calculated. Then the exergy loss in the blood is calculated (Fig. 1).

3.4. Entropy Generation

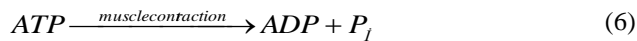
Assuming that heat transfer occurs at 37 °C (310 K) from blood to the respiratory muscle and from respiratory muscle to the air at 25 °C (298 K), substituting the exergy destroyed and the respiratory muscle cell temperature we calculated the s_{gen} (J/K) as:

$$s_{gen} = \frac{Ex_{destroyed}}{T_0} \quad (4)$$

The respiratory muscle produces the work by the consumption of the internal energy of the nutrients. The number of produced ATP moles relies on the kind of the nutrient and metabolic pathway employed as a result of catabolism. Such as, 30 to 38 moles of ATP are produced in the course of the oxidation of glucose. The complex energy metabolism can be simplified as one chemical reaction namely glycolysis, assuming that only glucose is catabolized and 30 moles of ATP is formed by the muscle cells:



Accordingly, the production of work can be described as:



Pioneering study regarding muscle work was done by Hill [22], who proved that both force and the heat released in the course of the contraction of a muscle could be scripted as a function of the contraction velocity by experimentation.

3.5. Efficiency

External work acquired from the input chemical energy is measured by the efficiency of muscle contraction [23]. A muscle contracts and shortens against a load, and then it acts work with the use of metabolic energy. The measure of the thermodynamic efficiency is obtained by comparing the cross-bridge work component of the remainder to the Gibbs free energy of hydrolysis of ATP [20]. The 1st law efficiency also denoted the thermodynamic efficiency or mechanical efficiency, is described as:

$$\eta_l = \frac{W}{\Delta H_{glycolysis}} \quad (7)$$

The 1st law is pertinent even in an irreversible process, and energy is still conserved in this process. However, the 2nd law of thermodynamics says that something is lost and irrecoverable. The 2nd law efficiency is known as the ratio of the actually produced work done to the maximum available work:

$$\eta_{ll} = \frac{W}{W_{max}} = \frac{W}{\Delta G_{glycolysis}} \quad (8)$$

Numerical values of the entropy generation, exergy destruction, and glucose consumption in the respiratory system with the given second law efficiency of $\eta_{ll}=0.3$ are listed in Table 2.

As a result of the thermodynamic analysis of the work of breathing performed by the patients, the values of the exergy destruction during and after weaning from MV were calculated as 2.23×10^{-2} kJ/min and 1.75×10^{-2} kJ/min, respectively.

Entropy generation by the patients through the breathing cycle was 7.48×10^{-5} (kJ/K)/min during MV while 5.89×10^{-5} (kJ/K)/min after weaning from MV, respectively.

According to the first law of thermodynamics, the glucose used by the respiratory muscle, which absorbed from the blood flow was calculated by energy balance analysis. The glucose consumed for wob of patients during and after weaning from MV was calculated as 0.58-0.45 mmol/min, respectively.

Table 2. Variation of the glucose consumption, exergy destruction, and the entropy generation rate in patients during and after weaning from MV with the second law efficiency.

η_{II} (0.3)	m_{glucose} (mol/min)	m_{glucose} (mmol/min)	Glucose concentration in blood (mmol/L)	$EX_{\text{destroyed,muscle}}$ (kJ/min)	$S_{\text{gen,muscle}}$ (kJ/K)/min
During MV	7.67×10^{-6}	0.58	0.12	2.23×10^{-2}	7.48×10^{-5}
After weaning MV	6.04×10^{-6}	0.45	0.09	1.75×10^{-2}	5.89×10^{-5}

MV, mechanical ventilation; η_{II} , second law efficiency; m_{glucose} , mass of glucose; $EX_{\text{destroyed,muscle}}$, exergy destruction in respiratory muscle; $S_{\text{gen,muscle}}$, entropy generation in respiratory muscle.

With this thermodynamic analysis, it was determined that exergy destruction and entropy generation decreased after weaning from MV with lowering the wob of the respiratory muscles of the patients. Decreases in entropy production and also exergy destruction after weaning from MV indicate that an increase in the mechanical efficiency of the respiratory muscles. There is a definite and expected association between entropy generation as well as exergy destruction and the mechanical ventilation process.

According to the results of the energy balance analyzes, a decrease in respiratory muscle energy requirement was found, and the calculations determined that the patients used 1.3 times more glucose during MV than after weaning from MV for work of breathing in respiration.

The energy balance calculated mass of consumed glucose in the respiratory muscle. Depending on the reduced work of breathing after weaning from MV, a reduction of 23% was also determined in the amount of consumed glucose which used for the work of breathing.

MV can be lifesaving, but it also has risks and may be harmful to the lungs as well. The health professionals always try to help a patient leave the ventilator as early as possible. Weaning mentions, the process of moving the patient from the ventilator. Some patients may remain in the ventilator for only a few hours or days, while others may need the ventilator for a long time depending on many factors namely, overall strength affected other organs like kidney, brain, and heart. Some patients do not improve enough to be weaning from the MV entirely or at all.

Wob is the amount of effort used to expand the lungs; therefore, it is the total consumption of energy required to achieve the act of breathing. In predicting the potential for weaning and extubation, the standard evaluation criteria may not be accurate at all times. In accordance with our study, in the literature there are clinical studies on the importance of wob in mechanical ventilation.

Henning et al. [4] reported the routine measurement of the wob is a potentially useful quantification of ventilator status and dependence on mechanical ventilation. In their study, they had measured the wob in 10 healthy subjects and 28 critically ill patients with obstructive airway disease treated with assisted ventilation.

Shikora et al. [5] investigated the wob whether the wob was a more trustworthy predictor of ventilator dependence. In their study, 20 consecutive ventilator-dependent patients had prospectively studied. Using a metabolic gas monitor, oxygen consumption (VO_2) and resting energy expenditure had measured. By the change in VO_2 between spontaneous and mechanical ventilation, the wob had determined and represented as a percentage of VO_2 during MV. They had two groups applying a reference value for the work of breathing of 15% and statistically significant differences in the wob between two groups. This study supported the use of wob determinations in the assessment of extubation potential and had verified to be of higher predictive value than conventional criteria.

The pressure of putting air into the lungs and the use of very high levels of oxygen in MV can damage the lungs. This damage can be explained by thermodynamically. In the breathing process, the randomness of the tissue increases due to entropy accumulation that may cause a decrease in wob efficiency over time and eventually may cause damage in respiratory muscle [24]. Health care professionals try to maintain this risk at a minimum level by the management of pressure and, oxygen getting enough to provide vital organs. In some cases, it is challenging to decrease this risk when the lungs are damaged. Nevertheless, this damage may heal if a patient can recover from critical illness.

Previous studies revealed that thermodynamic analysis of associated respiratory problems is beneficial to understand the behavior of the system [15, 19]. The study of Çatak [15] stated that respiratory problems are related to entropy accumulation in the body. The

respiratory muscle cell of the patient with respiratory failure becomes different than a healthy individual's cell. Metabolic heat generation may be considered among the primary sources of these structural alterations. Recently, the studies have reported that the released metabolic heat during ATP hydrolysis and glycolysis may change depending on metabolic conditions like Ca^{2+} concentration. The measured heat release ranges from 879 to 4017 kJ per mole of glucose consumption [12].

A reduction in mitochondrial function can affect the cellular energy production, that may limit the ATP dependent processes in the cell. The ability to maintain a given level of work of breathing depends on the balance between the energy needs of the breathing activity and the metabolic capacity of the respiratory muscle to provide energy. The level of work of breathing cannot be sustained if the energetic needs of the respiration surpass the capacity to supply energy. The maximum capacity of the body to accomplish work may also be decreased in a patient. MV can be useful to sustain the life. Therefore, there may be an association between the positive effects of mechanical ventilation and changes in ATP supply-to-demand mechanisms in a patient.

In this study, respiratory muscles were evaluated thermodynamically with the limited data provided from the literature. Data of critically ill patients are studied to simulate the respiratory failure process during and after weaning from MV in terms of the work of breathing. The ability of respiratory muscles to use glucose seems to be the most critical factor determining their work of breathing performance within limits of the data analyzed here.

The assessment of living organisms by thermodynamic analysis offers vast opportunities for the determination of diseases, treatments, and control of the system. Entropy generation regarding the second law is associated with the different losses of a system that block the thermodynamic performance of a system.

4. Conclusions

In this study, the importance of work for potential clinical applications is explained numerically, and a thermodynamic approach is used to determine the benefit of MV. After weaning from MV, the patients have significantly decreased glucose consumption, exergy destruction, and entropy generation. In conclusion, it is thought that MV can lead to improvements in the structure of respiratory mechanics and diaphragm perfusion by increasing the work of breathing efficiency in respiration.

This study shows that thermodynamic analyzes may make a significant contribution when studied with clinical practices to the improvement of measures for the prevention of respiratory failure. More powerful work and multidisciplinary data are needed to progress reliable procedures for the prevention of respiratory failure.

Financial support and sponsorship

Nil.

Conflicts of interest

There are no conflicts of interest.

References

- [1] Chang, D.W. (2013). *Clinical Application of Mechanical Ventilation*. 4th ed. Cengage Learning.
- [2] Takeda, S. I., Miyoshi, S., Maeda, H., Minami, M., Yoon, H. E., Tanaka, H., ... & Matsuda, H. (1999). Ventilatory muscle recruitment and work of breathing in patients with respiratory failure after thoracic surgery. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 15(4), 449-455.
- [3] Mancebo, J., Isabey, D., Lorino, H., Lofaso, F., Lemaire, F., & Brochard, L. (1995). Comparative effects of pressure support ventilation and intermittent positive pressure breathing (IPPB) in non-intubated healthy subjects. *European Respiratory Journal*, 8(11), 1901-1909.
- [4] Henning, R. J., Shubin, H., & Weil, M. H. (1977). The measurement of the work of breathing for the clinical assessment of ventilator dependence. *Critical Care Medicine*, 5(6), 264-268.5.
- [5] Shikora, S. A., Bistrain, B. R., Borlase, B. C., Blackburn, G. L., Stone, M. D., & Benotti, P. N. (1990). Work of breathing: reliable predictor of weaning and extubation. *Critical Care Medicine*, 18(2), 157-162.
- [6] Guyton, A., & Hall, J. (2011). In: *Textbook of Medical Physiology*, 12th edition, Elsevier Saunders, Philadelphia.
- [7] Dincer, I., & Cengel, Y. A. (2001). Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. *Entropy*, 3(3), 116-149.
- [8] Neto, C. A., Pellegrini, L. F., Ferreira, M., de Oliveira Jr, S., & Yanagihara, J. (2010). Exergy analysis of human respiration under physical activity. *International Journal of Thermodynamics*, 13(3), 105-109.
- [9] Mady, C. E. K., Ferreira, M. S., Yanagihara, J. I., Saldiva, P. H. N., & de Oliveira Junior, S. (2012). Modeling the exergy behavior of human body. *Energy*, 45(1), 546-553.
- [10] Henriques, I., Mady, C., Neto, C. A., Yanagihara, J., & Junior, S. O. (2014). The effect of altitude and intensity of physical activity on the exergy efficiency of respiratory system. *International Journal of Thermodynamics*, 17(4), 265-273.
- [11] Çatak, J., Develi, A. C., Sorguven, E., Özilgen, M., & İnal, H. S. (2015). Lifespan entropy generated by the masseter muscles during chewing: an indicator of the life expectancy?. *International Journal of Exergy*, 18(1), 46-67.
- [12] Özilgen, M., & Öner, E.S. (2016). *Biothermodynamics: Principles and Applications*. 1st ed. CRC Press.

- [13]Çatak, J., Özilgen, M., Olcay, A. B., & Yılmaz, B. (2018). Assessment of the work efficiency with exergy method in ageing muscles and healthy and enlarged hearts. *International Journal of Exergy*, 25(1), 1-33.
- [14]Catak, J., Ozilgen, M., & Yilmaz, B. (2018). Thermodynamic analysis of human respiratory (diaphragm) skeletal muscles. In *European Respiratory Journal* (Vol. 52). Suppl. 62.
- [15]Çatak, J. Kronik Obstrüktif Akciğer Hastaları ile Sağlıklı Bireylerin Solunum İş Yükünün Termodinamik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 145-151.
- [16]Spanghero, G. M., Albuquerque, C., Lazzaretti Fernandes, T., Hernandez, A. J., Mady, K., & Eduardo, C. (2018). Exergy analysis of the musculoskeletal system efficiency during aerobic and anaerobic activities. *Entropy*, 20(2), 119.
- [17]Martinez Garcia, M., Une, R. Y., de Oliveira Junior, S., Mady, K., & Eduardo, C. (2018). Exergy analysis and human body thermal comfort conditions: evaluation of different body compositions. *Entropy*, 20(4), 265: 1-17.
- [18]Brandão Roll, J., Leone Borges, M., Mady, K., Eduardo, C., & de Oliveira Junior, S. (2019). Exergy Analysis of the Heart with a Stenosis in the Arterial Valve. *Entropy*, 21(6), 563.
- [19]Dutta, A., Chattopadhyay, H., Yasmin, H., & Rahimi-Gorji, M. (2019). Entropy generation in the human lung due to effect of psychrometric condition and friction in the respiratory tract. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 180, 105010.
- [20]Smith, N. P., Barclay, C. J., & Loisel, D. S. (2005). The efficiency of muscle contraction. *Progress in biophysics and molecular biology*, 88(1), 1-58.
- [21]Huxley, A.F. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Progress in Biophysics and Biophysical Chemistry*. 7: 255-318.
- [22]Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 126(843), 136-195.
- [23]Jubrias, S. A., Vollestad, N. K., Gronka, R. K., & Kushmerick, M. J. (2008). Contraction coupling efficiency of human first dorsal interosseous muscle. *The Journal of physiology*, 586(7), 1993-2002.
- [24]Çatak, J., Develi, E., & Bayram, S. (2019). Comparison the work of breathing between healthy and obese by thermodynamic analysis. *European Respiratory Journal* 2019; 54: Suppl. 63.



Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirme ve Deplasman Tahmini: Vaka Analizi

Gizem Mısıır^{1*}

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2649-0381)

(İlk Geliş Tarihi 13 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 24 Şubat 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.688798)

ATIF/REFERENCE: Mısıır, G. (2020). Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirme ve Deplasman Tahmini: Vaka Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 290-299.

Öz

Konya ili Meram ilçesinde kohezif bir zemin üzerinde inşa edilecek bir yaşam kompleksi için Jet Grout yöntemi ile temel zemini güçlendirme çalışması yapılmıştır. İlgili sahada taşıma gücü ve oturma problemi nedeni ile 3351 adet 60 cm çapında ve 15 m uzunluğunda 1.6x1.6 m karelaç ile Jet Grout kolonları imal edilmiştir. Sahada süreklilik ve yükleme testleri yapılarak, imalatların kalite kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, deplasman tahmini için rastgele seçilen 25 jet grout kolonu üzerinde gerçekleştirilen yükleme test sonuçları kullanılmıştır. Sonuç olarak, önerilen güçlendirme projesinin, emniyetli bir şekilde proje yükü altında sorunsuz olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Arazi çalışmaları yanında, yükleme-boşaltma çevrimine uygun olarak meydana gelecek deplasmanların öngörülmesi de önem arz etmektedir. Zeminde meydana gelecek oturmaların tahmini ve değerlendirmesi, sınırlı miktardaki uygulanabilir veri nedeniyle inşaat mühendisliği uygulamalarında önemli sorunlardan biri olmaya devam etmektedir. Bu araştırmada, deplasman değerlerini irdelemek için Quasi-Newton eğitim algoritması tabanlı yapay sinir ağı önerilmiştir. YSA modelleri, gradyan bilgileri kullanılarak her bir yinelemede ters Hessiyan yaklaşımı ile tasarlanmıştır. Jet grout uzunluğu, çapı ve uygulanan kuvvetler girdi parametresi olarak alınmıştır. Sonuçlar, önerilen algoritmanın özellikle incelenen zemin alanları için yer değiştirmeyi tahmin etmede etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Jet Grout Yöntemi, Zemin İyileştirme, Arazi Kazık Yükleme Deneyi, Yapay Sinir Ağları.

Ground Improvement with Jet Grout Method and Displacement Prediction: A Case Study

Abstract

Jet Grout application project has been carried out as a soil improvement technique for a living complex to be built on a cohesive soil in Meram district of Konya. Due to the bearing capacity and settlement problems in the related area, a total number of 3351 pieces of Jet Grout columns were implemented in a 1.6 x 1.6 m configuration with a diameter of 60 cm and a length of 15 m. At the site quality controls of the implementations were carried out by conducting integrity and in-situ loading tests. In this study, in-situ loading test results that has been obtained from 25 randomly selected jet grout columns been used to predict the displacements. According to the test results, it was determined that the proposed improvement project operates safely performance under the project load without any problems. In addition to the field studies, it is also important to predict displacements that will occur in accordance with the loading-unloading cycle. Displacement prediction and evaluation remains as one of the significant problems in the civil engineering applications due to very limited applicable data. In this research, Quasi-Newton training algorithm based artificial neural network was

¹Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2649-0381, gmisir@kmu.edu.tr

proposed for evaluating the displacement values. ANN models were designed with the approximation of the inverse Hessian at each iteration by using gradient information. Jet grout length, diameter and applied forces were taken as input parameters. The results showed that the proposed algorithm is efficient in predicting the displacement especially for the examined ground areas.

Keywords: Jet Grout Method, Soil Improvement, In-Situ Pile Loading Test, Artificial Neural Networks.

1. Giriş

İnşaat faaliyetlerinin tamamında, üst yapıdan aktarılan yükler, temel sistemleri aracılığı ile taşıyıcı zemin bölgeleri tarafından taşınmaktadır. Bu nedenle, endeks ve mühendislik özellikleri, çevre koşulları, yükleme geçmişi, yeraltı su durumu, yükleme koşulları ve heterojen, anizotrop yapısı nedeni gibi birçok değişkene bağlı bir ortamın yük altındaki mekanik davranışının yeterli doğrulukta tayin edilmesi oldukça önem arz etmektedir. Son yıllarda mevcut kentleşme faaliyetlerinin artması, günümüz koşullarına uygun yaşam komplekslerine geçiş ile konsantrasyon yükü alanların teşkil edilmesi, yüksek yapı imalatlarının hız kazanması ve bununla birlikte yaşanan arsa sıkıntıları, geoteknik uzmanlık çalışmalarına duyulan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır. Bu nedenle mevcut inşaat alanları için taşıma gücü ve oturma yetersizliği başta olmak üzere heyelan, deprem ve sivilaşma riski açısından gerekli değerlendirmelerin yapılması ve güçlendirme tedbirlerinin alınması oldukça önem kazanmıştır.

Üst yapı için yetersiz olan zemin koşullarının söz konusu olduğu sahalarda çözüm yolu olarak birkaç farklı alternatif düşünülebilmektedir. Bunlardan bazıları, elverişsiz koşullara sahip inşaat sahasından vazgeçilebilir, üst yapı, mevcut saha koşullarına uygun şekilde revize edilebilir, temel sistemi değiştirilebilir veya zeminin performansının iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Bu seçeneklerden uygun olanına karar vermek söz konusu yetersizliğin giderilebilmesi için güvenilir, uygulanabilir ve ekonomik bir yaklaşımın bir arada olduğu optimum çözümün tercih edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle, zemin iyileştirme çalışmaları bu üç koşulun bir arada sağlanabildiği durumlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte Geoteknik Mühendisliğinde, zemin iyileştirme çalışmalarına sıklıkla başvurulmaktadır. Problemleri herhangi bir saha için hangi yöntemin seçileceği konusu tecrübe, maliyet ve uygulanabilirlik alt başlıklarını içerirse de ayrıca; beklenen iyileşmenin seviyesi ve diğer olası yöntemlere göre elde edilebilecek iyileşmelerin göreceli farkları gözetilerek değerlendirilmelidir.

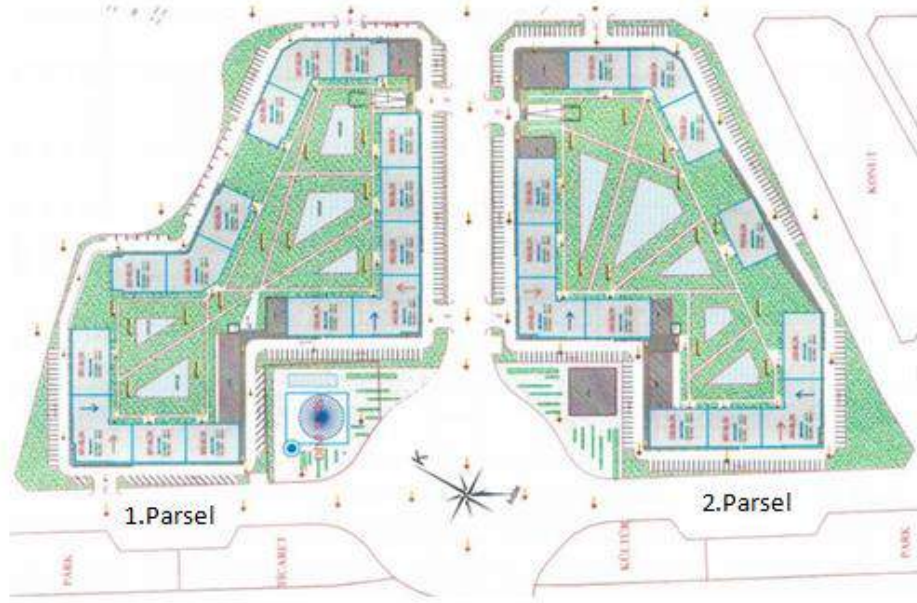
Son yıllarda sıklıkla uygulanan yöntemlerden biri enjeksiyon tekniği ile zemin ıslahıdır. En genel anlamda akışkan malzemenin basınç altında zemin boşluklarına enjekte edilmesi ile bu boşlukların azaltılması prensibine dayanmaktadır. Yöntem günümüzde, yüksek basınçlar altında zemine enjekte edilen enjeksiyon malzemesinin, zemin içinde göreceli rijitliği yüksek sürekli bir kolon oluşturacak şekilde gelişim göstermesiyle, Jet Grout yöntemi adıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Jet Grout yöntemi, zeminin iyileştirme, kazı yüzeylerinin desteklenmesinde, geçirimsizlik perdelerinin teşkilinde, kazı çukuru taban tıpalaması uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (James ve Wen-Chieh 2014, Wang ve ark. 2013, Düzceer ve Gökalp 2003, Durgunoğlu ve ark. 2004, Wong ve ark. 2020, Bayesteh ve Sabermahani 2020, Vu ve Le 2020). İmalat prensibi olarak; kolon alt ucu seviyesine indirilen prob ile oluşturulacak çapa uygun olarak seçilen Jet sistemine bağlı olarak zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması esasına dayanmaktadır. İmalatın performansını belirleyen temel parametreler ise seçilen jet sistemi, nozul sayısı ve çapı, enjeksiyon basıncı, tıjin dönme ve çekilme hızı, enjeksiyonun su/çimento oranıdır. Yöntemin avantajları arasında, hemen hemen tüm zemin türlerinde uygulanabilmesi, hızlı ve ekonomik olması, istenilen derinlikte başlanıp bitirilebilmesi ve saha süreksizlikleri/değişikliklerine kolay adapte edilebilmesi sayılabilir. Zemin içinde oluşturulan kolon geometrinin belirlenmesindeki zorluk, kolon sürekliliğinin sağlanmasının kontrolü ve imalat süresince gözlem ve tecrübeye ihtiyaç duyulması da yöntemin dezavantajları olarak sayılmaktadır (Croce, ve ark. 2014).

Çalışma, Konya ili Meram ilçesinde bulunan arsanın temel zemin özelliklerinin, Jet-Grout yöntemiyle iyileştirilmesine yöneliktir. İnşaat sahası için, 2017 yılında Geoteknik Değerlendirme Raporu hazırlanmıştır. Söz konusu raporlarda belirtilen sonuçlara göre, temel sistemleri altında gerilme yetersizliklerinin olduğu belirlenmiş olup, bu yetersizliklerin giderilmesi için, temel sistemi altında zemin ıslahı yapılması veya derin temel sistemine geçilmesi önerilmiştir. Zemin ıslah metodunun seçiminde önemli etkenler; metodun uygulama kolaylığı, tanımlanan problemin çözümüne etkinliği, maliyeti ve çevresel etkilere duyarlılığı olarak sıralanabilir. Bu anlamda saha özelinde en etkili ve uygun yöntemin, çimento ve diğer bağlayıcıların zemin içine yüksek veya düşük basınçlar altında enjekte edilmesine yönelik Jet-Grouting uygulaması olduğuna karar verilmiştir. Özellikle yüksek taşıma gücünün gerektiği, saha jeolojisi sebebiyle değişken zemin tiplerinde çalışma ihtiyacı duyulduğu ve inşaat süresinin kısıtlı olduğu durumlarda diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğundan, Jet-Grout tekniği sıklıkla tercih edilen zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Proje sahasında da bu durumun benzer özelliklerde olması nedeniyle zemin ıslahında jet grouting yöntemi tercih edilmiş ve zemin iyileştirme çalışmaları sonrası beklenen emniyetli zemin taşıma gücü değerleri ve kalite kontrol testleri ile servis yükü altında sistem performansı değerlendirilmiştir. Kalite kontrol testleri için 25 farklı jet imalatı üzerinde yükleme testleri yapılmış ve yükleme-boşaltma çevrimleri ile servis yükünün %130'una kadar çıkmıştır. Çalışmanın devamında ise ilgili saha profili ile sınırlı olmak üzere, yükleme test sonuçları kullanılarak, yapay sinir ağı yöntemi ile deplasman tahminleri yapılmıştır. Yapay ağırlar, yapısal, mühendislik problemleri de dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Altun ve ark. 2008). Bu ağırlar insan beynini modellemeyi ve bazı eylemlerini gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Yapay sinir ağı (YSA) başlangıçta matematiksel nörobijolojiden gelmekle birlikte, alternatif olarak regresyon modellerinin ve diğer istatistiksel tekniklerin kullanılabilmesi tahmin ve sınıflandırma problemlerinde de faydalıdır. YSA istatistiksel açıdan incelendiğinde esnek ve doğrusal olmayan regresyon yöntemi olarak sınıflandırılmıştır (Paliwal ve Kumar, 2009). YSA uygun şekilde yapılandırıldığında ve eğitildiğinde, geçmiş verilerdeki yönelimleri tanıyabilir (Lenard ve ark. 1995). Çoklu regresyon, ayırıcı analiz ve lojistik regresyon, tahmin ve sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan geleneksel tekniklerdir. YSA son yıllarda önem kazanmış, dolayısıyla tahmin ve sınıflandırma problemlerinde geleneksel yöntemlere alternatif çözüm haline gelmiştir (Ripley, 1994). Yapay sinir ağı, rastgele bir durumdan nihai bir modele yinelemeli olarak eğitim yoluyla geçiş yapan tamamen veri odaklı bir model olarak düşünülebilir (Smith ve Mason, 1997).

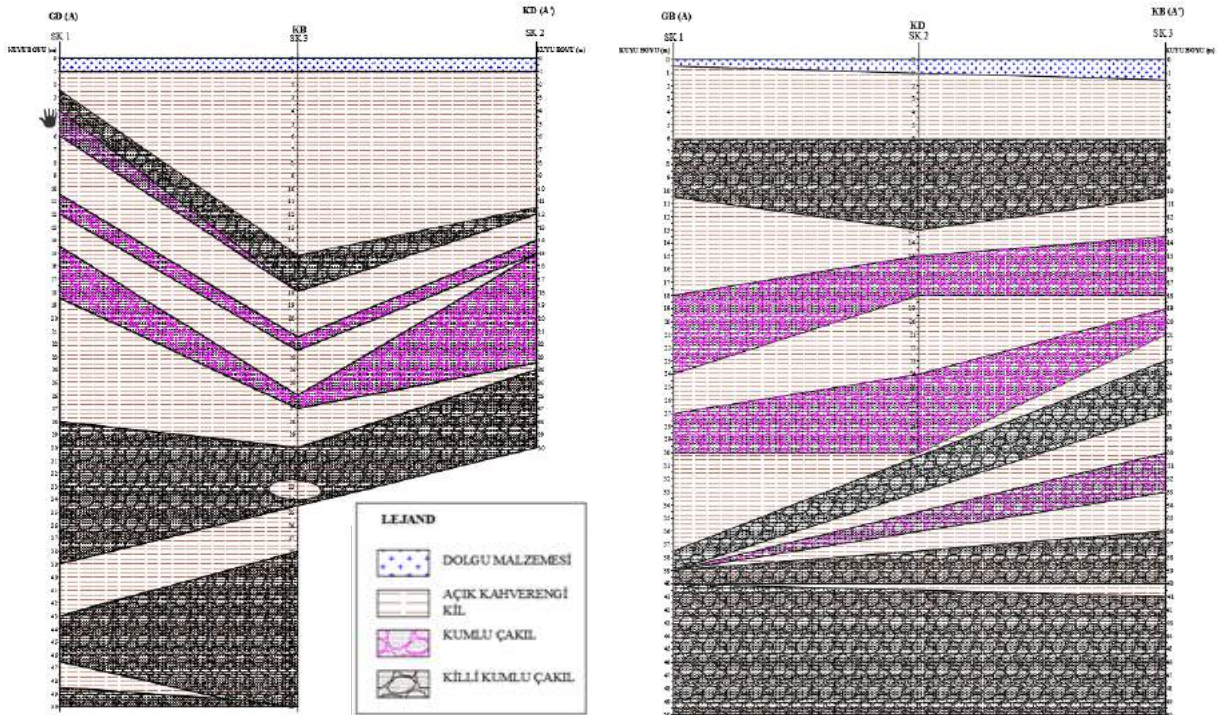
2. Materyal ve Metot

2.1. Proje Sahasına ait Bilgiler

İnceleme alanında inşa edilecek yaşam kompleksi için genel yerleşim planı Şekil 1’de verilmiştir. Toplam inşaat alanı 2 farklı parselden oluşmakta olup, saha genelinde 30 ila 50 m derinliklerde değişen 20 adet sondaj çalışması planlanmıştır. Bu sondaj çalışmaları için her iki parselden seçilen 3'er sondaj logundan elde edilen zemin profiline ait temsili jeolojik kesitler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Genel Yerleşim Planı



Şekil 2. Genel Yerleşim Planı

Sahaya ait zemin profili incelendiğinde temel taban kotu altında (-3.90 m) ağırlıklı olarak siltli kum, kil, kumlu çakıl ve killi kumlu çakıl birimleri yer almaktadır. İki farklı parselde geleneksel zemin mekaniği deneyleri yapılarak, zeminin endeks ve mühendislik özellikleri yanında oturma potansiyelinin tayini için konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre zemin emniyet gerilmesi değerleri birinci ve ikinci parseller için sırası ile 210 ve 200 kPa değerlerinde elde edilmiştir. Sahada inşa edilecek yapılardan aktarılan maksimum taban gerilmesi değeri, statik analizlerden 383 kPa olarak belirlenmiştir. Yapı yüklerinden dolayı zemine aktarılacak üniform basınç değerleri, zemin emniyet gerilmesi değerini aşmakta, oturma analizi sonuçlarına göre ise her iki parselde de 30 cm'nin üzerinde konsolidasyon oturması oluşması beklenmektedir. Ortaya çıkan bu elverişsiz koşullar nedeni ile

e-ISSN:2148-2683

İlgili proje sahasında zemin iyileştirme çalışmasının yapılması gerekliliği doğmuştur. Bu amaçla, temel zemininin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulama kolaylığı, ekonomikliği ve imalatların hızı vb. avantajları nedeni ile Jet Grout ile iyileştirme yapılması tercih edilmiştir.

2.1.1. Jet Grout Yöntemi ile İyileştirme

Sahaya ait zemin profilinin değişkenlik arz etmesi, zemin parametreleri ve tabaka kalınlıklarının değişkenliği, taşıma gücü ve oturma davranışını değerlendirmede ve Jet Grout kolon boyutlarının belirlenmesini karmaşıklaştıracığı gerekçesi ile sahada zemin idealizasyonuna gidilmiştir. Bu amaçla her iki parsel için de laboratuvar çalışmaları ile elde edilen zemin parametreleri değerlendirilmiş ve taşıma gücü ve oturma hesapları için Tablo 1'deki parametrelerin kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 1. İdealize Zemin Profili için Parametreler

ZEMİN TABAKALRI	PARAMETRELER	1.PARSEL	2.PARSEL
1.TABAKA (Kil Zemin)	Tabaka Kalınlığı Birim Hacim Ağırlık Kohezyon İçsel Sürtünme Açısı	3.90-12.00 m 17.3 kN/m ³ 122 kN/m ² -	3.90-6.00 m 17.2 kN/m ³ 113 kN/m ² -
2.TABAKA (Killi Çakıllı Kum Zemin)	Tabaka Kalınlığı Birim Hacim Ağırlık Kohezyon İçsel Sürtünme Açısı	12.00-16.00 m 18.0 kN/m ³ - 29°	6.00-12.00 m 18.0 kN/m ³ - 29°
3.TABAKA (Kil Zemin)	Tabaka Kalınlığı Birim Hacim Ağırlık Kohezyon İçsel Sürtünme Açısı	16.00-18.90 m 17.2 kN/m ³ 122 kN/m ² -	12.00-15.00 m 17.2 kN/m ³ 105 kN/m ² -
4.TABAKA (Killi Çakıllı Kum Zemin)	Tabaka Kalınlığı Birim Hacim Ağırlık Kohezyon İçsel Sürtünme Açısı	18.90-24.00 m 18.0 kN/m ³ - 29°	15.00-18.90 m 18.0 kN/m ³ - 29°
5.TABAKA (Kil Zemin)	Tabaka Kalınlığı Birim Hacim Ağırlık Kohezyon İçsel Sürtünme Açısı	-	18.90-24.00 m 18.9 kN/m ³ 112.5 kN/m ² -

Yapıdan zemine aktarılacak gerilme ve oturma problemlerinin önüne geçebilmek için Ø60cm çapında ve 15m boyunda jet-grout kolonları planlanarak, hesaplamalar yapılmıştır. Jet Grout kolonunun taşıma gücü, kolonun entegre olduğu zemine göre çevre ve uç sürtünmesi dikkate alınarak -3.9 m ile 18.9 m arasındaki derinlik için hesaplanmıştır. Güvenlik sayısının 3.5 alındığı çalışmada, birinci parselde Jet Grout kolonunun 67.17 ton, ikinci parsel için ise 56.5 ton servis yükü sağlayabileceği hesaplanmıştır. Her iki parseldeki zemin profili göz önüne alındığında, temel zemininde önemli bir değişiklik olmaması nedeniyle ve güvenli tarafta kalmak için, düşük taşıma kapasitesi (56.5 t) tüm saha için kabul edilmiş ve ıslah sonrası müsaade edilebilir taşıma gücü değerinin hesabında kullanılmıştır.

Jet Grout yöntemi ile iyileştirme çalışmaları için saha profili ve zemin parametreleri göz önüne alındığında Ø60 cm çapında (-3.90 ile -18.90 m arasında) 15 m derinliğinde toplam 3351 adet kolon imalatının yapılmasına karar verilmiştir. Saha genelinde jet grout kolonları 1.60x1.60 m karelağ ile uygulanmıştır. Uygulanan kolonlar Jet-1 yöntemi ile imal edilmiş olup, 1/1 Su-Çimento oranında ve 400-450 bar aralığında basınç uygulanarak oluşturulmuştur.

Zemin iyileştirme çalışması sonrası her iki parsel için ıslah sonrası öngörülen emniyetli gerilme değerleri;

Birinci parsel için İslah sonrası zemin emniyet gerilmesi hesabı

$\sigma_{em} = 21.0 \text{ ton/m}^2$ (İslah öncesi zemin emniyet gerilmesi)

Jet kolon aralıkları 1.60x1.60 m karelaç seçim yapılarak hesap yapılırsa,

Jet-kolon etki alanı (1.60x1.60m)(A_{kare})=2.56 m²

Jet-kolon kesit alanı, $A_p = \pi D^2/4 = 3.14 \times 0.60^2/4 \cong 0.283 \text{ m}^2$

Net etki alanı (A_{pnet})=2.56-0.283=2.277 m²

$\sigma_{em, islah} = (21 \times 2.277 + 56.5)/2.56 \cong 40.75 \text{ t/m}^2$ hesaplanmıştır.

İkinci parsel için İslah sonrası zemin emniyet gerilmesi hesabı

$\sigma_{em} = 20.0 \text{ ton/m}^2$ (İslah öncesi zemin emniyet gerilmesi)

Jet kolon aralıkları 1.60x1.60m karelaç seçim yapılarak hesap yapılırsa,

Jet-kolon etki alanı(1.60x1.60m)(A_{kare})=2.56 m²

Jet-kolon kesit alanı, $A_p = \pi D^2/4 = 3.14 \times 0.60^2/4 \cong 0.283 \text{ m}^2$

Net etki alanı (A_{pnet})=2.56-0.283=2.277 m²

$\sigma_{em, islah} = (20 \times 2.277 + 56.5)/2.56 \cong 40.0 \text{ t/m}^2$ hesaplanmıştır.

olarak elde edilmiştir. Her iki parsel için hesaplamalar göz önüne alındığında ıslah sonrası zeminin öngörülen emniyetli gerilme değeri 40.0 ton/m² olarak belirlenmiştir.

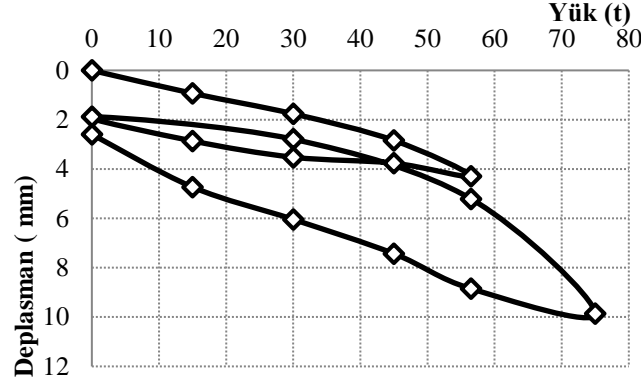
2.1.2. Arazi Yükleme Testleri

İmal edilen toplam 3351 adet jet grout kolonu için her 150 kolonda birinde yükleme testi yapılması öngörölmüş ve sahada toplamda 25 farklı kolon için yükleme testleri yapılmıştır. Hazırlık aşamalarında yükleme süreci boyunca sahada gerçekleştirilen süreçlere ait görseller Şekil 3'te verilmiştir. 4 m boyundaki yükleme kirişi, test edilecek jet grout kolonunun merkezi üzerine yere paralel şekilde yerleştirilmiş ve içerisine 51 mm'lik dwydag ankraj çubukları yerleştirilerek, jet grout kolonları ile aynı eksene getirilmiş, dwydag çubukları uygun şekilde kirişe bağlanmıştır. Deney kirişi ile test kolonu arasında yeterli yükseklikte krikolar yerleştirilerek kiriş ile başlık arasında tam temas sağlanmıştır. Yükleme esnasında başlık kirişinin iki farklı noktasında oluşan deplasmanların belirlenmesi amacıyla 50 mm kapasiteli 0.01mm hassasiyetli iki deplasman saati kullanılmış olup, hesaplar deney sırasında elde edilen deplasmanların ortalaması alınarak yapılmıştır. Eksenel yükü uygulayabilmek için 100 t kapasiteli hidrolik pompa kullanılmıştır. Yükleme testleri, ASTM D 3689 – 90 nolu standarda uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. a) Kolon Başlarının Açılması, b) Jet-Grout Yükleme Düzeneği, c) Jet-Grout Kolonu Yüklenmesi Ve Veri Alınması

Deney ekipmanları kontrol edildikten sonra ASTM standartlarına uygun şekilde hazırlanmış deney süreleri belirlenmiş ve yükleme işlemine başlanmıştır. Deneylerde, ilk çevrimde proje yükü olan 56.5 t ve ikinci çevrimde ise proje yükünün %130'u olan 75 tona kadar yükleme yapılmıştır. Yükleme, proje yükünün kademeleri şeklinde uygulanmış olup, maksimum yüke dört kademede ulaşılmıştır. Yükleme esnasında her yük kademesinde oturma hızının 0.25 mm/saat'in altına düşmesi beklenmiş, aksi durumda maksimum bekleme süresi 2 saat olarak belirlenmiştir. Tipik bir yükleme/boşaltma çevrimine ait Jet Grout kolon yükleme test sonucu Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Tipik bir Jet Grout Kolon için Yükleme Deney Sonucu

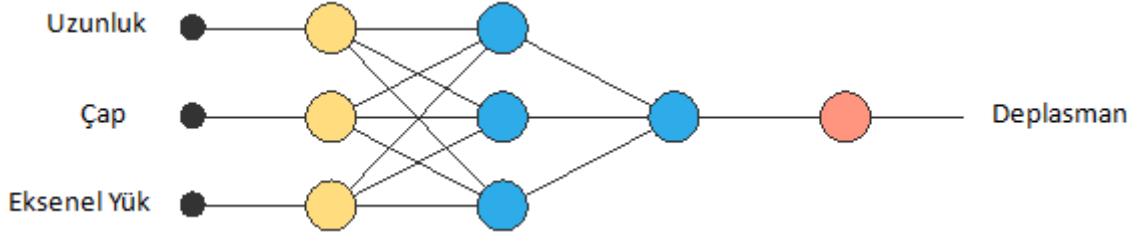
2.2. Yapay Sinir Ağı Metodolojisi

Yerinde gerçekleştirilen yükleme testlerine göre elde edilen sonuçlar üzerinde, ilgili test sahası parametreleri ve kazık geometrisi için deplasman tahminleri yapılmıştır. Literatürde Jet Grout yöntemi için kolon çapının, reolojik özelliklerinin, serbest basınç dayanımının, imalat sırasında oluşacak yanal deplasmanları vb. parametrelerin önceden öngörülmesini sağlayacak gerek istatistiksel gerekse yapay sinir ağları tabanlı çalışmalarla sıklıkla karşılaşılmaktadır (Long Shen ve ark. 2013, Güllü H. 2017, Akan ve ark. 2015, Shen ve ark. 2017 vb). Bu amaçla, çalışma kapsamında Quasi-Newton algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ikincil türevlerin hesaplanmasını gerektirmemesi nedeniyle yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Eğitim algoritması Tablo 2'de sunulmuştur. Yapay sinir ağı değerlendirmesi ters Hessian yaklaşım yöntemi ile analiz edilmiştir.

Tablo 2. Yapay Sinir Ağı Algoritması

	TANIM	DEĞER
Ters Hessian yaklaşım yöntemi	Uygun öğrenme oranını elde etmek için kullanılır.	Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno algoritması
Öğrenme oranı yöntemi	Yarı Newton öğrenme yönü adımını hesaplamak için kullanılan metod.	Bren Metodu
Kayıp toleransı	Öğrenim oranı için en büyük iç uzunluk.	0.001
Artış normu için en küçük parametre	Artış vektörünün duracağı adım için normal parametre	1e-09
Kayıp amaç	Kayıp için amaç değeri	1e-12
Degrade norm hedefi	Nesnenin işlevi normuna göre hareket edin gradyan.	0.001
En büyük hata artma seçimi	Seçim hatasının arttığı maksimum dönem sayısı	100
Maksimum iterasyon sayısı	Eğitimi gerçekleştirmek için maksimum iterasyon sayısı	1000
Maksimum zaman	En fazla öğrenme zamanı	3600
Parametrelerin normal geçmişinin yedeklenmesi	Her bir iterasyonun normal parametreleriyle grafik çizilmesi	Yanlış
Hata geçmişinin yedeklenmesi	Her bir iterasyonun kaybı için grafik çizilmesi	Doğru
Hata seçim geçmişinin yedeklenmesi	Her bir iterasyonun seçim hatası için grafik çizilmesi	Doğru
Gradyan normal geçmişinin yedeklenmesi	Her bir iterasyonun normal gradyanı için grafik çizilmesi	Yanlış

Deplasman değerlerinin değerlendirilmesinde jet grout kolonların çapları, uzunlukları ve yükleme değerleri girdi verileri olarak kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağı modeli Şekil 5'te gösterildiği gibidir. Kök, kare yöntemi hata metodu olarak kullanılır. Sinir ağından elde edilen çıktılar ile veri kümesindeki hedefler arasındaki ortalama kare hatasının karekökünü alır. Nöral parametre normu, normleştirme yöntemi olarak, parametrelerin değerini azaltarak sinir ağının karmaşıklığını kontrol etmek için uygulanmıştır. Nöral parametreler norm ağırlığı 0.001 olarak alınmıştır.



Şekil 5. Yapay Sinir Ağı Modeli

Parametrelerin normu, öngörücü modelin karmaşıklığı hakkında bir ipucu vermektedir. Parametreler normu küçüldükçe, model pürüzsüz olmaktadır. Öte yandan, parametre normunun artması, modeli kararsız hale getirebilmektedir. Ayrıca, normun parametre sayısına bağlı olduğu da not edilebilir. Parametre normu uygulanan sistemde 6.56'dır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Saha Çalışması Sonuçları

Proje sahası kapsamında imal edilmiş ve kontrolör firma tarafından rastgele seçilen 25 farklı Jet-Grout kolonu üzerinde yükleme testleri gerçekleştirilmiştir. Deney kolonları Ø60 cm çapında ve L=15m boyunda imal edilmiştir. Proje yükleri tüm kolonlar için 56.5ton olarak projelendirilmiş olup yükleme deneylerinde proje yükünün üzerine çıkılarak 75ton yükleme yapılmıştır. Deneylerde elde edilen maksimum oturma değerleri ile kalıcı oturma değerleri iki farklı parsel için sırasıyla Tablo 3 ve 4'te sunulmuştur.

Tablo 3. 1. Parsel Bölgesi Jet-Grout Yükleme Deney Sonuçları

Sıra No	Yükleme Kademesi	Toplam oturma (mm)	Kalıcı oturma (mm)
1	56.5 ton (Proje yükü)	3.98	1.59
	75ton (proje yükü %130)	7.95	2.80
2	56.5 ton (Proje yükü)	2.18	0.81
	75ton (proje yükü %130)	3.19	1.81
3	56.5 ton (Proje yükü)	3.49	1.37
	75ton (proje yükü %130)	5.30	2.03
4	56.5 ton (Proje yükü)	3.31	1.11
	75ton (proje yükü %130)	4.49	1.87
5	56.5 ton (Proje yükü)	2.57	0.89
	75ton (proje yükü %130)	3.86	1.34
6	56.5 ton (Proje yükü)	2.41	0.73
	75ton (proje yükü %130)	3.96	1.13
7	56.5 ton (Proje yükü)	2.76	1.17
	75ton (proje yükü %130)	4.96	1.89
8	56.5 ton (Proje yükü)	2.98	1.17
	75ton (proje yükü %130)	5.17	2.11
9	56.5 ton (Proje yükü)	2.49	1.17
	75ton (proje yükü %130)	4.36	1.86
10	56.5 ton (Proje yükü)	2.35	0.93
	75ton (proje yükü %130)	3.94	1.74
11	56.5 ton (Proje yükü)	4.29	1.88
	75ton (proje yükü %130)	9.86	2.59
12	56.5 ton (Proje yükü)	3.17	1.11
	75ton (proje yükü %130)	6.01	2.01

Tablo4. 2.Parsel Bölgesi Jet-grout yükleme deney sonuçları

Sıra No	Yükleme Kademesi	Toplam oturma (mm)	Kalıcı oturma (mm)
1	56.5 ton (Proje yükü)	2.91	1.35
	75ton (proje yükü %130)	3.70	1.90
2	56.5 ton (Proje yükü)	2.76	1.50
	75ton (proje yükü %130)	3.42	2.10
3	56.5 ton (Proje yükü)	2.96	1.34
	75ton (proje yükü %130)	3.55	1.83
4	56.5 ton (Proje yükü)	2.90	1.17
	75ton (proje yükü %130)	3.81	1.90
5	56.5 ton (Proje yükü)	2.85	1.34
	75ton (proje yükü %130)	3.71	1.90
6	56.5 ton (Proje yükü)	1.43	0.61
	75ton (proje yükü %130)	1.67	1.11
7	56.5 ton (Proje yükü)	2.94	1.40
	75ton (proje yükü %130)	3.87	1.93
8	56.5 ton (Proje yükü)	3.91	2.02
	75ton (proje yükü %130)	6.78	2.73
9	56.5 ton (Proje yükü)	2.65	1.12
	75ton (proje yükü %130)	3.25	1.89
10	56.5 ton (Proje yükü)	2.51	1.09
	75ton (proje yükü %130)	3.35	1.51
11	56.5 ton (Proje yükü)	2.73	1.34
	75ton (proje yükü %130)	3.89	1.87
12	56.5 ton (Proje yükü)	2.85	0.89
	75ton (proje yükü %130)	3.49	1.49
13	56.5 ton (Proje yükü)	3.17	1.14
	75ton (proje yükü %130)	3.86	1.86

Tablo 3 ve 4'e göre, proje yükü altında elde edilen kalıcı oturma değerleri, izin verilebilir deplasman sınırı olan 2.5 cm limit değerinin altında olduğu görülmektedir. Bu durum, Jet Grout ile iyileştirme çalışmasının hem zemin taşıma gücünü hem de oturma potansiyelini kontrol altına almada tasarım kriterlerini sağladığı göstermektedir.

3.2. Yapay Sinir Ağı Sonuçları

Quasi-Newton yöntemiyle eğitim sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Tabloda verilen değerler sınır koşullarını sağlamaktadır.

Tablo 5. Quasi-Newton Eğitim Sonuçları

	Değer
Parametrelerin son normal değeri	6.56
Sonuç öğrenme hatası	1
Öğrenme hatası sonucu	1
Gradyan normal sonucu	0.001
Devir sayısı	1000
Durma kriteri	Gradyen normal amaç

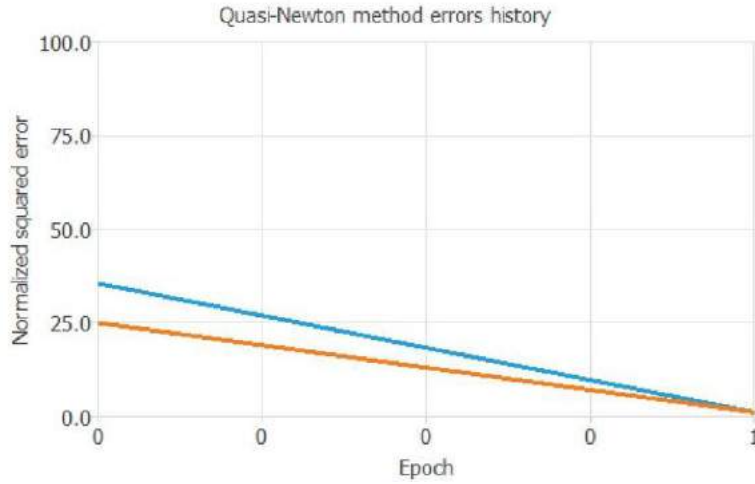
Sinir ağı tarafından temsil edilen matematiksel ifade aşağıda verilmiştir. Çıkış sapmasını üretmek için girişler, kazık uzunluğu, kazık çapı ve uygulanan aksel yük olarak alınmıştır. Fonksiyon regresyon problemleri için, bilgi ölçeklendirme katmanı, algılayıcı katmanlar ve ölçeklendirme katmanı vasıtasıyla ileri beslemeli bir şekilde yayılmaktadır.

```

scaled_length = (length-15)/0;
scaled_diameter = (diameter-60)/0;
scaled_load = (load-32.0294)/21.8698;
y_1_1 = tanh (0.207886+ (scaled_length*-1.42895)+
(scaled_diameter*0.757933)+ (scaled_load*0.911499));
11
y_1_2 = tanh (1.7915+ (scaled_length*1.11084)+
(scaled_diameter*-1.87573)+ (scaled_load*1.47461));
y_1_3 = tanh (-1.76489+ (scaled_length*0.578001)+
(scaled_diameter*0.826171)+ (scaled_load*-1.6582));
y_2_1 = tanh (-1.16781+ (y_1_1*-0.691618)+ (y_1_2*-1.62784)+
(y_1_3*2.13553));
y_2_2 = tanh (-1.07893+ (y_1_1*0.438773)+ (y_1_2*-0.789969)+
(y_1_3*1.64873));
y_2_3 = tanh (0.105568+ (y_1_1*-0.510033)+ (y_1_2*0.758201)+
(y_1_3*-1.10561));
scaled_deflection = (0.110745+ (y_2_1*1.88048)+ (y_2_2*-1.
24374)+ (y_2_3*1.2728));
deflection = (0.5*(scaled_deflection+1.0)*(986-0)+0);
12

```

Şekil 6'da verilen grafik, her bir yinelemedeki eğitim ve seçim hatalarını göstermektedir. Mavi çizgi egzersiz hatasını ve turuncu çizgi seçim hatasını temsil eder. Eğitim hatasının başlangıç değeri 35.4621 ve 1 dönemden sonraki son değer 1'dir. Seçim hatasının başlangıç değeri 24.9017 ve 1 dönemden sonraki son değer 1.00239'dur. Eğitim ve testler sonucu tüm hata oranları %1'e indirgenmiştir.



Şekil 6. Quasi-Newton Hata Geçmişi

4. Sonuç

Bu çalışmada, Jet Grout yöntemi ile zemin iyileştirme çalışması bir vaka analizi olarak sunulmuş ve geliştirilen yapay sinir sistemi yardımıyla, çalışılan bölge özelinde deplasman tahmini yapılmıştır. Gerçekleştirilen analiz ve sistem değerlendirilmeleri yapıldığında aşağıda sıralanan sonuçlar çıkarılabilir:

- Saha temel zeminin taşıma gücü ve oturma açısından yetersiz olması nedeni ile zemin iyileştirme çalışması olarak Jet-Grout yöntemi ile güçlendirme çalışması yapılmasına karar verilmiş ve sahada 3351 adet 60 cm çapında 15 m boyunda Jet kolon imalatı yapılmıştır.
- Kalite kontrol testleri kapsamında rastgele seçilen 25 farklı test kolonu üzerinde, yükleme testleri gerçekleştirilmiş ve imalatların servis yükü altında efektif bir şekilde çalıştığı görülmüştür.
- Yapay sinir ağı sistemi, uygulanan arazi özelinde, jet grout kolon çapı, uzunluğu ve uygulanan yük ile güçlü bir korelasyon göstermektedir.
- Oluşturulan yapay sinir sistemi, yer yer çakıl bantları içermekle birlikte kohezyonlu zemin yoğunluğunun fazla olduğu çalışmaya konu olan saha özelinde uygun ve verimli bir matematiksel denklem vermektedir. Çalışma çıktıları diğer algoritmalar ile de incelenip, girdi parametrelerinin bu tip zeminlerdeki deplasman üzerindeki etkilerinin incelenmesinin yolunu açmaktadır.
- Uygulanması yapılan sistemin diğer zeminler üzerindeki çıktıları, gelecek çalışmalar kapsamında değerlendirilebilecektir.

Kaynakça

- Akan R., Keskin S. N., & Uzundurukan S. (2015). Multiple Regression model for the prediction of unconfined compressive strength of jet grout columns. *Procedia Earth and Planetary Science*, Volume 15, Pages 299-303.
- Altun F., Kişi Ö., & Aydın K. (2008). Predicting the compressive strength of steel fiber added lightweight concrete using neural network. *Comput Mater Sci.* 42(2):259–65.
- Bayesteh, H., & Sabermahani, M. (2020). Field study on performance of jet grouting in low water content clay. *Engineering Geology*, 105314 Volume 264.
- Croce, P. Flora, A. & Modoni, G., 2014. Jet Grouting Technology, Design and Control. CRC Press Taylor & Francis Group, ISBN: 13: 978-1-4822-4718-3.
- Durgunoğlu H. T., Chinchelli M., Emrem C., & Hurley T. (2004). Soil improvement with jet-grout columns: a case study from the 1999 Kocaeli Earthquake. *Fifth International Conference on Case Histories In Geotechnical Engineering*.
- Düzceer, R., & Gökalp, A. (2003). Construction and quality control of jet grouting applications in Turkey. *Third International Conference on Grouting and Ground Treatment*.
- Güllü H. (2017). A novel approach to prediction of rheological characteristics of jet grout cement mixtures via genetic expression programming. *Neural Computing and Applications*, Volume 28, 407–420.
- James C. Ni, & Wen-Chieh C. (2014). Quality control of double fluid jet grouting below groundwater table: Case history. *Soils and Foundations* Volume 54, Issue 6, December 2014, Pages 1039-1053.
- Lenard M. J., Alam P., & Madey G. R. (1995). The Application of Neural Networks and a qualitative response model to the auditor's going concern uncertainty decision. *Decis Sci.* 26(2):209–27.
- Long S. S., Feng W. Z., Yang J. & Eu Ho C. (2013). Generalized approach for prediction of jet grout column diameter. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 139, Issue 12.
- Paliwal M., & Kumar U. A. (2009). Neural networks and statistical techniques: A review of applications. *Expert Syst Appl [Internet]*. 36(1):2–17.
- Ripley B. D. (1994). Neural Networks and related methods for classification. *R Stat Soc.* 56(3):409–56.
- Shen, S L, Wang, Z F, & Cheng, W C (2017). Estimation of lateral displacement induced by jet grouting in clayey soils. *Geotechnique*, 67(7), 621–630.
- Smith A., Mason A. K. (1997). Cost estimation predictive modeling: Regression versus neural network. *Eng Econ.* 42(2):137–61.
- Wang, Z. F., Shen, S. L., Ho, C. E., & Kim, Y. H. (2013). Investigation of field-installation effects of horizontal twin-jet grouting in Shanghai soft soil deposits. *Canadian Geotechnical Journal*, 50(3), 288–297.
- Wong R. K. .N., Weng Y. F., Leong G. K. & Cheng S. H. (2020). A case study of effectiveness of large diameter jet grout for soil improvement works in soft marine clay. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 62. Springer, Singapore.
- Vu M. N. & Le Q. H. (2020). Large soil-cement column applications in Vietnam. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 62. Springer, Singapore



Siyan (mavi) Floresan Protein Aquamarine'nin Biyoreaktörde Üretilmesi ve Saflaştırılması

Hülya Kuduğ Ceylan ^{1*}, Rizvan İmamoğlu ², İsa Gökçe ¹

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Tokat, Türkiye (ORCID ^{1*}: 0000-0003-0365-2760, ORCID¹ 0000-0002-5023-9947)

² Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6306-4760)

(İlk Geliş Tarihi 18 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.660492)

ATIF/REFERENCE: Ceylan, H. K., İmamoğlu, R., Gökçe, İ. (2020). Siyan (mavi) Floresan Proteininin Biyoreaktörde Üretilmesi ve Saflaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 300-305.

Öz

Aquamarine proteini siyan (mavi) floresan protein ailesinin bir üyesi olup ve *Aequorea victoria*'dan elde edilen GFP (yeşil floresan protein) türevi floresan bir proteindir. Aquamarine benzeri floresan proteinler genetik mühendisliği teknikleri ile geliştirilmiş özellikleri sayesinde canlı hücrelerin biyolojik olarak görüntülenmesi ve hücre içerisinde lokalizasyon çalışmaları için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada *Escherichia coli* BL21(AI) hücreleri pROEX Aqua plasmid DNA'sı ile transforme edilmiş ve %0.04 konsantrasyonda arabinoz ilavesi ile protein ekspresyonu indüklenmiştir. 3L kültür hacimli biyoreaktörde yüksek ekspresyon seviyesinde üretilen Histidin etiketli hedef protein Ni⁺² afinite kromatografisi ile saflaştırılmıştır. Saflaştırılan protein konsantrasyonu bir litre bakteri kültürü için 80 mg olarak belirlenmiştir. Rekombinant Aquamarine'ne ait fotoluminesans özellikler florometre ile analiz edilmiştir. SDS-PAGE analizi rekombinant Aquamarine proteine ait tek bir bandın olduğunu ve saflaştırılan proteinin ileri çalışmalarda kullanılmak üzere yüksek verimde ve saflıkta (>%95) elde edildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aquamarine, Siyan (mavi) Floresan Proteini, GFP, *E. coli*, Rekombinant Protein

Production of Cyan (blue) Fluorescent Protein Aquamarine in a Bioreactor and Purification

Abstract

Aquamarine is a member of the cyan fluorescent protein (CFP) protein family and is a GFP (green fluorescent protein) derived fluorescent protein from *Aequorea victoria*. Aquamarine-like fluorescence proteins are often used for biological imaging and localization studies of living cells due to their properties developed by genetic engineering techniques. In this study, *Escherichia coli* BL21 (AI) cells were transformed with pROEX Aqua plasmid DNA and protein expression was induced by the addition of arabinose at a concentration of 0.04%. Histidine-labeled target protein produced at high expression levels in the bioreactor that has 3L culture volume was purified by Ni⁺² affinity chromatography. About 80 mg of the purified protein was yielded per liter of bacterial culture. The photoluminescence properties of the Aquamarine were analyzed by fluorimeter. SDS-PAGE analysis shows a single band corresponding to the recombinant Aquamarine that was obtained high yield and purity (>95%) for further studies.

Keywords: Aquamarine, Cyan Fluorescent Protein, GFP, *E. coli*, Recombinant Protein

* Sorumlu Yazar: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Tokat, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0365-2760, hlykudug@gmail.com

1. Giriş

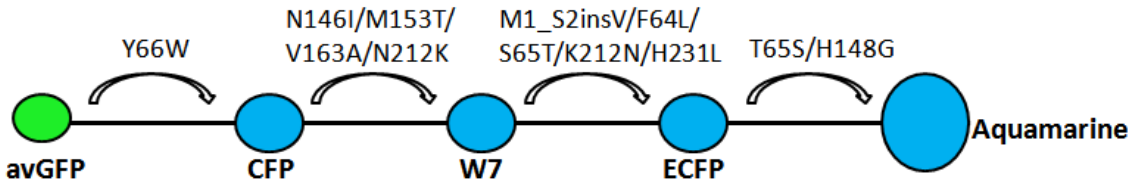
Floresan Proteinler (FP) ilk olarak *Aequorea victoria* denizanası türüne ait Yeşil Floresan Protein (GFP)'in keşfedilmesi ile ortaya çıkmıştır ve günümüzde canlı sistemlerin organizasyon ve işlevlerini incelemek için çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. GFP ultraviyole ışığa maruz kaldığında parlak yeşil floresan özellik gösteren 238 amino asite sahip 27 kDa molekül ağırlığında bir proteindir (Tsien, 1998). GFP'nin amino asit dizisi aydınlatıldıktan sonra bilim insanları GFP'nin fiziksel ve biyokimyasal özelliklerini mutagenез yoluyla geliştirerek yeni FP varyantları elde etmişlerdir. Örneğin Tsien ve arkadaşları (1995) GFP'nin floresan yoğunluğunu ve fotostabilitesini arttıran S65T nokta mutasyonunu gerçekleştirmiştir. Daha sonra GFP'nin çok sayıda mutantları geliştirilerek mavi, turkuaz ve sarı gibi farklı floresan proteinler tanımlanmıştır (Pascual ve ark., 1999, Shaner ve ark, 2005).

A. victoria'ya ait GFP ve Anthozoa mercanlarından elde edilen floresan homologları hücrelerin ve dokuların *in vivo* görüntülenmesi için paha biçilmez araçlar haline gelmiştir. Spektral ve kromofor farklılıklara rağmen GFP benzeri protein ailesinin yaklaşık 100 klonlanmış üyesi ortak yapısal, biyokimyasal ve fotofiziksel özelliklere sahiptir (Verkhusha ve Lukyanov, 2004). GFP benzeri proteinler yüksek stabilite ve yardımcı kofaktörler veya substrat olmadan kromofor oluşturma yeteneklerinden dolayı yaygın olarak floresan markörler olarak kullanılmaktadır (Wilcox ve Hirshkowitz, 2015). Hüresel ve moleküler biyolojide, GFP geni, sıklıkla bir ekspresyon raportörü olarak tercih edilmektedir (Phillips, 2001). Ayrıca biyosensör geliştirmek amacıyla modifiye floresan proteinler kullanılmaktadır. 2008 yılında Nobel Komitesi GFP ile elde edilen başarılarından dolayı Osamu Shimomura, Marty Chalfie ve Roger Tsien'i Kimya Nobel Ödülü'ne layık görmüştür.

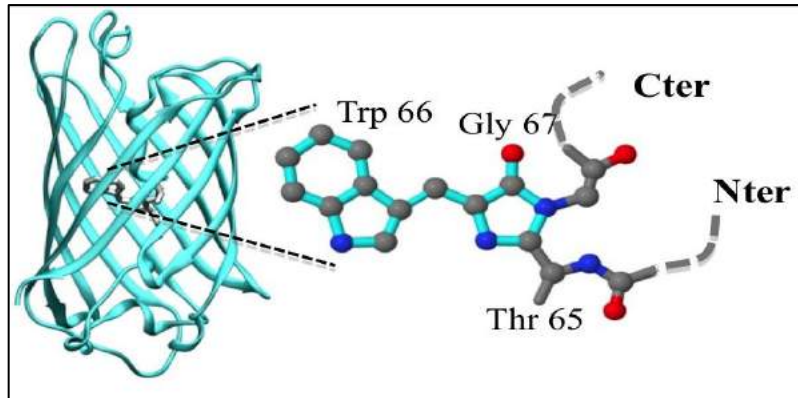
Siyan (mavi) floresan proteinleri (cyan fluorescent protein-CFP) *A. victoria*'dan elde edilen GFP'nin yapısında yapılan çeşitli mutasyonlar sonucunda geliştirilmiş floresan protein grubudur (Park, Kang ve Yoon, 2016) (Şekil 1). CFP türevlerinde kritik mutasyon, kromoforun fenol bileşeninden ziyade bir indol ile oluşmasına neden olan Y66W mutasyonudur (Sawano ve Miyawaki, 2000). Bu mutasyon, kromoforun merkezinde bulunan aminoasitlerden biri olan tirozinin triptofana mutasyonu sonucu, emilim tepe noktasının mavi renge kaymasına neden olur" şeklinde yazılmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. (Goedhart ve ark., 2012).

CFP türleri lokalizasyon ve floresan rezonans enerji transferi bazı etkileşim çalışmalarında kullanılmaktadır (Chudakov, Lukyanov ve Lukyanov, 2005). Förster rezonans enerji transferi (FRET) ile floresan proteinlere dayalı biyokimyasal görüntüleme teknikleri, canlı hücrelerde belirli kimyasal aktiviteleri ve moleküler etkileşimleri izlemek için biyolojik, farmakolojik ve klinik araştırmalarda yer almaktadır. CFP'ler canlı hücre görüntülemesinde FRET donörleri olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Mérola ve diğerleri, 2014).

Aquamarine proteini 27 kDa ağırlığında *A. victoria* GFP (avGFP) kökenli ve mutant ECFP'nin T65S ve H148G mutasyonu ile elde edilmiş CFP ailesine ait bir floresan proteindir (Şekil 1) (Erard ve ark., 2013). Aquamarine 430 nm uyarılma, 474 nm ışımaya değerlerine sahiptir (Şekil 2). Bu mutasyonlar kromofor boşluğundaki rijitliğin geri kazanılmasına ve ana zincir yapısının bozulmadan korunmasına katkı sağlar. Aquamarine ayrıca pH değeri 4 ila 10 arasında değişmeyen floresan özellikleriyle olağanüstü bir pH stabilitesine sahiptir ve çevresel etkilere düşük duyarlılık gösterir. Farklı memeli hücre sistemlerinde etkin ve parlak ekspresyon sağlamanın yanısıra uzun floresan ömrü ile hücre içi lokasyon ve füzyon çalışmalarına uygun özelliklere sahiptir. Erard ve arkadaşları (2013) canlı hücrelerin görüntülenmesinde Aquamarine'nin Yellow Fluorescent Protein (YFP) ile birlikte güvenilir bir FRET donörü olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 1. *A. victoria* GFP'nin Aquamarine floresan proteinine mutasyonu (<https://www.fpbse.org/protein/aquamarine/>)



Şekil 2: Aquamarine proteininin yapısı ve kromofor bölgesi (<http://www.lcp.u-psud.fr/spip.php?rubrique143&lang=fr>)

Escherichia coli (*E. coli*), rekombinant proteinlerin üretiminde iyi karakterize edilmiş bir sistem olduğu için en çok tercih edilen konakçı organizma olarak bilinmektedir (Choi ve ark., 2006). *E. coli* ekspresyon sistemi düşük maliyetli, yüksek ekspresyon seviyesi, e-ISSN: 2148-2683

kolay büyütme, kısa sürede ürün elde edilmesinden dolayı oldukça avantajlı bir sistemdir (Rosano ve Ceccarelli, 2014). Günümüzde birçok protein rekombinant DNA teknolojisi ile *E. coli* suşları kullanılarak üretilmektedir. Farklı CFP varyantlarının TOP10 *E. coli* hücrelerinde Histidin etiketli olarak üretimi ve saflaştırılması üzerine mevcut çalışmalar bulunmaktadır (Alvarez ve ark., 2010). Bu çalışmada *E. coli* pBAD ekspresyon sistemi kullanılarak Aquamarine floresan proteininin rekombinant olarak üretilmesi, saflaştırılması ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Suşlar ve besiyeri

Plazmit DNA'nın çoğaltılması için *E. coli* DH5 α , rekombinant protein üretiminde konukçu organizma olarak ise *E. coli* BL21 (AI) suşu kullanılmıştır. *E. coli* hücrelerinin geliştirilmesi ve plazmit DNA içeren hücrelerin seçilimi için ampisilin (100 μ g/ml) içeren LB (Luria-Bertani) (%1 tripton, %0.5 maya ekstraktı ve %1 NaCl) besiyeri kullanılmıştır.

2.2. Rekombinant ekspresyon vektörü

Aquamarine floresan proteininin ekspresyonu için Fabienne Merola (2013) tarafından oluşturulan pROEX Aqua (Addgene plazmid # 42889) isimli plazmit kullanılmıştır. 717 bp büyüklüğündeki Aquamarine kodlayan gen amino ucunda altı adet histidin ile plazmit içine kodlanmış olarak temin edilmiştir. Rekombinant plazmitin *E. coli* DH5 α hücrelerine transformasyonu gerçekleştirilmiş ve plazmit DNA EZ-10 Spin Column Plasmid DNA Miniprep Kiti (Biobasic) kullanılarak saflaştırılmıştır.

2.3. Aquamarine ekspresyonu ve biyoreaktörde üretimi

Rekombinant pROEX Aqua plazmidini kimyasal olarak kompetent hale getirilmiş *E. coli* BL21 (AI) hücrelerine ısı şoku yöntemi ile transfer edilmiştir. Transforme hücreler ampisilin (100 μ g/ml) içeren LB agar plakalara ekilerek 37°C'de gece boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Katı besiyerinden tek koloni elde edilmiş ve bu koloniler antibiyotik içeren 5 ml LB sıvı besiyerine inoküle edilmiştir ve çalkalayıcıda gece boyunca 37°C ve 200 rpm'de inkübe edilmiştir. Gece kültürünün 1 ml'si 1:1 oranında %30 (w/v) steril gliserol çözeltisi ile karıştırılarak stok kültür hazırlanmıştır ve -80°C'de saklanmıştır. Kalan kültür 5000 rpm'de santrifüj edilerek elde edilen hücre peleti steril LB ile süspansiyon edilmiştir. Kültür 50 ml LB besiyerine 1:100 oranında inoküle edilmiş ve yukarıda belirtilen kültür şartlarında gece boyunca hücreler yetiştirilmiştir. Büyük ölçekli Aquamarine üretimi, 5L çalışma hacmine sahip "Sartorius Biostat®A plus" biyoreaktöründe gerçekleştirilmiştir. Biyoreaktörde 3L LB (100 μ g/mL ampisilin ve köpük kırıcı olarak %1 zeytinyağı), besiyerine başlangıç OD600 değeri 0.1 olacak şekilde gece boyu gelişen kültürden aşılanmıştır. Biyoreaktörde üretim boyunca pH, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu ve karıştırma hızı gibi kültür koşulları biyoreaktör otomasyon sistemi ile sabit tutulmuştur. Kültür ortamının pH dengesi 5M NaOH ilavesiyle (pH 7.0) sağlanmıştır. Değişen karıştırma hızı (500-2000 rpm) ve reaktöre oksijen beslemesi ile çözünmüş oksijen konsantrasyonu (DO) %30 doygunlukta sabit tutulmuştur. Hücre konsantrasyonunun optik yoğunluğu spektrofotometrik olarak 600 nm'de ölçülmüştür. Sıcaklık probu ile 37°C'de hücre yoğunluğu OD600 değeri yaklaşık 2.0 değerine ulaştığında pBAD promotörü indükleyicisi arabinozun %0.04 konsantrasyonda ilavesi ile Aquamarine ekspresyonu indüklenmiştir. 5 saat indüklenme sonrasında hücreler +4°C'de 5000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüjlenerek hasat edilmiştir.

2.4. Rekombinant Aquamarine'nin saflaştırılması

3L *E. coli* kültürününün santrifüj edilmesi ardından elde edilen hücre pelleti 100 mL lizis tamponu ile (100 mM sodyumfosfat, 100 mM NaCl, pH 7.0) süspansiyon edilmiştir. Hücreler buz banyosunda 2 saat boyunca (15 sn aralıklı 10 döngü, %90 amplitüd) sonikatör ile parçalanmıştır. 8000 rpm'de 5 dakika santrifüj ile parçalanmamış hücreler pelet şeklinde ayrılmıştır ve tekrar kısa süreli parçalamaya tabi tutulmuştur. +4°C'de 30000 rpm'de bir saat ultrasantrifüjasyon sonrasında çözünür protein çözeltisi elde edilmiştir.

Hedef proteinin N-terminal ucundaki 6 adet histidin aminoasiti proteinin afinite kromatografisi ile saflaştırılmasını sağlamaktadır. Saflaştırma öncesinde 10 mL Ni-NTA kolon dolgu maddesi, 5 kolon hacmindeki yıkama tamponu (100 mM NaH₂PO₄, 100 mM NaCl, pH 7.8) ile dengeye getirilmiştir. Ultrasantrifüj sonrası elde edilen süpernatant denge halindeki kolona eklenerek histidin etiketli hedef proteinin kolona tutunması sağlanmıştır. Diğer proteinlerin kolondan uzaklaştırılması amacı ile kolon 10 kolon hacmindeki yıkama tamponu 1 (100 mM sodyum fosfat, 100 mM NaCl, 10 mM imidazol pH 7.8) ve yıkama tamponu 2 (100 mM sodyum fosfat, 100 mM NaCl) yıkanmıştır. Kolona bağlanan Aquamarine, elüsyon tamponu (100 mM sodyum fosfat, 100 mM NaCl, 300 mM imidazol, pH 7.8) ile kolondan elüe edilmiştir. 1'er mL'lik fraksiyonlar halinde elde edilen elüsyon örneklerinin bir kısmı kalitatif analiz için kullanılmıştır. Saflaştırılmış Aquamarine protein çözeltisinden imidazolün uzaklaştırılması amacı ile +4°C'de diyaliz tamponunda (20 mM Na₂HPO₄, 50 mM NaCl, pH 7.8) gece boyunca diyaliz gerçekleştirilmiştir.

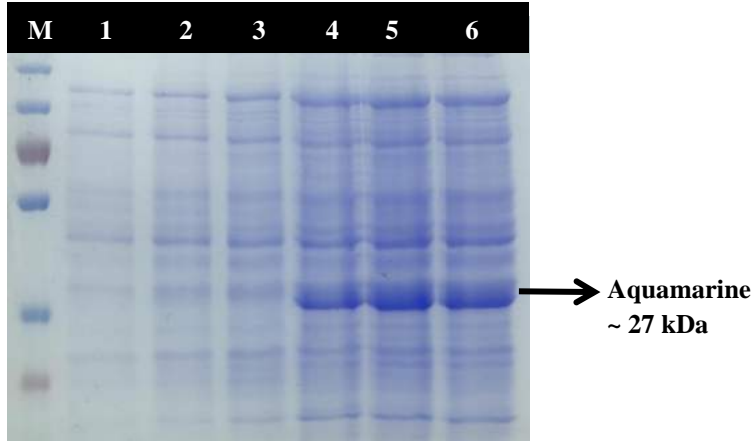
2.5. Protein analizi

Saflaştırılmış Aquamarine protein örneğinin kalitatif analizi Laemmli (1970) yöntemi esas alınarak SDS-PAGE ile gerçekleştirilmiştir. Saf protein 1X numune tamponu ile karıştırılarak 95°C'de 3 dakika denatüre edilmiş ve jelle yüklemeye hazır hale getirilmiştir. %12'lik denatüre SDS-PAGE'ye ile ayrılan proteinler coomassie brilliant blue (Ambresco, ABD) boya çözeltisi ile 1 saat boyunca çalkalayıcı üzerinde boyanmıştır. 1 saat boya uzaklaştırma çözeltisi ve saf suda çalkalanarak jelden fazla boya uzaklaştırılmıştır. Protein konsantrasyonu belirlemek amacı ile UV-VIS spektrofotometrede (Varian Cary® 50) saf protein örneğinin 280 nm'de absorbans değeri ölçülmüştür. Saflaştırılmış Aquamarine'nin soğurum ve fotolimünesans özelliklerinin belirlenmesinde florimetre (PTI Quanta Master™) kullanılmıştır. Saf protein çözeltisi diyaliz tampon çözeltisi ile seyreltilerek belirli dalga boyu aralığında ölçümler alınarak soğurum, uyarılma ve emisyon grafikleri elde edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Transforme hücrelerin seçilimi ve biyoreaktörde protein üretimi

717 bç büyüklüğünde floresan protein Aquamarine kodlayan geni taşıyan pROEX Aqua plazmidi ticari olarak temin edilmiştir. Plazmidin *E. coli* BL21 (AI) hücrelerine transformasyonu yapıldıktan sonra ampisilin içeren LB agar plakalarda inkübasyon sonrası ertesi gün koloni oluşumu gözlenmiştir. Plakalar UV ışığı altında incelendiğinde transforme hücrelerin siyan (mavi) renk ışımaya vererek transforme olmayan hücrelerden seçilimi sağlanmıştır. Siyan (mavi) renkteki koloniler önce deney tüpü (5 mL) daha sonra erlenlerde (50 mL) LB besiyerinde yetiştirilmiştir ve protein üretimi amacı ile 3L besiyerini içeren biyoreaktöre inoküle edilmiştir. Rekombinant Aquamarine ekspresyonu arabinoz ile indüklenebilen araBAD promotorunun kontrolünde gerçekleştirilmiştir. 2.0 OD600 hücre yoğunluğuna ulaşan biyoreaktör kültürü %0.04 arabinoz ile indüklenmiştir. 5 saat indüklemenin ardından OD600 yaklaşık 12.0 değerine ulaşmıştır. Oksijen konsantrasyonunun ve pH'nın sabit değerlerde tutulduğu biyoreaktörde üretim esnasında belirli aralıklarda reaktörden örnekler alınarak bu örneklerin SDS-PAGE analizi yapılmıştır (Şekil 3).

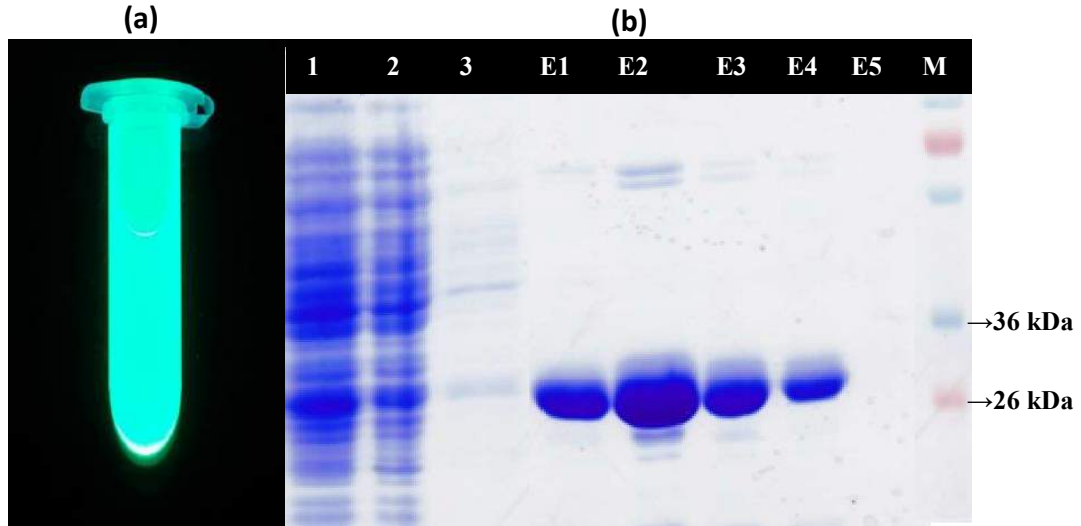


Şekil 3. İndükleme sonrası protein ekspresyonunun SDS-PAGE analizi görüntüsü. M. Protein markörü 1-6: indükleme sonrasında sırasıyla 1. ve 6. saatler arasındaki hücre lizati örnekleri

Şekil 3'te görüldüğü gibi 3. saatten 6. saate doğru 27 kDa boyutunda protein bandının yoğunluğundaki artış protein üretiminin zamanla arttığını göstermektedir. Protein üretimi 3. saatten sonra artarak 5. saatin sonunda en yüksek seviyeye ulaşmıştır. İndüksiyon sonunda elde edilen hücre süspansiyonu ve ardından elde edilen hücre pelletinin Aquamarine proteinine ait rengi aldığı gözlemlenmiştir.

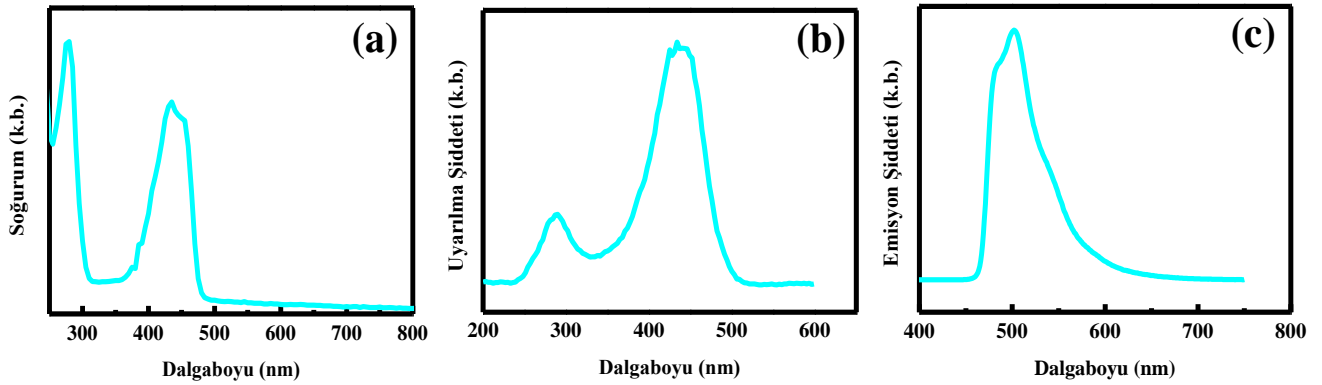
3.2. Aquamarine saflaştırılması ve analizi

Hücre içerisinde eksprese edilen rekombinant protein sonikasyon ile parçalanarak hücre lizati elde edilmiştir. Sonikasyon sırasında gözlemlenen sıcaklık artışına protein denatürasyonuna neden olmaması amacıyla buz banyosunda gerçekleştirilmiştir. Lizatin ultrasantrifüj sonrasında süpernetant kısmı afinite kromatografisi ile saflaştırılmıştır. Histidin etiketli proteinin Ni-NTA resinine bağlanması kolonun proteine ait siyan (mavi) rengi alması ile anlaşılabilir. 300 mM imidazol içeren elüsyon tamponu ile elüsyon işlemi 1'er mL'lik 5 adet fraksiyonlar şeklinde (E1, 2, 3, 4 ve 5) gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Protein eldesinin ilk fraksiyon ile başladığı ve 4. fraksiyonda sona erdiği %12'lik SDS-PAGE jel görüntüsünde görülmektedir. 1. kuyucuğa yüklenen ultrasantrifüj sonrası örneği beklendiği gibi *E. coli* hücre içi proteinleri ile birlikte hedef Aquamarine proteinini de içermektedir. 2. kuyucukta protein çözültisi kolona yüklendikten sonra kolonun aşağısından alınan fraksiyonun görüntüsünde ise Aquamarine protein bandının hiç olmaması beklendiği halde az yoğunlukta görülmektedir. Bu durum hedef proteinin konsantrasyonunun yüksek olması ve bu yüzden kolonun aşırı yüklenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu fraksiyon çözültisinin renksiz olması gerekirken siyan (mavi) renkte olması aşırı yüklenmiş kolon fikrini desteklemektedir. Aynı sebepten dolayı 3. kuyucuktaki yıkama fraksiyonunda da çok az yoğunlukta Aquamarine bandı görülmektedir. İlk elüsyon çözültisinin (E1) en yüksek protein bandına sahip olması gerekirken E2'deki protein bandından daha az yoğunlukta olması ise kolondaki kalmış olan az miktar yıkama çözültisinin 1. fraksiyondaki protein konsantrasyonunu düşürmesi olarak açıklanabilir. 4. elüsyon fraksiyonunun sonrasında saflaştırmanın tamamlanmış olması E5'te hiçbir Aquamarine protein bandının olmaması ile desteklenmektedir.



Şekil 4. Safleştirilmiş Aquamarine floresan proteinini ve SDS-PAGE analizi a) Saf proteinin UV ışığı altındaki görüntüsü. b) SDS-PAGE analizi görüntüsü. 1. Ultrasontrifüj sonrası süpernatant örneği 2. Süpernatant kolona tatbik edildikten sonra kolondan alınan fraksiyon 3. 30 mM imidazol ile yıkama E1, E2, E3, E4, E5 imidazol ile kolondan elüe edilen protein örneği fraksiyonları M. Protein markörü

Elüsyon örnekleri birleştirilerek çalışmadan elde edilen protein miktarı 280 nm’de spektrofotometrik ölçüm ile belirlenmiştir. Sonuç olarak biyoreaktörde üretim sonrası yaklaşık 80 mg/L protein üretilmiştir. Safleştirilmiş floresan proteinin fotoluminesans özellikleri florimetre ile ölçülmüş, soğurum, uyarılma ve emisyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Aquamarine floresan proteine ait (a) soğurum (b) uyarılma (c) emisyon grafiği

Aquamarine tarafından soğurum 279-440 nm, uyarılma 240-436 nm emisyon ise 502 nm’de gerçekleşmektedir (Erard ve ark., 2013). Bu değerler dikkate alındığında Aquamarine’nin floresan özellikte olup güneş spektrumundaki görünür ışığın (400-700 nm) bu protein tarafından kolaylıkla soğurulabileceği görülmektedir. Bu durum, Aquamarine’nin güneş pillerinde boyar madde olarak kullanılacak bir floresan protein çeşidi olduğunu desteklemektedir. Bunun yanında uyarılma ve emisyon değerleri literatürdeki değerler ile uyumludur (Rizzo ve ark., 2004).

4. Sonuç

Floresan proteinler in vivo görüntüleme gibi biyolojik bilimlerin farklı uygulama alanlarında kullanılan, çalışılması kolay, çevre dostu ve pratik biyolojik araçlar haline gelmişlerdir. GFP ve varyantları, farklı hücre, doku veya organizmaların çok renkli olarak etiketlemesi amacıyla yaygın olarak kullanılır. GFP ile gerçekleştirilen başarılı çalışmalar sonrasında floresan proteinlere olan ilgi artmış ve floresan özelliğe sahip farklı organizmalardan yeni floresan proteinler keşfedilmiştir. Biyomedikal alanda kanser taraması, tümörün izlenmesi ve kanserin fotodinamik tedavisi gibi klinik, klinik öncesi veya terapötik çalışmalarda floresan proteinlerin farklı uygulamaları bulunmaktadır. Farklı çalışma alanlarında uygulanabilirliği yüksek FP’lerin yüksek verimlilikte üretimi rekombinant DNA teknolojisi ile başarılabilir. Bu çalışmada *E. coli* konucusu kullanılarak yüksek saflıkta ve 80 mg/L verimlilikte saf Aquamarine floresan protein eldesi sağlanmıştır. Ticari olarak mikrogram seviyelerinde yüksek fiyatlarda temin edilen Aquamarine gibi pazar değeri yüksek proteinlerin biyoreaktörde üretimi bu proteinler ile yapılacak biyoteknolojik çalışmalar için model oluşturacaktır. Füzyon halde olmayan saf FP’ler karakterizasyon çalışmalarında kullanılabilirliği gibi güneş pillerinde boyarmadde olarak, farklı proteinler ile füzyon çalışmalarında ya da bu protein üzerinde yapılacak olan mutagenез çalışmalarında kontrol grubu olarak kullanılabilir özelliktedir.

Geliştirilmiş hücre içi stabilitesi ve parlaklık gibi özelliklere sahip Aquamarine benzeri floresan proteinler hedef bir protein ile füzyon halinde üretildiği takdirde hücre içi subselüler lokasyonların belirlenmesinde, hücre, doku ve nükleik asitlerin etiketlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca belirli karakteristik olgunlaşma sürelerine sahip olması bu proteinlerin hücre içinde gerçekleşen biyolojik süreçlerinin sürelerinin araştırılmasına olarak sağlamaktadır. FP'lerin sahip olduğu fotoağarma (photobleaching) özellikleri hedef proteinin canlı hücre içerisindeki hareketliliğini tahmin etmek ve aynı zamanda dış faktörlerin hareketlilik üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için verdiği mali destekten dolayı (Proje No: 114Z956) Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Alvarez, L., Levin, C. H., Merola, F., Bizouarn, T., Pasquier, H., Baciou, L., Rusconi, F., Erard, M. (2010). Are the fluorescent properties of the cyan fluorescent protein sensitive to conditions of oxidative stress? *Photochem Photobiol*, 86(1), 55–61.
- Campbell, R. E., Tour, O., Palmer, A. E., Steinbach, P. A., Baird, G. S., Zacharias, D. A., Tsien, R. Y., (2002). A monomeric red fluorescent protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7877–7882.
- Choi, J. H., Keum, K. C., Lee, S. Y. (2006). Production of recombinant proteins by high cell density culture of *Escherichia coli*. *Chemical Engineering Science*, 61(3), 876–885.
- Chudakov, D. M., Lukyanov, S., Lukyanov, K. A. (2005). Fluorescent proteins as a toolkit for in vivo imaging. *Trends in Biotechnology*, 23(12), 605–613.
- Erard, M., Fredj, A., Pasquier, H., Beltolngar, D. B., Bousmah, Y., Derrien, V., Merola, F. (2013). Minimum set of mutations needed to optimize cyan fluorescent proteins for live cell imaging. *Molecular BioSystems*, 9(2), 258–267.
- Goedhart, J., Von Stetten, D., Noirclerc-Savoye, M., Lelimosin, M., Joosen, L., Hink, M. A., Royant, A. (2012). Structure-guided evolution of cyan fluorescent proteins towards a quantum yield of 93%. *Nature Communications*, 3, 751.
- Heim, R., Cubitt, A., Tsien, R. (1995). Improved green fluorescence. *Nature*, 373(6516), 663-664.
- Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227(5259), 680-685.
- Mérola, F., Fredj, A., Betolngar, D. B., Ziegler, C., Erard, M., Pasquier, H. (2014). Newly engineered cyan fluorescent proteins with enhanced performances for live cell FRET imaging. *Biotechnology Journal*, 9(2), 180–191.
- Park, S. W., Kang, S., Yoon, T. S. (2016). Crystal structure of the cyan fluorescent protein Cerulean-S175G. *Acta Crystallographica Section:F Structural Biology Communications*, 72, 516–522.
- Pascual, A., García, I., Ballesta, S., Perea, E. J. (1999). Uptake and intracellular activity of moxifloxacin in human neutrophils and tissue-cultured epithelial cells. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 43(1), 12–15.
- Phillips, G. J. (2001). Green fluorescent protein--a bright idea for the study of bacterial protein localization. *FEMS Microbiology Letters*, 204(1), 9–18.
- Rizzo, M. A., Granada, B., Piston, D. W. (2004). An improved cyan fluorescent protein variant useful for FRET. *Nature Biotechnology*, 20, 445-449.
- Rosano, G. L., Ceccarelli, E. A. (2014). Recombinant protein expression in *Escherichia coli*: Advances and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 5, 1–17.
- Sawano, A., Miyawaki, A. (2000). Directed evolution of green fluorescent protein by a new versatile PCR strategy for site-directed and semi-random mutagenesis. *Nucleic Acids Research*, 28(16), e78.
- Shaner N. C., Steinbach, P. A., Tsien, R. Y. (2005). A guide to choosing fluorescent proteins. *Nature Methods*, 2(12), 905-909.
- Shemiakina, I. I., Ermakova, G. V., Cranfill, P. J., Baird, M. A., Evans, R. A., Souslova, E. A., Staroverov, D. B., Gorokhovatsky, A. Y., Putintseva, E. V., Gorodnicheva, T. V., Chepurnykh, T. V., Strukova, L., Lukyanov, S., Zaraisky, A. G., Davidson, M. W., Chudakov, D. M., Shcherbo, D. (2012). A monomeric red fluorescent protein with low cytotoxicity. *Nature Communications*, 3(1), 1204.
- Tsien, R. Y. (1998). The Green Fluorescent Protein. *Annual Review of Biochemistry*, 67(1), 509–544
- Verkhusha, V. V., Lukyanov, K. A. (2004). The molecular properties and applications of Anthozoa fluorescent proteins and chromoproteins. *Nature Biotechnology*, 22(3), 289–296.
- Wilcox, T., Hirshkowitz, A. (2015). The effect of color priming on infant brain and behavior. *NIH Public Access*, 85(1), 302-313.



Makine Öğrenme Yöntemleri ile Semen Kalitesi Tahmini

Kerim Karadağ^{1*}

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5167-4054)

(İlk Geliş Tarihi 31 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.668500)

ATIF/REFERENCE: Karadağ, K. (2020). Makine Öğrenme Yöntemleri ile Semen Kalitesi Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 306-311.

Öz

Doğurganlık oranları son yıllarda önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum özellikle erkeklerde daha fazla görülmeye başlanmış ve kısırlık olarak ifade edilmiştir. Kısırlık, Dünya Sağlık Örgütüne göre seksüel olarak aktif bir çiftin herhangi bir önlem alınmadan bir yıl süreyle düzenli cinsel ilişkide bulunmasına rağmen gebeliğin oluşmamasıdır. Kısırlık, sebebi ne olursa olsun üreme sağlığı sorunudur. Sperm fonksiyonunun bozulması, erkek kısırlığının en önemli nedenlerinden biridir. Kısırlığın bir diğer etmeni de semen kalitesi ve sperm hareketsizliğidir. Yaşam alışkanlıkları ve çevresel faktörler insanlarda semen kalitesini etkileyip doğurganlık oranını azaltmaktadır. Semen analizi erkek doğurganlık potansiyelinin iyi bir göstergesidir. Bu yüzden sperm hareketliliği, yoğunluğu ve morfolojisi semen analizinde incelenmektedir. Bu analizler uzmanlarca laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Laboratuvar analizler, gözleme dayalı hataya açık ve subjektif olabilmektedir. Bu tür hataları minimize edebilmek için Bilgisayar destekli çalışmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada 100 denekten alınmış semen örnekleri ve yapılan anket sonuçlarına göre oluşturulan veri seti makine öğrenme algoritmaları kullanılarak normal ve değiştirilmiş semen tahmini yapılmıştır. Tahmin modellerinde, Destek Vektör Makineleri, K En Yakın Komşuluk, Doğrusal Ayırt Edici ve Lojistik Regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen performans değerleri, literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanarak problemin çözümüne ilişkin en uygun tahmin algoritmaları tespit edilmiştir. Bozulmuş ve normal semen örnekleri tahmin yapma işlemi makine öğrenme yöntemleri kullanılarak yapılmış ve iki aşamada değerlendirilmiştir. İlk olarak tüm veri seti kullanılmış ve daha sonra veri seti sayısı eşit alınarak başarı oranları karşılaştırılmıştır. Eğitim ve test işlemi için kullanılan veri seti ilk olarak çapraz doğrulama yapılarak değerlendirilmiş ve daha sonra veri setinin eğitim ve test değerleri %50 %50 alınarak işleme alınmıştır. Sınıflandırma sonuçlarında performans ölçütü olarak, doğru tahmin edilen örneklerin tüm örneklere oranı kullanılmıştır. Tüm veri seti kullanılarak elde edilen başarı sonuçları, Destek Vektör Makineleri ve K En Yakın Komşuluk yöntemleri ile %90 olmuştur. Verisetinde normal ve bozulmuş semen örnekleri eşit olmadığı için sayıca az olan bozulmuş semen örnekleri kadar normal semen örnekleri kullanılmış ve bu şekilde 7 değerlendirme durumu sağlanmıştır. Bu şekilde elde edilen en yüksek başarı oranı 4. değerlendirme durumu için Destek Vektör Makineleri kullanılarak %91.7 olmuş ve 7 değerlendirme durumu ortalaması için ise en yüksek başarı durumu K En Yakın Komşuluk yöntemi kullanılarak %73,8 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Semen Kalitesi, Makine Öğrenme Algoritmaları, Tahmin, Sınıflandırma.

Semen Quality Estimation by Machine Learning Methods

Abstract

Fertility rates have decreased significantly in recent years. This situation has started to be seen especially in men and it has been expressed as infertility. According to the World Health Organization, infertility is the absence of pregnancy even though a sexually active couple has regular sexual intercourse for one year without taking any precautions. Infertility is a reproductive health problem

* Sorumlu Yazar: Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Şanlıurfa, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5167-4054, k.karadag@harran.edu.tr

for whatever reason the cause. Impairment of sperm function is one of the most important causes of male infertility. Another factor of infertility is semen quality and sperm immobility. Life habits and environmental factors affect the quality of semen in humans and reduce fertility. Semen analysis is a good indicator of male fertility potential. Therefore, motility, density and morphology of sperm are examined in semen analysis. These analyzes are performed in the laboratory by experts. Laboratory analyzes can be observational, error-prone, and subjective. Computer-aided studies are used to minimize such errors. In this study, normal and altered semen estimation was performed by using machine learning algorithms, which were formed according to the results of the questionnaires and semen samples taken from 100 subjects. In estimation models, Support Vector Machines, K Nearest Neighborhood, Linear Discriminant and Logistic Regression methods were used. The most suitable estimation algorithms for the solution of the problem were determined by comparing the performance values obtained in the study with similar studies in the literature. Deteriorated and normal semen samples were estimated using machine learning methods and evaluated in two stages. First, the entire data set was used, and then the success rates were compared by taking the number of data sets equally. The data set used for the training and testing process was first evaluated by cross-validation and then the training and test values of the data set were 50% - 50% processed. In the classification results, the ratio of correctly predicted samples to all samples was used as performance criteria. The success results obtained using the whole data set were 90% with the Support Vector Machines and the K Nearest Neighborhood methods. Since normal and impaired semen samples are not equal in the dataset, normal semen samples are used as much as the impaired semen samples, which are few in number, and thus provided 7 evaluation cases. The highest success rate achieved in this way was 91.7% using Support Vector Machines for the 4th evaluation case, and for the average of 7 evaluation status, the highest success was 73.8% using the K Nearest Neighborhood method.

Keywords: Semen Quality, Machine Learning Algorithms, Estimation, Classification.

1. Giriş

Üreme, canlıların soylarının devamı için kendilerine benzer bireyler oluşturmaları olarak tanımlanır. Üreme sorunlarından biri olan kısırlık ise her ne sebeple olursa olsun, sperm fonksiyonunun bozulmasıdır. Bu durum erkek üremesini olumsuz yönde etkileyen nedenlerdendir (Shiva ve ark., 2011). Kısırlığı etkileyen faktörlerin başında semen kalitesi gelir. Semen analizi erkeğin üreme kapasitesini öngörebilmek amacıyla ejakülata makroskobik ve mikroskobik özelliklerinin değerlendirilmesidir (Gökçe ve ark., 2018). Yaklaşık son çeyrekte yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere semen parametrelerinde azalmaların olduğu görülmektedir. Bu azalmaları etkileyen faktörler arasında erkek üreme hastalıklarının artışı yer almaktadır. Ayrıca çevresel veya mesleki faktörlerin etkisi de görülmüştür. Bu durum erkek doğurganlık potansiyelini etkilemektedir. Semen analizi erkek doğurganlık potansiyelinin iyi bir göstergesidir (Gil ve ark., 2012). İyonik ortamın sperm fonksiyonu üzerinde yüksek etkisinin olduğu bilinir (Hamameh ve Gatti, 1998). Semen parametrelerinin zaman içinde çok ciddi değişiklikler gösterebileceği örneğin fertil erkeklerde dahi zamansal ve mevsimsel farklılıklar oluşturabileceği bilinmelidir. Bundan dolayı semen analizi değerlendirmesinde birden çok incelemenin yapılması doğruluk derecesinin artması açısından önem arz etmektedir (Tapısız ve ark., 2012). Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Pesch ve ark. bazı enzimlerin ve makro ve mikro elementlerin ve semen kalitesi ile korelasyonunun belirlenmesini incelemişler (Pesch ve ark., 2006). Pesini ve ark. yaptıkları çalışmalarında, spektrofotometrik olarak ölçülen mitokondriyal enzim aktivite ve seminogram parametreleri arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermişler (Ruiz-Pesini ve ark., 2000). Shiva ve ark. yaptıkları çalışmalarında oksidatif stres ve seminal antioksidan aktivitenin sperm kalitesi üzerine etkisini incelemişler (Shiva, M., Gautam ve ark., 2011). Genital sistem enfeksiyonu, sadece sperm hücre fonksiyonunu değil, tüm spermatogenezi etkileyen, erkek kısırlığının en önemli nedenidir. Maciejewska ve ark. bu enfeksiyon ve semen kalitesi arasındaki ilişki ile ilgili olarak bir çalışma yapmışlar (Sanocka-Maciejewska ve ark., 2005). Xu ve ark. çalışmalarında semen kalitesi, insan spermatozoasında oksidatif DNA hasarı ve seminal plazmada kadmiyum, kurşun ve selenyum konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi incelemişler (Xu ve ark., 2003). Chia ve ark yaptıkları çalışmalarında infertil ve fertil erkeklerde kandaki çinko konsantrasyonları ile seminal plazma ve sperm kalitesi arasındaki ilişkileri incelemişler (Chia ve ark. 2000). Ramlau-Hansen ve ark. çalışmalarında, çok sayıda sağlıklı erkekte mevcut sigara içmeyle semen özelliklerinin hormonal düzeyleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlar (Ramlau-Hansen ve ark., 2006). Irgens ve ark. infertil çiftlerde sperm kalitesinin düşmesinin doğurganlık için tehlikeli olduğu bilinen mesleki risklerle ilişkili olup olmadığını gösteren bir çalışma yapmışlar (Irgens ve ark., 1999). Yapılan bir başka çalışmada gürbüz ve ark., infertilite ve semen kalitesi ile insan seminal plazmasındaki total karnitin konsantrasyonları arasındaki korelasyonu belirlemeye çalışmışlar (gürbüz ve ark., 2003). Stutz ve ark., çalışmalarında sağlıklı genç erkeklerde alkol, tütün ve aspirin tüketiminin seminal kalite üzerine etkisini incelemişler (Stutz ve ark. 2004). Demirci yaptığı çalışmada erkek fertilesinde riskli olabilecek yaşam biçimi davranışları ve bu konuda yapılmış çalışmaları gözden geçirmiş (Demirci, 2014). Hamlacı ve ark., iş hayatının erkek üreme sağlığına etkisini incelemişler (Hamlacı ve ark., 2017). Latif ve ark. yaptıkları çalışmalarında, 1977-2010 yılları arasında Danimarka'nın Frederiksberg Hastanesinde kısırlık için görülen 5.370 hastayı gözlemleyerek semen kalitesinin genel sağlığın güçlü bir biyobelirteç olduğu önerisini desteklemişlerdir (Latif ve ark., 2017). Makine öğrenme yöntemleri kullanılarak yapılmış semen ile ilgili çalışmalara örnekler verilecek olunursa, Amann ve waberski bilgisayar destekli sperm analizi çalışması yapmışlar (Amann ve Waberski, 2014). Helwan ve ark yaptıkları çalışmalarında, hastalarla ilgili bazı özellikleri kullanarak semen kalitesinin değerlendirilmesine radyal temelli sinir ağını uygulamışlardır (Helwan ve ark., 2016). Simfukwe ve ark. semen kalitesi tahmini ile ilgili yaptıkları çalışmalarında Yapay sinir ağları ve Naive bayes yöntemlerini kullanmışlardır (Simfukwe ve ark., 2015). Candemir yaptığı çalışmada, Radyal temel fonksiyon sinir ağlarını kullanarak semen kalitesini yaşam tarzı, çevresel faktörler ve günlük alışkanlıklardan tahmin etmek için kullanmıştır (Candemir, 2018). Bidgoli ve ark. yaptıkları çalışmada semen örneklerini sınıflandırmak üzere yapay sinir ağının yapısını optimize etmek için genetik bir algoritma kullanmışlardır (Bidgoli ve ark., 2015). Uyar ve ark. yaptıkları çalışmalarında tüp bebek tedavisi başarı iyileştirmesinde makine öğrenimine dayalı karar destek sisteminin yararlı olacağını göstermişler (Uyar ve ark., 2015). Wang ve ark. yaptıkları çalışmalarında, seminal kalite tahmininde dengesiz sınıf öğrenme problemiyle başa çıkmak için yeni bir denetimli topluluk öğrenme yaklaşımı, yani

Kümelenme Tabanlı Karar Ormanları önermişler (Wang ve ark. 2014). Hicks ve ark. yaptıkları çalışmalarında, insan sperm örneklerinin 85 videosundan ve ilgili katılımcı verilerinden oluşan bir veri kümesiyle birlikte sperm motilitesini otomatik olarak tahmin etmek için modern ve klasik makine öğrenme tekniklerini kullanmışlardır (Hicks ve ark., 2019).

Çalışmamızda kullanılan veriseti (Gil ve ark., 2012), Alicante Üniversitesi öğrencileri arasında genç sağlıklı gönüllü 18-36 yaş arası 100 katılımcının semen örnekleri ve anket sorularına verdiği cevaplardan oluşmuştur. Makine öğrenme algoritmaları kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmış ve en yüksek skorların elde edildiği, benzer çalışmalarda da kullanılan dört sınıflandırılma yöntemi kayda alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Çalışma Alicante Üniversitesi öğrencileri arasında genç, sağlıklı (varikosel rahatsızlığı olmayan) gönüllülerle yapıldı. Katılımcılar 18-36 yaş aralığında 100 gönüllüden oluşturuldu ve gönüllüler bilgilendirildikten sonra 3 ila 6 günlük cinsel yoksunluktan sonra semen örnekleri vermeleri istendi. Semen parametrelerini etkileyen çeşitli faktörlerden biri olan cinsel perhiz süresi, Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen semen değerlendirme kılavuzlarında yer alan bir kriterdir (WHO, 2010). Semen örneklerinin yanı sıra gönüllülerden yaşam alışkanlıkları ve sağlık durumu hakkında bir anket doldurmaları istendi. Ankette semen kalitesine doğrudan veya dolaylı etkisi olabilecek sorular eklenerek bireylerin cevapları doğrultusunda bir değerlendirilme yapıldı. Tablo 1, çalışmada kullanılan değişkenlerin adı, değer aralığını ve normalize edilmiş değerler gösterilmektedir. Çalışmada Uci Fertility Data Set kullanılmıştır (Gil ve ark., 2012).

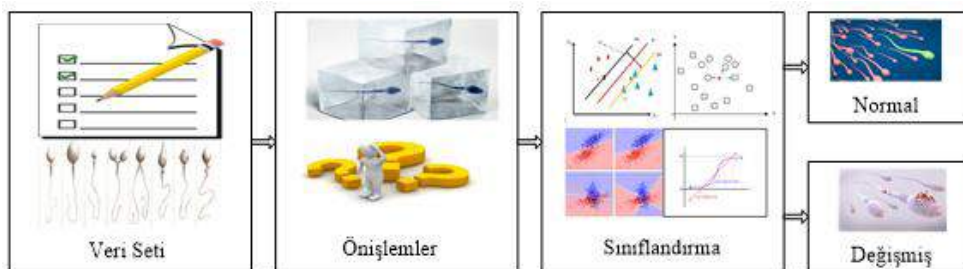
Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Veri Seti Özellikleri

Değişkenler	Gerçek Değerler	Normalize Edilmiş Değerler
Mevsim	Kış; İlkbahar; Yaz ve Sonbahar	(-1; -0,33; 0,33 ve 1)
Yaş	18 ~ 36	(0 ; 1)
Çocukluk Hastalıkları	Evet; Hayır	(0 ; 1)
Kaza ve Tramvolar	Evet ; Hayır	(0 ; 1)
Cerrahi Müdahaleler	Evet - Hayır	(0 ; 1)
Son Bir Yılda Geçirdiği Yüksek Ateş	3 aydan daha az; 3 aydan daha fazla ve Hayır	(-1 ; 0 ; 1)
Alkol Tüketim Sıklığı	Günlük; Haftalık ve Hayır	(0 ; 1)
Sigara İçme Alışkanlığı	Hayır; Ara sıra; Her gün	(-1; 0; 1)
Günlük Oturma Süresi	1 ~ 16	(0 ; 1)
Sonuç	Normal; Değiştirilmiş	(0 ; 1)

Girdilerin değerlendirilmesi aşağıdaki kurallara göre normalizasyon işlemine alınmıştır; Yaş, Günlük ortalama sigara sayısı gibi sayısal değişkenler (-1; 1) ile normalleştirilmiş. Sadece iki bağımsız niteliğe sahip değişkenler, ikili değerlerle (0; 1), üç bağımsız niteliğe sahip olan değişkenler, üçlü değerler kullanılarak (- 1; 0; 1) ve dört bağımsız niteliğe sahip değişkenler ise dört farklı ve eşit mesafe değeri kullanılarak (-1; - 0.33; 0.33, 1) normalize edilmiştir. Toplam 9 değişken, 100 örnekten oluşan verisetininin 12 tanesi normal ve 88 tanesi değiştirilmiş semen örneğinden oluşmuştur.

2.2. Çalışmada Önerilen Sistem

Bu çalışma kapsamında önerilen semen kalitesi tahmin akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Bu çalışmada UCI “Fertility Data Set” verileri kullanılmıştır. Veriseti düzenleme ve özellik seçme işlemlerinden sonra Matlab R2018a kullanılarak makine öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Makine öğrenme algoritmaları olarak; Destek Vektör Makineleri (DVM), K En Yakın Komşuluk (KNN), Lojistik Regresyon (LR) ve Doğrusal Ayırt Edici (DAE) kullanılmıştır. Sonuçta sağlıklı ve değiştirilmiş semen kalite tahmini yapılmıştır.



Şekil 1. Semen kalitesi tahmininde izlenen işlem akışı

2.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Semen durum tahmini için makine öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmaların temel amacı hesaplama yöntemlerini kullanarak veriden bilgi elde etmeyi sağlamaktır. Kullanılan birçok farklı yöntem vardır, fakat doğru algoritmaların seçimi önemlidir. Bu çalışmada; DVM, KNN, LR ve DAE yöntemleri kullanılmıştır. DVM yöntemi, farklı sınıflara ait veri setini birbirinden en uzak olacak şekilde, aynı sınıfa ait veri kümelerini ise en yakın olacak şekilde ayırmaya çalışan bir yöntemdir (Gümüştü ve ark., 2018). KNN yöntemi, sınıflandırma işlemi için en yakın komşu sayısı k 'yı seçer ve k 'nın grup üyeliğine göre verileri sınıflandırır. LR yöntemi, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi, temel lojistik fonksiyonunu kullanarak olasılıkları tahmin ederek ölçer (Gültepe, 2019). DAE yöntemi ise, önceden bilinen özellikleri, gerçek sınıflarına en doğru şekilde atamayı amaçlayan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir (Alkan ve ark., 2018).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada kullanılan veriseti, deneklerin anketlere vermiş oldukları cevaplar ve alınan semen örnekleri ile oluşturulmuştur. Elde edilen 100 örnekten, 12'si normal ve 88'i bozulmuş semen örneklerinden oluşmuştur. Örnek dağılımı eşit olmamasına rağmen yapılan ilk uygulamada tüm veriseti, normalizasyon işlemine tabi tutulmuş ve makine öğrenme yöntemleri kullanılarak sınıflandırma işlemine alınmıştır. En yüksek sonuçların elde edildiği yöntemler; DVM, KNN, LR ve DAE olmuştur. Veri seti ilk başta 5 Çapraz Doğrulama (ÇD) ile ayrılıp sınıflandırma işlemine konulmuş daha sonra % 50 si eğitim, % 50 si test olacak şekilde işleme alınmıştır. Elde edilen başarı oranları 10 kez tekrar edilip DVM, KNN, LR ve DAE yöntemleri kullanılarak başarı oranları en düşük %82 ve en yüksek %94 olarak kayda alınmıştır. Tablo 2'de, 10 tekrarın başarı ortalamaları ve saniye olarak süreleri verilmiştir. Başarı oran yüzdelikleri, tahmin edilen doğru sayısının tüm veri setine bölünerek hesaplanması ile elde edilmiştir.

Tablo 2. Tüm Veriseti Kullanılarak Elde Edilen Ortalama Başarı Oranları

Kullanılan Yöntemler	ÇD		Eğitim %50 - Test %50	
	Başarı Oranı (%)	Süre (San)	Başarı Oranı (%)	Süre (San)
DVM	90	0.124	90	0.0583
KNN	90	0.119	90	0.0573
DAE	84	0.141	82	0.0586
LR	84	0.307	80	0.1240

Sınıflandırma işleminde kullanılan en yüksek ortalama başarı oranı her iki durum için %90 olarak elde edilmiştir. Gil ve ark. aynı veri setini kullanarak Karar Ağaçları, Çok Katmanlı Algılayıcı ve Destek Vektör Makineleri yöntemleri kullanarak en yüksek başarı oranını % 86 olarak bulmuşlar (Gil ve ark., 2012). Veri setinin orantısız dağılımından dolayı (88 normal, 12 değiştirilmiş) elde edilen performansların aldatıcı olacağı düşünülmüş normal ve değiştirilmiş sonuçlar harmanlanarak eşit sayıda kullanılıp tekrar sınıflandırma işlemine alınmıştır. Fakat yinede tüm örneklerin değerlendirmeye tabi tutulamayacağı göz önüne alınarak normal olan 12 semen örneği ve diğer değiştirilmiş semen örneklerinden 12 tanesi alınarak 7 değerlendirme durumu oluşturulmuştur. (Herbir durum için 12 normal ve 12 değiştirilmiş semen örneği yer almıştır.) Sonuçlar tüm verisetinin kullanıldığı gibi ilk başta 5 çapraz doğrulama ile ayrılıp sınıflandırma işlemine konulmuş daha sonra % 50 si % 50 si test olacak şekilde işleme alınmış ve elde edilen ortalama değerler tablo 3 te verilmiştir.

Tablo 3. Normal ve Değişmiş Semen Özellikleri Eşit Sayıda Kullanılarak ÇD ve %50 Eğitim - %50 Test ile Elde Edilen Başarı Oranları

	1 Değ.Dur.		2 Değ.Dur.		3 Değ.Dur.		4 Değ.Dur.		5 Değ.Dur.		6 Değ.Dur.		7 Değ.Dur.		Ortalama	
	ÇD	Eşit	ÇD	Eşit	ÇD	Eşit	ÇD	Eşit	ÇD	Eşit	ÇD	Eşit	ÇD	Eşit	ÇD	Eşit
DVM	50	50	70.8	50	75	58.3	91.7	91.7	70.8	75	70.8	75	54.2	75	69	67.85
KNN	58.3	75	70.8	50	70.8	83.3	87.5	83.3	70.8	66.7	79.2	83.3	70.8	75	72.6	73.8
LR	-	58.3	54.2	50	66.7	50	66.7	66.7	79.2	66.7	70.8	50	54.2	58.3	65.3	57.14
DAE	-	-	54.2	50	66.7	-	70.8	66.7	79.2	66.7	79.2	66.7	54.2	50	67.38	60

Bu çalışmada, 100 gönüllü 18 – 36 yaş aralığında genç deneklerden alınan semen örneklerinden normal ve değiştirilmiş semen kalitesinin tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Tüm veri seti kullanıldığında en yüksek başarı oranı DVM ve KNN yöntemleri kullanılarak ortalama % 90, veriseti normal ve değiştirilmiş semen örneklerinden eşit alındığında ise en yüksek başarı oranı DVM yöntemi kullanılarak 4. değerlendirme durumunda %91.7 olmuştur. Aynı veriseti kullanılarak yapılmış çalışmalar incelendiğinde genelde tüm verisetinin kullanıldığı görülmüştür. Fakat normal ve değişmiş semen örneklerinin dengesiz dağılımından dolayı elde edilen sonuçların aldatıcı olacağı düşünülmüş ve çalışmalara ilave olarak normal ve değişmiş semen örneklerinin eşit alındığı 7 değerlendirme durumu oluşturulmuştur.

4. Sonuç

Sperm analizi erkek kısırlığında ilk ve temel test olarak kullanılmaktadır. Kişinin kısırlığı hakkında fikir verebilmesi için sperm analizinin toplanması ve analizi standart bir uygulama ile yapılmalıdır. Bu uygulamalara katkı sunacak şekilde kullanılan bilgisayar destekli çözümler faydalı olacaktır. Sonuç olarak, makine öğrenme yöntemlerinden DVM, KNN, LR ve DAE kullanılarak 12'si normal 88'i değiştirilmiş 100 genç denekten alınan semen örnekleri ve anketlere verilen cevaplardan oluşan veri setinden semen kalite tahmini yapılmıştır. Kullanılan sınıflandırma yöntemleri ile elde edilen sonuçların yüksek olması, seçilen öznelik parametrelerinin doğru parametreler olduğunu ve hekimlere teşhis koymada fikir verebileceğini göstermiştir.

Kaynakça

- Alkan, B. B., Atakan, C., & Alkan, N. (2018). Dayanıklı lineer diskriminant analizi için yeni bir yaklaşım. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 34(2), 12-19.
- Amann, R. P., & Waberski, D. (2014). Computer-assisted sperm analysis (CASA): capabilities and potential developments. Theriogenology, 81(1), 5-17.
- Bigdoli, A. A., Komleh, H. E., & Mousavirad, S. J. (2015, November). Seminal quality prediction using optimized artificial neural network with genetic algorithm. In 2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO) (pp. 695-699). IEEE.
- Candemir, C. (2018). Estimating the semen quality from life style using fuzzy radial basis functions. Int J Mach Learn Comput, 8(1), 44-8.
- Chia, S. E., Ong, C. N., Chua, L. H., Ho, L. M., & Tay, S. K. (2000). Comparison of zinc concentrations in blood and seminal plasma and the various sperm parameters between fertile and infertile men. Journal of andrology, 21(1), 53-57
- Demirci, N. (2014). Male Fertility and Risky Lifestyle Behaviors. Florence Nightingale Hemşirelik Dergisi, 22(1), 39-45.
- Gil, D., Girela, J. L., De Juan, J., Gomez-Torres, M. J., & Johnsson, M. (2012). Predicting seminal quality with artificial intelligence methods. Expert Systems with Applications, 39(16), 12564-12573.
- Gökçe, A., Gül, D., Direk, H. C., Çimen, H. İ., & Halis, F. (2018). Cinsel perhiz süresi ve semen parametreleri arasındaki ilişki. Androloji Bülteni, 2018;20:11-15
- Gültepe, Y. Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 8-15.
- Gümüşçü, A., Karadağ, K., Çalışkan, M., Tenekeci, M. E., & Akaslan, D. (2018, May). Gender classification via wearable gait analysis sensor. In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- Gürbüz, B., Yaltı, S., Fiçicioğlu, C., & Zehi' r, K. (2003). Relationship between semen quality and seminal plasma total carnitine in infertile men. Journal of Obstetrics and Gynaecology, 23(6), 653-656.
- Hamameh S, Gatti J-L. Role of the ionic environment and internal pH on sperm activity. Hum Reprod Suppl 1998;4:20-30.
- Hamlacı, Y., Yılmaz, B., & Özerdoğan, N. Çalışma hayatının erkek üreme sağlığına etkisi. Androloji Bülteni, 19(1), 16-21.
- Helwan, A., Khashman, A., Olaniyi, E. O., Oyedotun, O. K., & Oyedotun, O. A. (2016). Seminal quality evaluation with RBF neural network. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Mathematics, Informatics, Physics. Series III, 9(2), 137.
- Irgens, Å., Krüger, K., & Ulstein, M. (1999). The effect of male occupational exposure in infertile couples in Norway. Journal of occupational and environmental medicine, 41(12), 1116-1120.
- Latif, T., Kold Jensen, T., Mehlsen, J., Holmboe, S. A., Brinth, L., Pors, K., ... & Lindahl-Jacobsen, R. (2017). Semen quality as a predictor of subsequent morbidity: a Danish Cohort Study of 4,712 men with long-term follow-up. American journal of epidemiology, 186(8), 910-917.
- Pesch, S., Bergmann, M., & Bostedt, H. (2006). Determination of some enzymes and macro-and microelements in stallion seminal plasma and their correlations to semen quality. Theriogenology, 66(2), 307-313.
- Ramlau-Hansen, C. H., Thulstrup, A. M., Aggerholm, A. S., Jensen, M. S., Toft, G., & Bonde, J. P. (2006). Is smoking a risk factor for decreased semen quality? A cross-sectional analysis. Human Reproduction, 22(1), 188-196.
- Rowe, P. J., Comhaire, F. H., Hargreave, T. B., & Mahmoud, A. M. (2000). WHO manual for the standardized investigation and diagnosis of the infertile male. Cambridge University Press.
- Ruiz-Pesini, E., Lapeña, A. C., Díez, C., Álvarez, E., Enríquez, J. A., & López-Pérez, M. J. (2000). Seminal quality correlates with mitochondrial functionality. Clinica Chimica Acta, 300(1-2), 97-105.
- Sanocka-Maciejewska, D., Ciupińska, M., & Kurpisz, M. (2005). Bacterial infection and semen quality. Journal of reproductive immunology, 67(1-2), 51-56.

- Sevli, O. Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 176-185.
- Shiva, M., Gautam, A. K., Verma, Y., Shivgotra, V., Doshi, H., & Kumar, S. (2011). Association between sperm quality, oxidative stress, and seminal antioxidant activity. *Clinical biochemistry*, 44(4), 319-324.
- Simfukwe, M., Kunda, D., & Chembe, C. (2015). Comparing Naive Bayes Method and Artificial Neural Network for Semen Quality Categorization. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(7), 689-694.
- Stutz, G., Zamudio, J., Santillán, M. E., Vincenti, L., De Cuneo, M. F., & Ruiz, R. D. (2004). The effect of alcohol, tobacco, and aspirin consumption on seminal quality among healthy young men. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 59(11), 548-552.
- Tapısız, O. L., Altınbaş, S. K., Abike, F., & Göktolga, U. (2012). Semen Analysis From A Point Of View Of Gynecologist And Recent Developments. *Journal of Turkish Society of Obstetrics and Gynecology*, 9(1), 25-31.
- Uyar, A., Bener, A., & Ciray, H. N. (2015). Predictive modeling of implantation outcome in an in vitro fertilization setting: an application of machine learning methods. *Medical Decision Making*, 35(6), 714-725.
- Wang, H., Xu, Q., & Zhou, L. (2014). Seminal quality prediction using clustering-based decision forests. *Algorithms*, 7(3), 405-417.
- World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen, 5th ed. Geneva: WHO Press; 2010. Available from: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44261/1/9789241547789_eng.pdf
- Xu, D. X., Shen, H. M., Zhu, Q. X., Chua, L., Wang, Q. N., Chia, S. E., & Ong, C. N. (2003). The associations among semen quality, oxidative DNA damage in human spermatozoa and concentrations of cadmium, lead and selenium in seminal plasma. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 534(1-2), 155-163.
- Yücelbaş, Ş., & Yücelbaş, C. (2019). Temel Bileşen Analizi Yöntemleri Kullanarak Parkinson Hastalığının Otomatik Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 294-300.
- <https://www.mathworks.com>, erişim tarihi 01.08.2019



Transgenik Olmayan Mısır (*Zea mays* L.) Üretiminde Yabancı Otların Kimyasal Kontrolünün Sürdürülebilirliği

Fırat Pala^{1*}

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4394-8841)

(İlk Geliş Tarihi 5 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.670524)

ATIF/REFERENCE: Pala, F. (2020). Transgenik Olmayan Mısır (*Zea mays* L.) Üretiminde Yabancı Otların Kimyasal Kontrolünün Sürdürülebilirliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 312-318.

Öz

Mısır bitkisinin yavaş büyümesi ve geniş sıra aralığı nedeniyle yabancı otlar özellikle erken büyüme döneminde ciddi bir sorundur. Ayrıca yüksek yabancı ot istilası ekim ve bakım maliyetini artırır, mısır verim ve kalitesini düşürür. Yabancı ot mücadelesinde en yaygın kullanılan yöntem pratik olması bakımından herbisit kullanımıdır. Transgenik (genetiği değiştirilmiş organizma, GDO) mısır üretiminde yabancı ot mücadelesi genellikle çıkış sonrası glyphosate ve 2.4-D herbisitlerinin kullanımına bağlı olarak yapılmaktadır. Ancak transgenik mısır üretiminin yasak olduğu Avrupa birliği ve Türkiye gibi ülkelerde mısır tarlalarında yabancı ot mücadelesi farklı herbisitlere bağlı olarak; ekim öncesi, çıkış öncesi ve çıkış sonrası olmak üzere üç ayrı dönemde yapılabilmektedir. Bu çalışmada transgenik olmayan mısır üretiminde sorun olan yabancı otlara karşı yaygın olarak kullanılan herbisitlerin yabancı ot kontrolüne ve mısır verimine etkisi araştırılmıştır. En yüksek verim sırasıyla dimethenamid-P 280 g/l + terbuthylazine 250 g/l (13.055 kg ha⁻¹), mesotrione 75 g/l + nicosulfuron 30 g/l (12.979 kg ha⁻¹) ve terbuthylazine 270 g/l + pendimethalin 64 g/l (12.746 kg ha⁻¹) uygulamalarından elde edilmiştir. Maksimum hasat indeksi sırasıyla dimethenamid-P 280 g/l + terbuthylazine 250 g/l (%53), mesotrione 75 g/l + nicosulfuron 30 g/l (%52) ve terbuthylazine 270 g/l + pendimethalin 64 g/l (%50) uygulamalarında saptanmıştır. Yabancı ot indeksi sırasıyla dimethenamid-P 280 g/l + terbuthylazine 250 g/l (%7), mesotrione 75 g/l + nicosulfuron 30 g/l (%8) ve terbuthylazine 270 g/l + pendimethalin 64 g/l (%10) uygulamalarında en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir. Sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde sırasıyla dimethenamid-P 280 g/l + terbuthylazine uygulamalarının öncelikli olarak tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ancak sadece kimyasallara bağlı mücadelelerin uzun dönemde çıkarabileceği çevresel sorunlar nedeniyle mısır üretiminde sürdürülebilir yabancı ot mücadelesi için münavebe, malçlama, solarizasyon, buhar ile toprak dezenfeksiyonu, robotik akıllı kültivatörler ve hassas sensörlü pülverizatörler kullanılması, dron ve dijital teknoloji gibi çevre dostu uygulamaların herbisit uygulamalarına entegre edilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, Verim, Hasat indeksi, Yabancı ot indeksi, Herbisit.

Sustainability of Chemical Control of Weeds in Non-transgenic Corn (*Zea mays* L.) Farming

Abstract

Weed interference is a severe problem in corn, also known as maize, due to slow early growth rate and wide row spacing especially in the early part of the growing season. Furthermore, high weed infestation increases the cost of cultivation, lowers the value of land, and reduces the returns of corn producers. Herbicides are the most widely used tools for weed management. Weed control for transgenic (genetically modified crops, GMO) corn is generally based on the use of post-emergence glyphosate and 2.4-D herbicides. However, transgenic modified corn crop production is prohibited in the European Union and Turkey hence weeds in corn fields in these countries; pre-sowing, pre-emergence and post-emergence herbicides can be used in three different periods. In this study, the effect of

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4394-8841, firatapala@siirt.edu.tr

commonly used herbicides on weed control in corn was investigated. The highest corn yields were obtained from dimethenamide-P 280 g / l + terbuthylazine 250 g / l (13.055 kg ha⁻¹), mesotrione 75 g / l + nicosulfuron 30 g / l (12.979 kg ha⁻¹) and terbuthylazine 270 g / l + pendimethalin 64 g / l (12.746 kg ha⁻¹), respectively. The maximum harvest indexes were determined in dimethenamide-P 280 g / l + terbuthylazine 250 g / l (53%), mesotrione 75 g / l + nicosulfuron 30 g / l (52%) and terbuthylazine 270 g / l + pendimethalin 64 g / l (50%) applications. The weed indexes were detected in order of dimethenamide-P 280 g / l + terbuthylazine 250 g / l (7%), mesotrione 75 g / l + nicosulfuron 30 g / l (8%) and terbuthylazine 270 g / l + pendimethalin 64 g / l (10%). When the results were evaluated as a whole, it was concluded that dimethenamide-P 280 g / l + terbuthylazine applications could be preferred to weed control in corn production areas, primarily. However, because of the environmental problems that can only be caused by chemical-related struggles in the long run, environmentally friendly applications such as alternation, mulching, solarization, steam disinfection, smart cultivators and sensor sprayers need to be integrated into herbicide applications for sustainable weed control in corn production.

Keywords: Corn, Crop yield, Harvest index, Weed index, Herbicide.

1. Giriş

Mısır (*Zea mays* L.) buğdaygiller familyasına (Poaceae) ait bir sıcak iklim tahılıdır (Peterson, 2013). Gerek insan besin maddesi ya da hayvan yemi olarak, gerekse sanayide birçok ürünün hammaddesi olarak kullanılan mısır bitkisi, üretimi yapılan hububatlar içerisinde ilk sıralarda yer almaktadır (FAO, 2020). Dünyada en fazla üretimi yapılan tahıllar sırasıyla mısır (1.118 milyon ton), buğday (735 milyon ton), çeltik (733 milyon ton), arpa (141 milyon ton) ve yulaf (22 milyon ton)'tır. Dünya mısır üretimi son 5 piyasa yılı içerisinde 1,1 milyar tonluk seviyesini korumuştur. Hem üretim hem de kullanım miktarı giderek artan mısırın, bu konumunu koruyarak gelecekte daha da güçlendireceği öngörülmektedir. En çok mısır üreten ülkeler sırasıyla ABD (366 milyon ton), Çin (257 milyon ton), Brezilya (96 milyon ton), Avrupa Birliği (67 milyon ton) ve Arjantin (55 milyon ton)'dir (Statista, 2019). Türkiye'de ise en fazla üretimi yapılan tahıllar sırasıyla mısır (5.7 milyon ton), buğday (3.6 milyon ton), çeltik (0.55 milyon ton), arpa (7 milyon ton) ve yulaf (0.26 milyon ton)'tır (IGC, 2019). Türkiye'de en çok üretilen tahıllar sırasıyla buğday (20.3 milyon ton), arpa (7 milyon ton) ve mısır (5.7 milyon ton)'dır. Ülkemizdeki mısır ekim alanlarının % 68'ini tanelik, % 32'sini silajlık mısır ekim alanları oluşturmaktadır. Ülkesel mısır üretiminin dörtte birinin yapıldığı Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Diyarbakır, Batman, Adıyaman ve Siirt illerinde çoğunlukla ana ürün ekimi yapılırken, Şanlıurfa ve Mardin illerinde ise ikinci ürün mısır tarımı yapılmaktadır. Ülkesel mısır üretiminin %4'ünü karşılayan Diyarbakır ilinde (0.22 milyon ton) ekim alanlarının (217 bin da) yaklaşık % 91'i ana ürün tane mısır, % 9'u ikinci ürün silajlık mısır olarak yetiştirilmektedir (TÜİK, 2018). Hem ana hem de ikinci ürün mısır üretiminde yabancı otlar önemli verim ve kalite kaybına neden olmaktadır.

Mısır üretim alanlarında sorun olan yabancı otları tanımlama etkili bir yabancı ot yönetim programının anahtarıdır. Sorunlu yabancı otların yanlış tanımlanması, kâr ve zarar arasındaki fark anlamına gelebilir. Yabancı otların üreme yöntemleri de dahil olmak üzere yaşam döngüsü en önemli belirleyici özellik olmasına rağmen, bazen yabancı ot yönetim önlemlerini seçmeden önce kesin türü bilmek gerekir (Pala ve Mennan, 2017b). Mısır üretiminde yabancı otlar önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Yabancı otlar mısır bitkisi ile su, ışık, mineral besin maddeleri ve yer bakımından rekabet etmenin yanı sıra hastalık ve zararlılar için konukçuluk da etmektedirler (Rajcan ve Swanton, 2001). Mısır üretim alanlarında sorun olan en yaygın yabancı otların darıcan [*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.], imam pamuğu [*Abutilon theophrasti* Medik.], it üzümü (*Solanum nigrum* L.), kahkaha çiçeği [*Ipomoea purpurea* (L.) Roth.], kanyaş [*Sorghum halepense* (L.) Pers.], kendi gelen ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.), kırmızı köklü tilkikuyruğu [*Amaranthus retroflexus* L.], palmer horozibiği [*Amaranthus palmeri* (S.) Watson], pıtrak (*Xanthium strumarium* L.), semizotu (*Portulaca oleracea* L.), sirken (*Chenopodium album* L.), şeytan elması (*Datura stramonium* L.), şifa otu [*Conyza canadensis* (L.) Cronq.], tarla sarmaşığı (*Convolvulus arvensis* L.), topalak (*Cyperus rotundus* L.) ve yapışkan ot [*Setaria verticillata* (L.) P. Beauv.] olduğu bildirilmiştir (Doğan ve Boz, 2005; Güngör ve Uygur, 2005; Işık ve ark., 2015; Pala ve Mennan, 2017a; PPP, 2020; UC-IPM 2020). Mısır yetiştiriciliğinde yabancı ot kontrol programlarının seçimine yardımcı olmak için iyi bir yabancı ot envanteri yapılmalıdır. Kontrol programlarını her alandaki problemlere uyacak şekilde uyarlayarak, üreticiler verim ve karları en üst düzeye çıkarırken yabancı ot kontrol maliyetlerini en aza indirebilirler. Yıl içinde iki veya üç kez tarlaların keşfi ve her alanda mevcut yabancı ot türlerinin (geniş yapraklı yıllık veya yıllık otlar gibi) kaydedilmesi ile bir envanter yapılabilir (Pala ve Mennan, 2017b).

Mısır bitkisi yabancı otlara karşı ilk gelişim dönemlerinde oldukça hassastır. Özellikle çimlenme döneminden 4-6 yapraklı döneme gelinceye kadar ki süreç iyi yönetilmez ve bitki yabancı otlar ile rekabete girerse veriminde %37'ye kadar düşüşler görülmektedir (Berzsenyi ve ark., 1995; Oerke ve Dehne, 2004). Bunun nedeni yabancı otların ortama mısır bitkisinden daha kolay adapte olarak topraktaki besin maddeleri, oksijen, su ve ışıktan daha fazla yararlanıyor olmasıdır. Özellikle ekim ayı itibarı ile 2 aylık dönem boyunca yabancı otlar mısırdan daha hızlı gelişmiş olabileceğinden bu döneme bağlı ürün kaybı yüksek olacaktır. Yabancı otlar ile mücadelede mekanik ve kimyasal olmak üzere 2 farklı yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Yabancı ot mücadelesi mısır tohumu ekiminden önce başlamalıdır (Silva ve ark., 2011). Tarla yabancı otlardan temizlenirken, toprak yabancı otların kök, rizom ve yumru gibi organlarından arındırılmalı, toplanıp tarladan uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca ekim nöbetine dikkat edilmesi bitkinin kendine özgü oluşan yabancı ot örtüsünün yoğunlaşmasına engel olmaktadır. Bunların yanı sıra diğer bir kültürel mücadele şekli de çapalama ile toprağın agronomik özelliklerini dengelemektir. Birkaç defa çapalama yapılması yabancı otları yok etmekte ve toprağın havalanmasını sağlamaktadır (TOB, 2020).

Transgenik (GDO'lu) mısır üretiminde yabancı ot mücadelesi genellikle çıkış sonrası glyphosate ve 2.4-D herbisitlerinin kullanımına bağlı olarak yapılmaktadır (Ravisankar ve ark., 2017; Nandula, 2019). Ancak transgenik mısır üretiminin yasak olduğu Avrupa birliği ve Türkiye gibi ülkelerde mısır tarlalarında yabancı ot mücadelesi farklı herbisitlere bağlı olarak; ekim öncesi, çıkış öncesi ve çıkış sonrası olmak üzere üç ayrı dönemde yapılabilir (Thonke, 1991; Zoschke, 1994; Hall ve ark., 2002; Wunderlich ve Gatto,

2015; Nandula, 2019). Ekim öncesi uygulanan yabancı ot ilacı toprak üzerinden tırmık geçilerek 5-7 cm derinliğe karıştırılır. Çıkış öncesi ilaçlama mısır ekiminden sonraki ilk 5 gün içerisinde yapılmalıdır. Çıkış sonrası ilaç uygulaması ise mısır bitkisi 20-30 cm'ye ulaşmaya kadar (1-8 yapraklı dönem arasında) yapılmalıdır. Bu dönemde gerekirse ayrıca çapalama uygulanabilir. Yabancı ot ilacı ile yapılan mücadele sürecinde uygulamanın mısır bitkisine zarar vermesine engel olunmalıdır. Bunun için; özellikle kimyasal mücadelede kullanılan ilaçların önerilerini dikkate alarak (önerilen ilacın; miktar, uygun zaman – dönemde, yeteri kadar su ve kalibrasyonu yapılmış, uygun aletler ile) kullanılmasına dikkat edilmelidir (Süzer, 2020; Dekalb, 2020). Işık ve ark. (2015), mısır üretim alanlarındaki yabancı ot yoğunluğunun azaltılması amacıyla total bir herbisit olan glyphosate aktif maddesinin ekim öncesi ve çıkış öncesi kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Mısır üretiminde yabancı otların verim kaybını önlemek için üreticilerin en fazla tercih ettikleri yöntem çıkış öncesi ve sonrası herbisit kullanılmaktadır (Pala ve Mennan, 2017a). Bu çalışmada mısır tarlalarında sorun olan yabancı otların mücadelesinde yaygın olarak kullanılan herbisitlerin ruhsatlı dozlarının yabancı ot kontrolüne ve mısır verimine etkisinin karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Diyarbakır-Batman il sınırları boyunca uzanan kanallı mısır üretim alanında 2015 yılında bazı mekanik ve kimyasal araçlarla etkili yabancı ot yönetim stratejisini incelemek için bir arazi denemesi yapılmıştır. Deneme yerinin toprak yapısı ve sulama imkanı mısır yetiştirme için uygundur. Toprak analizi sonucu zot (N) (0.3 t ha⁻¹), fosfor (P) (0.1 t ha⁻¹) ve potasyum (K) (0.1 t ha⁻¹) gübresi verilmiştir. Mısır sulama sistemlerinden en yaygın olanlardan karık sulama (bitkisinin 5-8 yapraklı olduğu dönemden döllenme sonrası ve dane dolum dönemine kadar 7 defa) yapılmıştır. Deneme, yaygın yetiştirilen mısır çeşitlerinden biri olan P1921 üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mısır tohumları Mart ortasında 70 cm sıra arası ve 15 cm sıra üzeri (dekara yaklaşık yaklaşık 9000 tohum) olacak şekilde 6-7 cm derinliğe ekilmiştir (Nielsen R.L, 1988). Deneme süresi boyunca uzun süreli kuraklık, şiddetli yağış, geç don ve dolu gibi aşırı hava koşulları gözlemlenmemiştir. Bozkurt (*Agrotis ipsilon*, *Agrotis segetum*), mısır kurdu (*Ostrinia nubilalis*) ve mısır koçan kurdu (*Sesamia nonagrioides*) zararlılarını kontrol etmek için üretim sezonu içinde değişik dönemlerde chlorantraniliprole 200 g/l 15 ml/da (15 gün ara ile 2 defa) uygulanmıştır. Mısır yaprak yanıklığı (*Bipolaris mydis*) hafif belirtiler göstermiş zarar şiddeti ekonomik zarar eşliğinin altında olduğundan ilaçlama yapılmamıştır. Mısır tarlalarında pestisit uygulama sırasında sıcaklık 21°C, bağıl nem% 42, rüzgar hızı 3.6 km h⁻¹ olarak ölçülmüştür (MS, 2015). Deneme alanının tamamında ekim öncesi toprak işleme ve çıkış sonrası iki defa traktör ile çapalama yapılmıştır. Denemeye yabancı otlu ve otsuz parseller de bir faktör olarak eklenmiştir. Denemede kullanılan herbisitlerin etkili maddeleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mısır denemesinde uygulanan herbisitler

Uygulama	Yöntem	Form*	Doz**	Zaman
T-1	Isoxaflutole 225 g/l + Thiencarbazone-methyl 90 g/l + Cyprosulfamide 150 g/l	SC	0.3 l ha ⁻¹	ÇÖ/S
T-2	Dimethenamid-P 280 g/l + Terbutylazine 250 g/l	SE	3 l ha ⁻¹	ÇÖ/S
T-3*	Dicamba %50 + Tritosulfuron %25	WG	0.25 l ha ⁻¹	ÇS
T-4	Mesotrione 75 g/l + Nicosulfuron 30 g/l	OD	2 l ha ⁻¹	ÇS
T-5*	2.4-D EHE 452.42 g/l + Florasulam 6.25 g/l	SE	0.7 l ha ⁻¹	ÇS
T-6	Terbutylazine 270 g/l + Pendimethalin 64 g/l	SE	3 l ha ⁻¹	ÇÖ/S
T-7	Yabancı otlu kontrol	-	-	-
T-8	Yabancı otsuz kontrol	-	-	-

* T-3 ve T-4 uygulamalara Nicasulfuron 40 g/l SC 125 ml/da eklenmiştir.

Arazi denemesi, dört tekerrürlü tesadüf blokları deneme desenini ile tasarlanmıştır. Herbisitlerin etiket bilgilerinde önerilen dozları ve kullanım dönemleri denemesinin özelliklerini oluşturmaktadır. Parseller 4 m x 5 m = 20 m²'de büyüklükte tutulmuştur. Bloklar arasında 1 m ve parseller arasında 0,5 m güvenlik şeridi bırakılmıştır. Uygulama, sabit basınçta (3 atm) çalışan bir püskürtme koluna sahip bir püskürtücü ve deneme alanı boyunca eşit dağılım sağlayan çoklu meme ucuna (uçlar arasında 0.5 m) sahip bir sırt pompası (TT-110.02) ile gerçekleştirilmiştir.

Çıkış öncesi herbisitler mısır ekiminden 1 gün sonra, çıkış sonrası herbisitler ise mısır bitkisi 2-4 yapraklı dönemde iken uygulanmıştır. Yabancı ot gözlemleri rastgele seçilen 1 m²'lik (1.0 m x 1.0 m) alanlarda, mısır ile ilgili gözlemler ise bir sıra üzerinde seçilen 10 bitki temel alınarak yapılmıştır. Selektivite çalışmasında yabancı ot etkisini önlemek için, mısır üretim sezonu boyunca tüm araziler yabancı otlardan elle toplama ve çapalama veya traktör çapası ile temizlenmiştir. Gözlem yapılan yabancı otlar dar ve geniş yapraklı olarak kategorize edilmiştir. Herbisitlerin yabancı ot semptomları (sararma, deformasyon, kurutma, vb.) açık ve doğru bir şekilde tanımlanmıştır. Bitki fitotoksitesi Puntener (1981)'a göre kayıt altına alınmıştır. Diğer tüm tarımsal işlemler çiftçi uygulamalarına göre yapılmıştır. Böylece, herbisit uygulamaları tek değişken olmuştur. Bu çalışmada mısır verimi (kg ha⁻¹), hasat indeksi (%) ve yabancı ot indeksi (%) araştırılmıştır.

Bitki verimi (kg ha⁻²): Rastgele seçilen 10 bitkinin koçanları harman edilerek 0.01 g duyarlı terazide tartılmış ve ortalamaları alınarak bitki başına verim g m⁻² olarak belirlenmiş ve hektara dönüştürülerek mısır verimi kg ha⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır.

Hasat indeksi (%): Her parselden rastgele seçilen bitkiler toprak seviyesinden kesilmiş ve hassas terazide tartılmışlardır. Daha sonra bu bitkilerin taneleri harman edilmiştir. Elde edilen 10 bitkinin tane ağırlığı değerleri o bitkilerin toplam yerüstü ağırlık değerlerine bölünerek % olarak hasat indeksi değerleri hesaplanmıştır. Beadle (1985)'a göre hasat indeksi (HI,%) Formül 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$HI(\%) = \frac{\text{Tane verimi (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Toplam verim (kg ha}^{-1}\text{)}} \times 100 \quad [1]$$

Yabancı ot indeksi (%): Yüzde olarak ifade edilen yabancı ot indeksi yabancı otların varlığı nedeniyle ürün kaybını ifade etmektedir. Gupta (1998)'a göre yabancı ot indeksi (WI,%) Formül 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$WI(\%) = \frac{\text{En iyi uygulamanın mahsul verimi (kg)} - \text{İndeks karşılaştırılan uygulamanın mahsul verimi}}{\text{İndeks karşılaştırılan uygulamanın mahsul verimi}} \times 100 \quad [2]$$

Agronomik karakterlerle ilgili olarak, her bir parselden rastgele on bitki rastgele seçilmiş ve agronomik gözlemler kaydedilmiştir. Her bir parselden elde edilen veriler, dekara dönüştürülerek kg ha⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır.

Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizi, JMP 5.0.1 tarafından yürütülen ANOVA'ya tabi tutulmuştur. Ortalama değerler arasındaki farklılıkların önemi LSMeans Differences Tukey HSD test değerleri ile test edilmiştir (P <0.05).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Mısır deneme alanında yabancı otları kontrol etmek için uygulanan herbisitlerden etkilenen parametrelerden mısır verimi (kg ha⁻¹), hasat indeksi (%) ve yabancı ot indeksi (%) ile ilgili veriler Çizelge 2 'de verilmiştir.

Tablo 2. Herbisit uygulamalarına göre mısır tane verimi, hasat indeksi ve yabancı ot indeksi

Uygulama	Mısır Tane Verimi (kg ha ⁻¹)	Hasat İndeksi (%)	Yabancı Ot İndeksi (%)
T-1	12.274 ^e	49 ^b	14 ^d
T-2	13.055 ^b	53 ^b	7 ^e
T-3	10.537 ^e	37 ^{cd}	33 ^b
T-4	12.979 ^c	52 ^b	8 ^e
T-5	11.164 ^f	40 ^c	26 ^c
T-6	12.746 ^d	50 ^b	10 ^{de}
T-7	4.753 ^h	33 ^d	195 ^a
T-8	14.011 ^a	61 ^a	0 ^f

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar P <0.05 düzeyinde anlamlı değildir. (Alpha = 0.050, Q = 3.35414).

Diğer tarımsal ürünlerde olduğu gibi mısır üretiminde yabancı otlarla mücadelede üründe verim ve kalitesi kaybını önlemeye yöneliktir. Bu nedenle mısır tarlalarında sorun olan yabancı otların kontrolü için uygulanan herbisitlerin mısır verimine etkisinin belirlenmesi önemlidir. Herbisitlerin verime etkisi genel olarak değerlendirildiğinde yabancı otsuz kontrol parsellerinden sonra önerilen dozda sırasıyla T-2 (13.055 kg ha⁻¹), T-4 (12.979 kg ha⁻¹) ve T-6 (12.746 kg ha⁻¹) uygulamalarının en iyi sonucu verdikleri saptanmıştır. T-4 uygulamasında mısır veriminin en yüksek olduğu bulunmuştur. Yabancı otlu kontrol parselden sonra T-3 uygulamasında en düşük mısır verimi (9.037 kg ha⁻¹) saptanmıştır. Shrestha ve ark. (2019) yabancı ot yönetimi uygulaması ve toprak işleme sisteminin mısırın verimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için yaptığı çalışmada mısırdan en yüksek verimi diğer mekanik ve kimyasal uygulamalara oranla polietilen malç uygulamasında (7.071 kg ha⁻¹) elde ettiğini bildirmiştir. Her iki yöntem için verilen sonuçlar mısır veriminin bulgularımızla kıyaslandığında neredeyse yarısı seviyesinde olduğu görülmektedir. Khan ve ark. (2014) atrax (2.925 kg ha⁻¹), buctril süper (2.980 kg ha⁻¹), dual gold (3.519 kg ha⁻¹), sencor extra (3.372 kg ha⁻¹), primextra (3.703 kg ha⁻¹), stomp (2.690 kg ha⁻¹) uygulamaları sonrası herbisitlerin uygulanmasının mısırın biyolojik ve tahıl verimini önemli ölçüde etkilediğini bildirmiştir. Bu durum farklı coğrafik bölgelerdeki iklim ve toprak yapısı, sulama ve gübrelemenin yanı sıra yabancı ot mücadele yönteminin (örneğin uygulanan herbisit gibi) farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Mısır atıkları, koçanı (mısır tanelerini) bir araya getirdikten (topladıktan veya hasat ettikten) sonra tarlada kalan sap, yapraklar, kabuklar ve püsküllerden oluşmaktadır. Mısır atıkları hasat edilebilir ve hayvan yemi olarak kullanılabilir, etanole dönüştürülebilir, ısı ve elektrik için yakılabilir. Her mahsul yılında üretilen atık miktarı iklim ve toprak koşullarına, toprak işleme, gübreleme ve sulama gibi tarımsal işlemlere, hastalık, zararlı ve yabancı ot gibi zararlı organizmaların yönetimine bağlıdır. Mısır tarlalarında sorun olan yabancı otların kontrolü için yapılan herbisit uygulamalarından sonra mısır tane hasat indeksi (%) genel olarak değerlendirildiğinde yabancı otsuz kontrol parsellerinden sonra önerilen dozda sırasıyla T-2 (%53), T-4 (%52) ve T-6 (%50) uygulamalarının en iyi sonucu verdikleri saptanmıştır. T-2 uygulamasında mısır hasat indeksinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Yabancı otlu kontrol parselden sonra T-3 hasat indeksi (%37) diğer herbisit uygulamalarından daha düşük belirlenmiştir. Genel bir kural olarak, üretilen ürün kalıntı miktarı üretilen tane miktarı ile hemen hemen aynıdır. Bu genellikle hasat indeksi olarak adlandırılan bir oranda ifade edilir. Genel bir kural olarak, normal bir yılda (yani, aşırı hava koşulları olmadan) hasat indeksi %50 olacaktır (Pennington, 2013). Bu iyi bir kural olsa da ve çeşitli alanlarda tarımsal atık üretimini tahmin etmek için kullanılabilir de, bu sayının yıldan yıla ve toprak tipinden toprak tipine kadar değişebileceğini anlamak önemlidir. Tablo 2, herbisit uygulamalarına göre alınan verileri göstermektedir. Verilerde geniş bir varyasyon vardır (%32 ile %56 arasında). Mısır tane veriminin azaldığı aşırı aşırı yabancı ot baskısının olduğu yıllarda, hasat indeksi genellikle daha düşüktür (tane veriminden daha yüksek mısır sap ve saman verimi). Optimum yabancı ot kontrolünde, hasat indeksi genellikle 0,50 civarında seyrederek. İyi bir yabancı ot yönetim ile aynı büyüklükteki bitki ile daha yüksek tane verimi elde

edilebilir ve bu da daha yüksek hasat indeksine neden olur. Aynı toprak tipinde homojen bir şekilde yapılan toprak işleme, sulama, gübreleme vb. tarımsal işlemlerde uygulanan herbisitlere bağlı olarak hasat indeksinde dalgalanmalar olması ürün ve yabancı ot rekabetinden (su, besin maddesi, ışık ve alan için) kaynaklanmaktadır. Hasat indeksi mutlaka yönetilmesi gereken bir faktör değildir. Koçan yani tane verimi, mısır bitkisinin ekonomik açıdan en değerli kısmıdır ve yönetim kararları, tane veriminden elde edilen kârı maksimize etmeye dayanmaktadır. Hayvan yemi veya biyoenerji için mısır biyokütlesi ile ilgili yeni fırsatlar ortaya çıktıkça, hasattan sonra tarlada ne kadar mısır sap ve samanı kaldığı ve bu atıkların daha etkin bir şekilde değerlendirilecektir. Hasat indeksi, tarlada ne kadar mısır sap ve samanının bulunduğunu tahmin etmenin basit bir yolu olduğu için önemlidir. Shrestha ve ark. (2019) mısır bitkisinde uygulanan yabancı ot kontrol yöntemlerine göre hasat indeksinin en yüksek Atrazine 1.5 kg a.i. ha⁻¹ fb 2,4-D uygulamasında (%50) olduğunu bildirmiştir. Bu sonuç bulgularımızla karşılaştırıldığında T-2 (%52), T-4 (%52) ve T-6 (%50) uygulamalarına yakın değerde bulunmuştur. Khan ve ark. (2014) atrax (%30), buctril süper (%30), dual gold (%33), sencor extra (%32), primextra (%35), stomp (%30) uygulamaları sonrası herbisitlerin uygulanmasının ürün hasat indeksi %30 civarında etkilediğini bildirmiştir. Hütsch ve Schubert (2017) son on yıl boyunca, birçok tarımsal mahsulün (örneğin buğday) hasat indeksinin genetik veya agronomik olarak artarken, hibrit mısırın hasat indeksinin büyük büyüme alanlarında neredeyse değişmeden kaldığını bildirmişlerdir. Bu durum mısırdaki sorun olan yabancı otların ekonomik zarar eşliğinin altına düşürülmesi için seçilecek yabancı ot kontrol yönteminde ürün hasat indeksinin mısır bitkisinde %50 civarında olmasının hedeflenebileceğini göstermektedir. DeLougherty ve ark. (1979) hasat indeksinin mısır verimliliğini değerlendirmek için kullanılan indekslerden biri olduğunu normal üretim yoğunluğunda (50.000 bitki ha⁻¹) ekilen adapte edilmiş melezlerin stres koşullarına bağlı olarak yabancı ot yoğunluğu artacağı, mısır bitkisinin strese gireceği, mısırın daha az koçan ve tane oluşturacağı ve sap ve saman gibi vejetatif atıkların artacağı sonucuna varılmıştır. Ion ve ark. (2015) farklı sıra arası ve üzeri mısır yoğunluğuna bağlı olarak hasat indeksinin 0.20 ile 0.56 arasında değişebileceğini, dar sıra arasında indeksin düştüğü 70.000 bitki ha⁻¹ ve münavebe olarak ayçiçeği sonrası mısır üretiminde en yüksek değer elde edildiğini bildirmiştir. Ekim normu ile ilgili bu veriler T-2, T-4 ve T-6 herbisit uygulamalarından biri ile kombine edildiğinde optimum hasat indeksinin elde edileceği anlaşılmaktadır.

Yabancı ot indeksi yabancı ot istilasından kaynaklanan verim kayıplarını yabancı ot arsalarına göre tanımlamak için ideal bir parametredir (Suria ve ark., 2011; Pala, 2019). Mısır tarlalarında sorun olan yabancı otların kontrolü için uygulanan herbisitlerin yabancı ot indeksi (%) genel olarak değerlendirildiğinde yabancı otsuz kontrol parsellerinden sonra önerilen dozda sırasıyla T-2 (%7), T-4 (%8) ve T-6 (%10) uygulamalarının en iyi sonucu verdikleri saptanmıştır. T-2 uygulamasında yabancı ot kontrolünün en iyi ve mısır veriminin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Yabancı otlu kontrol parselinden sonra T-3 herbisitinin önerilen dozda uygulamasının diğer herbisit tedavilerinden daha kötü yabancı ot indeks değeri (%33) kaydetmiştir. Shrestha ve ark. (2019) yabancı ot yönetim uygulamalarının hiçbirinin yabancı otları tamamen ortadan kaldırmadığını, ancak kontrol parseline göre siyah polietilen malçlaması en iyi yabancı ot indeksini (%-21) verdiğini, Atrazine 1.5 kg a.i. ha⁻¹ fb 2,4-D uygulamasının yabancı ot indeksinin %12 olduğunu bildirmiştir. Bu sonuçlar bulgularımızla karşılaştırıldığında herbisit kullanımına bağlı yabancı ot indeksi %10'un altında bulunan T-2, T-4 ve T-6 uygulamaları ile benzerlik göstermektedir.

4. Sonuç

Yabancı ot istilası, mısırdaki tahıl verimini önemli ölçüde azaltan önemli zararlı organizmalardan biridir. Önceki yıl ekilen tarım ürününde görülen yabancı otların tanınması, ekim öncesi, çıkış öncesi ve erken çıkış sonrası yabancı otların mevcut durumunun belirlenmesi gözlemler yapılması önemlidir. Eldeki bilgiler ve erken mevsim gözlemleri, eğer kullanılacaksa, ekim öncesi, çıkış öncesi veya çıkış sonrası herbisitlerin ne kadar etkili olabileceği konusunda öngörüye sahip olmamızı sağlamaktadır. Ayrıca yaz ortası (mısır yüksek belden önce) ikinci bir gözlem yapılarak yabancı ot kontrol uygulamalarının genel etkinliği hakkında bilgi sağlayabilir ve programın gelecek yıllarda nasıl ayarlanabileceğine dair ipuçları sağlayabilir. Bu aynı zamanda mevcut yabancı ot türlerini ve sayılarını kaydetmek ve mısır üretim alanındaki özel problem alanlarının yerini haritalamak için iyi bir zamandır. Yabancı ot envanterini tamamlamak için hasatta yabancı ot türleri ve sayıları hakkında ek notlar alınabilir. Yabancı otların mücadelesinde en yaygın tercih edilen yöntem ekonomik ve pratik olması nedeniyle herbisit kullanımınıdır. Bu çalışmada Avrupa Birliği ve Türkiye gibi transgenik (GDO'lu) olmayan mısır üretim alanlarında sorun olan yabancı otları kontrol etmek için yaygın olarak kullanılan herbisitlerden isoxaflutole + thiencazabazone-methyl + cyprosulfamide, dimethenamid-P + terbuthylazine, dicamba + tritosulfuron, 2,4-D ethylhexyl ester + florasulam, terbuthylazine + pendimethalin ve mesotrione + nicosulfuron aktif maddelerinin mısır verimi (kg ha⁻¹), hasat indeksi (%) ve yabancı ot indeksi (%) ile ilgili parametreler araştırılmıştır. Sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde sırasıyla dimethenamid-P 280 g/l + terbuthylazine 250 g/l, mesotrione 75 g/l + nicosulfuron 30 g/l ve terbuthylazine 270 g/l + pendimethalin 64 g/l uygulamalarının öncelikli olarak tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır. Yabancı ot yönetimi bir mısır üretim sisteminin en önemli bileşenlerinden biridir. Herbisitler normal olarak karlı üretim sistemlerinde gereklidir. Bununla birlikte, herbisitler bir yabancı ot yönetim programının sadece bir bileşenidir. Yabancı ot yönetimi en iyi şekilde ürün münavebesi, yabancı otlarla ürün rekabeti teşvik eden iyi agronomik uygulamalar, malçlama, solarizasyon, buharlama, akıllı kültivatörler ve pülverizatörler, dron ve dijital teknoloji gibi çevre dostu uygulamaların herbisit uygulamalarına entegre edilmesi sürdürülebilir mısır üretimi için önemli bir stratejidir. Herbisitler sadece gerektiği gibi ve sadece yabancı ot problemleri ve yabancı otların hem mevcut hem de gelecekteki mahsullerin üretim verimliliği üzerindeki etkisi dikkatle değerlendirildikten sonra kullanılmalıdır.

Kaynakça

- Beadle, C.L. (1985). Plant Growth Analysis. Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. Edited by J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long and J. M. O. Scurlock. Chapter 2, P: 20–25. Pergamon Press. Oxford, England. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-031999-5.50012-1>
- Berzsenyi, P., Bonis, B., Arendas, T. (1995). Investigations about the effects of some factors influencing the efficacy of postemergence weed control in maize (*Zea mays* L.), Dang Quoc Lap, Agricultural Research Institute of The Hungarian Academy of Sciences, 9th EWRS Symposium Budapest, 257 – 264.
- Dekalb (2020). Yabancı Ot Mücadelesi. [04 Jan. 2020] Available at: <https://www.dekalb.com.tr/arama?tag=YABANCI%20OT>
- DeLougherty, R. L., Crookston, R. K. (1979). Harvest Index of corn affected by population density, maturity rating, and environment 1. *Agronomy Journal*, 71(4), 577-580. <https://doi.org/10.2134/agronj1979.00021962007100040014x>
- Dogan, M.N., Boz, Ö. (2005). Comparison of weed problems in main and second crop maize (*Zea mays* L.) growing areas in Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4(3), 220-224. <https://doi.org/10.3923/ajps.2005.220.224>
- FAO (2020). Maize in human nutrition. [accessed on: 04 Jan. 2020] Available at: <http://www.fao.org/3/t0395e/T0395E00.htm#Contents>
- Gupta, O.P. (1998). Weed management: Principles and practices. *Agro Botanica*, Bikaner, India, pp. 18-23.
- Güngör, M. Uygur, F.N. (2005). Adana ili mısır ekim alanlarında yabancı otlara karşı uygulanan kimyasal mücadelenin önemi ve ortaya çıkan sorunların araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, 171s. Adana.
- Hall, R.M., Swanton C.J., Anderson W.G. (2002). The critical period of weed control in grain maize (*Zea mays*). *Weed Science Congress*, 40: 441-447. <https://doi.org/10.1017/S0043174500051882>
- Hütsch, B.W., Schubert, S. (2017). Harvest index of maize (*Zea mays* L.): Are there possibilities for improvement?. In *Advances in agronomy* (Vol. 146, pp. 37-82). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.004>
- IGC 2019. International Grains Council. [accessed on: 27 Jun. 2015] Available at: <http://www.igc.int/en/default.aspx>
- Ion, V., Dicu, G., Dumbravă, M., Temocico, G., Alecu, I. N., Băşa, A. G., State, D. (2015). Harvest index at maize in different growing conditions. *Romanian Biotechnological Letters*, 20(6), 10951. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.036>
- Işık D., Dok M., Altop EK., Mennan H. (2015). Mısır yetiştiriciliğinde erken toprak işleme ve glyphosate'nin çıkış öncesi ve çıkış sonrası yabancı ot mücadele yöntemleri ile birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21, 596- 605. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001360
- Khan, H., Marwat, K.B., Khan, M.A., Hashim, S. (2014). Herbicidal control of parthenium weed in maize. *Pak. J. Bot*, 46(2), 497-504.
- MS (2015). Meteorological Service. [accessed on: 27 Jun. 2015] Available at: <https://www.mgm.gov.tr/>
- Nandula, V.K. (2019). Herbicide Resistance Traits in Maize and Soybean: Current Status and Future Outlook. *Plants*, 8(9), 337. <https://doi.org/10.3390/plants8090337>
- Nielsen, R.L. (1988). Influence of hybrids and plant density on grain yield and stalk breakage in corn grown in 38 cm row width. *Journal Production Agriculture*, 1(3), 190–195. <https://doi.org/10.2134/jpa1988.0190>
- Oerke, E.C., Dehne, H.W. (2004). Safeguarding protection-losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection*, 23, 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.10.001>
- Pala, F., Mennan, H. (2017a). Determination of existing weed management by conducting a survey with corn farmers in Diyarbakir. Central Anatolia Region Third Agriculture and Food Congress, 26-28 Oct., Sivas, Turkey.
- Pala, F., Mennan, H. (2017b). Investigation of problems and considerations on weed control methods in field crops of Diyarbakir. International Conference on Multidisciplinary, Engineering, Science, Education and Technology, 27-29 Oct., Bitlis, Turkey.
- Pala, F. (2019). Optimum application time of aclonifen active ingredient to weed management in lentils. 3. Anadolu Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 28-29 December, Diyarbakir, Turkey. *Euroasia Journal of Matematics-Engineering Natural & Medical Sciences*, pp. 27-33.
- Pennington, D. (2013). Harvest index: A predictor of corn stover yield. [accessed on: 04 Jan. 2020] Available at: https://www.canr.msu.edu/news/harvest_index_a_predictor_of_corn_stover_yield
- Peterson, P.M. (2013). Poaceae (Gramineae). In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0003689.pub2>
- PPP (2020). Plant Protection Products. [accessed on: 05 Jan. 2020] Available at: <https://bku.tarim.gov.tr/>
- Puntener, W. (1981). Manual for field trials in plant protection. Second Edition. Ciba-Geigy Limited, Basle, Switzerland.
- Rajcan, I., Swanton, C.J. (2001). Understanding maize–weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. *Field Crops Research*, 71(2), 139-150. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00159-9)
- Ravisankar, D. (2017). Weed Management in Herbicide Tolerant Transgenic Maize-A Review. *Chem Sci Rev Lett*, 6(24), 2364-2372.
- Shrestha, A., Tapab, B., Subedib, R., Amgainb, L.P., Wasti, M. (2019). Effect of weed management in productivity of Spring Maize in Mid-hills of Nepal. *Journal of Research in Weed Science*, 2, 43-51. <https://doi.org/10.26655/jrweedsci.2019.1.4>
- Silva, P.S.L., Silva, P.I.B., Silva, K.M.B., Oliveira, V.R., Pontes Filho, F.S.T. (2011). Corn growth and yield in competition with weeds. *Planta daninha*, 29(4), 793-802. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000400009>
- Süzer, S. 2020. Mısır Tarımı. [accessed on: 02 Jan. 2020] Available at: <http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Misir-Tarimi.pdf>
- Thonke, K.E. (1991). Political and practical approach in Scandinavia towards reducing herbicide inputs, Brighton Crop Protection Conference, Brighton, 1183 –1190.
- TOB (2020). Mısır Hastalık ve Zararlıları İle Mücadele. [accessed on: 03 Jan. 2020] Available at: https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/Bitki%20Sa%C4%9Fl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20Hizmetleri/hastalik_zararlılari_ile_m%C3%BCcadele_dokumanlari/misir.pdf

- TÜİK (2018). Bitkisel Üretim İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu. [accessed on: 03 Jan. 2020] Available at: <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>
- UC-IPM (2020). Corn. [accessed on: 19 Apr. 2019] Available at: <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r113700999.html>
- Wunderlich, S., Gatto, K.A. (2015). Consumer perception of genetically modified organisms and sources of information. *Advances in Nutrition*, 6(6), 842-851. <https://doi.org/10.3945/an.115.008870>
- Zoschke, A. (1994). Toward reduced herbicide rates and adapted weed management. *Weed Technol.* 8, 376-386. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00038951>



Nonlinear Yüklü Sistemde Filtreleme ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Açısından Simülasyon ve Deneysel Çalışma Tabanlı bir Analizin Gerçekleştirilmesi

Fatma Gülşen Erdiñç^{1*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34220, Esenler, İstanbul (ORCID: 0000-0002-2027-8689)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.672211)

ATIF/REFERENCE: Erdiñç, F. G. (2020). Nonlinear Yüklü Sistemde Filtreleme ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Açısından Simülasyon ve Deneysel Çalışma Tabanlı bir Analizin Gerçekleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 319-331.

Öz

Lineer ve nonlinear yüklerin bulunduğu elektrik güç sisteminde, nonlinear yüklerin günden güne artmasına bağlı olarak sisteme enjekte edilen harmonik akımları da artmaktadır. Harmonik akımlar, sadece yüklerin dalga şekillerinde bozucu etkilerde bulunmayıp aynı zamanda güç sisteminde ve güç sistemine bağlanan elemanlar üzerinde de olumsuz etkiler meydana getirmektedirler.

Teknik ve ekonomik bakımdan pek çok etkisi olan harmoniklerin bu etkilerinin bilinmesi ve işletmelerde analizlerinin yapılması, hem enerji kalitesi açısından hem de işletmenin sürekliliği açısından son derece önemlidir. Gerçekleştirilen çalışmada çeşitli nonlinear yüklerin bulunduğu bir sistemde, harmoniklerin etkileri belirtilip sistemde istenen harmonik akımının süzülmesini sağlayan harmonik filtresinin gerekliliği anlatılmaktadır. Harmonik filtreler her tesis için ayrı ayrı tasarım gerektirir, dolayısıyla filtrelemede dikkat edilmesi gereken hususlar incelenmektedir. Sinüs biçimli kaynaktan beslenen ve lineer elemanlardan meydana gelen enerji sistemlerinin güç kompanzasyonu basit bir inceleme ile yapılabilmektedir. Fakat besleme kaynağının sinüs biçimli olmaması veya elemanların nonlinear karakterde olması durumunda güç kompanzasyonunda bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Bu yüzden harmonikli sistemlerde güç kompanzasyonu normal kompanzasyondan farklıdır. Yapılan çalışmada bu konuda dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle filtreleme ve güç kompanzasyonunun sinüs biçimli olmayan sistem için gerçekleştirilmesi irdelenmektedir ve buna ait bilgiler verilmektedir. Ayrıca çalışmada gerçek bir sistem üzerinde yapılan ölçümler ile bu sistemin filtrelenmesi ve güç kompanzasyonunun gerçekleştirilmesi de yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Harmonikler, Aktif güç filtresi, Pasif güç filtresi, Güç kompanzasyonu.

The Realization of an Analysis Based on Simulation and Experimental Study for Filtering and Reactive Power Compensation in a System with Nonlinear Loads

Abstract

The harmonic currents injected to electric power system including of linear and nonlinear loads are increasing due to the increase in nonlinear loads. Harmonic currents not only cause deterioration in load wave forms but also provide negative effects on power system and equipments connected to power system.

The evaluation of the technical and economical effects of harmonics and providing analysis in plants about this issue are significantly important both for energy quality and plant durability. In this study, the effects of harmonics are evaluated and the need of a harmonic

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2027-8689, fgulsenerdinc@gmail.com

filter that provides the possibility of filtering the desired harmonic current. Harmonic filters requires different design approaches for each plant, thus the important issues in filtering are examined. The power compensation in energy systems fed by sinusoidal source and including linear loads can be realized easily. However, the power compensation in the case of non-sinusoidal source or nonlinear loads may cause some difficulties. Thus, the power compensation in harmonic condition is even more difficult than normal power compensation applications. In the realized study, the significant issues about this topic are presented.

In this study, the realization of filtering and power compensation in non-sinusoidal load conditions is evaluated and some information is provided on this topic. Besides, the measurements on a real plant as well as the filtering and power compensation studies on the mentioned plant are presented.

Keywords: Harmonics, Active filter, Passive filter, Power compensation.

1. Giriş

Bilindiği gibi elektrik enerjisi kullanan tüm cihazlar, ekipmanlar sinüs biçimli alternatif akıma ihtiyaç duyarlar. Enerji sisteminin üretimi, iletimi ve dağıtım aşamalarında alternatif akımın sinüs biçimli bir dalgaya sahip olması gereklidir. Sinüs biçimli bir dalga şeklinin sistemde sürekli olarak sağlanması giderek zorlaşmaktadır. Sinüs biçimli dalgadan uzaklaşılması sonucunda da buna göre imal edilmiş elemanlarda problemler yaşanmaktadır. Elektrik enerjisinin yararlı kullanımı kontrol edilebilir frekans ve gerilime sahip büyüklükler ile elde edilecek güç sağlanmasına bağlıdır. Ancak üretilen ve iletilen güç daha büyük gerilimlerde bulunmaktadır. Bu uyumsuzlukların giderilmesi için güç elektroniği tabanlı bazı güç biçimlendirme ve dönüştürme şekillerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bu tür uygulamalar gerilim ve akımın dalga şekillerinin bozulmasına yol açmakta ve enerji kalitesini bozmaktadır (Arrilaga vd., 2004).

Elektrik üretimi ülkelere göre değişkenlik göstermekle birlikte; genel itibariyle 50 ya da 60 Hz'lik frekanslarda gerçekleştirilmekte ve üretimi gerçekleştiren generatörlerin dalga biçimleri pratik olarak sinüs biçimli kabul edilmektedir. Fakat sinüs biçimli bir gerilim lineer olmayan bir cihaza ya da yüke uygulandığında, elde edilen akımın şekli tamamen sinüs biçimli olmamaktadır. Sistem empedansının mevcut olması durumunda ise bu akım sinüs biçimli olmayan bir gerilim düşümüne neden olmakta ve böylece yük uçlarında gerilim bozulmasına yol açmaktadır. Dalga şeklinin sinüs biçimli şekilden uzaklaşması sistemde harmonik bileşenlerin bulunduğunu göstermektedir (Arrilaga vd., 2004).

Gerilim ve akımda meydana gelen harmonik bozulmalara lineer olmayan yükler sebep olmaktadır. Lineer olmayan yükler arasında; kesintisiz güç kaynakları (KKGK), motor yol vericileri, motor sürücüleri, bilgisayarlar, elektronik aydınlatma elemanları ve kaynak makineleri bulunur. Ayrıca tüm güç elektroniği dönüştürücüleri şebekede harmonik bozulumu artırıcı etki gösterirler. Sistemde bulunan harmonik bileşenler güç sistemini etkilemektedir. Enerji kirliliği olarak da belirtilen bu durum teknik ve ekonomik problemlere neden olmaktadır. Harmonik değerlerin artması toplam harmonik bozulum değerini arttırmakta ve sistemin istenmeyen bir şekilde çalışmasına yol açmaktadır. Harmonik bileşenler transformatörlerde ve dönen makinalarda ek kayıplara, gürültüye çalışmaya, rezonansa, güç faktörü düzeltiminde problemlere ve kondansatörlerde aşırı yüklenmeye sebep olurlar.

Öte yandan tüketicilerin çektikleri alternatif akımın teorik bakımdan biri aktif ve diğeri reaktif akım olmak üzere, iki bileşenden oluştuğu kabul olunur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç tüketiciler tarafından faydalı hale getirilir. Reaktif akımın meydana getirdiği güç ise faydalı güce çevrilemez. Reaktif güç, yalnız alternatif akıma bağlı bir özellik olup, elektrik tesislerine istenmeyen bir şekilde tesir eder. Generatörleri, transformatörleri, hatları, bobinleri lüzumsuz olarak işgal eder, ayrıca bunların üzerinde ilave ısı kayıplarına ve gerilim düşümlerine yol açar. Tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını karşılamak için reaktif gücün bir yerde üretilmesi gerekir. Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif gücün, kapasitif yük çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenmesine kompanzasyon denir. Böylece tüketicinin şebekeden çektiği reaktif güç çok azalır.

Elektrik tesislerinde bahsi geçen kondansatör sistemleri ile yapılan reaktif güç kompanzasyonunun temel amacı sistemdeki güç faktörünü yasal düzenlemeler ile belirlenen bir seviyeye çıkarmaktır. Fakat harmonikli durumda harmonikler nedeniyle mevcut olan distorsiyon gücü, kompanzasyon ile güç faktörünün bir yapılmasına engel olmaktadır. Bu açıdan harmonikli durumda reaktif güç kompanzasyonu yapılırken öncelikle sistemdeki harmonik bileşenleri filtreleme ile elimine edilmelidir.

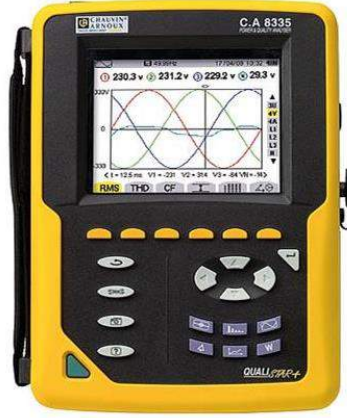
Literatürde bu açıdan gerçekleştirilen çalışmalar arasında Rahmani vd. (2014), güç kalitesi artırımı için şönt hibrit bir güç filtresi ve tristör kontrollü reaktörün beraberce kullanımını önermiştir. Wang vd. (2012) ise başka bir çalışmada 125 MVA'lık motor-generatör sistemi için harmonik akımı bastırması ve reaktif güç kompanzasyonu durumunu analiz etmiştir. Jafar vd. (2014) deniz üstü rüzgar santrali entegrasyonu için yüksek gerilimli DC iletim sisteminin reaktif güç kompanzasyonu ve harmonik bastırımı konusunu ele almıştır. Bahis geçen harmonikli durumda reaktif güç kompanzasyonu konusunu farklı uygulama alanlarında dikkate alan George ve Agarwal (2005), Micallef vd. (2014), Prodanovic vd. (2007), Santos vd. (2014), Shu vd. (2011), Wang vd. (2017) gibi birçok çalışma da literatürde yer almaktadır.

Bu çalışmada nonlineer yüklü sistemde filtreleme ve reaktif güç kompanzasyonu açısından simülasyon ve deneysel çalışma tabanlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Simülasyon tabanlı bir analiz ile desteklenmiş şekilde endüstriyel gerçek bir tesis üzerinde uygulanmış konsept sonuçlarının dikkate alınması bu çalışmanın yenilikçi yönünü oluşturmaktadır. Çalışmanın geri kalan kısımları şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de ilgili konuda deneysel saha çalışmasının sonuçları irdelenirken, Bölüm 3'te ise simülasyon tabanlı çalışmaların detayları verilmiştir. Bölüm 4'te ise çalışmanın genel sonuçları irdelenmektedir.

2. Deneysel Çalışma Sonuçları

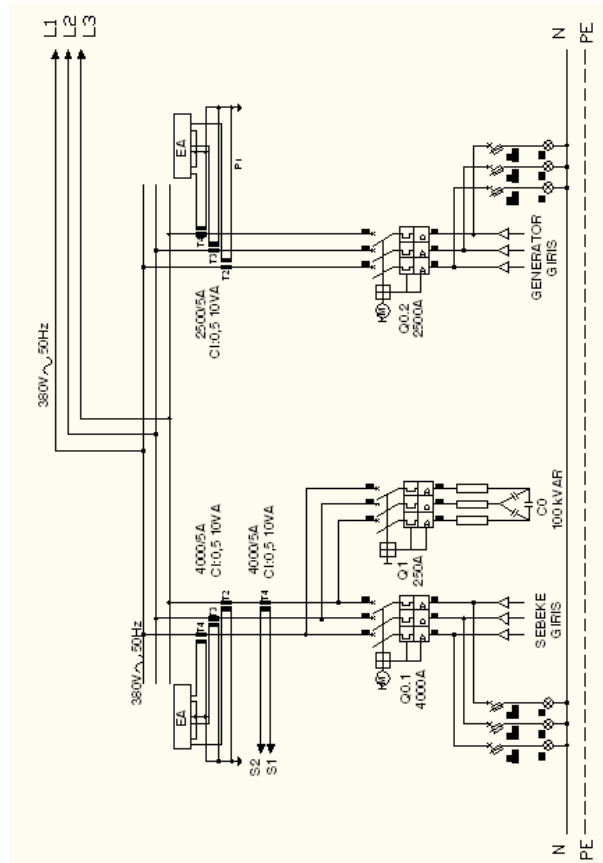
Bu bölümde örnek olarak incelenen bir elektrik enerji sistemi tüketicisinin, filtreli kompanzasyon sistemi ile tesis edilmesi durumunda, sistemin davranışı incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda; sistemin akımı, gerilimi, THD değerleri kullanılarak

harmonik analizi ve hesaplamaları yapılmıştır. Ölçümler, Chauvin Arnoux marka CA8335 3 fazlı portatif enerji analizörü ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). AG tarafından cihaza bir akım ve gerilim referansı verilerek; akım ve gerilim harmonikleri, gerilim ve akım dalga şekilleri kaydedilmiştir.

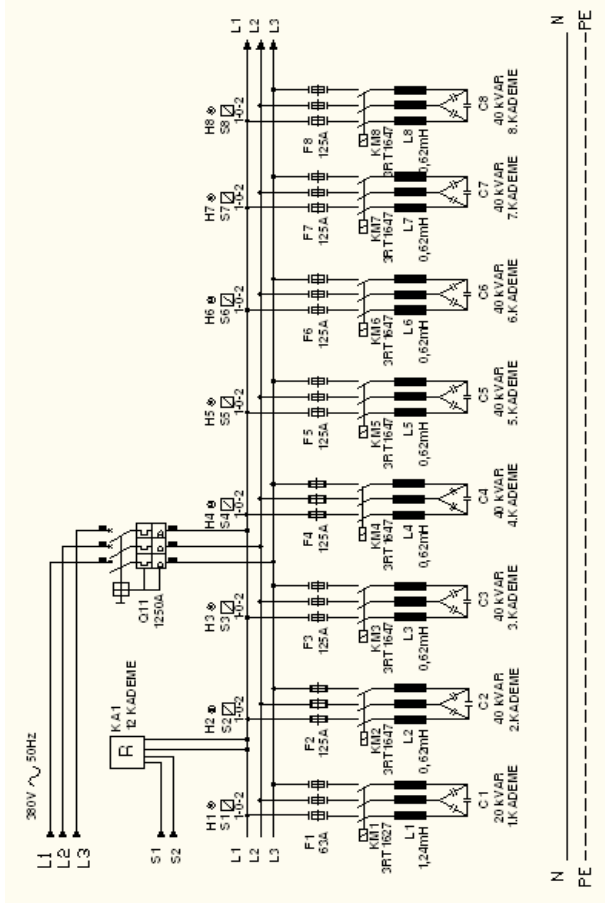


Şekil 1. Ölçüm cihazının görünümü.

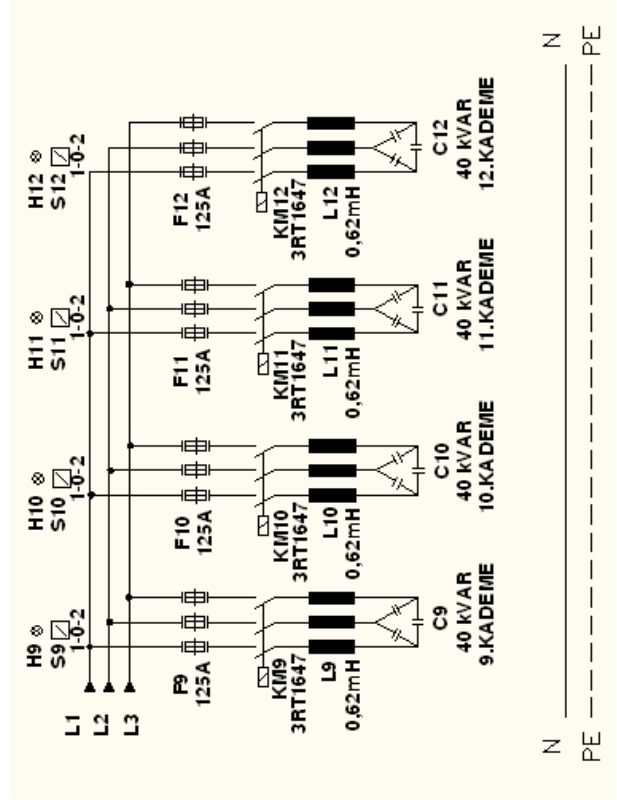
Örnek olarak incelenen sistem bir tekstil fabrikasıdır. Enerjisini 34,5 kV'luk OG transformatöründen almaktadır. Transformatörün gücü 2000 kVA olup yağlı bir transformatördür. Tesise ait şemalar Şekil 2 ve 3'te belirtilmiştir. Tesiste kompanzasyon için 1. kademesinde 20kVAr, diğer kademelerinde 40 kVAr olan toplam 12 kademe kondansatör bulunmaktadır. Her kademe için filtre elemanı olarak endüktans (L1 - L12) bulunmaktadır.



Şekil 2. Örnek sisteme ait şebeke ve generatör besleme şeması.



(a)

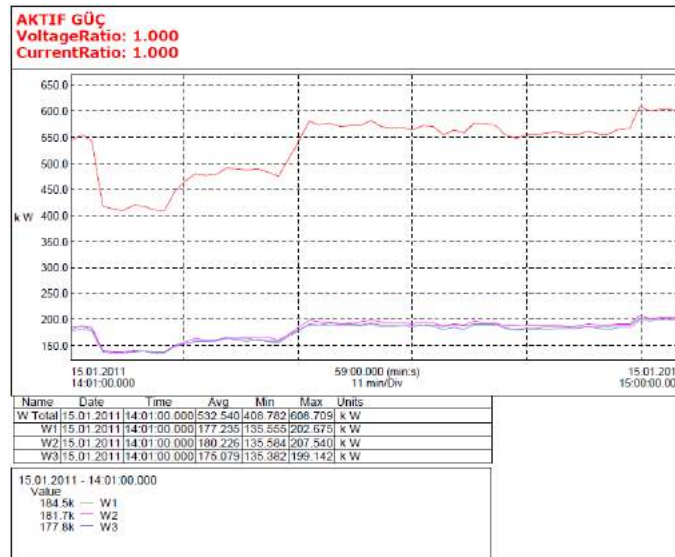


(b)

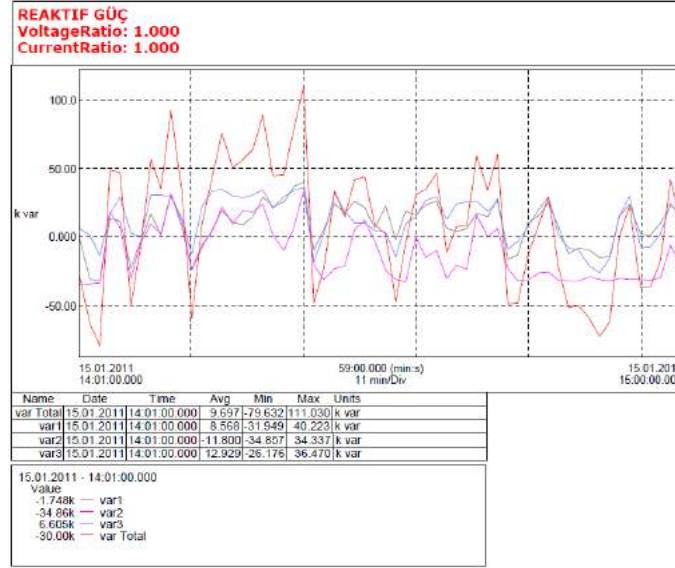
Şekil 3. Örnek sisteme ait filtreli güç kompanzasyonu şeması: (a) 1.-8. kademe, (b) 9.-12. kademe.

Ölçümler, filtreli kompanzasyon devrede değilken ve filtreli kompanzasyon devrede olmak üzere iki kez tekrarlanmış, filtrenin sisteme etkisi analiz edilmiştir. Ölçüm sonuçları aşağıda verilmiş bulunmaktadır.

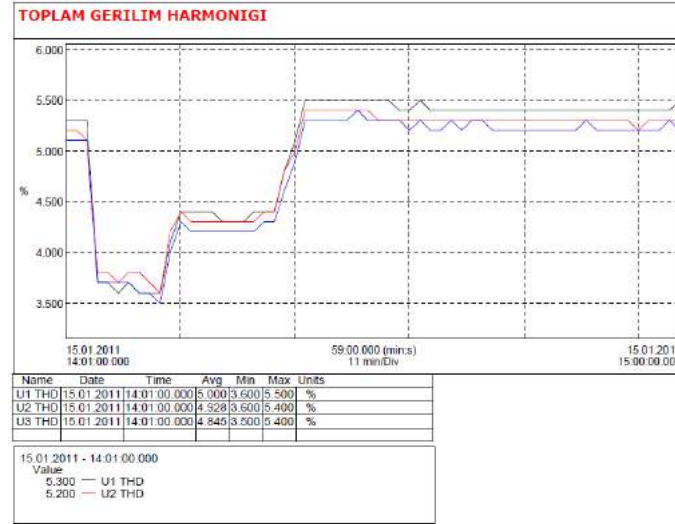
Filtresiz Kompanzasyon Durumunda Ölçüm Sonuçları:



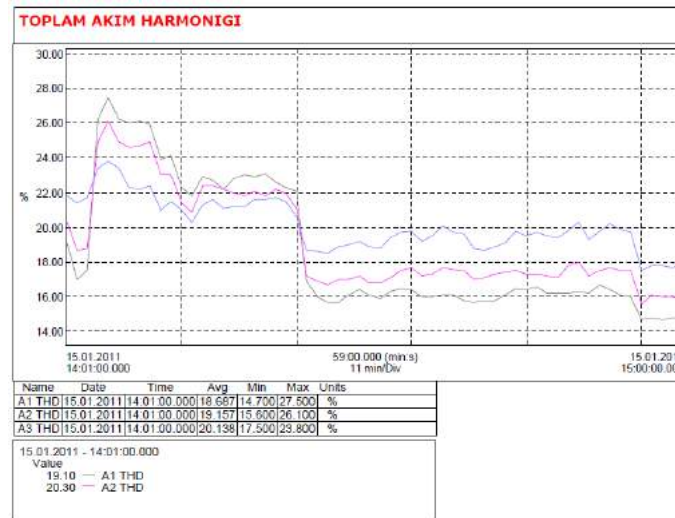
Şekil 4. Filtresiz kompanzasyonda aktif güç grafiği.



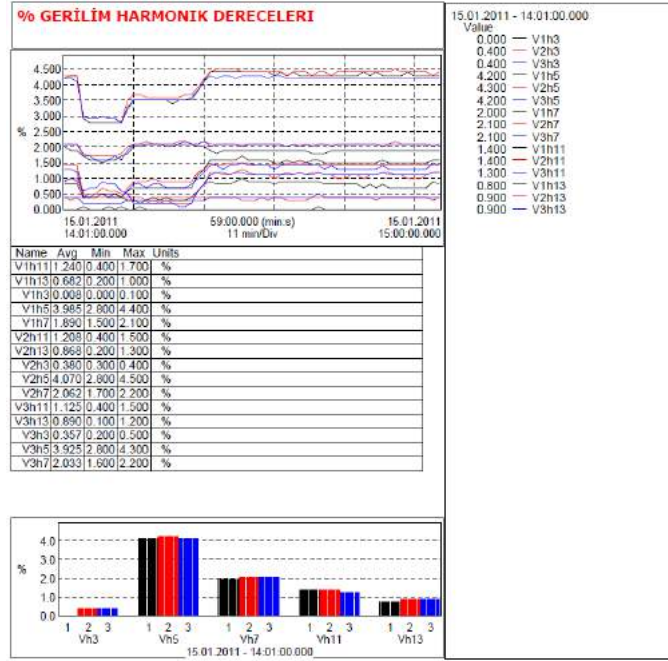
Şekil 5. Filtresiz kompanzasyonda reaktif güç grafiği.



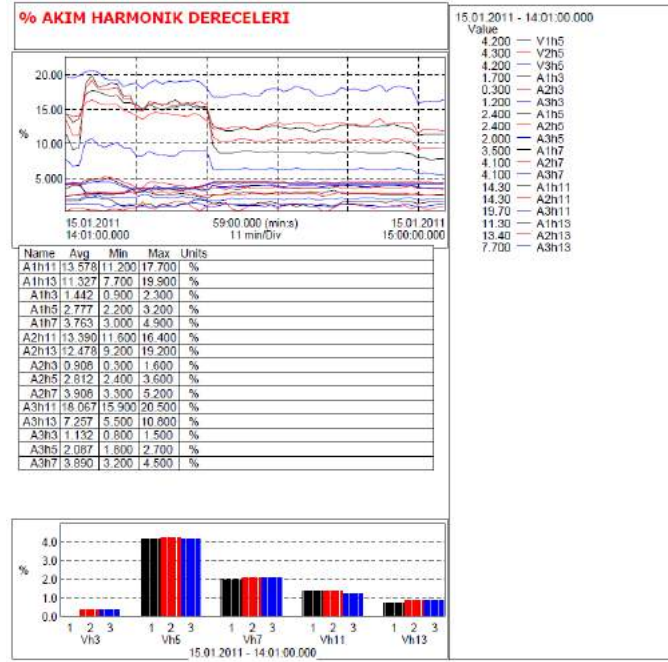
Şekil 6. Filtresiz kompanzasyonda gerilime ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



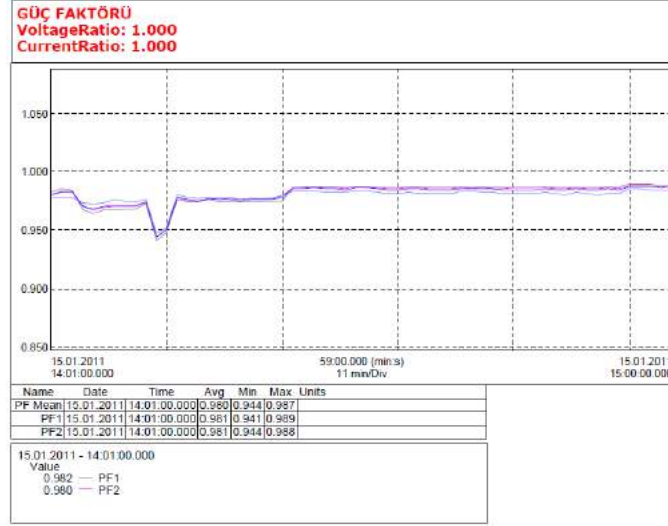
Şekil 7. Filtresiz kompanzasyonda akıma ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



Şekil 8. Filtresiz kompanzasyonda gerilim harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.

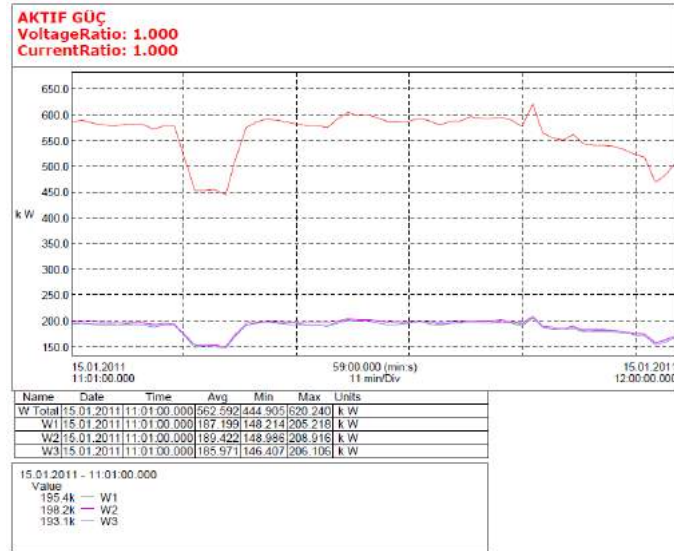


Şekil 9. Filtresiz kompanzasyonda akım harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.

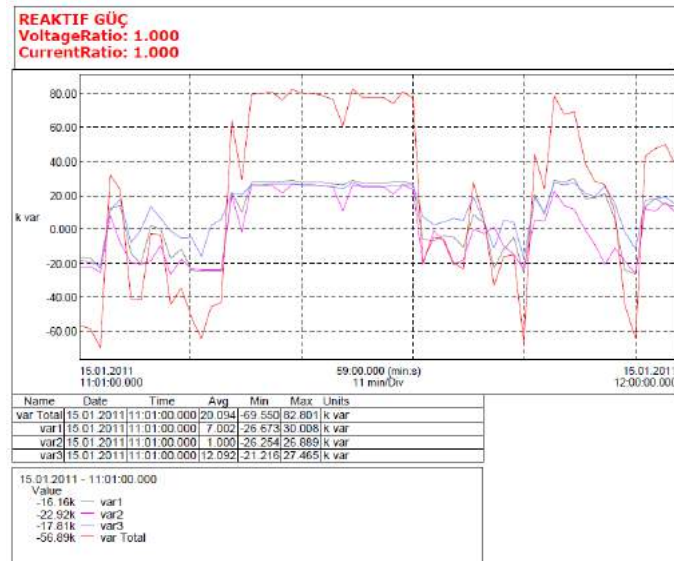


Şekil 10. Filtresiz kompanzasyonda güç faktörü grafiği.

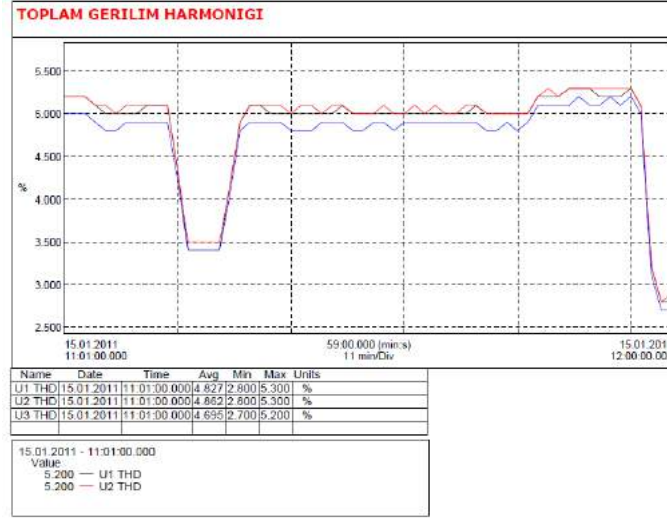
Filtreli Kompanzasyon Durumunda Ölçüm Sonuçları:



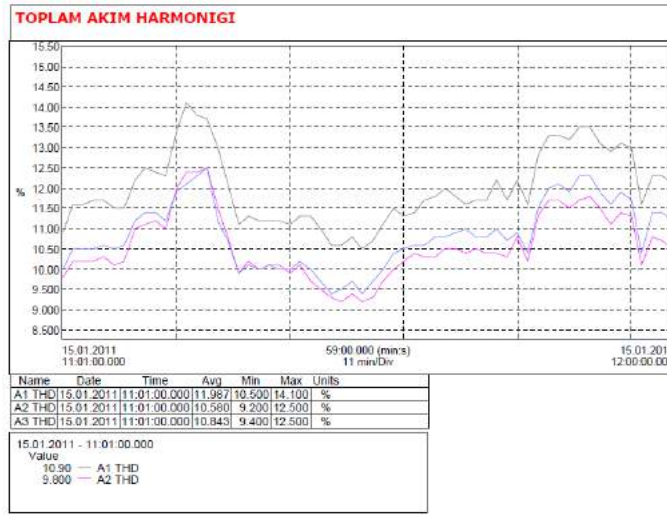
Şekil 11. Filtreli kompanzasyonda aktif güç grafiği.



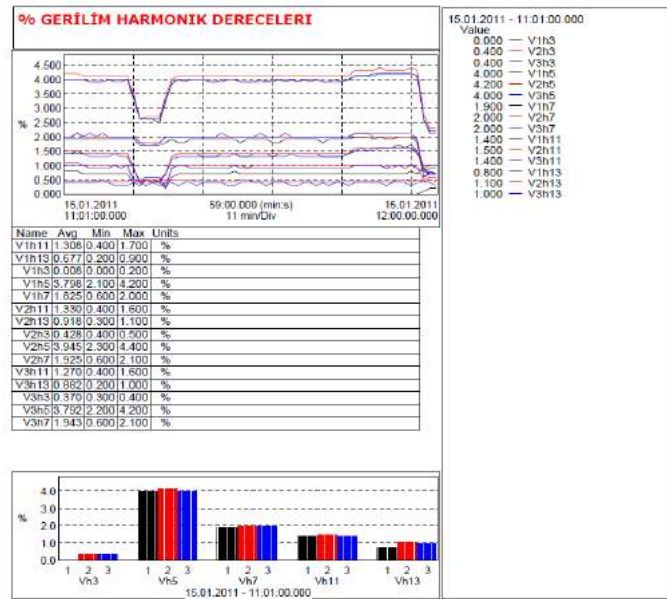
Şekil 12. Filtreli kompanzasyonda reaktif güç grafiği.



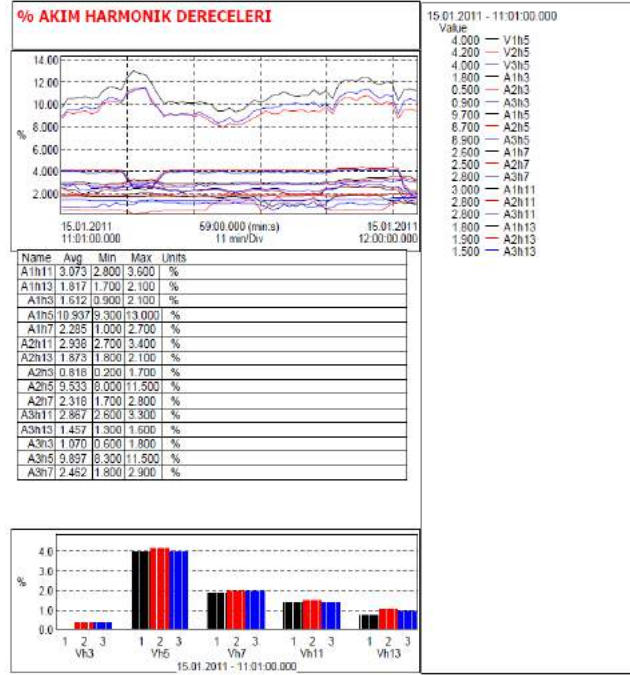
Şekil 13. Filtreli kompanzasyonda gerilime ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



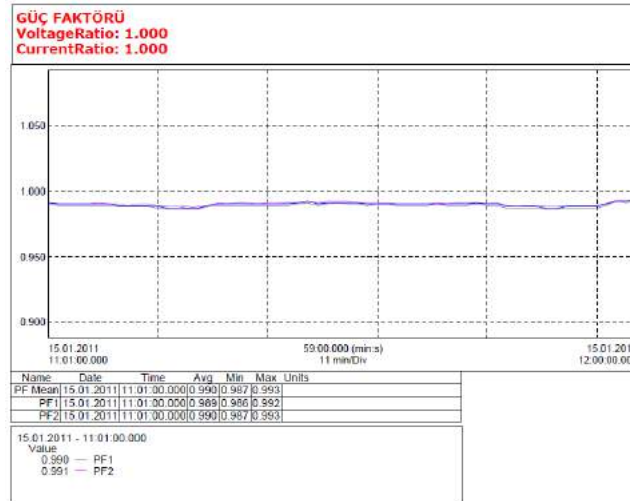
Şekil 14. Filtreli kompanzasyonda akıma ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



Şekil 15. Filtreli kompanzasyonda gerilim harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.



Şekil 16. Filtreli kompanzasyonda akım harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.



Şekil 17. Filtreli kompanzasyonda güç faktörü grafiği.

3. Simülasyon Tabanlı Çalışma Sonuçları

Bir önceki bölümde ölçümü gerçekleştirilen sisteme ait modelleme gerçekleştirilerek sistem üzerinde analiz yapılmıştır. Bu analizde, harmonik ve güç faktörü değerlerinin yanı sıra 3 fazlı sisteme ait her bir fazdaki temel bileşen ve harmonik akım ve gerilimlerinin değerleri model üzerinde analitik olarak elde edilmiştir. Örnek sisteme ait elektrik büyüklüklerin elde edilmesinde, iyi bilinen toplam harmonik distorsiyonu ve güç faktörü eşitlikleri kullanılmıştır. Elde edilen hesaplama sonuçları ve ölçüm sonuçları Tablo 1-6'da verilmiştir.

Tablo 1. Filtresiz durum için akıma ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [A]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	775,3238	787,2231	764,3093
3	11,1802	7,1480	8,6520
5	21,5307	22,1367	15,9511
7	29,1754	30,7647	29,7316
11	105,2735	105,4092	138,0878
13	87,8209	90,3575	55,4659

Tablo 2. Filtresiz durum için gerilime ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [V]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	396,3450	396,9674	395,9831
3	0,0317	1,5081	1,4137
5	15,7944	16,1525	15,5423
7	7,4909	8,1834	8,0503
11	4,9147	4,7942	4,4548
13	2,7031	3,4448	3,5242

Tablo 3. Filtresiz durum için THD ve güç faktörü değerleri.

Değişken	Hesaplanan değer			Ölçülen değer		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Faz 1	Faz 2	Faz 3
THD _I	%18,3471	%18,3041	%19,9962	%18,687	%19,157	%20,138
THD _V	%4,6320	%4,8139	%4,6609	%5	%4,928	%4,845
Güç faktörü	%99,81			%98		

Tablo 4. Filtreli durum için akıma ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [A]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	820,1733	828,8575	814,3636
3	13,2212	6,7801	8,7137
5	89,7024	79,0150	80,5976
7	18,7410	19,2129	20,0496
11	25,2039	24,3518	23,3478
13	14,9025	15,5245	11,8653

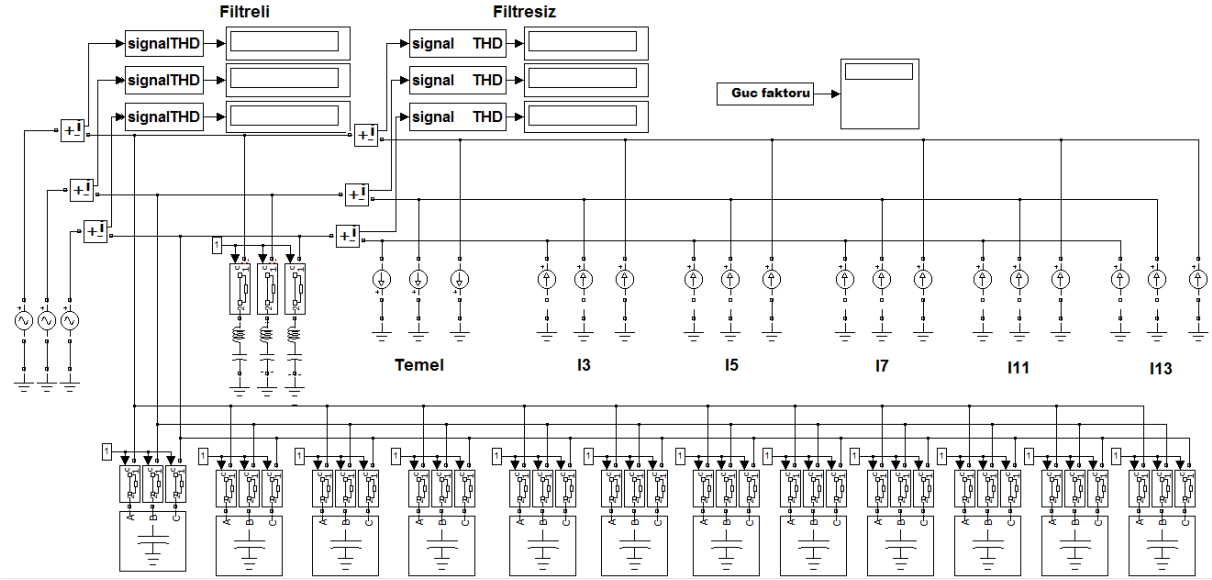
Tablo 5. Filtreli durum için gerilime ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [V]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	396,7679	396,9443	396,1485
3	0,0317	1,6989	1,4657
5	15,0692	15,6595	15,0220
7	7,2410	7,6412	7,6972
11	5,1897	5,2794	5,0311
13	2,6861	3,6439	3,4940

Tablo 6. Filtreli durum için THD ve güç faktörü değerleri.

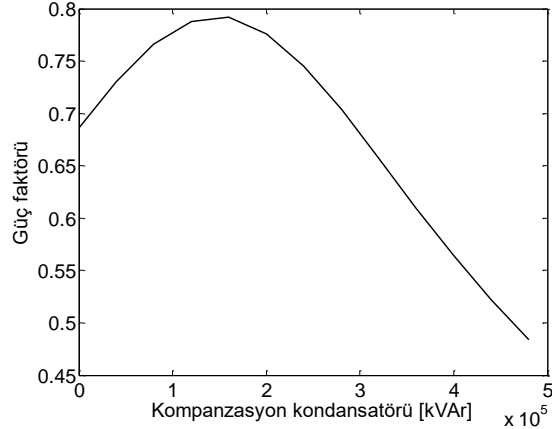
Değişken	Hesaplanan değer			Ölçülen değer		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Faz 1	Faz 2	Faz 3
THD _I	%11,8399	%10,4432	%10,7471	%11,987	%10,58	%10,843
THD _V	%4,4637	%4,6972	%4,5478	%4,827	%4,862	%4,695
Güç faktörü	%99,94			%99		

Çizelgelerde de görüldüğü üzere hesaplanan değerler ile uygulama sonucunda ölçülen değerler birbiri ile paralellik göstermektedir. MATLAB/Simulink ortamında sistemin modellenmesi gerçekleştirilmek üzere Şekil 18'de görülen diyagram oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model ile ölçümü yapılan sistemin davranışı incelenmiştir. Şekil 18'deki simülasyon çalışmasında sinüs biçimli bir beslemenin olduğu 3 fazlı bir sisteme Tablo 1'de filtersiz durum için hesaplanan harmonik akım değerleri enjekte edilmiştir. Böylece aynı harmonik bileşenler için filtreleme devresinin etkinliği araştırılmıştır. Ölçümü gerçekleştirilen devredeki filtrenin performansı, bahsi geçen harmoniklerin eliminasyonu açısından simülasyon ortamında da test edilmiştir. Şekil 18'de açıkça görüldüğü üzere filtrelenmiş durumdaki THDI değeri, filtrelenmemiş duruma göre önemli oranda azaltılabilmektedir. Bu çalışma ile birlikte de sistem performansı hem deneysel, hem de bilgisayar ortamında değerlendirilmiş olmaktadır.

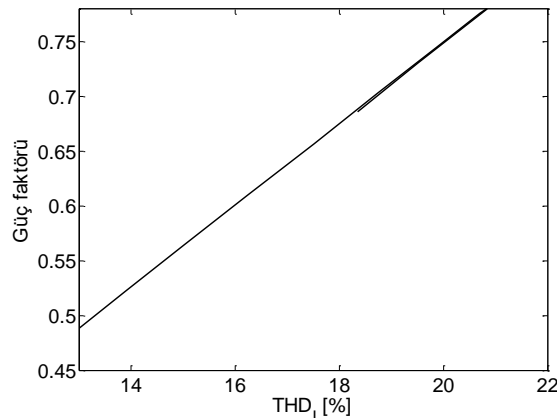


Şekil 18. Uygulamada ele alınan sistem için oluşturulan kompanzasyonun da dikkate alındığı simülasyon diyagramı.

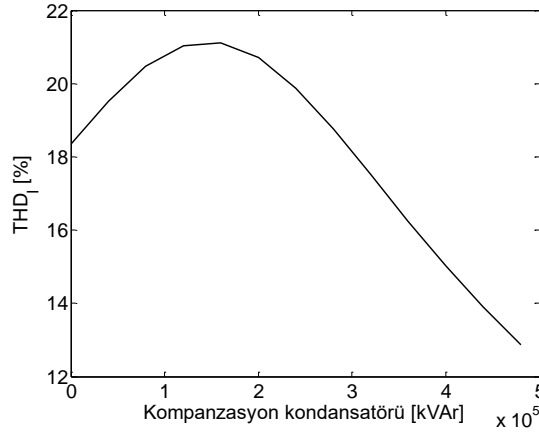
Örnek sistem üzerinde yapılan ölçümler ve modelleme sonucu elde edilen hesaplama değerleri büyük bir uyumluluk göstermiştir. Bu durum modelleme ile çeşitli analizlerin gerçekleştirilmesinin ve sistem davranışının ortaya konulmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Örnek sistemde çeşitli yüklenmeler için güç faktörünün nasıl değiştiğini ortaya koymak bakımından yapılan analizde Şekil 19-21 elde edilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi sistemde filtresiz durumda yük artışı sonucu devreye alınan kompanzasyon kondansatörü gücü arttığında, güç faktörü belli bir değere kadar artış göstermektedir. Maksimum güç faktöründen sonra kondansatör güçlerinin artması ile maalesef güç faktörü artmamakta aksine azalmaktadır. Filtresiz durumda güç faktörü değerinin artması ile toplam harmonik bozunumu da artış göstermektedir. Toplam harmonik bozunumu filtresiz sistemde kompanzasyon gücü ile belirli bir değere kadar artmakta, daha sonra ise azalmaktadır. Bu değişim güç faktörü değişimi ile paralellik göstermektedir.



Şekil 19. Harmonikli durumda kompanzasyon kondansatörü-güç faktörü değişimi.



Şekil 20. Harmonikli durumda THD₁ - güç faktörü değişimi.



Şekil 21. Harmonikli durumda kompanzasyon kondansatörü-THD₁ değişimi.

Örnek sistemde, harmonik bileşenler arttığında filtresiz sistemde güç faktörü değerleri artış göstermezken, filtreli sistemde güç faktörü değerleri istenilen sınırlar içerisinde elde edilmektedir. Görüldüğü üzere harmonikli durumda kondansatör eklenmesi güç faktörünün artırılmasını belirli bir düzeye kadar sağlarken, bir yerden sonra kondansatör eklenmesi güç faktörünü arttırmak bir yana azaltabilmektedir. Bu durum daha önceden de bahsedildiği üzere uygulamalarda kimi zaman gereksiz kondansatör kullanımı yapıldığını ortaya koymaktadır. Bu durum bize filtreli kompanzasyon yapmanın önemini ortaya koymaktadır.

4. Genel Çalışma Sonuçları

Elektrik enerji sistemlerinin; tek frekansa sahip olması ve bu frekansın sabit olması, akım ve gerilimin dalga şeklinin ise sinüs biçimli olması kaliteli bir enerji sağlanması açısından büyük önem teşkil etmektedir. Günden güne gelişen teknoloji ile birlikte, pek çok elektrikli cihaz akım ve gerilimde harmonik meydana getirmektedir. Harmonikler, enerji sistemlerinde önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların başlıcaları; teknik ve ekonomik sorunlardır. Harmoniklerin sistemde hiç bulunmaması tercih edilmeye birlikte yüklerin özelliklerinden dolayı bu durum önlem alınmadan mümkün değildir. Bu da filtreler kullanılarak harmoniklerin sistemde yönlendirilmesi ile mümkündür. Bu durumda harmonik bileşenlerin analizinin yapılması, hesaba katılması gerekmektedir. Harmoniklerin bulunduğu devrelerde güç faktörünün düzeltilmesinde önemli problemlerle karşılaşmaktadır. Özellikle büyük güçlü tristör kontrollü doğrultucular, ark fırınları, kaynak generatörleri gibi harmonik üreten cihazların bulunduğu işletmelerde kompanzasyon tesisi kurmadan önce gerekli incelemelerin, analizlerin yapılması ve bir takım önlemlerin alınması gerekir. Böylece harmoniklerin etkilerinin azaltılması gerekir. Aksi halde sistemde rezonans olayları baş gösterebilir.

Yapılan incelemeler sonucu şu önerilerde bulunulabilir:

- Tüm tesislerde yapılacak kompanzasyon sisteminin filtreli kompanzasyon olarak tesis edilmesi gerekmektedir.
- Gelecekte güç sistemlerinde harmonik problemlerin daha da artacağı göz önüne alınarak, lineer olmayan yükler içeren tesislerin daha kuruluş ve tasarım aşamasında düşük seviyede harmonik üretmesi için önlem alınmalıdır. Bu önlemler sistem kurulmadan önceki tasarım aşaması ile sistem kurulduktan sonraki donanım yerleştirme aşaması olarak uygulanabilir.
- Halen çalışan ve harmonik değeri yüksek olan işletmeler için harmonik filtrelerin yerleştirilmesi, kurulmuş sistemler için uygun bir çözüm olarak görülmektedir. Böylece harmoniklerin etkilerinin azaltılması gerekmektedir.
- Tüketicileri dengeli gerilim ile beslemek için gerekli önlemler alınmalıdır. Faz akımlarının dengeli olmaması, harmonik kayıplarını daha da arttırmaktadır. Bu bakımdan sistemin dengeli yüklenmesinin sağlanması uygun olacaktır.
- Son yıllarda ülkemizde harmonik kaynaklarının hızla artması ve filtre kullanımının yaygın olmaması nedeniyle, sınır harmonik bozunum değerlerinin verildiği harmonik standartları, ülkemizdeki ilgili kuruluş tarafından ölçülerek gerekli önlemlerin aldırılması sağlanmalıdır.
- Çok sayıda işletmenin denetlenmesi ve ölçümlerinin yapılmasının zorluğu açıktır. Bu konuya yönelik çalışmaların yapılması uygun olacaktır.

Kaynakça

- Arrillaga, J., Watson, N. R., ve Chen, S., (2001), Power System Quality Assessment, John Wiley & Sons, Chicester.
- Arrillaga, J., Bradley, D.A. ve Bodger, P.S., (2004), Power System Harmonics, John Wiley&Sons, Norwich, New York.
- George, S., Agarwal, V., (2005), A novel, DSP based algorithm for optimizing the harmonics and reactive power under non-sinusoidal supply voltage conditions, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, pp. 2526 – 2534.
- Jafar M., Molinas, M., Isobe, T., Shimada, R., (2014), Transformer-Less Series Reactive/Harmonic Compensation of Line-Commutated HVDC for Offshore Wind Power Integration, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 29, pp. 353-361.

- Micallef, A., Apap, M.; Spiteri-Staines, C., Guerrero, J. M., Vasquez, J. C., (2014), Reactive Power Sharing and Voltage Harmonic Distortion Compensation of Droop Controlled Single Phase Islanded Microgrids, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, pp. 1149-1158.
- Prodanovic, M., Brabandere, K., Keybus, J. V. D., Green, T., Driesen, J., (2007), Harmonic and reactive power compensation as ancillary services in inverter-based distributed generation, *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 1, pp. 432-438.
- Rahmani, S., Hamadi, A., Al-Haddad, K.; Dessaint, L. A., (2014), A Combination of Shunt Hybrid Power Filter and Thyristor-Controlled Reactor for Power Quality, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, pp. 2152-2164.
- Santos, W. R. N., Silva, E. R. C.; Jacobina, C. B., Fernandes, E. M., Oliveira, A. C.; Matias, R. R., Filho, D. F. G., Almeida, O. M., Santos, P. M., (2014), The Transformerless Single-Phase Universal Active Power Filter for Harmonic and Reactive Power Compensation, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, pp. 3563-3572.
- Shu Z., Xie S., Li, Q., (2011), Single-Phase Back-To-Back Converter for Active Power Balancing, Reactive Power Compensation, and Harmonic Filtering in Traction Power System, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, 334-343.
- Wang, Y., Yao, L., Peng J., Wang, Y., Mao, X., (2012), Analysis of Harmonic Current Suppression and Reactive Power Compensation on 125 MVA Motor Generator, *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 40, pp. 705-709.
- Wang, L., Lam, C. S., Wong, M. C., (2017), Selective Compensation of Distortion, Unbalanced and Reactive Power of a Thyristor-Controlled LC -Coupling Hybrid Active Power Filter (TCLC-HAPF), *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, 9065-9077.



Adana İli Kiraz Yetiştiriciliği Yapılan Alanlarda Belirlenen Zararlı Böcek Türleri

Burcu Özbek Çatal^{1*}, Zhanerke Amangeldi², Asime Filiz Çalışkan Keçe³, Mehmet Rifat Ulusoy⁴

¹ Çukurova Üniversitesi, Pozantı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0029-6190)

² Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9017-8106)

³ Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9330-1958)

⁴ Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6610-1398)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.674807)

ATIF/REFERENCE: Özbek Çatal, B. Amangeldi, Z. Çalışkan Keçe, A. F. & Ulusoy, M. R. (2020). Adana İli Kiraz Yetiştiriciliği Yapılan Alanlarda Belirlenen Zararlı Böcek Türleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 332-337.

Öz

Bu çalışma, 2016-2018 yılları arasında Adana ilinde kiraz yetiştiriciliği yapılan 6 ilçede (Pozantı, Karaisalı, Aladağ, Feke, Saimbeyli, Tufanbeyli) yürütülmüştür. Çalışma sonucunda 7 takıma bağlı 17 familyadan 26 zararlı tür saptanmıştır. Bu türlerden bazılarının zaman zaman ekonomik kayıplar oluşturduğu belirlenmiştir.

Tespit edilen zararlı türlerden kirazın ana zararlısı olan *Rhagoletis cerasi* (L.) başta olmak üzere, *Drosophila suzukii* (Matsumura), *Tropinota (=Epicometis) hirta* (Poda), *Scolytus rugulosus* (Ratzeburg), *Myzus cerasi* (F.), *Archips rosanus* (L.) ve *Stephanitis pyri* (F.)'nin bölgede yaygın olarak bulunduğu ve zarar yaptığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kiraz, *Drosophila suzukii*, Tephritidae, Drosophilidae, Adana/Türkiye.

Determination of cherry pests in Adana province of Turkey

Abstract

This study was carried out the cherry orchards in 6 districts (Pozantı, Karaisalı, Aladağ, Feke, Saimbeyli, Tufanbeyli) of Adana province between 2016-2018. In study were determined 26 pests genus and species belonging to 17 families from 7 order. It has been determined that some of these species cause economic losses from time to time.

Main pest of cherry *Rhagoletis cerasi* L., *Drosophila suzukii* (Matsumura), *Tropinota (=Epicometis) hirta* (Poda), *Scolytus rugulosus* (Ratzeburg), *Myzus cerasi* (F.), *Archips rosanus* (L.) and *Stephanitis pyri* (F.) were identified as common pests.

Keywords: Cherry, *Drosophila suzukii*, Tephritidae, Drosophilidae, Adana/Turkey.

* Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, Pozantı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0029-6190, bozbek@cu.edu.tr

1. Giriş

Türkiye, yıllık 627.132 tonluk üretimiyle dünya kiraz üretiminin %25,6'sını karşılayarak birinci sırada yer almaktadır (FAO, 2017). Dünyada kiraz üretiminde ve ihracatında önemli yere sahip olan ülkemizde 2018 yılında 639.564 ton kiraz üretimi gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2018). Ülkemiz, 2018 yılında miktar olarak yaklaşık 70 bin ton, değer olarak ise 162 milyon dolarlık ihracat gerçekleştirmiştir.

Kiraz yetiştiriciliğinde sürdürülebilir bir üretim sağlamak için uygun yetiştirme teknikleri yanında, bitki koruma sorunlarının çözümü de büyük önem taşımaktadır. Özellikle, entomolojik açıdan ürünün verim ve kalitesini önemli oranda etkileyen birçok zararlı böcek bulunmaktadır. Zararlı böcek türleri çiçek ve küçük meyve dökümlerine neden olan faktörler içerisinde önemli yer tutmasının yanı sıra, meyve tutumundan sonra da oluşturduğu zararlar nedeniyle verimi önemli ölçüde düşürmekte, ağacı zayıflatarak bir sonraki yılın ürün miktarını olumsuz yönde etkilemektedirler. Bu zararlılarla mücadelede, kimyasal mücadelenin yoğun bir şekilde kullanımından dolayı da doğal denge bozulmakta ve bu nedenle de zararlıların popülasyon yoğunluğunun yanında buna bağlı olarak da zarar oranları artmaktadır. Modern bir yaklaşımla, zararlı popülasyonlarının ekonomik zarar eşiği altında tutulabilmesi için Entegre Zararlı Yönetimi (iyi tarım uygulamaları-Integrated Pest Management-IPM) hazırlanmaktadır. "Entegre mücadele" programlarının ilk basamağı, var olan mevcut faunanın ortaya çıkarılması ve iyi tarım uygulamalarına esas oluşturacak verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde, diğer bölgelerde kirazlarda zararlı ve yararlı türlerin tespiti ile ilgili araştırmalar yapılmıştır (Tezcan, 1995; Özbek ve ark., 1996; Tezcan ve Önder, 1999; Özder, 1999; Ulusoy ve ark., 1999; Tezcan ve Pehlivan, 2001; Tezcan ve Önder, 2003; Çınar ve ark., 2004). Adana ili kiraz üretim alanlarında Ulusoy ve ark., (1999)'nın Adana ili Pozantı ve çevresinde kirazlarda zararlı ve yararlı türleri tespit etmek amacıyla yürüttükleri çalışmadan sonra, zararlı türlerin tespiti ile ilgili çalışma yapılmamıştır. Bu bağlamda Karaisalı, Aladağ, Feke, Saimbeyli ve Tufanbeyli ilçelerinde yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma, kiraz yetiştiriciliğinde mevcut faunanın ortaya çıkarılması ve iyi tarım uygulamaları programı oluşturulmada temel veri olarak kullanılması amacıyla da önem taşımaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Adana ili kiraz bahçeleri ile buralardan toplanan böcek türlerin yumurta, larva, pupa ve erginlerine ait örnekler, eşeyssel çekici tuzaklar ile çeşitli laboratuvar malzemeleri oluşturmuştur. Kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) için sarı yapışkan kart şeklinde ve amonyum kapsülü içeren Trece firmasına ait tuzak (Pherocon kit) kullanılmıştır.

2.2. Metot

Bu çalışma, 2016-2018 yılları arasında Adana ili Pozantı (Alpu, Ömerli, Fındıklı), Karaisalı, Aladağ, Feke, Saimbeyli ve Tufanbeyli ilçelerinde kiraz bahçelerindeki zararlı böcek türlerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

2.2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, örnekleme amaçlı seçilen kiraz bahçelerinden ilkbahar ve yaz aylarında periyodik olmayan, diğer dönemlerde ise ayda bir kez olmak üzere yapılmış olup, örnekler ağaçların tüm kısımlarından alınmaya çalışılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü alanlar Tablo 1'de verilmiş olup, örnekleme aşağıdaki yöntemlere göre yapılmıştır.

Tablo 1. Adana ili kiraz bahçelerindeki zararlı türlerin belirlenmesi amacıyla, örnekleme yapılan yerler ve bahçe sayısı

İlçe	Belde/Köy	Bahçe sayısı	İlçe	Belde/Köy	Bahçe sayısı
Pozantı	Alpu	1	Saimbeyli	Gürleşen	3
	Ömerli	2		Merkez	1
	Fındıklı	1		Obruk	1
	Hamidiye	1		İslam mah.	1
Karaisalı	Hacıkırı	2	Aladağ	Ceritler	2
	Kızıldağ	1		Meydan	1
	Fakılar mah.	3		Madenliköy	2
	Etekli	1		Biğbiğ	1
Tufanbeyli	Damlalı	1		Değirmencik	1
	Merkez	1		Yeniköy	1
Feke	Akkaya	1		Başpınar	1
TOPLAM		15	TOPLAM		15

a) Dal Sayım Metodu

Bahçeyi temsil edecek şekilde seçilen ağaçlar incelenerek üzerinde zararlıların bulunduğu bitki kısımları (tomurcuk, çiçek, yaprak, meyve) toplanıp önce kese kâğıtları içerisine sonra da polietilen torbalara konularak üzerine etiket bilgileri eklenmiştir.

b) Göz ile inceleme metodu

Bahçeyi temsil edecek şekilde seçilen ağaçların etrafında dolaşarak bitki organları (fenolojik döneme bağlı olarak, tomurcuk, çiçek, yaprak ve meyve) üzerinde gözle görülen erginler ağız aspiratörü ya da elle toplanıp havalandırma delikleri bulunan kaplar içerisine alınmıştır.

c) Darbe metodu

Bu yöntem bahçe içerisinde rastgele seçilen ağacın dört yönünden ucuna plastik geçirilmiş sopa ile beşer kez vurularak hareketli olan zararlıların steiner hunisine düşmeleri sağlanmıştır.

d) Tuzak metodu

Bu çalışmada, Kiraz sineği için sarı yapışkan kart şeklinde ve amonyum kapsülü içeren Trece firmasına ait tuzak (Pherocon kit) kullanılmıştır. Tuzaklar bir hafta aralıklarla kontrol edilip tuzaklar üzerinde yakalanan erginler laboratuvarında değerlendirilmiştir.

2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Bahçelerden alınan böcek örnekleri laboratuvara getirilip önce numaralandırılmıştır. Yaprakbitleri (afit) gibi yumuşak vücutlu olan bireyler %70'lik alkol içine alınmıştır. Ergin dönemde olmayanlar kültüre alınmış ergin bireyler elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra böcekler takım, familya ve türlerine göre ayrılıp koleksiyonları yapılmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen türlerden genel olarak bilinen ve teşhisli örnekleri koleksiyonumuzda bulunanların tanısı tarafımızdan, tarafımızdan tanısı yapılamayan diğer türler ise konusunda uzman bilim insanları tarafından yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Adana ilinde kiraz yetiştiriciliği yapılan 6 ilçede 2016-2018 yılları arasında yürütülen bu çalışma sonucunda 7 takıma bağlı 17 familyadan 26 zararlı tür saptanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Adana ili kiraz bahçelerinde 2016-2018 yılları arasında saptanan zararlı türler

TAKIM	FAMİLYA	TÜR
DİPTERA	Drosophilidae	<i>Drosophila suzukii</i> (Matsumura)
		<i>Drosophila melanogaster</i> (Meig.)
	Tephritidae	<i>Rhagoletis cerasi</i> (Linnaeus)
		<i>Ceratitis capitata</i> (Wiedemann)
THYSANOPTERA	Thripidae	<i>Taeniothrips inconsequens</i> (Uzel)
LEPIDOPTERA	Tortricidae	<i>Archips rosanus</i> (L.)
		<i>Grapholita molesta</i> (Busk.)
HYMENOPTERA	Tenthredinidae	<i>Caliroa limacina</i> (Retzius)
HEMİPTERA	Tingidae	<i>Stephanitis pyri</i> (F.)
	Aphididae	<i>Myzus cerasi</i> (F.)
		<i>Myzus persica</i> (Sulz.)
	Pseudococcidae	<i>Phenacoccus aceris</i> (Sig.)
	Diaspididae	<i>Melanaspis inopinata</i> (Leonardi)
	Pentatomidae	<i>Nezara viridula</i> (L.)
Cicadellidae	<i>Empoasca vitis</i> (Goethe)	
DERMAPTERA	Forficulidae	<i>Forficula smyrnensis</i> (Serville)

COLEOPTERA	Scarabaeidae	<i>Tropinota (=Epicometis) hirta</i> (Poda)
		<i>Cetonia aurata</i> (L.)
		<i>Polyphylla olivieri</i> (Lap.)
		<i>Melolontha melolontha</i> (L.)
		<i>Anoxia orientalis</i> (Kryn.)
		<i>Haplidia transversa</i> (Fabricius)
	Scolytidae	<i>Scolytus rugulosus</i> (Ratzeburg)
	Curculinoidea	<i>Eusomus ovulum</i> (Germar)
	Buprestidae	<i>Capnodis tenebrionis</i> (L.)
	Cerambycidae	<i>Cerambyx cerdo</i> (Linnaeus)

Yapılan gözlemler sonucunda, Tablo 2’de verilen türlerden *Rhagoletis cerasi* (Linnaeus)’nin kirazın ana zararlısı olduğu saptanmıştır. Diğer yandan *Drosophila suzukii* (Matsumura), *Tropinota (=Epicometis) hirta* (Poda), *Scolytus rugulosus* (Ratzeburg), *Myzus cerasi* (F.), *Archips rosanus* (L.), *Stephanitis pyri* (F.)’nin en yaygın zararlılar olduğu çalışmalar sırasında gözlemlenmiştir. Ülkemiz kiraz alanlarında yapılan çeşitli çalışmalarda da; Özder (1999), Tekirdağ ili ve çevresindeki kiraz bahçelerinde, Ulusoy ve ark., (1999), Pozanti ve Ulukışla kiraz bahçelerinde, Çınar ve ark., (2004), Elazığ ve Mardin illeri kiraz alanlarında, Ertop ve Özpınar (2011), Çanakkale ili kiraz bahçelerinde, Kaplan (2019), Diyarbakır ili kiraz bahçelerinde benzer zararlıların yaygın olduğunu ve ekonomik düzeyde zarar yaptığını bildirilmişlerdir.

Adana ilinde kiraz yetiştirilen alanlarda zarar veren Diptera takımına ait 4 tür bulunmuştur. Bu türlerden *R. cerasi* ve *D. suzukii* çalışmanın yapıldığı bütün alanlarda yaygın olarak görülmüştür. Kirazın ana zararlısı olan ve kirazda ekonomik ölçüde zarar meydana getiren *R. cerasi* erginleri mayıs ayının sonlarına doğru görülmeye başlayıp meyvelerde kurtlanmaya sebep olmaktadır. Özellikle larva zararı çok önemli olup meyve verim ve kalitesini olumsuz etkilemekte, özellikle de ihracata gidecek ürünlerin pazar değerini düşürmektedir. Çalışmanın yapıldığı bölgedeki üreticilerinin bir kısmının bu zararlı ile herhangi bir mücadele yapmadıkları, mücadele yapan bazı bakımlı bahçelerdeki üreticilerin ise zararlının ergin çıkış zamanlarını dikkate almadan meyvenin ben düşme zamanına göre sadece kimyasal ilaçlama yaparak mücadele ettiği görülmüştür. Feromon tuzak kullanımı ile üreticilerin bu zararlı ile daha etkili mücadele yapmalarının mümkün olduğu bildirilmektedir. (Tezcan ve Gülperçin 2000; Kovancı ve Kovancı 2000; Özbek Çatal ve Ulusoy, 2018).Gerek Avrupa’da ve gerekse Türkiye’de Kiraz sineği ile mücadele edilmediği takdirde ekonomik düzeyde meyve zararına ve verim kaybına neden olacağı, mücadelesinde insektisit uygulamalarına alternatif kültürel metodların meyve zararını önemli derecede azalttığı da yapılan çalışmalarda önemle vurgulanmıştır (Ulusoy ve ark., 1999; Vogt, 2002; Daniel ve Wyss, 2003; Özbek Çatal ve Ulusoy, 2018). Ulusoy et al. (1999) Pozanti yöresinde *R. cerasi*’nin mayıs ayı sonlarında çıkmaya başladığını ve ağustos ayı ortalarına kadar görüldüğünü, Tezcan ve Gülperçin (2000) İzmir ve Manisa illerinde *R. cerasi*’nin ana zararlı olduğunu; nisan ayı sonunda erginlerin ortaya çıktığını ve mayıs ayı sonunda ise ergin çıkışının sona erdiğini tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, yaygın ve istilacı bir tür olan *D.suzukii*’de bölgede kiraz yetiştiriciliği yapılan bütün alanlarda, ağaç üzerinde ve herhangi bir nedenden dolayı yere dökülmüş olan meyvelerde tespit edilmiştir. Zararlı meyvelerde kurtlanmaya sebep olarak ekonomik ölçüde zarar meydana getirmektedir. *D. suzukii* ülkemizde ilk defa Orhan ve ark., (2016) tarafından 2014 yılında Erzurum’da tespit edilmiş olup, daha sonra Çanakkale’de Efil (2018) tarafından kayda geçmiştir ve giderek yayılmaya başlamıştır. Bu zararlı Adana kiraz faunası için ilk defa Özbek Çatal ve ark., (2018) tarafından belirlenmiştir. *D. suzukii* ‘nin ABD’de verim kaybının 2008 ve 2009 yıllarında sırasıyla %20 ve %80, Avrupa ülkelerinde verim kayıpları Fransa’da %80, İspanya’da %100, İtalya’da ise %30-40 arasında olduğu bildirilmektedir (Bolda ve ark., 2010; Walsh ve ark., 2011; Lee ve ark., 2012). Farklı ülkelerden de birçok araştırmacı tarafından zararlı tanıma ve çözüm üretebilme amaçlı çalışmalar yürütülmektedir.

Araştırma alanlarında yaygın olarak görülen zararlıların başında *M. cerasi* gelmekte, bu tür rakıma bağlı olarak nisan ayının sonlarından itibaren bahçelerde tespit edilmiştir. Zararlının özellikle yağışlı geçen ilkbahar aylarında koloni oluşturarak sürgün gelişimini bozduğu ve çok fazla miktarlarda fumajine neden olduğu gözlenmiştir. Bu türün diğer illerde de kiraz bahçelerinde yaygın olarak görüldüğü ve zarar meydana getirdiği araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Ulusoy ve ark., 1999; Çınar ve ark., 2004). Elma yaprakbükenei, *A. rosanus* bölgede yaygın görülen ve zarar yapan bir diğer tür olarak belirlenmiştir. Ancak ekonomik zarar eşliğine ulaşmadığı için üreticiler tarafından bu zararlıya karşı ilaçlı mücadele yapılmamıştır. Zararlının esas zararı larvası tarafından yaprak buketlerinde yaptığı görülmüştür. Karakteristik olarak yaprakları bükerek birbirine bağlayıp buket haline getirir. Ulu ve Önuçar (1999), kiraz ağaçlarında *A. rosanus* ile yaptıkları çalışmada zararlının göz, çiçek ve meyvelerde zararın önemli olmadığını esas zararın yaprak buketlerinde olduğunu saptamışlardır. Ertop ve Özpınar (2011), Çanakkale ili kiraz bahçelerinde belirledikleri zararlı türler içerisinde *A. rosanus*’un önemli zarara neden olduğunu bildirmiştir. Kiraz yazıcıböceği, *S. Rugulosus*’un kiraz bahçelerinde özellikle bakımsız, zayıf düşmüş ve kurumaya yüz tutmuş ağaçlarda zararlı olduğu tespit edilmiştir. Bu zararlının erginleri, beslenmek için meyve ve sürgün gözlerinin içini oyararak boşaltıp meyve veriminin düşmesine ve ağaçların 2-3 yıl içerisinde ölmesine neden olurlar. Larva döneminde ise dallarda ve gövdede galeriler açarak zararlı olmaktadırlar. *S. rugulosus* kirazın sekonder bir zararlısı iken, yüksek popülasyon yoğunluklarında pirimer zararlı konumuna geçtiği, sağlıklı fidan ve kiraz ağaçlarına zarar verdiği, zamanında önlem alınmayan ağaçların dal ve gövdelerinde kurumalar görüldüğü bildirilmiştir (Ulusoy ve ark., 1999). Bakla zınnı, T.

hirta erginleri ve zararı ağaçların çiçek açma döneminde yoğun olarak görülmüştür. Zararlı çiçeklerin dişi ve erkek organlarını polen tozlarını, hatta genç yaprak, tomurcuk ve meyveleri yiyerek zararlı olmaktadır. Çiçek döneminde olduğu için arı faaliyetini olumsuz etkilememek için bu zararlıya karşı ilaçlı mücadele önerilmemektedir. Çalışmanın yürütüldüğü bölgede üreticiler, çiçeklenmenin çok yoğun olmadığı bahçelerde ağaçların altına içi su dolu mavi leğenler koyularak popülasyon yoğunluğunu düşürmeye çalışmışlardır. Çiçeklenmenin çok yoğun olduğu bahçelerde *T. hirta* popülasyonu yüksek olmasına rağmen üreticilerin birçoğu meyve seyreltmesine neden olduğunu düşünerek önemsememiştir. Kiraz ağaçları yoğun olarak çiçeklendiği için seyreltme meyve kalitesine doğrudan etki etmektedir. Ertop ve Özpinar (2007)'ın Çanakkale ili kiraz bahçelerinde entomolojik sorunları belirlemek amacıyla yapmış olduğu bir anket çalışmasında üreticilerin %32'si *T. hirta*, %19'u *S. rugulosus*'un zararlı olduğunu bildirmişlerdir. Kaplan (2019), Diyarbakır ili kiraz ağaçlarında, Ertop ve Özpinar (2011) Çanakkale ili kiraz bahçelerinde zararlı türleri belirlemek için yaptıkları çalışmalarında *T. hirta*'nın ekonomik yönden zararlı olduğunu bildirmişlerdir. Tóth et al., (2004) Macaristan'da *T. hirta* erginlerin yakalanmasında kombineli tuzakların kullanıldığını bildirmiştir. Armut kapları, *S. pyri*, çalışmanın yapıldığı bölgede kiraz dışında başka meyve ağaçlarının da olduğu karışık ve genelde ilaçlanmayan bahçelerde ergin ve nimflerinin yapraklarda yoğun olarak bulunduğu ve ciddi boyutlarda zamanından önce yaprak dökümüne neden olduğu görülmüştür. Bu zararlı, tüm meyve ağaçlarında beslenmekte ve yaprakların alt yüzünde biriken pislikleri ve salgıladıkları tatlımsı maddeler ile solunum yapmasını engellemekte, yaprakların dökülmesine neden olmaktadır. Çam (1993), Tokat ilinin tüm yörelerinde bu zararlı türün yaygın olduğunu, erginlerin ve nimflerin kiraz, vişne ve idris ağaçlarında yaprakların alt yüzeylerini sokup emerek zarar oluşturduğunu belirtmiştir. Çınar ve ark., (2004) *T. hirta*'nın kirazlarda beslendiğini, Ulusoy ve ark., (1999) bu türün kirazlar için ekonomik önem taşıdığını bildirmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışma, Adana ili ekonomisi için önem taşıyan kiraz ağaçlarında fitofag türleri belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Yürütülen bu çalışma sonucunda kiraz bahçelerinde fitofag türlerden 26 zararlı tür saptanmıştır. Ekonomik öneme sahip olan ve en yaygın görülen türler; *Rhagoletis cerasi* (Linnaeus), *Drosophila suzukii* (Matsumura), *Tropinota (=Epicometis) hirta* (Poda), *Scolytus rugulosus* (Ratzeburg), *Myzus cerasi* (F.), *Archips rosanus* (L.) ve *Stephanitis pyri* (F.) olarak belirlenmiştir. Bu türlerden, *R. cerasi* (Linnaeus) ve *D. suzukii* (Matsumura)'nin çalışmanın yürütüldüğü Adana ili kiraz bahçelerinde yaygın olarak bulunduğu ve kirazların ana zararlıları konumunda olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, *R. cerasi* ve *D. suzukii*'nin ekonomik anlamda zarar meydana getirmesinde, üreticilerin zararlıların ergin çıkış zamanlarını dikkate almadan ilaçlama yapmaları ve hasat zamanını geciktirmelerinin meydana gelen zarar oranı üzerinde büyük önemi olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, kiraz bahçelerindeki zararlı türler, kiraz ağaçlarının; sürgün, yaprak, tomurcuk, çiçek ve meyvelerinde beslenerek verim ve kaliteyi düşürmektedir. Modern bir yaklaşımla, zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar eşliğinin altında tutulabilmesi için Entegre Zararlı Yönetimi (iyi tarım uygulamaları-Integrated Pest Management-IPM) hazırlanmaktadır. "Entegre mücadele" programlarının ilk basamağı, var olan mevcut faunanın ortaya çıkarılması ve iyi tarım uygulamalarına esas oluşturacak verilerin elde edilmesidir. Bu amaçla yürüttüğümüz bu çalışma sonucunda, Adana ili kiraz alanlarındaki fitofag türler belirlenmiştir. Ayrıca, iki yıllık sürveyler sonucunda, meyvecilik ile uğraşan üreticilerin, bitki koruma konularının yanı sıra yetiştirme teknikleri açısından da bilgi düzeylerinin yetersiz olduğu görülmüştür. Adana ili kiraz bahçelerinde zararlı mücadelesinde, öncelikle ekonomik öneme sahip türler göz önüne alınmalıdır. Ancak, uygulanacak savaşım yöntemlerinde, diğer zararlı durumundaki türler ve bunları baskı altına alabilecek faydalı türlerin popülasyonları da dikkate alınmalıdır. Bölgedeki kiraz üreticilerinin genel olarak kimyasal savaşım yapmamaları doğal dengenin korunması açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular, hem bilime katkılar sağlamış hem de sonraki çalışmalar için temel veriler elde edilmiştir. Ayrıca, kiraz alanlarında iyi tarım uygulamaları programının oluşturulmasında da yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Drosophilidae familyası türlerinin teşhisi için Amir Yassin (CNRS researcher, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité/France)'e teşekkür ederiz. Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Proje no: FBA-2016-6528 tarafından desteklenmiştir ve Uluslararası Erdemli Sempozyumunda (19-21 Nisan 2018-Mersin) sözlü olarak sunulmuş ve özet olarak yayınlanmıştır.

Kaynakça

- Bolda, M.P., Goodhue, R.E. & Zalom, F.G., (2010). Spotted Wing Drosophila: Potential Economic Impact of A Newly Established Pest. Giannini Foundation Agric. Econ, 5-8.
- Çam, H., (1993). Tokat ve Çevresinde Kiraz, Vişne ve İdris Ağaçlarında Bulunan Heteroptera Türleri Üzerinde Araştırmalar. Gaziosmanpaşa Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 10: 32-42.
- Çatal, B. Ö., & Ulusoy, M. R., (2018). Investigation Into Control of Cherry Fruit Fly, *Rhagoletis cerasi* (L., 1758) (Diptera: Tephritidae), in organic cherry production. Türkiye Entomoloji Dergisi, 42(1), 33-42.
- Çatal, B. Ö., ÇALIŞKAN KEÇE, A.F. & Ulusoy, M. R., (2018). "Adana İli Kiraz Yetiştiriciliği Yapılan Alanlarda Zararlı Böcek Türleri, 109-109". Uluslararası Erdemli Sempozyumu, 19-21 Nisan 2018.
- 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.
- Daniel, C. & Wyss, E., (2003). "Neue Wege zur Regulierung der Kirschfruchtfliege *Rhagoletis cerasi* in der biologischen Süßkirschenproduktion. [New approaches to control the cherry fruit fly *Rhagoletis cerasi* in organic cherry production.], 541-

- 542". Paper at: 7. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft, A-Wien, Institut für ökologischen Landbau (24-26. February 2003, Wien, Universität für Bodenkultur, Wien), 700 pp.
- Efil, L., (2018). Çanakkale İli Çilek Alanlarında Yeni Bir Zararlı *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae)'nin Yayılış Alanları ve Bulaşıklılığı. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5 (3), 280-284.
- Ertop, S. & Özpınar, A., (2007). "Çanakkale İli Kiraz Bahçelerindeki Entomolojik Sorunların Belirlenmesi, 116-123". Lapseki Sempozyumu, 23-24 Haziran 2007.
- Ertop, S., & Özpınar, A., (2011). Çanakkale İli Kiraz Ağaçlarındaki Fitofag ve Yararlı Türler ile Bazı Önemli Zararlıların Popülasyon Değişimi. Türkiye Entomoloji Bülteni, 1 (2): 109-118.
- FAO, (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/home/en/> Erişim tarihi: 07 Ocak 2020.
- Kaplan, M., (2019). Diyarbakır İli Kiraz Ağaçlarında Bulunan Zararlı ve Faydalı böcek Türleri ile Bazı Önemli Zararlı Türlerin Doğada Görülme Zamanı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 283-289.
- Kovancı, O. B. & Kovancı, B., (2000). "Bursa ilinde *Rhagoletis cerasi* L. (Diptera: Tephritidae)'ye karşı savaşım uygulamalarının değerlendirilmesi, 187-195". Türkiye 4. Entomoloji Kongresi, 12-15 Eylül 2000.
- Lee, J.C., Burrack, H.J., Barrantes, L.D., Beers, E.H., Dreves, A.J., Hamby, K.A., Haviland, D.R., Isaacs, R., Richardson, T.A., Shearer, P.W., Stanley, C.A., Walsh, D.B., Walton, V.M., Zalom, F.G. & Bruck D. J., (2012). Evaluation of Monitoring Traps for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in North America. Journal of Economic Entomology, 105(4): 1350-1357.
- Orhan, A., Aslantaş, R., Önder, B. Ş. & Tozlu, G., (2016). First Record of the Invasive Vinegar Fly *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) from Eastern Turkey. Turkish Journal of Zoology, 40(2), 290-293.
- Özbek, H., Güçlü, Ş., & Hayat, R., (1996). Kuzeydoğu Tarım Bölgesinde Taş Çekirdekli Meyve Ağaçlarında Bulunan Fitofag ve Predatör Böcek Türleri. Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi, 20 (3): 267-282.
- Özder, N., (1999). "Tekirdağ İlinde Kiraz Bahçelerinde Bulunan Doğal Düşmanlar ve Bunlardan Yumurta Parazitoiti *Trichogramma cacoeciae* March. (Hym.: Trichogrammatidae)'nin Yaprak Büken Türlerinde (Lep.: Tortricidae) Doğal Etkinliği Üzerinde Araştırmalar". Türkiye 4. Biyolojik Mücadele Kongresi, 26 29 Ocak 1999.
- Tezcan, S., (1995). Kemalpaşa (İzmir) Yöresi Kiraz Ağaçlarında Zararlı Buprestidae (Coleoptera) Familyası Türleri Üzerinde Araştırmalar. Türkiye Entomoloji Dergisi, 19 (3): 221-230.
- Tezcan, S. & Önder, F., (1999). Kemalpaşa (İzmir) Yöresi Kiraz Ağaçlarının Heteroptera Faunası Üzerinde Araştırmalar. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 36 (1,2,3):119-124.
- Tezcan, S. & Gülperçin, N., (2000). "İzmir ve Manisa illeri ekolojik kiraz üretim bahçelerinin ana zararlılarından Kiraz sineği *Rhagoletis cerasi* L (Diptera: Tephritidae) ile savaşta sarı yapışkan tuzaklardan yararlanma olanakları, 167-176". Türkiye 4. Entomoloji Kongresi, 12-15 Eylül 2000.
- Tezcan, S. & Pehlivan, E., (2001). İzmir ve Manisa İlleri Ekolojik Kiraz Üretim Bahçelerinin Faunası Üzerinde Araştırmalar: Lucanoidea ve Scarabaeoidea (Coleoptera) Türleri Üzerinde Bir Değerlendirme. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 38 (2-3): 31-37.
- Tezcan, S. & Önder, F., (2003). İzmir ve Manisa İlleri Ekolojik Kiraz Bahçelerinin Faunası Üzerinde Araştırmalar: Heteroptera Takımına Bağlı Türler Üzerinde Bir Değerlendirme. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 13 (1): 124-131.
- Tóth, M., Schmera, D. & Imrei, Z. (2004). Optimization of a chemical attractant for *Epicometis* (Tropinota) *hirta* Poda 1761. Zeitschrift für Naturforschung C., 59 (3) : 288-292.
- TÜİK, (2018). Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> Erişim tarihi: 07 Ocak 2020.
- Ulu, O. & Önuçar, A., (1999). Investigations on the Economic Threshold of Rose Leafroller, *Archips rosanus* (L.)(Lepidoptera: Tortricidae). Bitki Koruma Bülteni, 39 (3-4): 103-114.
- 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.
- Vogt, H., (2002). Expertenkolloquium Kirschruchtfliege. BBA Dossenheim, 27-28 November 2001. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 54: 77-79.
- Walsh, D.B., Bolda, M.P., Goodhow, R.E., Dreves, A.J., Lee, J., Bruck, D.V., Walton, M., O'Neal, S.D. & Zalom, F.G., (2011). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive Pest of Ripening Soft Fruit Expanding Its Geographic Range and Damage Potential. J Integraten Pest Management, 106: 289-295.



Uçak Sistemlerinin SCADA İle Modellenmesi

Furkan İşbilen¹, Mehmet Konar^{2*}

¹ Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Öğrencisi, Kayseri, Türkiye

² Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9317-1196)

(İlk Geliş Tarihi 7 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.686048)

ATIF/REFERENCE: İşbilen, F. & Konar, M. (2020). Uçak Sistemlerinin SCADA İle Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 338-346.

Öz

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, meydana gelen uçak kazalarının temel sebepleri arasında, sistemsel faktörler yerine daha çok insan kaynaklı faktörler yer almaktadır. İnsan kaynaklı faktörler, uçuş güvenliğini ciddi bir şekilde etkilemektedir. Uçuş güvenliği sadece uçuş boyunca değil, aynı zamanda uçuş öncesinde de dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, hava araçlarının harici güç ünitesinin ve Stall uyarı sistemlerinin, Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) ile tasarımı yapılmıştır. Uçakların yerde bakım ve zorunlu hizmetleri yerine getirme süreçleri boyunca, kullanılan harici güç ünitesinin aktif ve deaktif edilmesi esnasında, gerekli prosedürlerin yerine getirilmesinin kontrolünün SCADA ile sağlanması amaçlanmıştır. Uçuş boyunca, uçuş güvenliğini önemli derecede belirleyen sistemlerden biri olan Stall uyarı sistemi de SCADA ile tasarlanmıştır. Böylece, uçuş güvenliğini etkileyen iki sistemin tasarım modellemesi yapılarak, meydana gelebilecek kazaları en aza indirmek için alternatif bir yaklaşım sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, SCADA yazılımının, kullanıcılar açısından, erişim kolaylığı ve görsel ikaz yöntemi sayesinde, havacılıkta insana bağlı meydana gelen iş kazalarına karşı iş güvenliğini arttıracak alternatif bir çözüm yöntemi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Stall Uyarı Sistemi, SCADA, Uçaklar, Harici Güç Ünitesi.

Modeling Of Aircraft Systems With SCADA

Abstract

With the development of technology, among the main causes of plane crashes are more human-induced factors than the system factor. Man-made factors seriously affect flight safety. Flight safety should be considered not only throughout the flight, but also before the flight.

In this study, the external power unit and Stall warning systems of aircrafts were designed with Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). It is aimed to provide control with SCADA of the fulfillment of the necessary procedures during the active and deactivation of the external power unit used during the aircraft maintenance and obligatory services. During the flight, the Stall warning system, which is one of the systems that significantly determines flight safety, was also designed with SCADA. Thus, an alternative approach is presented to minimize accidents that may occur by designing two systems that affect flight safety. The obtained results showed that SCADA software is an alternative solution method that will increase occupational safety against human-related work accidents due to the ease of access and visual warning method by users.

Keywords: Stall warning system, SCADA, Aircrafts, External Power Unit.

* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9317-1196, mkonar@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle hava taşıtları da gelişmiş ve insanların ulaşım sürelerini kısaltmıştır. Hava taşımacılığı için, süreyle birlikte uçuş güvenliği de dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler arasındadır. Uçuşun her safhasının güvenli şekilde tamamlanması için, dikkat edilmesi gereken faktörlerin her birinin en üst düzeyde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Uçuş güvenliği için uçuş safhalarıyla birlikte bakım safhasında iyi bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bakım esnasında da ilgili prosedürlerin güvenli bir şekilde uygulanması son derece önemlidir. Bakım ve uçuş esnasında, hava aracı sistemlerinin durumlarının izlenmesi gerekmektedir. Bu sistemlerin alternatif bir yöntemle izlenmesi, bakım ve uçuş güvenliği için büyük katkı sağlayacaktır [1-3].

Yaşanan uçak kazalarında, temel sebepler ya sistemsel hatalara ya da insan kaynaklı hatalara dayanmaktadır. Bununla birlikte, teknolojinin gelişmesi uçakta bulunan sistemlerin daha kolay bir şekilde hacklenmesine (Hijack) fırsat tanımıştır. Dolayısıyla, uçuş güvenliğini sağlayan bu sistemlerin, kötü amaçlı kişilerin müdahalelerine karşı korunması ve bu sistemler için gereken önlemlerin alınması gerekmektedir. Bahsedilen bu problemin üstesinden gelmek için, alternatif çözümlerin üretilmesi gerekliliği açığa çıkmıştır.

Enerji kullanımı her alanda olduğu gibi havacılık sektöründe de önemli bir konudur. Havacılık alanında yaşanan gelişmeler ile uçak sistemleri de gelişmiştir. Uçaklarda yer alan bu gelişmiş uçak sistemleri için enerji ihtiyacı, uçuş esnasında motor jeneratörleri, yedek güç ünitesi (Auxiliary Power Unit, APU), bataryalar veya Ram Air Turbin (RAT) gibi cihazlar ile sağlanmaktadır. Uçaklar yerde iken bu enerji ihtiyacı Harici Güç Kaynağı (External Power Unit, EPU) tarafından sağlanmaktadır [4]. EPU, motor çalıştırılması, ışıklandırma, zorunlu hizmetlerin yerine getirilmesi gibi bakım sürecinde kullanılan bir ünedir. Dolayısıyla, uçaklarda EPU'ların aktif ve deaktif edilmesi esnasında uyulması gereken prosedürler ve emniyet yöntemleri mevcuttur. Bu prosedürlere ve emniyet yöntemlerine dikkatlice uyulmadığı takdirde istenmeyen iş kazaları oluşabilmektedir. Örneğin, hidrolik pompaları kapatılmadan (off) yapılmadan EPU ile uçağa enerji verildiği takdirde, uçuş kontrol yüzeylerine hidrolik basınç gönderilir ve kontrol yüzeyi hareket eder. Bu durumda kontrol yüzeyi çevresinde bulunan personelin zarar görmesine neden olabilir. Böyle kazaların yaşanmasını ve istenmeyen durumların oluşmasını önlemek için gerekli prosedürlerin ve emniyet yöntemlerinin dikkatlice uygulanması gerekmektedir [5].

SCADA uzaktan otomasyon sistemlerinin, kullanıcıya görsel olarak (monitoring) bilgi ve kontrol hakkı sunmasından dolayı birçok sektörde kullanılmaktadır. Havacılık sektöründe, havaalanlarının ışıklandırma sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir [6-8]. Havacılık sektöründe, özellikle havaalanı ışıklandırma sistemlerinde enerji tasarrufu ve minimum işletme maliyeti hedefleri için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, hava araçlarına ait EPU ve Stall Uyarı Sisteminin (SUS) SCADA ile tasarımı ele alınmıştır. Bu amaçla, EPU'nun aktif ve deaktif edilmesi esnasında gerekli prosedürlerin yerine getirilmesinin kontrolünün ve uçuş güvenliğini önemli derecede belirleyen sistemlerden biri olan SUS'un, SCADA ile tasarımının modellemesi yapılmıştır. Böylece, uçuş güvenliğini etkileyen iki sistemin tasarım modellemesi yapılarak, meydana gelebilecek kazaları en aza indirmek için alternatif bir yaklaşım sunulması amaçlanmıştır. Bu çalışmaya ait ön çalışmalar daha önce (II. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresinde) sunulmuştur. Bu çalışmada, bahsedilen ön çalışmaların genişletilmiş hali ele alınmıştır [1,2].

Çalışmanın ikinci bölümünde modellenen hava aracı sistemlerinden, üçüncü bölümünde SCADA'dan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde hava aracı sistemlerinin SCADA ile tasarımının uygulamaları verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar sunulmuştur.

2. Modellenen Hava Aracı Sistemleri

Bu bölümde, uçuş ve bakım güvenliğini önemli derecede etkileyen ve SCADA ile tasarımı gerçekleştirilen Stall uyarı sistemi ve harici güç sistemleri kısaca ele alınmıştır.

2.1. Stall Uyarı Sistemi

Hava araçları yanlamasına, uzunlamasına ve dikey eksen olmak üzere üç kumanda ekseninde dengede kalarak uçuşunu gerçekleştirir. Hava araçları, eksenleri etrafında herhangi bir değişim olmadığı müddetçe havada güvenli bir şekilde uçuşlarını sürdürürler. Uçuşa bağlı olarak yakıt tüketimi ve çevresel hava şartları hava araçlarının yatay doğrultuda dengesini kaybetmesine neden olmaktadır. Yatay doğrultuda yaşanan dengeyi tekrar kazanmak için veya uçağın havada güvenli bir şekilde seferine devam etmesi için hava aracı üzerindeki hareketli yüzeylerin konumu değiştirilerek yeni şartlara bağlı olarak hava aracı dengesi sağlanır [3].

Hava aracının bozulan dengesi, hava araçlarında bulunan yardımcı ekipmanlar yardımıyla veya pilot kontrolüyle düzeltilerek, hava aracının güvenli bir şekilde seferine devam etmesi sağlanır. Uçaklar, değişen çevresel şartlarını algılayan birçok sensöre sahiptir. Sensörler sayesinde elde edilen hassas değişimler, sinyale dönüştürülür. Bu sinyaller, göstergelere iletilerek uçuş mürettebatının bilgilendirilmesinin yanı sıra uçuş güvenliğini sağlayan yardımcı elemanlara da bilgi gönderir [4,9].

İnsan beyninin, hızla değişen çevresel şartları hesaplaması ve buna göre komut üretme yeteneği yetersiz kaldığı için, gelişen teknoloji ile uçağın hassas değişimlere karşı duyarlı olması ve hareketli yüzeylere komut verilmesi günümüzde bilgisayarlar yardımı ile sağlanmaktadır. Güvenli bir uçuşun gerçekleşmesini engelleyen çeşitli faktörler vardır. Bu faktörlerin başında stall faktörü gelmektedir. Stall, uçağın uçuşunu sağlayan temel kuvvetlerden en az birinin dengeleyici kuvvetini kaybederek uçağın hava akışına karşı dengesini kaybetmesidir.

SUS'un amacı, uçak stalla girmeden önce pilotu uyarmaktır. Uçağın hücum açısı stall için uygun değere ulaştığında, sistem göstergelerinin yanması ve ilgili uyarı kornasının aynı anda etkileşim haline gelmesiyle, uçuş mürettebatı uyarılır. Stall uyarı sistemlerinin birçok çeşidi vardır. Fakat hepsinin amacı çok geç olmadan pilotları stalla karşı uyarmaktır.

Eski uçaklardaki stall uyarı sistemleri sadece hücum açısını etkileyen sarsıcı (shaker), destekleyici (pusher) ve aktüatör (actuation) elemanlarından oluşmaktaydı. İlerleyen yıllar içinde, kontrol valfinin zamana bağlı açısını kontrol eden bir ekipman eklenerek, kanat hücum açısı daha verimli bir şekilde kontrolü sağlanmıştır. Bu durum, düşük stall hızlarında tatmin edici sonuçlar alınmasını sağlamıştır. Günümüz modern uçaklarında geliştirilen modifikasyonlarla, SUS'un hassasiyeti artırılmış ve hata oranı azaltılmıştır [6].

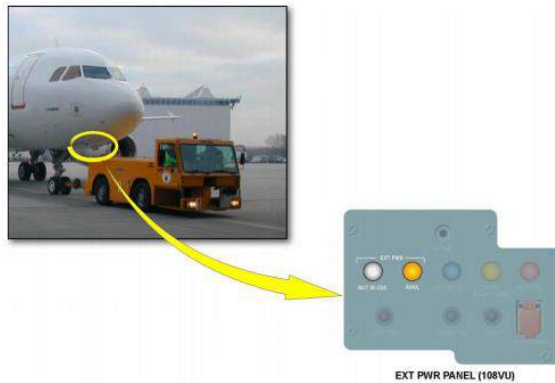
Hava araçlarında, SUS'un çalışması, alıcı, kontrol ve harekete geçirme birimleri olmak üzere üç temel birimin ortak çalışması prensibine dayanmaktadır. Alıcı birim, uçuş sırasında, uçağın hareketli yüzeylerinde bulunan sensörler yardımıyla kanat üzerindeki hava akışını algılayarak, analog bir çıktı (output) üretir. Sensörler tarafından algılanan çıktılar, hava veri bilgi sistemi aracılığıyla göstergelere ve diğer interfacing sistemlere iletilir. Hava veri bilgi sistemi, bir adet toplam hava sıcaklığı (Total air temperature, TAT) probu, iki adet hava veri bilgisayarı (Air data computer, ADC) ve iki adet hücum açısı (AoA) sensörlerinden oluşur. Ayrıca, iki adet harici test butonuna sahiptir [10-13].

Çeşitli bilgisayarlardan oluşan kontrol birimi, alıcı birimde oluşturulan çıktıları değerlendirerek, harekete geçirme birimine girdi (input) olarak bilgi gönderir. Sensörlerden gelen analog sinyaller düşük seviyede olduğu için bu sinyallerin istenilen seviyeye getirilmesi için yükselteç veya röle gibi ekipmanlar kullanılır. Merkezi olarak ADC'ler tarafından yönetilen kontrol birimi, pnömatrik ve elektriksel çıktuları, girdi olarak kullanır. Dinamik ve statik hava basıncı bilgisi pito-statik sistem ile, toplam hava sıcaklığı bilgisi ise TAT propları ile ADC'lere gönderilir. Son olarak SUS'un çalışma bilgisini barındıran hücum açısı bilgisi de ADC'ye resolver voltages'lar tarafından gönderilir. Sonucu birim olan harekete geçirme birimi, farklı tipte yardımcı motor elemanlarından meydana gelir. Hava aracı üzerinde oluşan düzensiz hava akışını dengeleyecek hareketli yüzeylerin ayarlanması yardımcı motorlar ile sağlanmaktadır. Kanat üzerinde bulunan kanatçıklar, servo motorların yer aldığı sistemde yapılacak harekete bağlı olarak uygun yön ve şiddette kuvvetler uygulayarak, kanat üzerindeki hava akışını düzene sokmayı amaçlar.

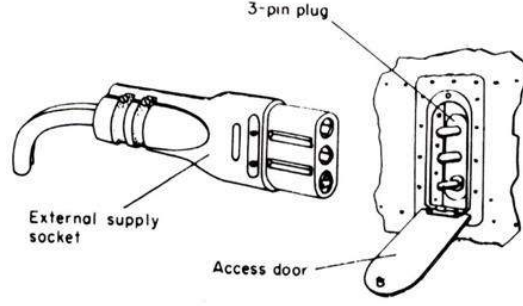
2.2. Harici Güç Ünitesi

Hava aracı bakımları hangarda ya da apronda yapılmaktadır. Bu bakımlar esnasında gerekli sistemleri beslemek için hava aracının enerjilenmesi gerekmektedir. Hava araçları bakım esnasında APU ve EPU ile enerjilendirilebilmektedir [4]. EPU, hava araçlarının park süresi içerisinde, motor çalıştırılması, ışıklandırma, zorunlu hizmetlerin yerine getirilmesi ve elektrik sisteminin testi için gerekli olan elektrik enerjisini sağlar [5]. Dolayısıyla, uçağa park halinde elektrik gücü sağlayan EPU'ların buna uygun güce ve uçağın ise bu gücü uygun şekilde alabilmesini sağlayacak devre yapısına sahip olması gerekir. Geniş gövdeli uçaklarda, EPU'nun güç sistemini beslemesi için kolayca erişilebilecek bir noktadan uçağa bağlanmasına olanak sağlayacak bir bağlantı noktası oluşturulmuştur (Şekil 1). Altı konnektörlü bağlantı elemanı ile EPU uçağa bağlanır. Bu altı pinden dört tanesi kalın ve uzun, iki tanesi kısa ve incedir. Bu dört uzun pin 3 faz ve bir nötr bağlantısı için, iki kısa pin ise EPU'nun geri besleme kontrolünü sağlayan 28 volt doğru akım (Direct Current, DC) bağlantısı ve EPU'nun bağlandığını gösteren lambaya enerji sağlayan bağlantı için kullanılır. Ayrıca, bu iki kısa pinle bağlantı fişinin sökülmesi ve takılması sırasında 3 faz gücün önceden kesilmesiyle ark oluşumu önlenir. Küçük uçaklar ise 28 volt DC ile çalışmaktadır (Şekil 2) [4,15].

EPU, uçağa ön iniş takımında bulunan iki adet priz aracılığıyla bağlanır. Prizler birbirinden bağımsız olarak 90 Kilo Volt Amper (KVA), 400 Hz 115/200 V'luk güç sağlar. EPU'nun sistemleri beslemek üzere kullanılmasından önce, uçak üzerinde yapılması gereken bazı işlemler vardır. Bu işlemler uçakta bulunan kontrol listelerinde (check list) belirtilmiştir. Bu kontrol listesi, uçak el bakım kitapçığı olan uçak bakım kitabı (Aircraft Maintenance Manuel, AMM)'nda bulunmaktadır [4,14-15].



Şekil 1. EPU'nun uçağa bağlantı noktası



Şekil 2. EPU bağlantı noktası soketi

EPU aracılığıyla uçağa enerji verilmesinde AMM prosedürü uygulanmaktadır. Bu çalışmada açıklanan prosedür Airbus 321 uçağı için geçerli olup, hemen hemen tüm uçaklarda da benzer şekilde uygulanmaktadır. Güç kaynakları ile ilgili açıklamalar AMM bölümlerinden Chapter 24'de bulunmaktadır [4]. Kullanılan yöntem her iki giriş için de aynı prosedüre sahiptir [15].

EPU kablosu uçağa bağlandıktan sonra güç kablosunun izolasyonunun tam olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca 90KVA'dan daha düşük güç gerektiren sistemlerde kullandığımızda, aşırı yüklenme meydana gelebileceğinden dolayı dikkatli olunmalıdır. Aşırı yüklenme sonucu uçaktaki bütün bilgisayarların resetlenmesi gerekebilir. Tüm bu uyarıların dikkate alınıp uygulanmasından sonra uçak üzerindeki prosedürler aşağıdaki gibidir [15].

Enerjilendirme Prosedürü;

- Elektronik paneldeki jeneratör (generator, GEN1), GEN2, APU GEN, BUS TIE, Alternatif Akım Ana Besleme (Alternative Current Essential Feed, AC ESS FEED) ve COMMERCIAL butonlarının basılı olması gerekmektedir. Diğerlerinin ise serbest bırakıldığından emin olunmalıdır.
- 212VU'da (fin numaralı) bulunan havalandırma kısmında, EXTRACT ve kabin fan (Cabin Fan, CAB FANS) basılı olmalıdır.

Tüm bunlar yapıldıktan sonra EXT POWER düğmesine basılarak, yerde bulunan EPU aracılığıyla uçağa elektrik verilir.

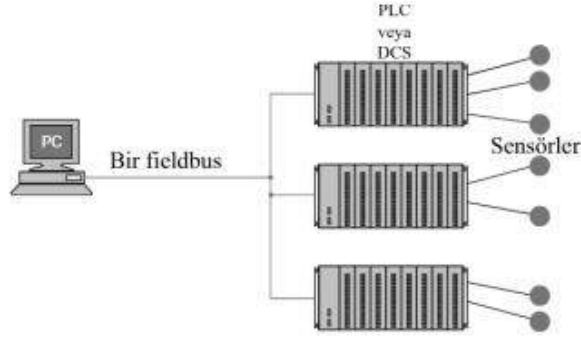
3. SCADA

Teknolojideki son gelişmelerden bilgisayar ve bilgisayarlarla ilgili cihazlardaki maliyet düşüşleri, uzaktan otomasyon sistemlerinin teknik ve ekonomik yönden verimli bir hale getirmiştir. Örneğin, havaalanlarındaki pist aydınlatma sistemlerinin uzaktan izlenmesi, hızlı ve etkin bir şekilde aydınlatma sistemlerinin kontrolünü sağlamaktadır. Personel ve pist güvenliği sağlanmakta, sürekli ve kaliteli elektrik enerjisi sağlanmaktadır. Sistem çalışmasında oluşan bilgilerin arşivlenmesi ve istatistik raporların değerlendirilmesi ile en etkin ve ekonomik pist aydınlatmaları sağlanmaktadır.

Kar amacıyla kurulan ticari işletmelerde amaç, en düşük maliyet ile en güvenli ve en kaliteli hizmeti sunmaktır. İşletmelerde SCADA yazılım paketleri ile yöneticiler, verileri daha kolay kontrol edebilir ve en yüksek oranda verim alınması sağlanabilir. SCADA yazılımları işletmelerde, herkesin istedikleri zaman erişebilecekleri eş zamanlı ayrıntılı bilgiye ulaşmalarını sağlar.

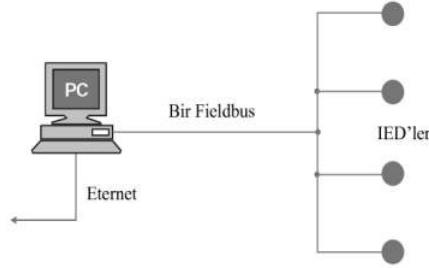
Havacılık sektöründe havaalanlarının ışıklandırma sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bir ara yüz olan SCADA, çeşitli araçlar vasıtasıyla diğer ekipmanlara ulaşmakta ve elverişli bir organizasyon haline gelerek sistemi izleme ve kontrol etmeye imkân sağlamaktadır [7,16-17]. Çok kısa mesafelerden, kilometrelerce uzaklıklardaki valf, röle, anahtar, sensör gibi ekipmanlar kontrol edilebilmektedir.

Günümüzde SCADA sistemleri, endüstriyel işlemlerde özel ve genel amaçlar için kullanılmaktadır. Birbirinden uzak sistemlerin çeşitli sensör, valf veya kontaklar ile ardışık olarak çalışması sağlanır. Birimler arası uzaklık, birkaç metreden kilometrelerce uzaklığa kadar değişebilir. SCADA, analiz ve kontrol için gerekli bilgileri toplayarak, topladığı bilgileri karar merkezine iletir. Daha sonra, ulaşılan bilgiler karar merkezinde bulunan operatöre birçok ekran ile iletilir ve operatörün insiyatifi ile uzaktaki sistemler kontrol edilir. Operatör, bazen değerlendiren bir bilgisayar bazen de bir insan olabilir. Operatör tarafından toplanan bilgiler doğrultusunda verilen komut, röle mantığı ile gerekli birimlere iletilir. Teknolojinin gelişmesiyle, röle mantığı diğer araçlar ile birleştirilerek daha kullanışlı PLC, IED ve DCS gibi programlanabilir mantık kontrolörleri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [18]. PLC'ler yaygınlaşmış ve sistemler daha akıllı hale gelirken ebatları ve ağırlıkları küçülmüştür. PLC'ler (Programmable Logic Controller) ve DCS (Dağıtılmış/Dağıtılmış kontrol sistemleri) Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Bağlantı örneği

Daha akıllı ve küçük ebatlı sistemlere ihtiyaç arttıkça, sensörler, PLC ve DCS'lerin akıllılık düzeyine göre tasarlanmaktadır. Bu aletler, IED (akıllı elektronik aletler) olarak bilinmektedir. IED'ler, profibus, devicenet ya da foundation fieldbustan PC'ye, fieldbuslar üzerine bağlanmaktadır. Bunlar; veri kazanabilecek, diğer aletlerle bağlantı kurabilecek ve tüm program içinde kendi görevlerini yerine getirebilecek akıllılıkta kapasiteye sahiptir. Bu süper akıllı sensörlerden her biri, panelde birden fazla sensöre sahip olabilir. Genel olarak bir IED; analog girdi sensörünü, analog çıktısını, PID kontrolünü, iletişim sistemini ve program hafızasını bir alette birleştirir (Şekil 5). Beklendiği üzere IED analog girdi sensörü, analog çıktısı, PID kontrolü, bağlantı sistemini ve program hafızasını bir alette birleştirebilir [18].



Şekil 4. PC'den IED'ye bağlantı

4. Uçak Sistemlerinin SCADA İle Tasarım Uygulamaları

Bu çalışmada, hava araçlarına ait Stall Uyarı Sisteminin ve Harici Güç Ünitesi SCADA ile tasarımı ele alınmıştır.

4.1 SCADA Kontrollü Stall Uyarı Sisteminin Tasarımı

Alternatif uyarı sistemi, yardımcı kaptan (first officer, F/O) ve Captain navigasyon göstergesi (navigation display, ND) ünitesinde birbirinden bağımsız bilgi beslemesi olarak çalışmaktadır. Gösterilen ekranda motor trust (T) değerleri, elevator açıklık açısı ve şekilleri ile birlikte güvenilir hava hızı (Unreliable Airspeed) bilgileri ve otomatik pilot (AP) durum bilgisi gösterilmektedir. Uyarı sistemi uyarı (alert) durumunda sesli ve görsel olarak ikaz vererek uçuş mürettebatını uyarılmaktadır. Olası bir unreliable airspeed durumunda ise farklı görsel ve sesli ikazlar verilmektedir. İki çeşit ikaz tipi bulunmaktadır. Bunlar, kabul edilebilir (acceptable), dikkat (watch out) fazlarıdır. Kabul edilebilir (acceptable) fazında AP modu uçuş mürettebatına yardımcı olmaktadır. Diğer dikkat (watch out) fazında ise AP modu de-aktif bir şekilde, kontrolü uçuş mürettebatına bırakılmaktadır.

Oluşturulan alternatif sistemde, ardışık işlemlerin kontrolü Omron [CP1L] Tipi Simülasyon PLC kullanılmıştır. PLC yazılımı için kaydediciler, özel ve genel kontak ve anahtarlama elemanları, özel fonksiyonlu bloklar kullanılmıştır. Tablo 1'de "D" biti ile sayısal değerlerin gösterilmesi ve kaydedilmesi gerçekleştirilmiştir. Burada, her D bitinin hangi değerleri taşıdığı gösterilmektedir. "I" biti ile kontak ve role işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de her bir I bitinin hangi anahtarlama ve role bilgisini ifade ettiği gösterilmiştir. "W" biti ise, ladder diyagramda yardımcı role görevi görmüştür.

Tablo 1.Stall uyası sistemi Bit bilgileri

Kaydedici Bitler (D)	Açıklama	Giriş/Çıkış Bitleri (I)	Açıklama	Yardımcı Röle Bitleri (W)	Açıklama
D0	İrtifa	0.00	Uçak Elektrik On/Off	0.00	Motor Trust Arttırma
D1	IAS	0.01	Uçak Motor Çalıştırma	0.01	Motor Trust Azaltma
D2	CAS	0.02	Motor Trust Arttırma	0.02	İrtifa Sensör
D3	TAS	0.03	Motor Trust Azaltma	0.03	İrtifa Arttırma
D4	GS	0.04	1. Batarya On/Off	0.06	Yeşil Hidrolik Kesme Rölesi
D5	Elevator Hareket Açısı	0.05	Oto pilot (Auto Pilot, A/P) On/Off	0.07	Mavi Hidrolik Kesme Rölesi
D6	Sağ Motor Trust	0.06	Stall Warning System devre kesici (Circuit Breaker, C/B)	0.08	İrtifa Azaltma
D7	Sol Motor Trust	0.07	2. Batarya On/Off		
D10	IAS/CAS	0.08	Yeşil Hidrolik Pompası	Giriş/Çıkış Bitleri (I)	Açıklama
D11	IAS/TAS	0.09	Elevator AoA Arttırma	1.09	0 Derece Sensör Elevator Rölesi
D12	IAS/GS	0.10	Elevator AoA Azaltma	1.10	İrtifa Sabit Sensör Rölesi
D13	CAS/IAS	1.00	Uçak Elektrik Rölesi	1.11	Mavi Hidrolik Pompa Rölesi
D14	CAS/TAS	1.01	Uçak Motor Çalıştırma Rölesi	1.12	Ters Aç (Reverse) Elevator Pompa Rölesi
D16	TAS/IAS	1.02	Yeşil Hidrolik Pompa Rölesi	1.13	Mavi Hidrolik Pompa Rölesi
D17	TAS/CAS	1.03	1. Batarya Rölesi	3.00	1. Alarm Rölesi (Unreliable Airspeed)
D18	TAS/GS	1.04	Stall Uyarı Sistem Rölesi	3.01	2. Alarm Rölesi (Unreliable Airspeed)
		1.05	A/P Rölesi	5.00	1/2 Hız Gösterge Sensör
D19	GS/IAS	1.06	2. Batarya Rölesi	5.01	1/4 Hız Gösterge Sensör
D20	GS/CAS	1.07	Bataryalar "On" Rölesi		
D21	GS/TAS	1.08	+4 Derece Sensör Elevator Rölesi		

Script yazılım dili, ardışık işlemlerin komut veya lojik ifadelerle çalışmasına imkan veren bir yazılım dilidir. Script yazılım dili kullanıcılarına çok geniş yelpazede komut imkanı sunmaktadır. Programları zamana ve olaya dayalı çalıştırma, nesne çağırma, alarm ve noktalar üzerindeki hareketler gibi çeşitli komutları script dili ile programda uygulamak mümkündür[19].

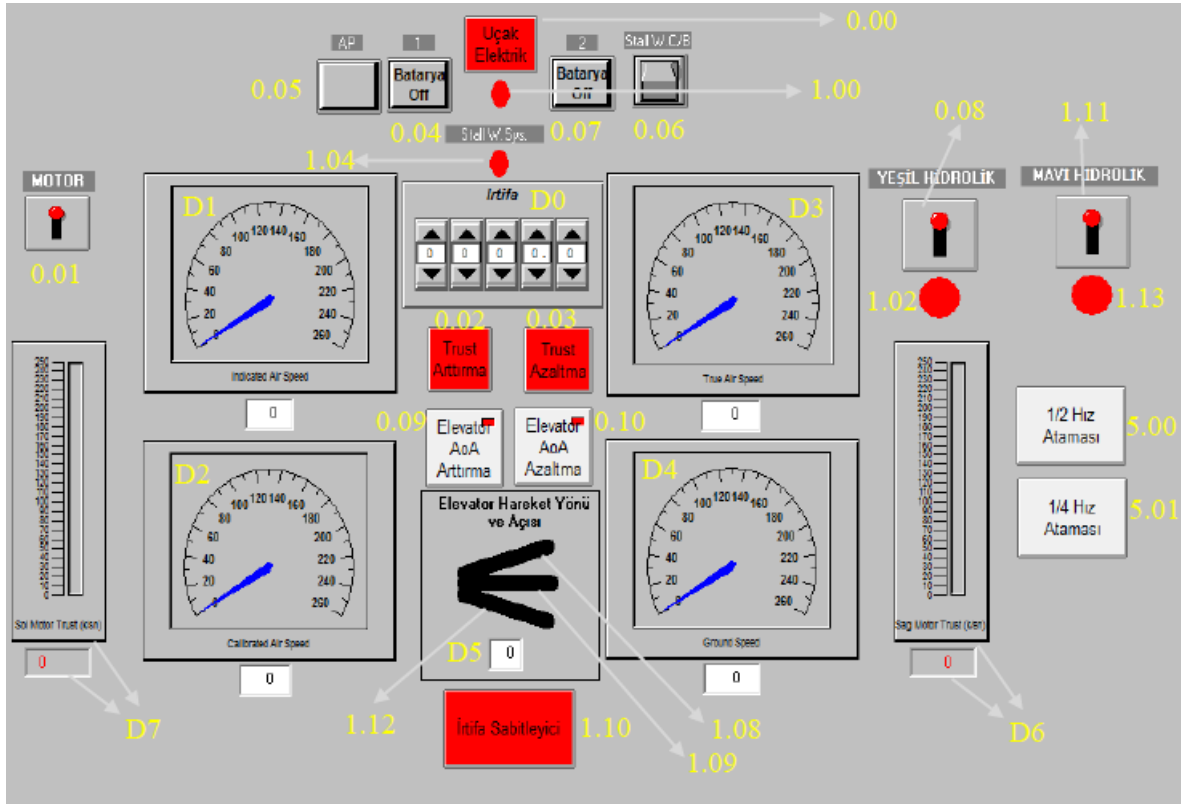
Bu çalışmada script dili, şartlı durumlar için alarm komutunu çalıştırmak amacıyla kullanılmıştır. Unreliable Airspeed durumunda hız göstergelerindeki oransal farklılıklara (1/2 ve 1/4) göre farklı alarm ikazları vererek uçuş mürettebatını uyarmaktadır.

Bu çalışmanın SCADA arayüzü Cx-Supervisor Developer uygulamasıyla hazırlanmıştır. Uygulamanın sunduğu araçlardan faydalanılarak oluşturulan arayüz ladder diyagram ile dış dünya arasındaki görselliği simüle ederek uzaktan kontrolü sağlamaktadır. Şekil 5’de oluşturulan arayüzün ladder diyagramdaki hangi biti simgelediği sarı renkte belirtilmiştir.

Hazırlanan yazılım dış dünya ile irtibatlı sensör ilişkisi olmadığı için hazırlanan yazılım ve SUS’un alternatif çözüm önerisi bir simülasyon tarzında olup, manuel olarak sensörler algılamış gibi çalışmaktadır.

İlk olarak sistemimiz normal şartlar altında (uçakta elektrik varken ve sigortası basılı olduğu zaman) motor çalışmaya başlayıp, hava aracı 400ft yükseldikten sonra aktif olmaktadır. Sistem aktif olduktan sonra motor trust değer kontrolü, Ground Speed (GS), True Air Speed (TAS), Indicated Airspeed (IAS) ve Calibrated Air Speed (CAS) değerlerini, elevator pozisyon bilgisini değerlendirerek hava aracının güvenli bir şekilde seferine devam etmesini sağlamaktadır. Aksi bir durum yaşandığı zaman, AP devreden çıkarılarak uçak, uçuş mürettebatı tarafından kontrol edilmektedir.

SUS önerisine ek olarak, hava aracı pilotlarının çok fazla başına gelen güvenilmez hava hızı (Unreliable Airspeed) durumları geliştirilmiş ikaz sistemi de eklenmiştir. Unreliable Airspeed ikaz sistemi, uçağın GS, TAS, IAS veya CAS [20-22] arasındaki gösterge değerlerinin uygunsuz olduğunda ikaz vermektedir. İki çeşit ikaz tipi bulunmaktadır. Bunlar, kabul edilebilir (acceptable), dikkat (watch out) fazlarıdır. Kabul edilebilir (acceptable) fazında AP modu uçuş mürettebatına yardımcı olmaktadır. Dikkat (watch out) fazında ise AP devre dışı olmaktadır.



Şekil 5. Giriş çıkış bilgilerinin gösterimi

4.2. SCADA Kontrollü Harici Güç Ünitesi Tasarımı

Bu bölümde, hava araçlarının yerde bakımları esnasında, EPU kullanımına bağlı olarak meydana gelen veya gelebilecek iş kazalarından faydalanarak, EPU'ya ait farklı problemler için alternatif yöntem sunulmuştur. Sistem içerisinde ardışık sistemlerde görüntüleme ve kontrolü sağlayan SCADA çözüm yaklaşımları kullanılarak, bu yöntemin uçak bakımında etkilerinin bir teklif olarak sunulması ve uçak bakım merkezlerindeki üretilen bakım hizmetinin katma değerinin artırılması amaçlanmıştır.

Bakım esnasında ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini sağlamak amacıyla hava aracına yaklaştırılan EPU yine kendi üzerinde bulunan dokunmatik ekran aracılığıyla kontrol edilir. Bir adet EPU çalıştıracak buton ve acil durdurma butonu ile EPU çalışması kontrol edilmektedir. Ekran üzerinde hava aracı burun kısmına bağlanan EPU prizinin tam olarak takılı olduğunu gösteren bir lamba ve EPU tarafından üretilen güç ve frekans değerleri gösterilmektedir. Ayrıca, EPU açma ve kapama işlemi bakım esnasında istenmeyen durumlarla karşılaşmamak için son kullanıcı tarafından üretilen tek kullanımlık şifre ile EPU çalıştırılmaktadır. Ekran üzerinde iki tip mesaj bulunmaktadır. Birincisi, daimi bakım uygulamalarında hatırlatıcı uyarılar içeren mesaj tipi iken diğer mesaj tipi ise son kullanıcının hava aracında çalışan diğer teknisyenleri bilgilendirici ekran klavyesi ile girilen mesaj tipidir.

Tablo 2. Harici güç sistemi Bit listesi.

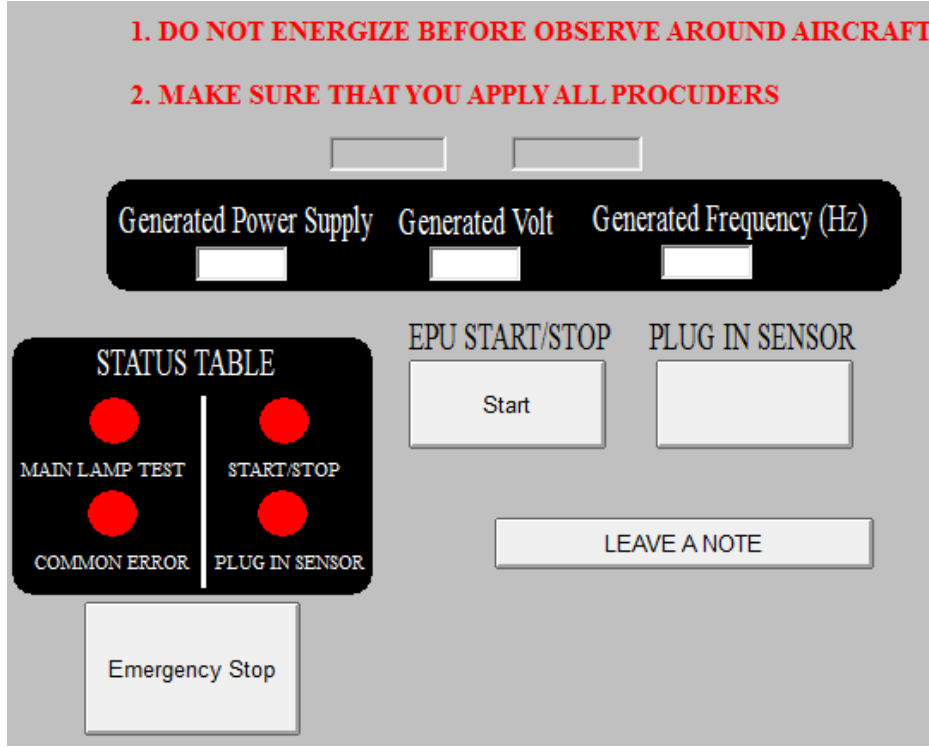
Kaydedici Bitler (D)	Açıklama	Giriş/Çıkış Bitleri (I)	Açıklama	Yardımcı Röle Bitleri (W)	Açıklama
D0	Frekans	0.00	EPU On/Off	0.00	EPU Acil Durdurma Rölesi
D1	Kva	0.01	EPU Acil Durdurma		
D2	Volt				

Tablo 2'de "D" biti ile sayısal değerlerin gösterilmesi ve kaydedilmesi yapılmıştır. Burada, her D bitinin hangi değerleri taşıdığı gösterilmektedir. "I" biti ile kontak ve röle işlemleri gerçekleştirilmiştir. Burada, her bir I bitinin hangi anahtarlama ve röle bilgisini ifade ettiği gösterilmiştir. "W" biti ladder diyagramda yardımcı röle görevi görmüştür. SCADA arayüzünde her hangi bir görevi olmayan W biti röleler, arka planda anahtarlama görevi yapmaktadır.

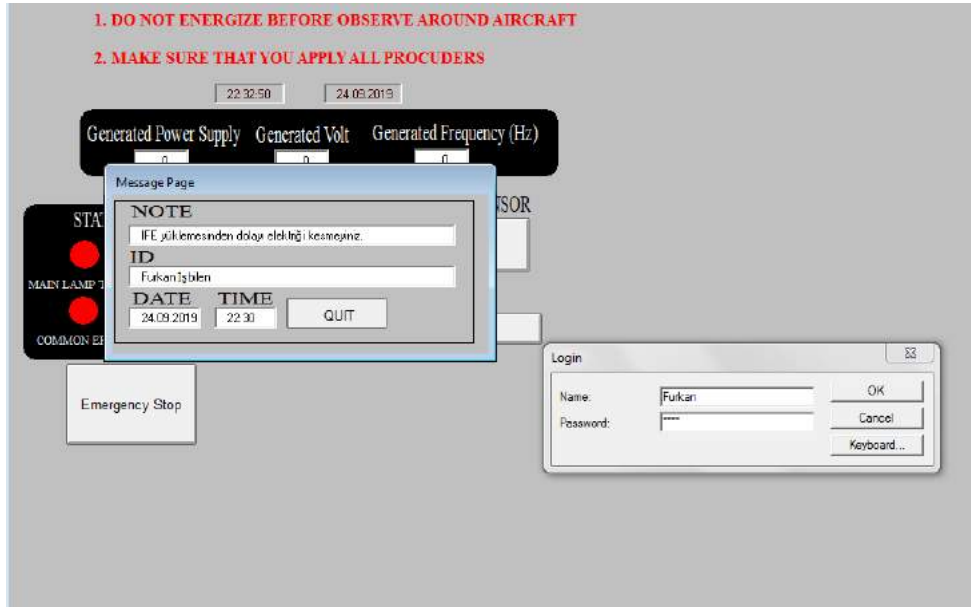
Bu çalışmanın SCADA arayüzü Cx-Supervisor Developer uygulamasıyla hazırlanmıştır. Uygulamanın sunduğu araçlardan faydalanılarak oluşturulan arayüz ladder diyagram ile dış dünya arasındaki görselliği simüle ederek uzaktan kontrolü sağlamaktadır.

Oluşturulan uygulama, toplam 2 ekrandan oluşmaktadır. EPU enerjilendiği zaman açılan ilk ekranda tarih, saat, üretilen güç, volt ve frekans değerleri, status table'da EPU durum bilgileri, EPU çalıştırma butonu, acil durdurma ve mesaj bırakma butonu açılmaktadır. Plug In Sensor bu uygulamada manuel olarak oluşturulan sensör bilgisini ifade etmektedir (Şekil 6). İkinci ekran ise, diğer kullanıcılara not bırakılan mesaj ekranıdır. Mesaj ekranına 'Leave a note' butonuna tıklanarak ulaşılır. Açılan ekranın note satırına manuel olarak not eklenerek, EPU kullanacak diğer kullanıcılara uçak üzerindeki durum hakkında bilgi verilir. ID satırına da

manuel olarak kişi isim ve soyismi girilir. EPU'yu tekrar çalıştırmak veya kapatmak için QUIT butonuna tıklandıktan sonra üretici tarafından belirlenen kullanıcı adı ve şifre girilerek EPU üzerinde farklı bir komut verilmesi sağlanmaktadır (şekil 7).



şekil 6. EPU'nun Giriş-ıkış bilgileri



şekil 7. Proje giriş ekranı

6. Sonuçlar

Hava aracının bakımı esnasında rastlanan istenmeyen can ve mal kayıpları, bakım kuruluşları için yüksek tazminatların yanında imaj kaybına da sebep olmaktadır. Bu yüzden uçak bakımında yetkili kuruluşlar için hayati öneme sahip en temel esaslardan biri iş güvenliğidir.

Bu çalışmada, birinci problem olarak hava araçlarının sefer esnasında stall olma durumlarına ve pilotların sıklıkla karşılaştığı unreliable airspeed durumunu önleyici zmler üzerinde durulmuştur. Pilotlarla yapılan mülakatlar sonucu unreliable airspeed durumunun erken teşhisi ve doğru ikaz yöntemi ile meydana gelebilecek uçak kazalarının önüne geçebileceği sonucuna varılmıştır.

Problemin çözümü amacıyla, görsel arayüz olan SCADA sistemi kullanılarak dijitalleşen kokpitlerin görsel açıdan uçuş mürettebatına daha iyi ikaz verici alternatif bir sistem sunulmuştur.

İkinci problem olarak ele alınan bakım uygulamalarında meydana gelebilecek istenmeyen elektrik kesintileri veya istenmediği halde uçağa elektrik verilmesi durumunda karşılaşılabilecek olumsuz sonuçların üzerinde durulmuştur. Bakım esnasında uçaktan elektrik kesildiği zaman bazı bakım operasyonlarının durduğu ve buna bağlı olarak zaman ve adam saat ücret kaybının yaşandığı görülmüştür. Bir diğer yandan, uçak üzerinde yüksek voltaj alanlarında çalışan kişilerin, uçağa habersiz elektrik verildiğinde olumsuz elektrik çarpmalarına maruz kaldıkları görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, uçakların stalla uğradıklarında veya unreliable airspeed durumlarında uçuş mürettebatını mevcut sistemlerden daha iyi bir şekilde uyardığı açıkça ortaya konulmuştur. İkinci problemin çözümü için geliştirilen EPU kullanım ekranı sayesinde EPU enerji verilmesi veya kesilmesi şifreleme yöntemi ile olduğu için mevcut durumdan daha tedbirli bir hal aldığı söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] M. Konar, F. İşbilen, (2018) Uçakların External Power Ünitesinin Scada İle Entegrasyonu, II. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, Adana, Turkey, pp.1-5,
- [2] Konar, M., İşbilen, F., (2018). Hava Araçlarında SCADA Kontrollü Stall Uyarı Sistemini Tasarımı. II. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, Adana, Turkey
- [3] Hull, D.G., 2007. Fundamentals of Airplanes Mechanics, Springer, Berlin.
- [4] TTS Integrated Training System, 2011. Module 13 Aircraft Aerodynamics, Structures and Systems for EASA part- 66. Licence Category A, B 1 and B 2.
- [5] JP AVIONICS, (2009). External Power Unit for General Aviation Aircraft. (<http://www.jp-avionics.com/downloads/JP-Avionics%20-%20EPU%20user.pdf>), (Erişim Tarihi: Ocak 2020)
- [6] Zalocik, J., (1952). Summary of Stall-Warning Devices, Natinal Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note 2676
- [7] Harima, K., (2000). The Introductory course of Sequence Control Learning Guide, Japonya, JICA Publications.
- [8] Skybrary, (2017).Stall Warning Systems. (https://www.skybrary.aero/index.php/Stall_Warning_Systems), (Erişim Tarihi: Kasım 2019).
- [9] Etkin, B., (1972). Dynamics of Atmospheric Flight, Wiley, New York, 201-211s.
- [10] NASA, (1994). Development and Certification of A New Stall Warning And Avoidance System. (: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19850006198.pdf>), (Erişim Tarihi: Ocak 2020).
- [11] NASA, (1952). Stall Warning Devices. (<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930083830.pdf>) , (Erişim Tarihi: Ocak 2020)
- [12] Temel, R., (2014). Hücüm Açısı (<http://sirramazantemel.blogspot.com/2014/10/hucum-acisi.html>), (Erişim tarihi: Ocak 2020)
- [13] Gracey, W., (1958). Summury of Methods of Measuring Angle of Attacks on Aircraft, NASA Technical Reports, (NACA-TN-4351)
- [14] Bruce, R., (2004). Aircraft Maintenance. SAE International, United State, 166 pp.
- [15] Airbus, (2005). Aircraft Maintenance Manuel Chapter 24, Airbus S.A.S,Blagnac,
- [16] Jeff, D., (2005). Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Introduction.USA: Pacific Northwest National Laboratory Grainger Lecture Series for the University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [17] Stuart, A., (2009). The Instrumentation, Systems, and Automation Society; 4th edition. USA: International Society of Automation
- [18] Rajesh, M., Vikrant, V., (2016). PLCs & SCADA Theory and Practice.New Delhi: Laxmi Publications Pvt. Ltd.
- [19] İşbilen, F., (2019). PLC Ladder ve Scada Yazılımı. (<https://gofile.io/?c=zeHYRq>). (Erişim Tarihi: Ocak 2020).
- [20] Konar, M., & Bağış, A. (2016, May). Simultaneous computation of the speed and fuel parameters of flight control system by using Anfis and artificial neural networks. In 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU) (pp. 1389-1392). IEEE.
- [21] Bagis, A., & Konar, M. (2018). ABC and De algorithms based fuzzy modeling of flight data for speed and fuel computation. International Journal of Computational Intelligence Systems, 11(1), 790-802.
- [22] Konar, M., & Bagis, A. (2009, April). Determination of the speed parameter of flight control system by using adaptif network based fuzzy inference system. In 2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference (pp. 993-996). IEEE.



Magarsos Antik Kenti Oluşum Kurgusunun Analizinde Sistemik Bir Yaklaşım

Yelda Durgun Şahin^{1*}, M. Faruk Altunkasa²

¹ Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6708-9247)

² Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İstanbul, Adana (ORCID: 0000-0003-4449)

(İlk Geliş Tarihi 14 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.688942)

ATIF/REFERENCE: Şahin Durgun, Y. & Altunkasa, M. F. (2020). Magarsos Antik Kenti Oluşum Kurgusunun Analizinde Sistemik Bir Yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 348-358.

Öz

İnsanlar, kentleşme sürecine avcılık ve toplayıcılık yaparak önce mağara, çadır ya da oba gibi geçici yerleşimlerde, daha sonraki süreçte tarım ve hayvancılık yaparak kalıcı yerleşimlerde yaşamışlardır. Gelişen yerleşik hayat düzeniyle birlikte ticaret olgusu başlamış ve insanlar önce yakın daha sonra uzak çevreleri ile etkileşim kurmuşlardır. Bu etkileşim ile kentler gelişmiş, kültür alış-verişi sağlanmış ve toplulukların inanç sistemleri arasında farkındalıklar ortaya çıkmıştır. Bu olgulardaki değişimler kent gelişimine katkı sağlamakta birlikte kent planlama kararları ve mekân kurguları üzerinde etkilerini belirlemiştir. Tarihte kentler sosyal, kültürel ve fiziksel bir oluşum ve etkileşim sonucunda gerçekleşmiştir. Bir kentin oluşumundaki arka planın okunabilmesi için, o kenti sosyal, kültürel ve fiziksel oluşum süreçleri doğrultusunda, multidisipliner bir çalışma ile değerlendirmek gerekmektedir. Bu değerlendirmenin nasıl bir yöntem ile analiz edilebileceği ise çalışmanın temel çıkış noktasını oluşturmuştur. Bu çalışmanın amacı, tarihi anlamının somut bir aracı olan, antik kentler için, çok boyutlu antik kent analiz modeli ölçütlerinin oluşturulmasıdır. Bu doğrultuda öncelikle araştırma alanının sınırları belirlenerek, tarihten günümüze Anadolu topraklarının bir parçası olan Ovalık Kilikya bölgesi antik kentlerinden Magarsos kenti seçilmiştir. Geliştirilen analiz modeli ölçütleri Magarsos antik kenti üzerinde uygulanarak, sosyo-kültürel, coğrafi ve tarihsel belirleyicilerin alt grupları tanımlanmış ve Magarsos antik kent envanteri oluşturulmuştur. Sonuç olarak bu çalışma ile antik kentlerin okunabilirliğine katkı sağlayan sistematik veriler, Magarsos antik kentinin oluşumundaki arka planın okunabilmesine katkı sağlamıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan yöntem ile, kentsel arkeoloji alanında, farklı antik kent çalışmaları üzerinde yapılacak diğer kapsamlı çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Magarsos, Antik Kent Analiz Ölçütleri, Antik Kent Envanteri

A Systematic Approach to the Analysis of the Formation Structure of Magarsos Ancient City

Abstract

People lived in temporary settlements such as caves, tents or oba, and then settled in permanent settlements by farming and animal husbandry. With the developing settled life order, the phenomenon of commerce started and people first interacted with their close and then distant circles. With this interaction, cities have developed, cultural exchange has been provided and awareness has emerged among the belief systems of the communities. Although the changes in these phenomena contribute to urban development, they have determined their effects on city planning decisions and space constructions. In history, cities have been realized as a result of social, cultural and physical formation and interaction. In order to be able to read the background in the formation of a city, it is necessary to evaluate the city with a multidisciplinary study in line with the social, cultural and physical formation processes. The method by which this evaluation can be analyzed is the main starting point of the study. The purpose of this study is to create multi-dimensional ancient city analysis model criteria for ancient cities, which is a concrete tool of understanding history. Accordingly, firstly, the borders of the research area were determined and Magarsos city was chosen as one of the ancient cities of Ovalik Cilicia region, which is a part of Anatolian lands from the past to the present day. By applying the developed analysis model criteria on the ancient city of Magarsos, subgroups of socio-

* Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6708-9247, ydurgunsahin@cu.edu.tr

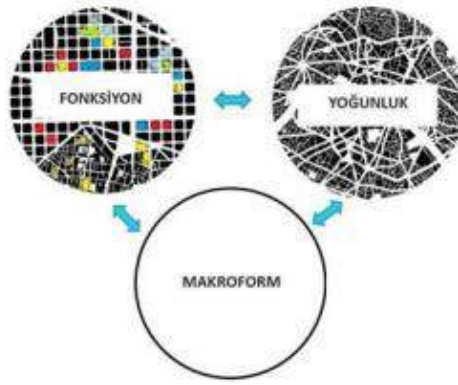
cultural, geographical and historical determinants were identified and Magarsos ancient city inventory was created. Consequently, systematic data contributing to the legibility of ancient cities with this study contributed to the legibility of the background in the formation of the ancient city of Magarsos. In addition, with the method used in this study, it is thought that it will contribute to other comprehensive studies on different ancient city studies in the field of urban archeology.

Keywords: Magarsos, Analysis Criteria of Ancient City, Ancient City Inventory

1. Giriş

Uzun tarihsel oluşum ve gelişim sürecinden geçmiş olan, toplumun yaşam biçimi, kültürel değerleri ve inanç sistemleri bütününden oluşan ve toplumsal dinamikler ile oluşturulan, geleneksel konut mimarisi gibi kentlerde farklılaşan yaşam biçimi, kültürel değerler ve inanç sistemleri çerçevesinde bölgenin yerel coğrafik özellikleri doğrultusunda şekillenmişlerdir (Güngör ve Özcan, 2019). Şekillenen bu kentler, onları farklı kılan nitelikleri ve biçimleri doğrultusunda tanımlanmışlardır. Bu tanımlamalar, kimi zaman, “Bronz Çağı kenti, Ortaçağ kenti, Roma kenti” gibi dönemsel bir atıf, kimi zaman “Osmanlı kenti, Yunan kenti, Türk kenti ya da Arap kenti” gibi ait olduğu medeniyet ya da ulusa atıf, kimi zaman “İslam kenti” gibi egemen dini inanca dair bir atıf ya da, “Akdeniz kenti” gibi içinde yer aldığı coğrafyaya yönelik bir sınıflandırma doğrultusunda coğrafi bir atıfla değerlendirilmiştir (Ünlü, 2017, s.75). Lynch, kentleri farklılaştıran bu özelliklerin, kentin kimliğini oluşturduğunu belirtmiştir (Ünlü, 2017,76; Lynch,1981). Kentlerin ayrıntılarını ve farklılıklarını ortaya koymak için dönemsel, medeniyetsel, dinsel, bölgesel, tarihsel, sosyal, iklimsel olmak üzere pek çok girdilerle değerlendirmemiz gerekmektedir. Bu bağlamda kentler, disiplinlerarası ilişkilerin bir ürünü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir disiplin kente ait verileri, kendi disiplin alanı sınırları içerisinde değerlendirmektedir. Bir kentin tüm yönleriyle değerlendirilerek tanımlanması için farklı disiplin alanlarının ortaya çıkarmış oldukları bulguların, bir arada kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda multidisipliner bir çalışma yöntemi ile, bir kentin oluşumundaki tüm bileşenler, o kenti okumamıza yardımcı olabilmektedir.

Lynch (1960) kent formunun değerlendirilmesindeki bu multidisipliner çalışmayı, fonksiyon, yoğunluk, makroform ve bu faktörlerin birbiri ile ilişkileri olarak üç temel unsur altında incelenmesi gerektiğini belirtmiştir (Şekil 1) (Lynch, 1960).



Şekil 1: Kent Formunun Temel Unsurları (Lynch, 1960)

Bu doğrultuda bu çalışma Magarsos antik kentinin makroformu üzerine yoğunlaşmış, Magarsos antik kentinin kent kurgusunu anlamak ve tanımlamak için, kent üzerine çeşitli bilim dalları tarafından kullanılabilen belirleyicilerin kent üzerinde etkilerinin değerlendirilmesine odaklanmıştır. Ölçütler oluşturulurken, mimarlık, şehir ve bölge planlama, arkeoloji, antropoloji, ulaşım, tarih, jeoloji, kent ve insan coğrafyası gibi pekçok bilim dalına ait belirleyicilerden yararlanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda, antik kentlerin kent kurgularının anlaşılabilirliğinin ve tanımlanabilirliğinin sağlanması için, kent kurgularının biçimlenme ölçütlerinin belirlenip, bu ölçütlerin gruplandırılması ile kent belirleyicileri oluşturulmuştur. Sonuç olarak belirlenen kent belirleyicilerinden oluşan analiz model ölçütleri, örneklem alanı olan Magarsos antik kenti üzerinde uygulanmış ve kentin bir akdeniz liman kenti, koloni kent, dinsel merkez özellikleri taşıdığı, kentte çeşitli yaşam biçimi örgütlenmesinden doğan yapılaşmaların bulunduğu, kentin kuzey güney yönelimli olarak kurulduğu, komşuluğunda bulunan Mallos kenti ile olan ilişkisinin kent için büyük anlama sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma; Magarsos antik kentinin, kent analiz modeli ölçütleri kullanılarak kent bulgularının elde edilmesi, kent envanterinin oluşturulmasını içeren farklı yöntemlerin kullanıldığı geniş kapsamlı bir metodolojiyi içermektedir. Çalışmanın kurgusu iki temel aşamadan oluşmaktadır.

- Antik kent analiz modeli ölçütlerinin belirlenmesi,
- Antik kent envanterlerinin oluşturulmasıdır.

Bu ölçütler oluşturulurken aşağıdaki metodolojik çalışmalardan yararlanılmıştır. Bunlar;

- Antik kent plan şemaları (Garfikselsel teknik ile çizim)
- Antik kent dokularına ait hava fotoğrafları (Google Earth Pro)
- Literatür verileri (Çeşitli tarihi belge ve akademik çalışmalar, dijital kütüphane)
- Gözlem verileri

- Mevcut kent plan ve haritalar (1/1000 ölçekli antik kent planları ve ölçeksiz antik kent krokileri)
- Antik kente ait haritaların geliştirilmesi (Autocad 2018, Photoshop) olarak belirlenmiştir.

Antik kentlerin organizasyon kurgularını anlamak için kentin ortaya çıkış amacını anlamak ve tanımlayabilmek gerekmektedir. Kente dair fiziksel bileşenlerin birbirleri ile olan etkileşimi yanında, sosyo-kültürel, ekonomik ve jeolojik bileşenlerin ilişkisini anlamak gerekmektedir. Bu tanımlamaları yapabilmek için de kente doğru sorular yönelmek gerekmektedir. Bu çıkış noktasıyla toplumların ne tür mekânlarda yaşadıklarını anlamak ve toplumun yansıması olan kentlerin kentleşme süreci içerisindeki oluşum kurgularını analiz etmek için de Tablo 1’ de belirtilen ölçütler belirlenmiştir.

Tablo 1. Mekân Analizi için Temel Ölçütler (Şahin, 2019’dan geliştirilmiştir, s. 43)

Toplumların Ne Tür Mekânlarda Yaşadığını Anlamak İçin Temel Alınan Ölçütler	
Kentin Formu	Ortak Kullanım Alanları
Kente Kullanılan Ana Malzemeler	Özel Kullanım Alanları
Yapıların Yönlenmesi	Tarih Öncesi Dönemleri
Kentin Konumu	Kentin uğradığı doğal afetler
Kent Yapılarının Çatı Formu	Kentin uğradığı doğal afetler
Yapıların Bitişik ya da Ayrık Düzende Uygulanması	Kentlinin Örgütlenme Biçimleri
Kentin Alt Öğeleri	Kente Kullanılan Semboller
Kentin Kapladığı Alan	Kentin Kısıtları
Komşu Kentler	Kentin Olanakları
Kentin İnşa Edildiği Topoğrafya ve İklim Verileri	Kentin Geçim Kaynakları
Kentin Ulaşım Ağı ve Kentin Kalkınmaya Etkileri	Kentin Oluşum Kurgusu

Kente bu belirlenen ölçütler doğrultusunda sorular sorarak aldığımız cevaplar ile kentin tanımlanabileceği düşünülmüştür. Her bir ölçüt değerlendirildiğinde bunların da üst formda ve belirli disiplin dalları çerçevesinde gruplanabileceği görülmüştür. Gruplamada kentle ilgilenen çeşitli bilim dallarının disiplin sınırları içerisinde ve kent olgusunun şekillenmesine öncü olan,

- Coğrafi Belirleyiciler,
- Sosyo-Kültürel Belirleyiciler,
- Tarihsel Belirleyiciler olarak üç temel ölçüt belirlenmiştir.

Bu üç temel ölçüt, antik kentlerin yerleşim özelliklerinin, nasıl olduğunun ve ne üzerine kurulduğunun özetlenmesi, hangi sosyo-kültürel yapının üzerine inşa edildiklerinin anlaşılabilmesi, yerleşim bölgesinin coğrafik belirleyicilerinin kente sağlamış olduğu katkıların tanımlanabilmesi açısından gerekli görülmüştür. Ayrıca Kilikya bölgesinin kronolojik olarak kimler tarafından yönetildiğinin incelenmesi, kentlerin önemli tarihsel kırılma noktalarının belirlenmesi ve kentlerin kısa ve uzun dönemdeki değişim süreçlerinin anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda ana belirleyici gruplama çerçevesinde, alt belirleyiciler sınıflandırılarak Tablo 2’ de yer alan Antik kent analiz modeli ölçütleri tanımlanmıştır. Böylece oluşturulan model ölçütleri doğrultusunda, herhangi bir antik kentin, kent kurgusu sistematik olarak tanımlanabilecek ve antik kent envanteri oluşturularak kent okumasına destek olunabilecektir.

Tablo 2. Antik Kent Analiz Modeli Ölçütleri (Şahin, 2019, s. 44)

COĞRAFI BELİRLEYİCİLER	İklim	<ul style="list-style-type: none"> Kent Girişlerinin Konumu Yapıların Yönlenmesi Kent Yapılarının Çatı Formu Yapıların Bitişik ya da Ayrık Düzendeki Uygulanması
	Topoğrafya/ Konum	<ul style="list-style-type: none"> Topoğrafik Yükseltiye Göre Kentin Konumlanması Kent Teraslamaları Kent Biçimlenmesi (Simetrik/Asimetrik) Komşu Kentler
	Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Kentte Kullanılan Yapı Malzemeleri
SOSYO-KÜLTÜREL BELİRLEYİCİLER	Yaşam Biçimi	<ul style="list-style-type: none"> Kentin Ana Geçim Kaynağı Kent Kullanım Biçimi Kentte Yapılan Eylemler Kentlinin Örgütlenmesi Kentte Bireylerin Edindiği Roller
	Kentin Yapısı/ Büyüklüğü/ Ulaşım Ağı	<ul style="list-style-type: none"> Kent Alanı Sınırları Kent Formu Kent Kullanım Şeması Kentin Diğer Kentlerle Olan Bağlantısı
	Kent Öğelerinin İlişkileri	<ul style="list-style-type: none"> Ortak Kullanım Alanları Özel Kullanım Alanları
TARİHSEL BELİRLEYİCİLER	Tarih Öncesi ve Tarih Dönemler İçinde Kent	<ul style="list-style-type: none"> M.Ö 3500 Öncesinde Oluşan Yerleşimler M.Ö 3500 Sonrası(İlk Çağ-Orta Çağ-Yakın Çağ-Yeni Çağ'da ortaya çıkan yerleşimler)
	Kentin Tarihi Kırılma Noktaları	<ul style="list-style-type: none"> Kentin Uğradığı İşgal Kentin uğradığı doğal afetler (Deprem, Sel vb.)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Ovalık Kilikya toprakları, geçmişi neolitik döneme kadar uzanması ve birçok uygarlığa ev sahipliği yapması gerçekliğiyle zengin kültürel birikime sahiptir. Bölge Neolitik dönem, Hitit dönemi, Pers dönemi, Seleuka krallığı dönemi, Roma dönemi, Bizans dönemi, Selçuklu dönemi, Osmanlı dönemi ve günümüz Türkiye'sine kadar ulaşan zengin tarihi geçmişe sahiptir. Şekil 2' de Kilikya bölgesine ait antik kentler ve Magarsos antik kentinin bölge içerisindeki konumu yer almaktadır.



Şekil 2. Dağlık ve Ovalık Kilikya Bölgesi İçerisinde Yer Alan Antik Kentler (Bilir, 2014'ten geliştirilerek)

3.1. Magarsos Antik Kenti Tarihi Belirleyicileri

Arrian, Plinius, Stephanus ve Strabon gibi yazarların kaynaklarında Magarsa, Magarsos, Megarsus (Μάγαρσα, Μάγαρσος, Μέγαρσος) adları ile bilinen antik kent, Ovalık Kilikya'nın liman yerleşimlerinden en büyüğü olarak tanımlanmaktadır. (Ener, 1986)

Magarsos'un kuruluşunu mitolojik bir olayla açıklayacak olursak; Strabon, Troia Savaşı sonrası bölgeye gelerek Mallos kentini kuran Apollon'un oğullarının aralarında yaşanan iktidar mücadelesi sonucunda yapılan düelloda Magarsos'ta hayatlarını kaybettiklerini ve mezarlarının da bu kentte bulunduğunu ifade eder (Strabon, 1993). Arrian kentin bir grup Argoslu tarafından kurulduğunu

aktarmaktadır (Ener, 1986). Bossert ise Pompeius'un eski korsanları yerleştirdiği kentler arasında yer almış olduğunu belirtir. (Bossert, 1950). Homeros'un İlyada'sında, Truva savaşçısı Misisli Mapsos, Truva'da savaştıktan sonra Kilikya ya dönerken, Yunanlı arkadaşı Akhad halkından Anflakos'u beraberinde getirir. İki savaşçı bugün ki Karataş'ın 5 km batısında Magarsus Antik Kenti'ni beraber kurarlar. M.Ö.1184 yılında Magarsus'un tek hakimi olma mücadelesi veren Mapsos ve Anflakos, denizi seyreden Magarsus Amfi Tiyatro da ölümüne bir dövüş yaparlar ve dövüş Anflakos'un ölümüyle sonuçlanırken, ağır yaralanan Mapsos da fazla yaşamaz (Anonim, 2013). Amerikalı arkeolog Marjory Veronica Seton Williams ve ekibi tarafından kent incelenmiş ve bir Roma yerleşimi olduğu belirtilmiştir (Williams, 1954). Sayar (1999), Karataş Burnu'nda bulunmuş olan bir onurlandırma yazıtındaki açıklamalara göre ticari ve askeri liman kenti olarak IV. Antiochos tarafından M.Ö 3. yüzyılın son çeyreğinde Antiocheia adıyla kurulmuş olduğunu ve Mallos kentinin yerine inşa edildiğini belirtmektedir (Sayar,1999).

Magarsos'un kuruluşunu çeşitli tarih kaynaklardan açıklayacak olursak;

- Geç Hellenistik dönemde (M.Ö. 3-M.Ö. 2) Pyramos (Ceyhan) Nehri batısında Kızıldahta Köyü yakınlarında kurulduğu ve nehir taşkınlarının taşıdığı alüvyonların altında kalarak önemini yitirdiği düşünülmektedir (Sayar ve Öztürk 2010).Karataş Burnu'nda bulunmuş olan bir onurlandırma yazıtındaki açıklamalara göre ticari ve askeri liman kenti olarak IV. Antiochos tarafından M. Ö 3. yüzyılın son çeyreğinde Antiocheia adıyla kurulmuş olduğunu ve Mallos kentinin yerine inşa edildiğini belirtmektedir (Sayar,1999). Karataş Burnu'nda ele geçen 102 parça keramik buluntularının kronolojik dağılımının kentin M.Ö 3. ve 2. yüzyıla tarihlendiği belirtilmiştir (Şahin, 2014).
- Yunanlar'ın hakimiyetinde olan kent bir dönem Pers yönetiminde kalmıştır (Ünal 2006)
- Büyük İskender 330 yılında İssos'ta Pers kralını yenerek bölgeye hâkim olmuştur (Erhan, 2016).
- M.S. 2'nci yüzyılda yaşamış olan antik coğrafyacı Arianos'un aktardığına göre; Büyük İskender'in Ceyhan Nehri'nin üzerine bir köprü inşa ettirip Magarsus kentine geldiği, antik tiyatronun 200 metre kuzeyindeki Athena Magarsia Tapınağı'nı ziyaret ettiği, sunularda bulunduğu, daha sonra kentin efsanevi kent kurucusu Anflakos' un mezarını ziyaret ettiği, sonra da buraya çok yakın olan Mallos'a geçtiği aktarılır.
- Sonra Selekos Krallığı hakimiyetinde kalmış.
- Daha sonra da Roma denetimine girmiştir. Roma denetimi bölgede M.S. 260 yılına kadar devam etmiş, ardından Doğu Roma İmparatorluğu bölgede hakimiyete başlamış.
- 4 ve 7. yüzyıllar arasında Bizans hakimiyeti,
- 8 ve 10. yüzyılda İslami seferlerle Abbasi dönemi yaşanmış.
- Kent kapılarından birinin üzerinde Ermeni Kraliyet armasının yer almış olmasından dolayı kentin bir dönem Ermeni hakimiyetinde olduğu anlaşılmıştır (Ener, 1986).
- 10. yüzyıldan itibaren tekrar Bizans hakimiyeti başlamış
- 12, 13, 14. yüzyıllarda Memluk hakimiyeti ortaya konulmuş.
- Daha sonra 15. yüzyılda Osmanlı'ya bağlı Ramazanoğlu Beyliği hakimiyetini görüyoruz. Daha sonra da doğrudan Osmanlı'ya bağlanıyor ve günümüze kadar tarihsel süreci geliyor (Erhan, 2016).

Günümüzde de izleri görülebilen kent surlarının doğu batı yönünde yol sistemi ile eşzamanlı yapılmış olduğunu ve ızgara planlı kent şemasına sahip Helenistik bir kentin savunma sistemine ait olduğunu belirtmiştir (Sayar, 1999). 2006-2009yılları arasında, jeofizik teknikler kullanılarak yapılmış olan yüzey araştırmasında ise sur duvarlarıyla çevrili kentin, ızgara planlı bir Hellenistik Dönem kenti olduğu belirtilmiştir (Rosenbauer, 2007).

3.2. Magarsos Antik Kenti Coğrafi Belirleyicileri

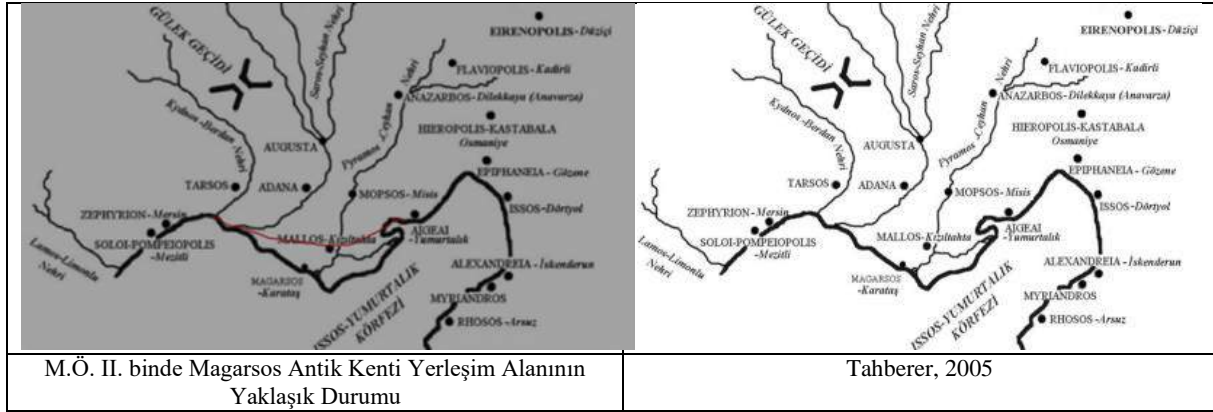
Kentin kuzeyinde Adana, güneyinde Akdeniz, doğusunda Akyatan gölü, batısında ise Aigeai antik kenti yer almaktadır. Bir ova üzerinde konumlanan ve denize bakan yamaçları yüksek bir falez görünümünde olan yerleşimin kıyı şeridinde doğal kumsallar ve kumul setleri ile deniz arasında sığ ve suları tuzlu, çevresi bataklık lagünler yer almaktadır. Akdeniz ikliminin egemen olduğu yerleşimin jeomorfolojik yapısı çoğunlukla alüvyon alanlardan oluşmaktadır (Dikmen ve Toruk, 2017).

Adana ili Karataş ilçesi sınırları içerisinde bulunan antik kent üç tarafı denizle çevrili olması nedeniyle tarihte önemli liman kentlerinden biri olmuştur. Mallos kentinin nehir taşkınları sonrası alüvyonlar altında kalması sonucu, bu kent halkının taşındığı yerleşim yeri olarak bilinmektedir. (Sayar, 1993). Mallos'un, taşkınlar nedeniyle önemini yitirerek alüvyonal toprağın altında kaldığı, böylece M.Ö. 3. yüzyılın son çeyreğinden itibaren terk edilerek yerini Magarsos'a bıraktığı anlaşılmaktadır (Sayar, 2011).

Antik Magarsos kenti, liman aracılığıyla ticaret yapılmasını kolaylaştırması ve Ceyhan nehri kıyısında kurulmuş olan Mallos, Mopsouhestia (Misis), kentlerinin deniz bağlantısını sağlamış olması açısından, stratejik öneme sahip olmuştur (Altay, 1965). Doğal limana sahip olan bu antik kentte artan ticaret ilişkileri nedeniyle ilerleyen dönemlerde dalgakıranların eklenmiş olduğu ve limanın genişletildiği bilinmektedir. Magarsos kentinin önce liman kent olarak kurulduğu ileri dönemlerde ise artan mal ve ticaret talebi ile genişlediği düşünülmektedir.

Sahanın delta ovası olması ve Akdeniz iklimine sahip olması nedeniyle, zengin toprak özelliğine sahip olmuş ve tarımsal verimliliği artırmıştır. Yılda en az iki kez ürünün alındığı bölgede tarım, geçmişten günümüze önemli bir geçim kaynağı olmuştur (Kafalı Yılmaz, 2019). Güney çalışmasında eski kıyı çizgisinin Mersin'den doğuya Kazanlı'ya, buradan Ağzıdelik, Çöplü ve Kuransa köyleri yakınından geçmiş olduğunu, bu hattan da Dervişler mevkesine ve güneydoğuya doğru Domuz Tepe'ye yöneldiği tespit edilmiştir (Göney, 1976). Bu bilgiler ışığında dönemin kıyı çizgisini belirleyecek olursak aşağıdaki Şekil 3'de ulaşılabilmektedir. Bu doğrultuda M.Ö II. binde Misis, Tarsos ve Adana antik kentlerinin Akdeniz kıyısına çok yakın oldukları görülmektedir. M.Ö II. binde Ovalık Kilikya bölgesinde var olmayan antik kentlerinin ise Magarsos, Mallos antik kentleri olduğu öngörülmüştür. Bu doğrultuda Ceyhan

nehirnin taşımış olduğu alüvyonlu toprağın denizde dökülmesiyle zamanla bu delta ovası oluşmuş ve yerleşim alanı olarak kullanılmış olduğunu düşündürmüştür.



Şekil 3. M.Ö II. binde varolduğu düşünülen kıyı çizgisi ile Ovalık Kilikya haritasında araştırmada incelenen antik kentlerin konumları (Tahberer, 2005 ve Google earth hava fotoğrafı)

Prof. Bossert çalışmalarında Magarsus kentinin kalesinin sağ batısından Ceyhan nehrinin denize döküldüğünü ve ticari yük gemileri, Magarsus denetiminde kalenin dibindeki batı kenarından Ceyhan nehrine girerek, bugünkü Kızıltaha köyünde yer alan antik Mallos kentine ulaşarak, getirdikleri yağ, şarap, sabun ve zeytini satıp, buradan da tahıl, baharat, ipek ve canlı hayvan taşınmış olduğunu belirtmektedir. Aynı zamanda gemilerin Misis'e ulaştıklarından da bahsetmektedir (Bossert, 1950).

Tahberer haritasında Ceyhan nehrinin batı komşuluğunda belirtmiş olduğu Mallos antik kenti, günümüzde toprak altında kalmış olması ve antik çağ gezginlerinin tariflenmiş oldukları coğrafyanın değişmiş olmasından dolayı yer tespiti ile ilgili çeşitli görüşler bulunmaktadır.

Durukan (2017), çalışmasında, Ptolemaios'un Mallos'u Pyramos'un doğusuna yerleştirmiş olduğunu, Romalı tarihçi Q. Curtius Rufus'un ise, İskender'in Magarsos'tan Mallos'a bir köprü aracılığıyla ulaşmış olduğundan bahsettiğini, bununla Magarsos Ceyhan nehrinin batısında olduğu için Mallos'un doğu yer aldığı şeklinde yorumlanması gerektiğinde bahsetmektedir. Heberdey-Wilhelm de Mallos'u Pyramos Nehrinin doğusunda aramak gerektiğini vurgulamışlardır (Heberdey ve Wilhelm, 1896). Bossert ise Mallos'u Pyramos'un batı kıyısına yerleştirmektedir (Bossert, 1950). Magie, bu görüşü desteklemekte ve kenti Pyramos'un sağ kıyısında (batı) aramak gereğine dikkat çekmektedirler (Magie,1950). Mallos'un, taşkınlar nedeniyle önemini yitirerek alüvyonal toprağın altında kaldığı, böylece M.Ö. 3. yüzyılın son çeyreğinden itibaren terk edilerek yerini Magarsos'a bıraktığı anlaşılmaktadır (Sayar, 2011). Magarsos kentinin de M.S. 333 yılında Suriye ve Kilikya'da yaşanmış olan veba salgını ile sonrasında çıkan isyanın neticesinde kentin gerilemeye geçtiği bilinmektedir. Bu neticeyle birçok coğrafik belirleyicilerin öncülüğünde Magarsos antik kentini oluşturduğu, şekillendirdiği ve yok ettiği görülmüştür.

3.2. Magarsos Antik Kenti Sosyo-Kültürel Belirleyicileri

Antik kentlerdeki mimari ve estetik yapı ile toplumsal yaşam ve düşünsel yaşam arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Dönemin düşünce ve yaşam tarzının dönüşmesiyle oluşan kentler varlıklarıyla bize dönemin yaşam biçimi hakkında çeşitli bilgiler sunmaktadır.

Hellen yaşamında, bütün kent belirli bir tanrıya ait olmuştur (Wycherley, 2011). Magarsos antik kenti de M.Ö. 140 yılına tarihlenen bir yazıtta Magarsos kentinde bulunan tanrıça Athena Magarsia'ya adanmış tapınağın varlığı tespit edilmiştir (Sayar, 1999). Bu bilgi ile kentin tanrısının Magarsia olduğu söylenebilir. Tanrılarla kent arasındaki ilişki, bazı kültürlerle bina arasındaki ilişkiye benzer nitelikte olmuştur. Bu bağlamda önemli yapılarda bulunan sunak ve heykeller mitolojik inanışlar çerçevesinde bahsi geçen kişiye adanmış ürünler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Eski Yunanların ürettiği ilk edebi eser olan Homeros'un İlyada'sı, Geç Tunç Çağı'nda yapılmış Troya Savaşı'ndan esinlenilerek üretilmiş olduğu bilinmektedir. Savaşın taraflarından birisi Akhalar, diğeri Troyalılardır. 10 yıl boyunca devam eden bu savaşın Troya merkezli olarak devam etmediği farklı cephelerde de savaşılmış olduğu belirtilmiştir. İnanç sistemleri gereği savaşın tarafı olan Athena tanrısı Akhaların tarafını tutmaktadır (Kaya, 2017). Magarsos antik kentinde yer alan tapınağın Athena Magarsia olarak adlandırılması, savaşın farklı bir cephesi olan doğu akdeniz limanında Akhaların kazanarak tanrıya şükürlerini göstermenin bir türü olarak yorumlanabileceği düşünülmüştür.

Antik Çağlar boyunca kentler; siyasi, ekonomik ve sosyal yaşamın merkezleri olduğu için, her kent bu işlevlerini yerine getirecek, kentsel yapılara ihtiyaç duymuştur. Bu kentsel yapıların nereye, ne şekilde yapılacağı konusu; M.Ö. 6. yüzyıldan itibaren kent planlığını gündeme getirmiştir. (Fidan, 2016).

Liman kentleri, deniz aşırı toplumların uğrak ve geçiş yeri olduklarından en başta kullanılan dil açısından üretim ve tüketim ilişkileri bakımından, sosyal yaşam ve davranış kalıpları açısından, dünyalık işlerin yürütümü noktasında evrensel hukuk ve ulusal hukuk örgütlenmeleri açısından, çoğulculuğun koordinasyonu zorunluluğunu görmekteyiz

Helenistik dönemde başlayan kolonizasyon, hammadde arayışı için kentten uzaklaşan topluluklar ile başlamıştır. Ana kentten uzaklaşan kolonilerin yeni yerleşimleri hızlı bir şekilde oluşturma istekleri, düzenli kent plancılığının ilerlemesini hızlandırmıştır. Yeni pazarlar, hammaddeler ve yeni topraklar bulma çabası ile Yunanlılar M.Ö 8. yüzyılda başlayarak Akdeniz çevresinde yerleşimler kurmuşlardır (Mansel, 1995).

İskender'in Asya seferleri sonrasında, Yunan kültürünün doğuya yayılması sonucu ortaya çıkan kozmopolit ve seküler Helenistik dönem başlar. Bu dönemde Yunan kültürü kendi içine kapalı olmaktan çıkmış ve savaşlar sonucunda kurulan yeni imparatorluğun halkları ile etkileşime geçerek kültürel farklılaşma yaşamıştır (Bilal, 2019).

Magarsos' da antik Yunan kültür dünyası dört aşamada şekillenmiştir

1. Aristoteles ile gelişen klasik Yunan felsefesi dar anlamda yine Aristoteles ile beraber sona ermiştir. (Hellen Dönemi)
2. İskender'in Asya seferleri sonrasında başlayan Yunan kültürünün doğuya yayılması sonucu ortaya çıkan yeni oluşum ile kültürel birliktelikler oluşmuştur.
3. Yeni oluşuma bir tepki olarak ortaya çıkan Yunan pagan dininin doğu dinlerinin etkisiyle, dini problemler, felsefi bir dil içinde yorumlanmaya başlanmıştır.
4. Son olarak da Yunan düşüncesinin doğu dinlerine teslim olduğu, Hıristiyanlık, Zerdüştlük gibi dinlerin etkisi altında, Yunan düşüncesinin dinsel bir dünya görüşüne dönüştüğü ve dinsel problemlere odaklandığı bir dönem gelişmiştir (Bilal, 2019).

Magarsos Antik Kentinin, Ovalık Kilikya'nın önemli sahil kenti Mallos'un kutsal bir mekânı ve bir uydu kent (genel olarak Mallos kentine bağlı, Mallos'un yakınlarında oluşmuş bir yerleşim) olduğu düşünülmektedir (Verner, 1951).

Bazı onurlandırma yazıtlarında ticari ve askeri liman olarak Mallos kentinin yerine kurulduğu ifade edilmektedir (Sayar, 1999). M.Ö. 140 yılına tarihlenen bir yazıtta Magarsos kentinde bulunan tanrıça Athena Magarsia'ya adanmış tapınağın dönemin önemli kehanet merkezlerinden biri olduğu ifade edilmektedir (Sayar, 1999). Bu bağlamda kentte ticari, askeri ve dini örgütlenmenin olduğundan söz edilebilir.

M.Ö.2.yüzyılın ortalarında Rodos'un etkinliğinin kaybolması, Akdeniz'de tehdit oluşturan korsanlara karşı Roma İmparatorluğu tarafından gerçekleştirilen müdahaleler, Kilikya'nın siyasal ve kültürel yapısını değiştirmiş olmalıdır (Ünal ve Girginer 2007) Korsanlar, Romalılar ve taht kavgaları nedeniyle giderek zayıflayan Seleukos yönetiminin Kilikya'yı koruyamadığı, yerleşimin Ermeni Kralı Tigranes tarafından işgal edildiği (M.Ö. 83), yeni kurulan başkent Tigranokerta'ya (Silvan) zorla götürülen bölge halkının ancak Roma egemenliği döneminde yurtlarına dönme olanağı bulduğu (M.Ö. 68) aktarılmaktadır (Sayar, 2000).

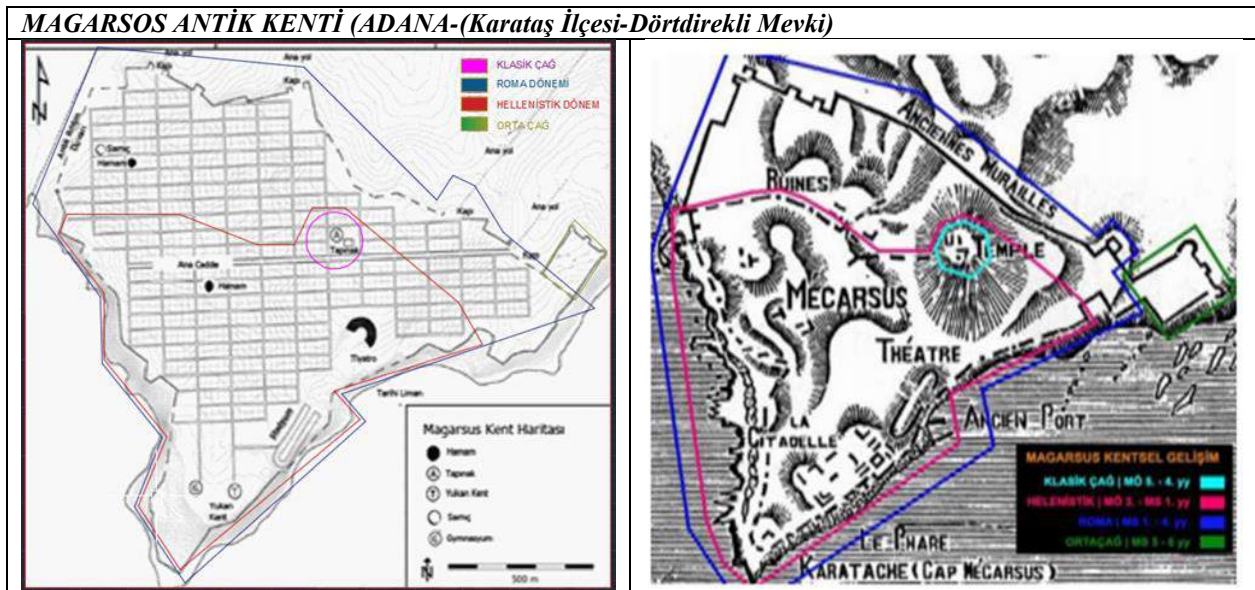
Multidisipliner bilgiler içeren bu çalışmada, kent olgusunun şekillenmesine öncü olan, coğrafi, sosyo-kültürel, tarihsel belirleyicilere ait bulgular değerlendirilerek Magarsos antik kenti için Tablo 3'de yer alan sistematik bulgular oluşturulmuştur. Böylece bugüne kadar yazılı olan multidisipliner çalışmaları özetleyerek birlikte görüp değerlendirme olanağı sunulmuştur.

Tablo 3. Magarsos-Karataş Antik Kenti Analiz Modeli Bulguları

MAGARSOS-KARATAŞ ANTİK KENT ANALİZ MODELİ BULGULARI		
COĞRAFI BELİRLİYİCİLER	İklim	<ul style="list-style-type: none"> Kent Girişlerinin Konumu: Kuzey giriş Yapıların Yönlenmesi: Kuzey -Güney yönünde Yapıların Bitişik ya da Ayrık Düzendeki Uygulanması: Ayrık düzende
	Topoğrafya	<ul style="list-style-type: none"> Akdeniz kıyı liman kenti Üç tarafı denizle çevrili Mallos kentinin uydu kenti (Durukan, 2017) Misis ile Ceyhan nehri üzerinden bağlantılı Kuzey-Güney yönelimli
	Malzeme	<ul style="list-style-type: none"> Yerel Kireçtaşı, Tuğla, Mermer
SOSYO-KÜLTÜREBELİRLİYİCİLER	Yaşam Biçimi	<ul style="list-style-type: none"> Kentin Geçin Kaynağı: Ticaret-Balık üretimi Kent Kullanım Biçimi: Askeri Deniz Donanma Üssü-Koloni Kent-Dini Merkez-Uydu Kent Kentte Yapılan Eylemler Kentlinin Örgütlenmesi: Askeri Örgütlenme-Dini Örgütlenme -Ticari Örgütlenme Kentte Bireylerin Edindiği Roller- Tüccar-Aile bireyi-Asker
	Kentin Yapısı/ Büyüklüğü	<ul style="list-style-type: none"> Liman Kent-Helenistik dönem askeri koloni kent Kent Formu: Geç Helenistik dönem-Roma Dönemi- Arap Dönemi- Ermeni Krallık döneminde şekillenmiştir Kent Kullanım Şeması: Kuzey Güney ana aksında Kentin Büyüklüğü: Roma dönemi yaklaşık 2 km²
	Kent Öğelerinin Varlığı	<ul style="list-style-type: none"> Ortak Kullanım Alanları: Tiyatro, Kilise, Hamam, Tapınak, Stadion, Gymnasion, Nekropol, Sarnıç, Ana cadde, Liman Özel Kullanım Alanları: Konut
TARİHSEL BELİRLİYİCİLER	Tarih Öncesi ve Tarih Dönemler İçinde Kent	<ul style="list-style-type: none"> Geç Helenistik Dönem Roma Dönemi Bizans Dönemi Orta Çağ Dönemi Arap Dönemi Ermeni Dönemi
	Kentin Tarihi Kırılma Noktaları	<ul style="list-style-type: none"> Pyramos'un sık sık yatak değiştirmesi Kentin kuzey kesiminin alüvyonla dolması ile topoğrafyanın değişmesi

Bu bilgiler doğrultusunda ve taranan kazı raporları sonucunda Tablo 4' de Magarsos Antik Kenti envanteri oluşturularak kenti bütüncül olarak tanımlamamız sağlanmıştır. Bu envanter çalışması, antik kentin kullanım amacını, jeopolitik önemini, mekânsal öğelerini ve kent planını ayrıntılı olarak ortaya koymaktadır. Antik kentlerin okunabilirliğine katkı sağlayan ve sistematik veriler içeren Magarsos antik kent envanter çalışması, kentin oluşumundaki arka planın okunabilmesine katkı sağlamıştır.

Tablo 4. Magarsos-Yumurtalık Antik Kenti Envanteri



Rosenbauer, 2007 haritasından geliştirilmiştir.	Alishan, 1899
Kentin Tarihte Kullanılan Adları: Magarsa-Magarsos-Megarsus (Antik Çağ) –Karataş (Ortaçağ)	
Kent: Askeri ve Ticari Yollar Üzerinde Kurulmuş üç tarafı denizle çevrili-Mallos kenti nehir taşkını ile alüvyonlar altında kalınca yerini aldığı düşünülen kent	
Komşu Kentler: Doğu, batı, güneyde: deniz bağlantısı, Kuzey: Mallos, Kuzey doğu: Yumurtalık,	
Kent Kullanımı: Ticari ve Askeri Liman Kent ve Dini merkez-Mallos'un Uydu kenti	
Kent Surları: Deniz boyunca deniz surları ve doğu batı yönü yol sistemi ile eş zamanlı kara surları	
Köprü: Kızıtahta köyü-Akdeğirmen mevkiinde yer alan köprü doğu-batı yönünde bir yol sisteminin devamı olduğu yerleşime batı yönünden gelenleri Aigeai'ye ulaştırdığı düşünülür.	
Tapınak: Kentin doğusunda tepe üzerinde-Athena Magarsia Tapınağı	
Tiyatro: Var (Hipodromun doğusunda-cavea güney yönüne yash) Yaklaşık yaklaşık 3000 kişilik ve 150 metre genişlik 30metre uzunluğunda	
Kilise: Bizans Dönemi Kilisesi (Sen Nikola Adına)	
Hipodrom: Var (Arazinin güneyinde kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda konumlanmış)	
Havuz: Balık kurutma ve Tuzlama Havuzları	
Stadyum: Var- Deniz Feneri: Var- Kale: Var- Nekropol: Var- Hamam: Var	
Sarnıç: Var (İki adet)	
Liman: Var	
M.Ö. II. Yüzyılda kentin var olduğu bilinmektedir.	

4. Sonuç

Antik kentlerin kazı süreçleri uzun yıllar almaktadır. Kazı alanında yıldan yıla yeni ulaşılan bilgiyle, o güne kadar edinilmiş bilgiler harmanlanmakta ve yeniden değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme sürecine başlamadan multidisipline bir yaklaşımla kente dair yapılmış olan çalışmaları bütünsel olarak görmek ise kentin kurgusu hakkındaki değerlendirme sürecine katkı sağlayacağını düşündürmüştür. Böylece kent analiz modeli doğrultusunda, tarihsel, sosyo-kültürel ve coğrafi belirleyicileri sayesinde Magarsos antik kentinin okunabilirliğine dair, Magarsos antik kenti analiz modeli ölçütleri ile Magarsos antik kent envanteri oluşturulmuştur. Bu çalışmada ayrıca kentin mimari, arkeolojik bulgularına dair önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

- ✓ Klasik dönemde yerleşim ağında sokakların aynı ölçüde olduğu ve baskın hatlar bulunmadığı görülmüştür. Ayırıştırılan yapı adalarının büyüklükleri dönemine göre çeşitlilik göstermiştir. 5.yüzyıl'ın sonlarına doğru ise, ana trafiğin yoğunlaştığı hattın diğerlerinden daha geniş olması ihtiyacından kenar parsellerden alınarak parsellerin küçültülüp, caddelerin genişletilmiş olduğu düşünülmektedir (Tanaç, 2000). Bu bilgiler ışığında kent tarihlemesi yaparken antik bir kentte insula sistemi ile ana aks-sokak genişlik ilkesine bakarak da kente dair okuma yapılabilmektedir. Magarsos antik kentinde sadece doğu batı yönündeki genişlemenin ana yol aksı komşuluğunda bulunan insulala boyutlarını küçültmediğinden dolayı, bu yol aksının Roma değil Hellenistik dönemde kentin kurulması aşamasında planlanmış olduğunu göstermiştir.
- ✓ Gelişmiş olan koloni kentler önceden tasarlanmış bir plan dahilinde kurulmuştur. Kentin doğrultusu, güneş, su ve rüzgar yönü hesaplanarak tespit edilmiş ve trafiği düzenlemek için geniş ve düzgün caddeler dik açıyla kesişmiştir. Kuyular açılmış, gerektiğinde yer altından borularla su getirilmiş, kirli suların toplanması için kanalizasyon sistemi geliştirilmiş ve bunu uygulamak içinde binalar gruplandırılmıştır. Geç Hellenistik Dönemde kurulmuş olan kentlerde insula içlerinde binaların işlevlerine göre gruplandırıldığı görülür. Magarsos antik kentinde hamam yapısının ana cadde komşuluğunda yapılmış olması ana aks cadde boyunca bir kanalizasyon ve su sistemi ile yapıya su sağlanmış olacağını düşündürmektedir. Erken Hellenistik dönemde ise yapılar da anıtsallık kavramı gelişmiştir. Kent için daha çok kentin imgeleri anlam taşımaktadır. Kente ait erken Hellenistik dönem örneği olan Magarsia tapınağı da bu anıtsallık ile kentin imgesini oluşturmuştur.
- ✓ Kentte yer alan ½ oranında düzenli insula ebatlarının bulunması kentin Helenistik dönemde demokrasi ile yönetilen dönemde inşa edildiğini vurgulanmaktadır.
- ✓ Magarsos' un jeopolitik konumu, doğunun (Asya) veya batının (Antik Yunan, Makedonya, Roma ve Bizans) ticari ilişkisine öncülük etmek dışında, farklı sosyo-kültürel değerlerinde iletişimine sebep olmuşlardır.
- ✓ Magarsos kenti halkı, savaşın yıkıcı etkisinden korunmak, kendileri ve kentlerini korumak, ticaret yaptıkları ürünleri korumak, limanlarını korumak için kent duvarları örmüş oldukları görülmektedir.
- ✓ Antik dönemde yaşayan halkın yaşadıkları kentte tanrıyı kişiselleştirmiş oldukları bilinmektedir. Tanrının kenti koruduğu, kentin de tanrıya ait olduğu düşüncesiyle tanrıya adanan tapınakların kurulduğu görülmektedir. Magarsos' da yer alan Athena Magarsia tapınağı tek tanrılı dine geçmeden önce, inanmış oldukları tanrılardan birine adanmış yapı olarak karşımıza çıkmaktadır.
- ✓ Magarsos antik kentlerinde doğu-batı yönünde decumanus aksının bulunduğu, cardo aksının yer almadığı saptanmıştır.
- ✓ Hellenistik dönem kenti olan Magarsos' un liman ve nehir bağlantısını ile kent dışı bağlantılarında ticareti kullanıyor olmasının bir sonucu olarak Yunan düşünce yapısı ile doğu etkisinde kalmış bölge topraklarının düşünce yapısının kültür alış-verişi kurarak sentezlenmesinde öncülük etmiş olduğu öngörülmüştür.
- ✓ Magarsos antik kentinin Hellenleşmesinde yani Hellen kenti özelliği taşımasında koloni kenti olarak kurulmasının büyük katkısı bulunmaktadır.
- ✓ Çalışmadan elde edilen bulguların, Magarsos antik kenti kazı alanlarının yönetimine multidisipliner bir yaklaşımla veriler sunması açısından katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu veriler ışığında tarihi anlamanın somut bir aracı olan antik kentler için, çok boyutlu kent analiz modeli ölçütleri oluşturulmuştur. Arkeolojik kentlerin okunabilirliğine katkı sağlayan ve sistematik veriler ortaya koyması açısından önem taşıyan bu çalışmada, kullanılan yöntemin benzer özyapıdaki diğer kentlerde de benzer ya da değişkenlik gösteren biçim ve içerikle kullanılabilirliğine ve antik kentler arası karşılaştırmanın yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada belirtilen sistematik belirleyiciler sayesinde, kent okumalarını destekleyici bütüncül bir yaklaşımın sağlanacağı öngörülmektedir. Kentsel arkeoloji alanındaki çalışmaların sınırlı sayıda olması nedeniyle çalışma yönteminin bu alandaki farklı kapsamlı çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada yapılan inceleme, araştırma ve gözlemler sonucu elde edilen bulgular ve öneriler çerçevesinde, diğer antik kentlerin analiz edilmesi ve kent kurgularına dair sistematik okumanın sağlanabilmesi ile kentler arasındaki benzerlik ve farklılıkları kıyaslanmanın, tarihsel sürecin analitik çerçevede değerlendirilmesine olumlu katkılar sağlayabileceği öngörülmüştür.

Kaynakça

- Alishan, L. M., (1899). Sissouan ou L'Arméno-Cilicie. Des Description Géographique et Historique. Venise-S. Lazare: Publié Sous Les Auspices.
- Altay, M. H., (1965). Adım Adım Çukurova, Adana.
- Anonim., (2013). <https://www.haberler.com/bakan-celik-magarsus-antik-kenti-kazilarini-5111413-haberi/> (erişim tarihi: 15.01.2020).
- Bilal, A., (2019). <https://www.filozofunyuolu.com/helenistik-donem/helenistik-donem-ve-epikuros/> (erişim tarihi: 01.02.2020).
- Bilir, A., (2014). Roma Dönemi Doğu Akdeniz Deniz Ticaretinde Kıyı Kilikya Bölgesinin Yeri ve Önemi doktora tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Arkeoloji Anabilim Dalı Klasik Arkeoloji Bilim Dalı, Konya.
- Bossert, H. Th., (1950). "Karataş'taki arkeolojik araştırmalar hakkında kısa ön rapor. Belleten XIV, 661-666.
- Dikmen, Ç ve Toruk, F., (2017). Magarsos Antik Kenti Anıtsal Yapılarının Korunmasına Yönelik Öneriler. Social Science Studies Cilt 5, Sayı 9, s. 41-64.
- Durukan, M., (2017). Yeni Veriler Işığında Mallos, Magarsos ve Antiokheia Pyramos Problemi, OLBA XXV.
- Ener, K., (1986). Tarih Boyunca Adana Ovasına Bir Bakış, 103-110, İstanbul.
- Erhan, F., (2016). Tarihte Adana ve Çukurova Cilt I. İlkçağ'dan Ortaçağ'a Adana ve Çukurova (Edt: Yılmaz Kurt, Fatih Sansar), s. 279-306, Adana.
- Fidan, A., (2016). Kent Akademisi | Kent Kültürü ve Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi | Cilt: 9 Sayı: 3 Sonbahar 2016 sayfa 86.
- Göney, S., (1976). Adana Ovaları, İstanbul.
- Heberdey, R., Wilhelm, A., (1896). Reisen in Kilikien, Wien.
- Kafalı, Yılmaz, F., (2019). Adana Ovaları'nda Endüstriyel Tarım Bitkilerinin Üretimindeki Değişiklikler. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 23 (3), 973-986.
- Kaya, M. A., (2017). Troya ve Troya Savaşı: Efsane ve Tarih, Akademik-der Tarih, Eğitim, Bilim ve Kültür Dergisi 1, 1-14.
- Lynch, K., (1960). The Image of the City. Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press.
- Lynch, K., (1981). A Theory of good city form. Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press.
- Magie, D., (1950). Roman Rule In Asia Minor, Princeton.
- Mansel, A. M., (1995). Ege ve Yunan Tarihi, T.T.K, Ankara.
- Özcan, U ve Güngör, S., 2019. Geleneksel Türk Evi ile Geleneksel Japon Evi'nin Yapısal Açından Karşılaştırılması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 16, S. 646-661.
- Rosenbauer, R., (2007). "Topographisch-Urbanisitischer Survey des Ruinengeländes am Kap Karataş/Türkei", Vorbericht zur ersten Kampagne 2006. HASB 20, 107-119.
- Rosenbauer, R., (2007). "Topographisch-Urbanisitischer Survey des Ruinengeländes am Kap Karataş/Türkei", Vorbericht zur ersten Kampagne 2006. HASB 20, 107-119.
- Sayar, H. M., (2000). "Kilikya'da Epigrafi ve Tarihi Coğrafya Araştırmaları 2000", XIX. Araştırma Sonuçları Toplantısı- II, Milli Kütüphane Basımevi, Ankara.
- Sayar, M. H., (1999). "Kilikya'da Epigrafi ve Tarihi Coğrafya Araştırmaları1999", XVIII. Araştırma Sonuçları Toplantısı, I, Milli Kütüphane Basımevi, s. 275-288. Ankara.
- Sayar, M. H., (1999). Kilikya'da Epigrafi ve Tarihi Coğrafya Araştırmaları1999", XVIII. Araştırma Sonuçları Toplantısı- I, Milli Kütüphane Basımevi, s. 275-288, Ankara.
- Sayar, M. H., (2011). "Çukurova Yüzey Araştırmaları 2011", XXX. Araştırma Sonuçları Toplantısı II, Çorum, 2013.

- Sayar, M. H., (1993). Doğu Kilikya'da Epigrafi ve Tarihi-Coğrafya Araştırmaları 1991. Araştırma Sonuçları Toplantısı, X, Ankara.
- Sayar, M. H., Öztürk, İ. G., (2010). İstanbul Üniversitesi Adana, Osmaniye, Hatay ve Mersin İlleri 2008 Yılı Eskiçağ Yerleşim Arkeolojisi ve Tarihi-Coğrafya Araştırmaları, XXVII. Araştırma Sonuçları Toplantısı-I, İsmail Aygül Ofset Matbaacılık, s. 247-250, 453-458, Ankara.
- Strabon., (1993). Antik Anadolu Coğrafyası-Geographika Kitap XII-XIII-XIV, s.14-16. İstanbul.
- Şahin, Durgun, Y., (2019). Ovalık Kilikya Bölgesi Roma Antik Kentlerinin Mekân Dizim Yöntemi ile Analizi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı. Adana.
- Şahin, R., (2014). Karataş Burnu Yüzezy Araştırmasında Bulunan Hellenistik ve Roma Dönemi Keramikleri. TÜBA-AR-17.
- Tahberer, B., (2005). Antik Kilikya Sikkelerinde Asklepios Kültü. Ç.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Deontoloji ve Tıp Tarihi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Tanaç, M. (2000). Batı Anadolu Antik Yerleşimlerinde Kentsel Mekân Kurgusu Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Ünal, A. Girginer, K, S., (2007). Kilikya-Çukurova, İlk Çağlardan Osmanlılar Dönemine Kadar Kilikya'da Tarihi Coğrafya, Tarih ve Arkeoloji, s.226. İstanbul.
- Ünal, A., (2006). Hitit İmparatorluğunun Yıkılışından Bizans Döneminin Sonuna Kadar Adana ve Çukurova Tarihi. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Cilt 15 Sayı 3, s. 67-102, Adana.
- Ünlü, T, S., (2017), Kent Kimliğinin Oluşumunda Kentsel Bellek ve Kentsel Mekân İlişkisi: Mersin Örneği. Planlama, 27(1):75-93.
- Verner, R., (1951). Eine Griechische Inschrift Aus Karataş, Jahrbuch für Kleinasiatiscche Forschung I, p. 256-259, 325-327, Heidenbur.
- Williams, S. V. (1954). Cilicia Survey, Anatolian Studies Vol 4, p.121-174, Ankara.
- Wycherley, R, E., (2011). Antik Çağda Kentler Nasıl Kuruldu? Arkeoloji ve Sanat Yayınları. 4. Baskı.İstanbul.



Siirt İli Tillo Tabiat Parkı'nın Kullanıcı Memnuniyeti Açısından Değerlendirilmesi

Arzu Altuntaş^{1*}

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1258-3875)

(İlk Geliş Tarihi 17 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.690258)

ATIF/REFERENCE: Altuntaş, A., (2020). Tillo Tabiat Parkı'nın Kullanıcı Memnuniyeti Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 359-367.

Öz

Yaşam koşullarının giderek zorlaşması insanların rekreasyon ihtiyaçlarının artmasının en önemli sebeplerinden biri olarak sayılmaktadır. Özellikle şehirlerde yaşayan kişiler, bu ihtiyaçlarını giderebilmek için kısa süreli de olsa yakın çevrelerindeki doğal alanları tercih etme eğilimindedirler. Bu nedenle özellikle kent içinde ve kent yakın çevresinde bulunan mesire alanları, kent ormanları ve tabiat parkları en çok ziyaret edilen doğal alanlar arasında yer almaktadır.

Kent içinde ve yakın çevresinde bulunan doğal alanlar insanlara hem dinlenme ve manzara izleme imkanları sunmakta ve hem de alanın özelliklerine göre piknik yapma, kuş gözlemciliği, fotoğrafçılık, dağcılık, kaya tırmanışı gibi farklı aktivitelerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu tür rekreasyonel aktivitelerde, alanın sahip olduğu özellikler ve kullanıcı memnuniyeti ziyaret sıklığı ile yoğunluğunu etkilemekte, kişilerin alan seçimlerinde yol gösterici olmaktadır. Bir alanın doğal özellikleri ya da alanda yapılabilecek aktivite sayısı ne kadar fazlaysa o alanın kullanıcı sayısı da o oranda artmaktadır. Çoğu durumda ise insanlar yaşadıkları yere en yakın olan alanı tercih etme eğilimi göstermektedir.

Bu çalışmada Siirt ili Tillo ilçesinde yer alan Tillo Tabiat Parkı kullanıcı memnuniyetinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tillo Tabiat Parkı, Siirt ilinde yer alan ve 2014 yılında ilan edilen tek tabiat parkı olup kent merkezine yaklaşık olarak 9 km uzaklıkta bulunmaktadır. Çalışma amacına göre arazi gözlemleri ve literatür taraması yapılmış; yöre halkına uygulanan anket sonuçları istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Alan kullanıcıları için hazırlanan anket, % 95 güven aralığında, 2018 yılı Haziran – Eylül dönemleri arasında tesadüfi yöntemle seçilen 100 kişiye yüz yüze görüşme şeklinde uygulanmıştır. Çıkan sonuçlara göre yöre halkı Tillo Tabiat Parkı'ndan genel anlamda memnuniyet duymaktadır. Park yöre halkı tarafından özellikle hafta sonu akşam saatlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Alanın uzun süreli güneş ışığına maruz kalması ve gölgeleme ihtiyacının fazla olması gibi sebepler ise parkın kullanımını sınırlandıran etmenler olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tabiat Parkı, Rekreasyon, Kullanıcı Memnuniyeti, Siirt, Tillo Tabiat Parkı

The Determination of User Satisfaction in Tillo Nature Park in Siirt

Abstract

Increasingly difficult living conditions are considered as one of the most important reasons for the increase of recreational needs of people. Particularly in cities, people tend to prefer nearby natural areas, even if they have short time to meet these needs. For this reason, especially recreation areas, urban forests and nature parks in or near the cities are among the most visited natural areas.

The natural areas in and around the city offer people the opportunity to rest and enjoy the scenery. It also allows different activities such as picnic, bird watching, photography, mountaineering, rock climbing according to the characteristics of the area. In such

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1258-3875, arzualtuntas@yahoo.com.tr

recreational activities, the features of the area and user satisfaction affect the frequency and intensity of visits and it guides people for the selection of the area. The more natural features of an area or the number of activities that can be done in the area increases the number of users of that area. In most cases, people tend to prefer the area closest to where they live.

In this study, it was aimed to evaluate the user satisfaction of Tillo Nature Park in Tillo, Siirt. Tillo Nature Park is the only nature park in Siirt province that was announced in 2014 and is approximately 9 km from the city center. According to the purpose of study, field observations and literature searches were made. The questionnaire, prepared for the field users, was applied in a face-to-face interview to 100 people selected by random method between June and September 2018, with a 95% confidence interval. The survey results applied to the local people were analyzed with statistical methods. According to the results, the locals are generally satisfied with Tillo Nature Park. The park is frequently preferred by local people, especially at the weekend evening hours. Reasons such as long-term exposure of the area to sunlight and high need for shading were determined as factors limiting the use of the park.

Keywords: Nature Park, Recreation, User Satisfaction, Siirt, Tillo Nature Park

1. Giriş

Nüfus artışı, teknolojideki yeni gelişmeler, iş gücü talebinin artması, sanayileşme ve göç gibi nedenler özellikle Endüstri Devrimi sonrası plansız ve hızla gelişen kentlerin oluşmasına sebep olmuştur. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de doğal alanlar yok edilmeye, peyzajda hızlı bir değişim yaşanmaya ve beton kentler oluşmaya başlamıştır. Bunun sonucu olarak, oluşan bu mekanlardaki baskılar, ulaşım ile ilgili problemler ve gün geçtikçe artan çevre sorunları gibi faktörler insan hayatını fiziksel, sosyal ve ruhsal açıdan tehdit etmektedir (Akten, 2003; Yılmaz vd., 2009).

Özellikle, büyük şehirlerde ve bu alanlara yakın yerlerde görülen olumsuz etkiler, insanların rekreasyon ihtiyacını ve dolayısıyla da kentsel ve kent yakın çevrelerinde açık yeşil alan gereksinimini gündeme getirmiş; rekreasyonel planlamaların yapılması zorunluluğunu ortaya koymuştur (Kurum ve Odabaş 1991; Akten,2003).

Türk Dil Kurumu'na (2018) göre "rekreasyon" insanların boş zamanlarında, eğlence ve spor amacıyla gönüllü olarak katıldıkları etkinlikler anlamına gelmektedir. Akten (2003) rekreasyonun "re-tekrar" ve "create-yaratma" anlamına geldiğine ifade ederek, rekreasyonda önemli olanın insanların dinlenmesinin ve enerji toplamasının ana amaç olduğuna vurgu yapmaktadır.

Günümüzde insanlar artık yoğun şehirlerin kalabalığından uzakta, doğal alanların içinde rekreasyon ihtiyaçlarını karşılamak adına, kent çevrelerindeki kırsal alanlara, ormanlara ve korunan alanlara yönelmektedir. Ülkemiz yasal mevzuatında rekreasyonel faaliyetlere izin verilen korunan alanlar milli parklar, tabiat parkları ve orman içi dinlenme alanlarıdır.

"Milli park" ulusal ve uluslararası alanda, hem bilimsel hem de estetik açılarından ender doğal / kültürel özellikler ile rekreasyon ve turizm alanlarına sahip tabiat parçalarını; "tabiat parkı", manzara bütünlüğü de gözetilerek sahip olduğu bitki örtüsü ve yaban hayatı özellikleri ile halka rekreasyon olanakları sağlayan doğal alanları ifade etmektedir (Anonim, 1983). "Orman içi dinlenme alanı", bir diğer ifadeyle mesire yeri ise halkın rekreasyon ihtiyaçlarını karşılamak ve turistik faaliyetlere imkan vermek amacıyla genellikle günübirlik olarak kullanılan, gerekli tüm alt / üst yapıların tesis edildiği, estetik ve doğal değerlere sahip tabii ormanlık alanlardır (Anonim, 2013).

Bir alanın koruma altına alınması ve kullanılmasıyla ilgili birtakım kriterler ve koşullar bulunmaktadır. Resmi Gazete'nin 12.12.1986 tarih ve 19309 sayısında yayımlanan Milli Parklar Yönetmeliği'ne göre bir alanın tabiat parkı ilan edilebilmesi için aranan kriterler şunlardır (Anonim, 1986):

- 1 – Bölgesel ya da ulusal düzeyde doğal yapıya, bitki örtüsüne ve doğal yaşam özellikleri ile manzara güzelliği ile rekreasyon potansiyeline sahip olması
- 2 – Alan büyüklüğünün kaynak değerleri ve manzara bütünlüğü açısından yeterli büyüklükte olması
- 3 – Özellikle açık hava rekreasyonel faaliyetleri bakımında yüksek potansiyele sahip olması ve farklı aktivitelerin gerçekleştirilebilmesine olanak tanınması
- 4 – Yöresel yapıya uygun olması, örf, adet ve gelenekler ile arazi desenlerini ve kültürel manzaraları içermesi
- 5 – Mülkiyetinin devlete ait olması

Ülkemizde 2018 yılı itibariyle 42 adet milli park, 229 adet tabiat parkı ve çok sayıda orman içi dinlenme alanı bulunmaktadır (Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 2018). Bu çalışmanın amacı Siirt ilinde yer alan tek tabiat parkı olan Tillo Tabiat Parkı'nın kullanıcı memnuniyetinin belirlenmesi ve peyzaj mimarlığı açısından değerlendirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Siirt, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan, 324.394 nüfuslu (TÜİK, 2017), doğal ve kültürel değerlere sahip bir ildir. İlin 7 adet ilçesi bulunmaktadır. Çalışmanın konusu olan Tillo Tabiat Parkı, merkez ilçeye 9 km mesafede bulunan Tillo (Aydınlar) ilçesinde yer almaktadır. İlçenin yüzölçümü yaklaşık olarak 6900 ha'dır. İlçe doğuda Pervari ve kuzeydoğuda Şirvan, batıda ise Siirt ili merkez ilçesiyle çevrilidir. 37° 57' 05" kuzey enlemleri ile 42° 02' 18" doğu boylamları arasında yer alan, 40,14 ha büyüklüğe sahip olan Tillo Tabiat Parkı, 29.08.2014 tarih ve 18031414-401-1440 sayılı Bakanlık Oluru ile tabiat parkı olarak ilan edilmiştir (Anonim, 2015)

(Şekil 1). Parka ait 2015 yılında T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan bir gelişme planı bulunmaktadır.



Şekil 1. Araştırma alanının coğrafi konumu

Tillo Tabiat Parkı doğusunda Botan Çayı, batısında Tillo ilçe merkezi, kuzeyinde Taşbalta köyü, güneyinde ise Kale Rekreasyon Alanı bulunmaktadır. Konumu itibariyle nispeten hareketli bir yapıya sahiptir. En yüksek noktası 1410 m ve en düşük noktası ise 1291 m'dir (Şekil 2).



Şekil 2. Tillo Tabiat Parkı'ndan bir görünüş (Orijinal, 2018)

Ortalama sıcaklıklarda Ocak ayında en düşük değerler (-15,6°C) ölçülürken; Ağustos ayında en yüksek değerler (46,0°C) görülmektedir. En fazla yağış Mart ayında (104,4 mm), en az yağış ise Ağustos (1,0 mm) ayında gözlenmektedir. (Anonim, 2015).

Mevsimlik Bebil Deresi, parkın sınırları dışından doğup, parkın güneybatısından alana giren ve doğusundaki uçurumda sonlanan tek daimi deredir (Anonim, 2015).

Tillo Tabiat Parkı, derinliği 0-20 cm arasında değişen VI. sınıf kahverengi orman topraklarından oluşmaktadırdır. Toprak derinliği çok sığ olduğundan dolayı şiddetli erozyon riski bulunmaktadır (Anonim, 2015).

Alanda insan etkisiyle bozulmuş bitki örtüsü bulunmaktadır. aşırı otlatma sonucunda antropojenik stepler oluşmuştur. En fazla gürülen doğal bitki örtüsü türleri Quercus türleridir. Quercus brantii bu alandaki dominant tür konumundadır. Diğer türlerden bazıları Pistacia terebinthus, Crataegus monogyna, Astragalus gummifer, Teucrium sp., Verbascum sp, Scrophularia sp., Salvia sp., Bromus sp'dir (Anonim, 2015).

Fauna varlığı açısından gri leş kargası, dağ bülbülü, kurt ve tilki türlerine sık; engerek yılanı, kara kaplumbağası, dikenli keler, kertenkele, şahin, kartal ve kızıl akbaba türlerine ise seyrek oranlarda rastlanmaktadır (Anonim, 2015).

Biyolojik çeşitlilik ve kayaç oluşumları açısından Siirt ili için önemli doğal alanlardan biri olan ve kontrollü bir girişin (şekil 3) bulunduğu Tillo Tabiat Parkı'nda idari ziyaretçi merkezi, kır lokantası (şekil 4), cam seyir terası (şekil 5), yöresel ürün satış birimleri, otoparklar, satış büfesi, çeşmeler, yaya ve araç yolları, barbekülü pergolalar, gölgelikli oturma birimleri (şekil 6), çocuk oyun alanı, spor aletlerinin olduğu bir alan, mescit, tuvaletler, aydınlatma elemanları, çöp kutuları bulunmaktadır (Altuntaş, 2018).



şekil 3. Tillo Tabiat Parkı Girişi (Orijinal, 2018)



şekil 4. Tillo Tabiat Parkı'nda yer alan kır lokantası (Orijinal, 2018)



Şekil 5. Tillo Tabiat Parkı cam seyir terası (Orijinal, 2018)



Şekil 6. Tillo Tabiat Parkı oturma birimleri (Orijinal, 2018)

Tillo Tabiat Parkı içerisindeki tek tarihi yapı küçük ölçekteki kale duvarı kalıntısıdır (Altuntaş, 2018).

Tabiat Parkı, Siirt kent merkezine yakınlığı nedeniyle özellikle yöre halkı tarafından günübirlik kullanılmaktadır. Alanda günübirlik kullanıcılar için piknik yapma, fotoğrafçılık, doğa gezisi, kuş gözlemciliği, piknik, dağcılık, yamaç paraşütü gibi imkanlar bulunmaktadır (Altuntaş, 2018).

Çalışmada konuyla ve alanla ilgili yapılan literatür taramalarından, alana yönelik hazırlanan anket sonuçlarından, ilgili kurum ve kuruluşların belgelerinden, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün hazırladığı haritalardan yararlanılmıştır. Ayrıca yetkili kişilerle ve yöre halkıyla yapılan sözlü görüşmelerden de faydalanılmıştır.

2.1.1. Metot

Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada konuyla ilgili literatür taramaları yapılarak arazi gözlemleri ile alan analiz edilmiştir. İkinci aşamada ise park kullanıcılarının memnuniyet düzeylerini ölçebilmek amacıyla bir anket çalışması uygulanmış olup anket sonuçları SPSS 15.0 istatistik programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Alan kullanıcıları için hazırlanan anket, % 95 güven aralığında, 2018 yılı Haziran – Eylül dönemleri arasında tesadüfi yöntemle seçilen 100 kişiye yüz yüze görüşme şeklinde uygulanmıştır. Anket üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde katılımcıların alanı tercih nedenleri ve kullanım sıklığına yönelik sorular, ikinci bölümde tabiat parkı ile ilgili memnuniyet düzeylerini ölçmeye ilişkin sorular ve son bölümde ise demografik özelliklere ilişkin sorular yer almaktadır.

Araştırmanın son aşamasında ise elde edilen veriler değerlendirilerek Tillo Tabiat Parkı kullanıcılarının memnuniyet düzeylerine ilişkin sonuçlar ortaya konulmuş ve öneriler geliştirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Ankete Katılanların Demografik Özellikleri

Anket çalışmasına katılanların % 48'i kadın, % 52'si ise erkek olup bu kişiler arasında 30-44 (%33) ve 45-60 (%27) yaş aralıklarında olan bireyler çoğunluktadır. Bu kişilere ait cinsiyet, yaş ve eğitim durumları Çizelge 1'de verilmiştir.

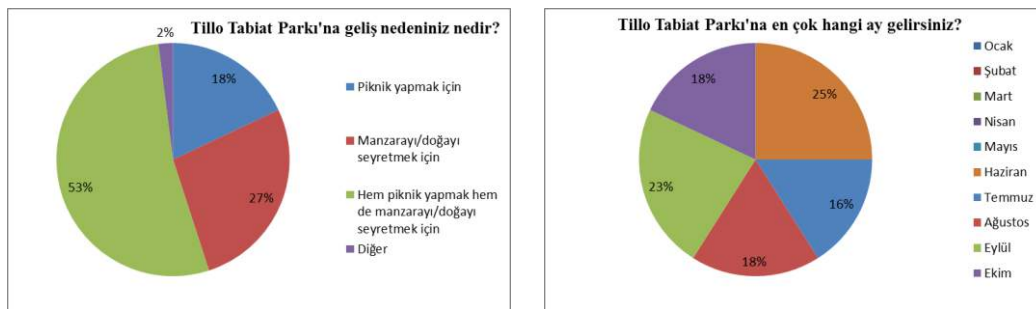
Çizelge 1. Ankete katılanların demografik özellikleri

Cinsiyet	Oran (%)	Yaş Grubu	Oran (%)	Eğitim Durumu	Oran (%)
Kadın	48	18'den küçük	8	İlkokul	17
Erkek	52	18-29	20	Ortaokul	43
		30-44	33	Lise	31
		45-60	27	Yüksekokul/üniversite	9
		61'den büyük	12		

Deneklerin % 17'si çiftçi olarak çalışmaktadır. Serbest meslek sahipleri (% 16) ve memurlar (%16) ikinci sırada yer alırken işsizler % 15 oranla üçüncü sırada bulunmaktadır. Daha sonra ev hanımları, emekliler, işçiler ve öğrenciler gelmektedir.

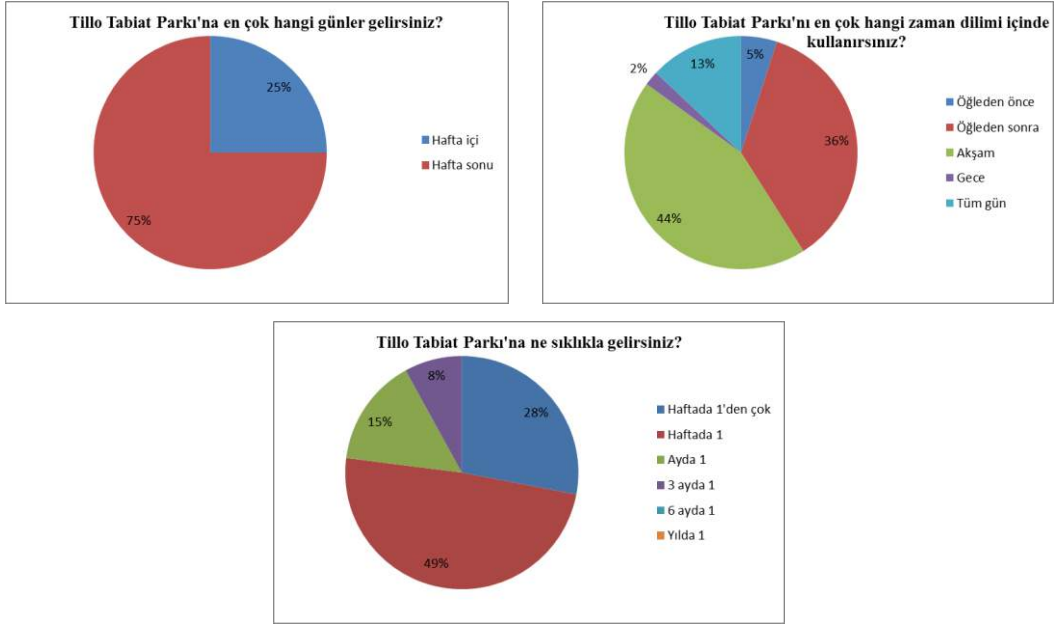
3.2. Ankete Katılanların Tillo Tabiat Parkı ile İlgili Görüşleri

Deneklere Tillo Tabiat Parkı'nı neden tercih ettikleri sorulmuştur. Bu soruya deneklerin % 53'ü hem piknik yapmak hem de manzarayı/doğayı seyretmek cevabını verirken; katılımcıların % 18'si yalnızca piknik yapmak için alana geldiklerini belirtmişlerdir. Deneklerin en çok tercih ettikleri ay Haziran (% 25) ayıdır. Eylül (% 23), Ağustos (% 18), Ekim (% 18) ve Temmuz (% 16) ise tercih edilen diğer aylardır (Şekil 7).



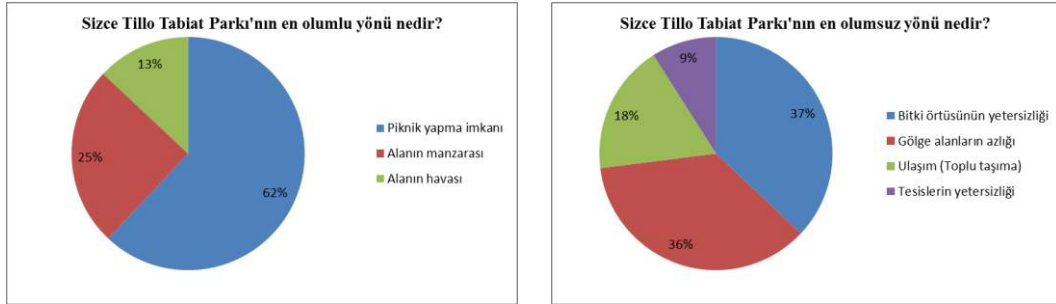
Şekil 7. Katılımcıların alana geliş nedenleri ve tercih ettikleri aylara ilişkin soruya verdikleri cevaplar

Katılımcılar genel olarak hafta sonu (% 75), öğleden sonra (% 36) ve akşam saatlerinde (% 44) alanı ziyaret etmektedirler. Deneklere alana ne sıklıkla geldikleri de sorulmuştur. Bu soruya ise % 49 oranında haftada bir cevabı verilmiştir (Şekil 8).



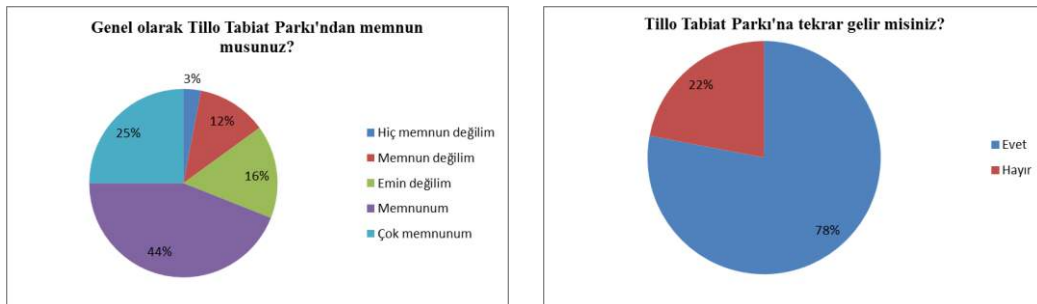
Şekil 8. Katılımcıların alanı en çok kullandıkları gün, zaman dilimi ve geliş sıklıklarına ilişkin verdikleri cevaplar

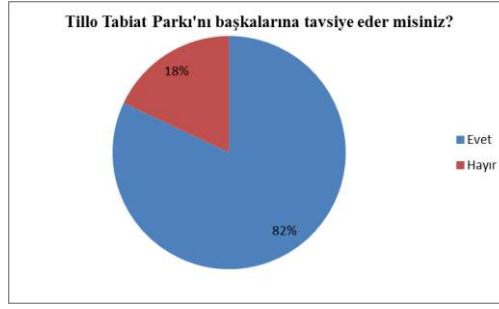
Katılımcılara alanın en olumlu ve en olumsuz yönlerine ilişkin açık uçlu sorular sorulmuştur. Alanın en olumlu yönleri için piknik yapma imkanı (% 62) ve alanın manzarası (% 25) cevapları verilirken; en olumsuz yönler ise bitki örtüsünün yetersizliği (% 37), gölge alanların azlığı (% 36) ve ulaşım (toplu taşıma) sıkıntısı (% 18) olarak belirtilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Katılımcıların alanın en olumlu ve en olumsuz yönlerine ilişkin verdikleri cevaplar

Anket katılımcılarının %44'ü alandan memnun olduklarını belirtirken; % 16'sı kararsız olduklarını ve % 3'ü ise hiç memnun olmadıklarını ifade etmişlerdir. Deneklerin % 78'i alana tekrar gelebilecekleri ve % 82'si ise Tillo Tabiat Parkı'nı başkalarına tavsiye edecekleri cevabını vermişlerdir (Şekil 10).





Şekil 10. Katılımcıların alandan memnun olma/olmama ve tavsiye etme/etmeme durumlarına ilişkin verdikleri cevaplar

Verilen cevaplar kendi aralarında çaprazlanarak Ki Kare testi uygulanmıştır. Fakat değişkenler arasında %1 ve %5 önem derecelerine göre anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Çalışma sonuçlarına ait grafikler Şekil 7'de verilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Orta engebeli bir arazi formuna sahip Tillo Tabiat Parkı'nda kültürel değer olarak nitelendirilebilecek tarihi ya da arkeolojik bir alan bulunmamaktadır. Alanda yalnızca küçük ölçekte bir kale duvarı kalıntısı mevcuttur. Sınırları içerisinde olmasa da yakın çevresinde çok sayıda türbe bulunması Tillo Tabiat Parkı'nın kullanımının artmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Tillo Tabiat Parkı'na ulaşım yalnızca özel araçlarla sağlanmaktadır. Alana ulaşım sağlayan toplu taşıma araçlarının bulunmaması ulaşımı güçleştirmektedir.

Parkın yakınlarında hava, su ya da gürültü kalitesini azaltacak olumsuz durumların olmaması ve manzarasının güzelliği nedeniyle yöre halkı tarafından tercih edilmektedir.

Bir korunan alanda ziyaretçi yönetim politikalarının belirlenmesi alanın kaynak değerlerinin korunması açısından son derece önemlidir (Akten vd., 2012; Manning vd., 1996; Türker ve Öztürk, 2013; Belkayalı ve Kesimoğlu, 2015; Öztürk vd., 2017). Alan kullanıcılarının memnuniyet dereceleri, beklentilerinin karşılanması ölçüsünde artmaktadır. Bir açık alanda birden çok aktivitenin yapılabilmesi ise kullanıcılar açısından o alanın kullanımında motivasyonu artırıcı faktörler arasında sayılmaktadır (Fletcher ve Fletcher, 2003; Devesa M. vd., 2010; Öztürk vd., 2017). Tillo Tabiat Parkı'nda piknik dışında fotoğrafçılık, doğa gezisi, kuş gözlemciliği, dağcılık, yamaç paraşütü gibi imkanlarının bulunması, alanın farklı amaçlarla kullanımına da olanak tanımaktadır. Bu imkanlara yönelik geliştirmeler ve iyileştirmeler en kısa zamanda yapılmalı ve parka ilişkin ziyaretçi yönetim planı geliştirilmelidir.

Yapılan bu çalışma ile alanın özellikle yöre halkı tarafından yaz aylarında, hafta sonları ve akşam saatlerinde tercih edildiği belirlenmiştir. Halkın, rekreasyon ihtiyacını karşılama şekli olarak piknik yapmayı tercih etmesi de ulaşılan bir diğer sonuçtur.

Analiz sonuçlarına göre kullanıcıların Tillo Tabiat Parkı'ndan memnuniyet düzeyleri yaklaşık olarak % 69 olarak bulunmuştur. Bunların % 25'i çok memnun ve % 44'ü ise alandan memnun olduklarını belirtmişlerdir. Alanda görülen eksikliklerin giderilmesi ve iyileştirmelerin yapılması memnuniyet düzeyinde artış olabileceğini göstermektedir.

Tillo Tabiat Parkı, Siirt ilinde bulunan tek tabiat parkı ve özellikle yerel halkın kullandığı sınırlı sayıdaki rekreasyon alanından biridir. Bundan dolayı da iyi bir organizasyonla tanıtım ve reklamlarının yapılması, alanla ilgili bilgilendirme toplantılarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Alandaki en büyük sıkıntılardan biri, yeterli gölge alanların bulunmamasıdır. Bu da kullanım zamanını sınırlamakta, halkın daha çok akşamları alanı tercih etmesine sebep olmaktadır. Mevcut yapısal gölgelikler yeterli gelmemektedir. Doğru bir bitkisel tasarımla bu alan daha kullanışlı bir hale getirilmelidir. Yörede yetişen doğal bitkilerin alanda tercih edilmesi, ekonomik açıdan daha az maliyetli olurken; ekolojik açıdan daha uyumlu bir bitkisel tasarımın gerçekleştirilmesini sağlayacak ve alan kullanıcılarına da daha rahat ve konforlu bir rekreasyon imkanı sunacaktır.

Yöre halkının rekreasyonel faaliyetlere ilgisi ve talebi günden güne artmaktadır. Bununla birlikte mevcut ve yeni düzenlenecek olan rekreasyon alanlarının bu ihtiyaç ve talep doğrultusunda düzenlenmesi, doğru ve dengeli bir koruma kullanım dengesi içerisinde yapılandırılması çok büyük bir önem arz etmektedir. Bunun için de başta peyzaj mimarları olmak üzere farklı meslek disiplininden uzmanların konuya büyük bir özenle yaklaşmaları gerekmektedir. Ayrıca bu tür çalışmalara halkın katılımının sağlanmasıyla, alanın daha iyi bir şekilde tanıtılarak korunmasının ve kullanılmasının sağlanacağı da unutulmamalıdır.

Kaynakça

- Akten, M. (2003). Isparta İlindeki Bazı Rekreasyon Alanlarının Mevcut Potansiyellerinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, Sayı: 2, 115- 132 s., ISSN: 1302-7085, Isparta.
- Akten, S., Gül, A., Akten, M. (2012). Korunan Doğal Alanlarda Kullanılabilecek Ziyaretçi Yönetim Modelleri ve Karşılaştırılması. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, Sayı: 13(1): 57-65, Isparta.

- Altuntaş, A. (2018). Doğal Alanların Korunması: Tillo Tabiat Parkı Örneği. *Dicle Üniversitesi I. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu*, ISBN: 978-605-9504-17-1, 310-320 s, Diyarbakır.
- Anonim, (1983). 2873 Sayılı Milli Parklar Kanunu. Resmi Gazete, Sayı: 18132. <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2873.pdf> (Erişim tarihi: 15.08.2018).
- Anonim. (1986). Milli Parklar Yönetmeliği. <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspix?MevzuatKod=7.5.5413&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch> (Erişim tarihi: 15.08.2018).
- Anonim, (2013). *Mesire Yerleri Yönetmeliği*. Resmi Gazete, Sayı: 28578. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130305-9.htm> (Erişim tarihi: 15.08.2018).
- Anonim, (2015). *Tillo Tabiat Parkı Gelişme Planı*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Siirt Şube Müdürlüğü, 125 s., Siirt.
- Belkayalı, N, Kesimoğlu, M.D. (2015). The Stakeholders' Point of View About the Impact of Recreational and Tourism Activities on Natural Protected Area: A Case Study From Kure Mountains National Park, Turkey. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 29(6), 1092-1103.
- Devesa, M., Laguna, M., Palacios, A. (2010). The Role of Motivation in visitor satisfaction: Empirical Evidence in Rural Tourism. *Tourism Management*, 31 (4): 547-552.
- Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, (2018). Türkiye'nin Korunan Alanları. Ankara.
- Fletcher, D., Felcher, H. (2003). Manageable Predictors of Park Visitor Satisfaction: Maintenance and Personnel. *Journal of Park and Recreation Administration*, 21(1): 21-37.
- Kurum, E., Odabaş, A., (1991). Ankara Kenti İçin Bir Rekreasyon Potansiyeli Beynam Ormanı” “2000’li Yıllar İçin Ankara Kentinin Açık ve Yeşil Alan Sistemi Ne Olmalıdır? *Peyzaj Mimarlığı Dergisi*, Sayı: 91-2, Ankara.
- Manning, R., Lime, D., Hof, M. (1996). Social Carrying Capacity of Natural Areas: Theory and Application in the US National Parks. *Natural Areas Journal*, 16 (2): 118-127.
- Öztürk, S., Umdü, D.Ç., Pişkin, Y., Hüsam, A. (2017). Ulugöl Tabiat Parkı Ziyaretçi Memnuniyeti. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı: 3, 160-167 s.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), (2017). Siirt ili nüfus verileri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (Erişim tarihi: 15.08.2018).
- Türk Dil Kurumu, (2018). Rekreasyon. http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5b73e29c353e07.03832022 (Erişim tarihi: 15.08.2018).
- Türker, N., Öztürk, S. (2013). Perceptions of Residents Towards The Impacts of Tourism in the Kure Mountains National Park, *International Journal of Business and Social Science*, 4(2): 45-56.
- Yılmaz, H., Karavaş, B., Erdoğan Yüksel, E., (2009). Gülez Yöntemine Göre Kafkasör Kent Ormanının Rekreasyonel Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Sayı: 10(1), 53-61 s., Artvin.



Elazığ'da Yetişen *Polygonum cognatum* Meissn (Madımak) Bitki Ekstraktlarının *In vitro* Biyolojik Aktiviteleri ve Bazı Fitokimyasal Bileşenlerinin Belirlenmesi

Sibel Pekdemir^{1*}, Mehmet Çiftçi², Mustafa Karatepe³

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8643-7590)

² Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1748-3729)

³ Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6358-5913)

(İlk Geliş Tarihi 18 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.690867)

ATIF/REFERENCE: Pekdemir, S., Çiftçi, M. & Karatepe, M. (2020). Elazığ'da Yetişen *Polygonum cognatum* Meissn (Madımak) Bitki Ekstraktlarının *In vitro* Biyolojik Aktiviteleri ve Bazı Fitokimyasal Bileşenlerinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 368-378.

Öz

Halk arasında bitkilerin çeşitli kısımları kullanım amacına yönelik basit işlemlerden geçirilerek gerek gıda, gerekse tedavi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitkiler, insan beslenmesinde çok önemli bir yer tutar ve insan sağlığı açısından bazı önemli bileşenler içermektedir. Dünyadaki bitkisel çeşitliliğin fazlalığı, çoğu bitkinin biyolojik etkileri ve etki mekanizmaları hakkındaki bilimsel verilerin hala yetersiz olması bu konuya olan ilgiyi her geçen gün artırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Elazığ yöresinden toplanan ve özellikle gıda olarak mevsiminde bolca tüketilen *Polygonum cognatum* Meissn (Madımak, Kuşekmeği) bitkisinin etanol, metanol, aseton ve hekzan ekstraktlarının antiradikal aktiviteleri, fitokimyasal bileşenleri, antimikrobiyal ve *in vitro* antikanserijen aktivitelerinin araştırılmasıdır. Çalışma sonuçlarımıza göre, *P. cognatum* Meissn özütlerinin ABTS radikal giderme aktivitelerinin DPPH a kıyasla daha iyi sonuç verdiği görüldü. Ayrıca ABTS radikal giderme aktivitelerinin standart bir antioksidan olan askorbik asite (Vitamin C) yakın değerlerde olduğu bulundu. *Polygonum cognatum* Meissn' in yüksek miktarda fitosteroller, K ve D vitaminleri, α -tokoferol, flavonoidler, proantosiyanidin, fenolikler ve doymamış yağ asitleri içerdiği tespit edilmiştir. Bitki ekstraktlarının antimikrobiyal etkileri *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* mikroorganizmaları kullanılarak Disk Difüzyon ve Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MİK) yöntemleri ile belirlendi. Bütün ekstraktların tüm mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği görüldü. Aynı zamanda *Polygonum cognatum* Meissn ekstraktlarının, MCF-7, PC3 ve MKN-45 kanser hücre hatları üzerinde kontrole göre özellikle yüksek konsantrasyonlarda oldukça iyi sitotoksik etkiler sergilediği görüldü. Kanser hücreleri içerisinde en yüksek etkiyi ise MKN-45 (insan mide kanseri) hücre hattında göstermiştir. Elde edilen sonuçlar antioksidan ve antiproliferatif etki gösteren ve biyoaktif bileşikleri içeren *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin insanlar tarafından tüketilmeye devam edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Polygonum cognatum*, ABTS*, fitokimyasal, antimikrobiyal, antikanser

* Sorumlu Yazar: Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bingöl, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8643-7590, sibelselcuk85@gmail.com

Determination of In Vitro Biological Activities and Some Phytochemical Components of *Polygonum cognatum* Meissn (Madımak) Plant Grown in Elazığ

Abstract

Among the people, various parts of the plants are passed through simple processes for their intended use and are widely used for both food and therapeutic purposes. Plants have a very important place in human nutrition and contain some important components in terms of human health. Excess of the global herbal diversity, the lack of the scientific data on the biologic effects and mechanism of action of most plants are increasing the interest in this issue day by day. The aim of this study, is to investigate the antiradical activities, phytochemical components, antimicrobial and in vitro anticancer activities of the ethanol, methanol, acetone and hexane extracts of the *Polygonum cognatum* Meissn (Madımak, Kuşekmeği) collected from Elazığ and consumed abundantly as a food in season. According to our study results, ABTS radical scavenging activities of *Polygonum cognatum* Meissn extracts were found to give better results compared to DPPH. Also, ABTS radical scavenging activities were found to be close to ascorbic acid, a standard antioxidant. It was established that *Polygonum cognatum* Meissn contains high amounts of phytosterols, vitamin K and D, α -tocopherol, flavonoids, proanthocyanidin, phenolics and unsaturated fatty acids. Antimicrobial effects of *Polygonum cognatum* Meissn extracts were determined by Disc Diffusion and the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) methods using *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* microorganisms. It was observed that all plant extracts showed antimicrobial activity against all microorganisms. However, *Polygonum cognatum* Meissn extracts were exhibited good cytotoxic effects on MCF-7, PC3 and MKN-45 cancer cell lines than control, especially at higher concentration. Among the cancer cells, MKN-45 (human stomach cancer) showed the highest effect in the cell lines. Consequently, obtained results indicate that *Polygonum cognatum* Meissn may continue to be consumed by humans owing to it has potentially antioxidant, antiproliferative properties and including bioactive compounds.

Keywords: *Polygonum cognatum*, ABTS*, phytochemical, antimicrobial, anticancer

1. Giriş

Son yıllarda yapılan birçok çalışma bazı doğal gıdaların tüketiminin insan sağlığı üzerinde olumlu etkilerini ortaya koymuştur. Doğal gıdalar enerji, esansiyel amino asitler, lif, vitaminler ve minerallerin yanı sıra tokoferoller, karotenoidler, flavonoidler, yağ asitleri, steroller, fenolikler vb. gibi bazı aktif antioksidan bileşikler içermektedir (Keser et al., 2018). Besinsel bileşenler; hücre sel bağışıklık sistemini güçlendirip ve antioksidanlar nedeniyle hücreleri serbest radikal hasarına karşı koruduğu için, hastalıkları önleyici etkileri yapılan araştırmalarla desteklenmektedir (Keser et al., 2018). Doğal bitkilerin ve bunlarla ilişkili uçucu yağların ilaç endüstrisi, gıda, parfüm ve kozmetik gibi birçok endüstride kullanılan hammaddeler olması nedeniyle, özellikle 1940'tan günümüze kadar antimikrobiyal etkileri açısından birçok araştırma alanında çalışılmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir (FAYDAOĞLU & SÜRÜCÜOĞLU, 2013).

Yabani bitkiler insanlar tarafından yıllardır hem yiyecek olarak hem de birçok hastalığın tedavisinde 'doğal ilaç' olarak kullanılmaya devam etmektedir. Bu tür bitkilerin yapısında bulunan bazı maddeler sağlık açısından olumlu etkilerinin olduğu bilindiğinden özellikle antikanser üzerine yapılan çalışmalar hızla artmaya devam etmektedir (Cragg & Newman, 2005; Yalçın, Yılmaz, AltunDAğ, & KOçtürK, 2017). İyi bir antioksidan olarak da bilinen bu bitkiler antikanserojenik, antimutajenik ve antiaging (yaşlanmayı geciktirici) gibi biyolojik fonksiyonların çoğunun temelini oluşturmaktadır (Endo, Usuki, & Kaneda, 1985; Ho, Ferraro, Chen, Rosen, & Huang, 1994; Nishina, Kubota, Kameoka, & Osawa, 1991).

Kanser hastalığı günümüzün en ciddi sağlık problemi olarak görülmektedir. Kanser hastalığını engelleme çalışmaları ve ileri düzeyde tedavi yöntemleri uygulanmasına rağmen, hastalık hala insanların yaşam kalitesini düşürmeye devam etmektedir. Hastalık sırasında kullanılan yöntemlerin hem çok maliyetli hem de ağır yan etkilerinin olduğu bilinmektedir. Ayrıca tedaviye yanıt verme olasılığı da çok yüksek olmadığı için insanlar artık doğal bitkisel ürünlere daha fazla rağbet göstermeye başlamışlardır (Jain, Katewa, Galav, & Nag, 2007; Shu, 1998).

Bitki ekstraktları birçok ülkede tıbbi amaçlı olarak hastalıkların tedavisinde kullanılmakla beraber antikanserojenik etkilerinin olduğu bilinmektedir. Ayrıca ekstraktlardan elde ilaçların, antikanserojenik ilaçların yaklaşık olarak % 63 ' ünü oluşturduğu ve bu ilaçların yan etkilerinin olmayıp tedaviye yanıt verme olasılığının yüksek olduğu yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (BİLGİN & KOCABAĞLI, 2010; Hartwell, 1982; Hsieh, Wu, Park, & Wu, 2006).

Çalışmada kullanılan *Polygonum cognatum* Meissn (Madımak) Türkiye' de düzenli olarak tüketilen *Polygonaceae* (Kuzukulağigiller) ailesine ait çok yıllık bir bitkidir (Önen, Altuntaş, ÖzGöz, Bayram, & Özcan, 2014). Yöresel olarak farklı şekilde isimlendirilen bu bitkinin en yaygın adı Madımak olmakla beraber, Elazığ da Kuşekmeği olarak bilinir. Bu yabani bitki yol kenarlarında, yamaçlarda ve sanayi endüstriyel bölgelerinde yetişir. Orta Anadolu da gıda olarak yaygın şekilde tüketilen bu bitkinin

yapraklı taze hali ilkbaharda toplanır. *Polygonum cognatum* Meissn ile daha önce yapılan çalışmalarda fenolik bileşikler, vitamin C ve karotenoidleri içerdiği rapor edilmiştir (Onen, Yılar, & Kaya, 2009; Yıldırım, Mavi, & Kara, 2003). Ayrıca antioksidan, antimikrobiyal, idrar söktürücü ve şeker hastalığı tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir (Baytop, 1999; Fiedorov, 1985; Tatli, 1988).

Bu çalışmada, Elazığ'ın Gümüşkavak köyünden toplanan ve yörede Kuşekmeği olarak bilinen *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin öncelikle etanol, metanol, aseton ve hekzan ekstraktları hazırlandı. Bitkinin serbest radikal giderme aktiviteleri (DPPH[•], ABTS[•]) ve fitokimyasal içerikleri (total fenolik, flavonoid, proantosyanidin, yağ asitleri, yağda çözünen vitaminler ve steroller) belirlendi. 4 farklı çözücünden elde edilen ekstraktların antimikrobiyal aktiviteleri hem Disk Difüzyon hem de Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MİK) yöntemleri ile bulunarak karşılaştırıldı. Çalışmada son olarak *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktları insan meme kanseri (MCF-7), insan prostat kanseri (PC3) ve insan mide kanseri (MKN-45) üzerindeki antikanser etkisi araştırılmış ve karşılaştırma yapılmıştır

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki ekstraktlarının Hazırlanması

İlk olarak toplanan bitki, güneş görmeyen yerde kurutuldu. Kurutulan bitkiler blender yardımıyla toz haline getirildi. Sonra, toz haline getirilen bitkiden 20 g alındı ve sırasıyla 200 mL etanol, metanol, aseton ve hekzan içerisine konularak 25-30 °C' de 24 saat boyunca çalkalayıcı inkübatör de karıştırıldı. Ekstraksiyon sonrası, 1 nolu Whatman süzgeç kağıdı ile süzme yapıldı. 40 °C' de vakumlu evaporatörde çözücüler tamamen uzaklaşana kadar işleme devam edildi. 4 farklı çözücünden elde edilen bitki ekstraktları -20 °C' de deneysel çalışmalara kadar saklandı.

2.2. Antioksidan Çalışmaları

Etanol, metanol, aseton ve hekzan ekstraktlarının antioksidan aktiviteleri prensipleri radikal süpürmeye dayalı DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) ve ABTS (2,2'-azino bis(3-etil benzotiazolin-6-sülfonik asit) metotları kullanılarak yapıldı.

2.2.1. DPPH radikal süpürme aktivitesi

Öncelikle 25 mg/L DPPH çözeltisi hazırlandı. Her bir deney tüpüne 4 mL hazırlanan DPPH çözeltisi konuldu. DPPH çözeltisi bulunan deney tüplerine sırasıyla 2000 µg/mL, 1000 µg/mL, 500 µg/mL, 250 µg/mL ve 125 µg/mL bitki ekstraktı içeren çözeltiler ilave edildi. 30 dk oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübe edildi. İnkübasyondan sonra etanoldan oluşan köre karşı 517 nm' de absorbanları ölçüldü. Kontrol olarak, 4 mL DPPH çözeltisi kullanıldı (Shimada, Fujikawa, Yahara, & Nakamura, 1992). Azalan absorban, geriye kalan DPPH çözeltisi miktarını yani serbest radikal giderme aktivitesini vermektedir (Keser, Celik, & Turkoglu, 2013). Ortamdan yok edilen DPPH miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\text{DPPH}^{\bullet} \text{ Yok Etme Yüzdesi } \% = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$$

A₀ kontrolün absorbanı, A₁ örneklerin absorbanı olarak alınmıştır.

2.2.2. ABTS radikal süpürme aktivitesi

2.45 mM K₂S₂O₈ ve 7 mM ABTS çözeltileri 1:1 oranında karıştırıldı ve oda sıcaklığında 16 saat boyunca karanlıkta inkübasyona bırakıldı. Hazırlanan çözeltinin 734 nm' de absorbanı alındı ve absorban değeri 1.850±0.05 değerine ulaşana kadar etil alkol ile seyreltme yapıldı. Radikal çözeltisinden deney tüplerine 4' er mL ilave edildi. Tüplere sırasıyla 2000 µg/mL, 1000 µg/mL, 500 µg/mL, 250 µg/mL ve 125 µg/mL bitki ekstraktı içeren çözeltiler eklendi ve oda sıcaklığında 2 saat karanlık bir ortamda inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonrası 734 nm' de absorban değerleri kaydedildi (Wu, Chang, Chen, Fan, & Ho, 2009). Bu sayede azalan absorban değerlerinden yok edilen ABTS radikalleri hesaplandı (Keser et al., 2013). ABTS radikallerini bitki ekstraktlarının ne kadarını yok ettiği şu formülle hesaplandı:

$$\% \text{ ABTS Yok Etme Aktivitesi} = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$$

A₀ kontrolün absorbanı, A₁ örneklerin absorbanı olarak alınmıştır.

2.2.3. Toplam fenolik bileşik analizi

Hazırlanan bitki ekstraktlarındaki toplam fenolik bileşik miktarları tayini için Singleton ve arkadaşlarının metodu kullanıldı (Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós, 1999). Analizlerde standart olarak gallik asit kullanıldı. Deney tüplerine farklı çözücülerde hazırlanan bitki ekstraktlarından 1' er mL alındı ve üzerlerine 0.5 mL Folin-Ciocalteu reaktifi ilave edildi. Yaklaşık 3 dk bekletildikten sonra %2' lik Na₂CO₃ çözeltisinden 3 mL eklendi. Hazırlanan örnekler 2 saat boyunca sürekli karıştırıldı ve UV spektrofotometresinde 760 nm dalga boyundaki absorban değerleri ölçüldü.

2.2.4. Toplam flavonoid bileşik analizi

Çalışmada total flavonoid içerikleri Kim vd. (2003) metoduna göre catechin eşdeğeri olarak belirlendi (Kim, Chun, Kim, Moon, & Lee, 2003). Başlangıç olarak 0.5 mL bitki ekstraktı saf suyla 4 mL'ye tamamlandı. Ardından 0.3 mL %5'lik NaNO₂ ve 0.3 mL %10'luk AlCl₃ çözeltileri ilave edilerek 5 dk boyunca oda koşullarında beklemeye bırakıldı. 1 M NaOH' den 2 mL eklendikten sonra vortekste iyice karıştırıldı. Elde edilen pembe renkli örneklerin 510 nm dalga boyundaki absorban değerleri ölçüldü. Total flavonoid miktarı, catechin standart grafiğinden elde edilen denklemden µg catechin/g ekstrakt değerleri olarak hesaplandı.

2.2.5. Toplam proantosiyanidin bileşik analizi

Farklı çözücülerde hazırlanan bitki ekstraktlarının proantosiyanidin içeriği Amaeze metoduna göre çalışıldı (Amaeze et al., 2011). 0.5 mL bitki ekstraktı alındı ve üzerine 1.5 mL metanol içerisinde hazırlanan %4' lük vanilin çözeltisi ve 0.75 mL derişik HCl çözeltisi ilave edildi. Numuneler oda sıcaklığında 15 dakika bekletildikten sonra UV spektrofotometresinde 500 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçüldü. Elde edilen absorbans değerleri total flavonoid için kullanılan catechin standart grafiğinden elde edilen denklemde yerine konularak toplam proantosiyanidin miktarı µg catechin/g ekstrakt olarak hesaplandı.

2.3. Fitokimyasal Analizler

2.3.1. Yağ asitleri analizi

Yağ asitleri %2' lik sülfürik asit yardımıyla metil esterlere dönüştürüldü (Christie, 1989). Yağ asidi metil esterleri n-hekzan ile ekstrakte edildi. Ardından, gaz kromatografisi ve Glass GC 10 bilgisayar yazılımına bağlı alev iyonizasyon dedektörü (Schimadzu GC 17) ile ayrıldı. Kromatografi 0.8 mL/min akış hızında azot taşıyıcı gazı kullanılarak kapiler bir kolonla (0.25 mm çapında ve 25 m uzunluğunda) (Permapound 25, Macherey-Nagel, Germany) yapıldı. Dedektör, kolon ve enjeksiyon vanasının sıcaklıkları sırasıyla; 240, 130-220 ve 280 °C' dir. Metil esterlerin her birinin tanımlanması aynı şartlar altında analizleri yapılan standart karışımlarla karşılaştırma yapılarak gerçekleştirildi.

2.3.2. Vitamin analizi

Yağda çözünen vitaminler ve fitosteroller bazı küçük değişikliklerle Sanchez-Machado (Sanchez-Machado, Lopez-Hernandez, & Paseiro-Losada, 2002) yöntemine göre yağ fraksiyonundan ekstrakte edilerek yapıldı. Bitkinin ekstrakte edilen yağları 3:2 oranında asetonitril/metanol karışımında çözüldü ve HPLC cihazına (Schimadzu, Kyota Japan) 50 µL' si enjekte edildi. Supelcosil™ LC18 250 x 4.6 mm, 5 µm, Sigma, USA) kolonu kullanıldı. Mobil faz olarak asetonitril/metanol (3:2) karışımı kullanıldı ve elüsyon 1 mL/min akış hızıyla yapıldı. Kolon sıcaklığı 40 °C' de tutuldu. Vitamin ve fitosterollerin her birinin belirlenmesi, aynı koşullar altında analizi yapılan standart karışımlarla karşılaştırma yapılarak gerçekleştirildi. Analizlerin sonuçları numuneler için µg/g olarak ifade edildi.

2.4. Antimikrobiyal etki

Bu çalışmada, 4 farklı çözücüde hazırlanan bitki ekstraktlarının antimikrobiyal etkileri, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* COWAN 1, *Klebsiella pneumoniae* FMC 5 bakteri suşları ve *Candida albicans* FMC 1 mayası kullanılarak disk difüzyon yöntemi ve minimum inhibitör konsantrasyonu (MİK) yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.

2.4.1. Disk Difüzyon Yöntemi

Hazırlanan bakteri ve mayanın buyyondaki kültürü sırasıyla; Müeller Hinton Agar ve Sabouraud Dextrose Agar içine % 1 oranında aşılandı (10⁶ bakteri/mL, 10⁴ maya/mL) ve iyice çalkalandı. 25 mL petri kutularına konularak besiyerinin homojen bir şekilde dağılması sağlandı. Ekim yapılan petri kutuları 15 dakika oda sıcaklığında beklemeye bırakıldı. Katılaşan agar ortamına aseptik olarak her biri 100 µL'lik olacak şekilde, farklı ekstraktları ile emdirilmiş antimikrobiyal diskler (6 mm, Oxoid) hafifçe yerleştirildi. Hazırlanan petri kapları 4°C' de 2 saat bekletildi ve bakteri aşılama plaklar 37±0.1°C'de 24 saat, maya aşılama plak ise 25±0.1°C'de 72 saat inkübasyona bırakıldı. Çalışmada kontrol olarak ise diskler kullanıldı. İnkübasyon süresi sonrasında meydana gelen inhibisyon zonlarının uzunluğu mm ölçü biriminde kaydedildi (Collins & Lyne, 1987; İnci, Dalkılıç, Dalkılıç, & Kırbağ, 2019).

2.4.2. Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MİK) Belirleme Yöntemi

Antimikrobiyal aktivite testi için hazırlanan bitki ekstraktlarından 10 mg tartılmış ve 1000 µL DMSO' da çözülmüştür. Platelardaki her bir kuyucuğa 100 µL Müeller Hinton Agar Broth (MHB) sıvı besiyeri konuldu ve her sıranın ilk kuyucuğuna hazırlanan örneklerden 100 µL eklendi ve pipetaj yapıldı. İlk kuyucuktan 10 µL çekilerek 2.kuyucuğa aktarılıp bu işlem sırasıyla 7. kuyucuğa kadar devam edilerek seyreltme yapıldı. Son kuyucukta pipetaj sonrası 100 µL numune alınarak atıldı. Son olarak tüm kuyucuklara çalışılan 100 µL mikroorganizma örneği (ölçümleme yapıldıktan sonra) eklendi. Örnekler 24 saat boyunca oda koşullarında inkübe edildi. İnkübasyon sonrası elde edilen değerler yardımıyla bitki ekstraktlarının minimum madde konsantrasyonu hesaplandı (İnci & Kırbağ, 2018).

2.5. Hücre Kültürü

Bu çalışmada insan mide kanseri (MKN-45), insan prostat kanseri (PC3) ve insan meme kanseri (MCF-7) olmak üzere üç farklı hücre hattı kullanıldı. MKN-45, PC3, MCF-7 hücre hatları Amerikan Tıp Kültür Koleksiyonundan temin edildi (ATCC). MKN-45, PC3, MCF-7 hücrelerinde besiyer olarak 2mM L-Glutamine ve NaHCO₃ ayrıca % 10 Fetal Bovine serum eklenmiş DMEM (Dulbecco's modified Eagle's medium) kullanıldı. DMEM ve FBS ticari olarak Gibco (Invitrogen)' den satın alındı. Tüm hücreler 25 cm² lik flasklarda (Corning-Sigma-Aldrich, USA), 37 °C'de nemlendirilmiş bir karbondioksit inkübatörde (% 5 CO₂ +% 95 O₂) kültüre edildi. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktları hücrelere uygulanmadan önce, hücrelerin canlılık oranları % 0.4 Tripan Mavisi ile belirlendi. Canlılık oranları% 90'ın altında olması durumunda deneylere başlanmadı (Keser et al., 2018; KÜÇÜKBAY, Mumcu, Tekin, & SANDAL, 2016; SARAÇ et al.).

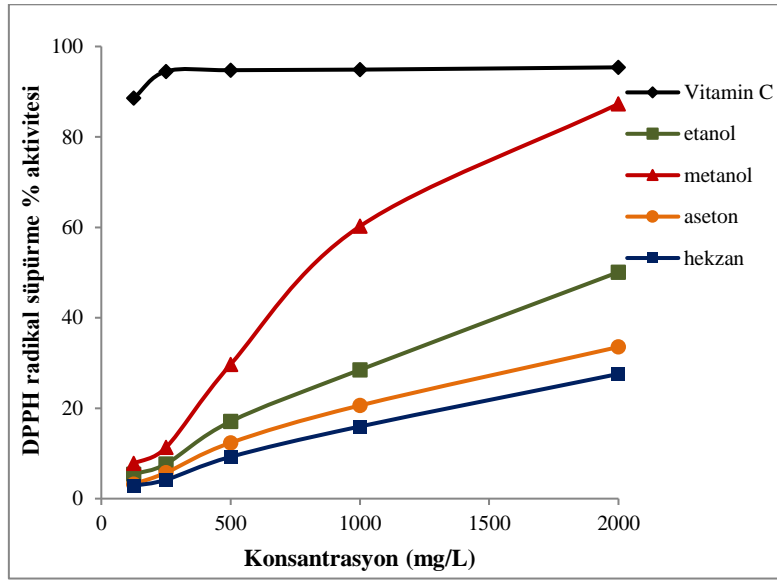
Polygonum cognatum Meissn bitkisinin metanol, etanol, aseton ve hekzan özütlerinin, farklı kanser hücre tiplerine (MKN-45, PC3, MCF-7) karşı çoğalma aktiviteleri, "Cayman WST-1 cell proliferation assay" kiti kullanılarak değerlendirildi. Bu test, canlı hücrelerde mitokondriyal dehidrojenaz enzimleri tarafından Wst-1 tetrazolyum tuzunun enzimsel olarak kesilerek formozan oluşturup renk değiştirmesi esasına dayanmaktadır (TOKUR & AKSOY, 2017). Öncelikle hücreler, 96 oyuklu kültür plakalarına 5x10³/oyuk

(%10 FBS içeren 200 µL besiyer içinde) hücre yoğunluğu olacak şekilde yerleştirildi ve % 5 CO₂ içeren nemli bir atmosfer altında 24-48 saat süreyle 37 ° C'de inkübe edildi. Sonraki gün oyuklardaki besiyerler alınıp, yerine 100 µL taze besiyer eklendi. Daha sonra hücreler üzerine 24 saat boyunca inkübe olacak şekilde çeşitli konsantrasyonlarda (1, 10, 100 ve 1000 µg/mL) bitki ekstraktları muamele edildi. Her bir oyuğa 10 µL WST-1 karışımından ilave edilerek orbital karıştırıcı üzerinde 1 dk yavaşça karıştırıldı. Hücreler 37°C' de CO₂ inkübatöründe 2- 4 saat renk oluşuncaya kadar inkübasyona bırakıldı. Oluşan rengin absorbansı 450 nm'de Elisa plaka okuyucu ile ölçüldü. Hücre canlılığı, 24-48 saatlik inkübasyondan sonra hücrelerin mitokondriyal aktivitesinin, oldukça hassas WST-1 deneyi ile tayin edilmesi suretiyle belirlendi (Boivin, Blanchette, Barrette, Moghrabi, & Beliveau, 2007). Negatif kontrol olarak DMEM (% 0,5 DMSO içerir) kullanıldı (Erugur et al., 2020). WST-1 hücre proliferasyon deneyleri sonucunda IC₅₀ değerleri GraphPad Prism 6 programı kullanılarak hesaplandı (SARAÇ et al.).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Antioksidan Aktivite Sonuçları

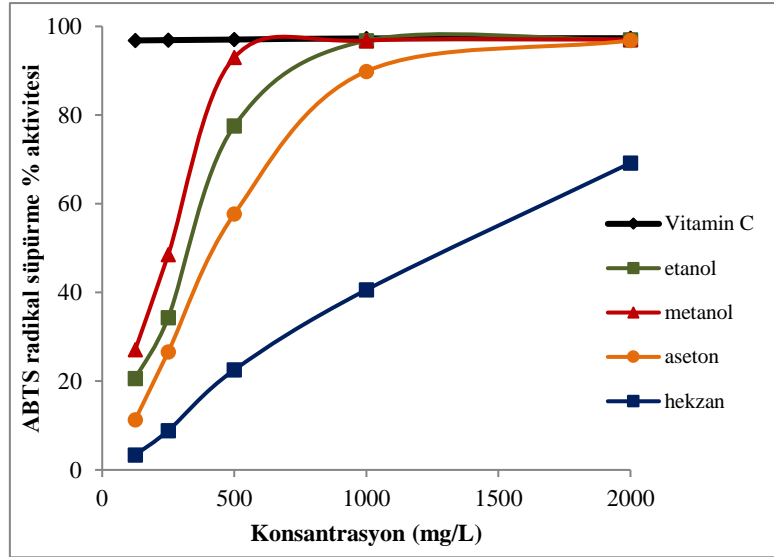
Polygonum cognatum Meissn bitkisinin 4 farklı çözücüde hazırlanan ekstraktlarının DPPH radikal süpürme aktiviteleri Şekil 1.' de gösterildi. Bitki ekstraktlarının antioksidan aktivitesinin artan ekstrakt konsantrasyonu ile artış gösterdiği görüldü. Metanol çözücüsünde hazırlanan bitki ekstraktının diğer çözücülerden daha yüksek DPPH radikal süpürme etkisinin olduğu ve doğal antioksidan olan C vitaminine daha yakın olduğu görüldü.



Şekil 1. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının DPPH radikal süpürme aktivitesi

Bitki ekstraktlarının ABTS radikal süpürme etkileri Şekil 2.' de gösterildi. Etanol, metanol ve aseton çözücülerinde hazırlanan bitki ekstraktlarının doğal antioksidan olan C vitamini kadar radikal süpürme etkilerinin olduğu görülmesine rağmen hekzan içerisinde hazırlanan ekstraktın diğer çözücülere göre radikal süpürme etkisinin daha az olduğu görüldü.

Bitki ekstraktlarının ABTS radikalini giderme etkisi DPPH radikaline kıyasla daha iyidir. DPPH ve ABTS radikallerini giderme etkisi tüm bitki ekstraktları için konsantrasyona bağlıdır. Ayrıca her iki radikal giderme deneylerinde de metanol ekstraktının daha iyi giderme etkisinin olduğu görülmektedir. Bu durum, metanol ekstraktına bitkinin yapısında yer alan serbest radikalleri yok edebilecek bileşenlerin daha yüksek oranda geçmesiyle açıklanabilir.

Şekil 2. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının ABTS radikal süpürme aktivitesiTablo 1. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının total fenolik, total flavanoid ve total proantosiyanidin bileşik miktarları

<i>Polygonum cognatum</i> <i>Meissn</i>	Total Fenolik Bileşik Miktarı ^a	Total Flavonoid Bileşik Miktarı ^b	Total Proantosiyanidin Bileşik Miktarı ^c
Metanol ekstraktı	24,58 + 1,63	483,40+ 1,63	179,26+ 0,61
Etanol ekstraktı	19,26+ 1,36	970,07 +0,94	391,59 + 0,71
Aseton ekstraktı	10,76+0,56	404,4+ 0,82	614,96+ 1,48
Hekzan ekstraktı	4,35+0,93	232,07+ 1,25	249,78+ 1,18

^amg gallik asit/g ekstrakt, ^bµg Kateşin/g ekstrakt, ^cµg Kateşin/g ekstrakt

3.2. Fitokimyasal Analiz Sonuçları

Polygonum cognatum Meissn bitkisinin yağ asitleri ve fitokimyasal içerikleri Tablo 2.' de gösterildi. Yağ asitleri içerisinde α -linoleik asit (%42.73) miktarının en yüksek çıktığı görülmektedir. Baskın yağ asitleri değerleri palmitik asit (%12.10), linoleik asit (15.35) ve oleik asit (%3.99) olarak bulunmuştur. Bitkide, β -Sitosterol değerinin (148,32 µg/g) en yüksek çıktığı görüldü. Ayrıca vitamin D (15,34), retinol asetat (12,98), vitamin K (10,11), stigmasterol (9,37), α -Tokoferol (7,26) değerleri bulundu.

Tablo 2. *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin fitokimyasal içerikleri

Vitamin ve steroller (µg/g)	
Vitamin K	10,11± 0,72
Vitamin D	15,34 ± 1,51
δ -Tokoferol	0,45 ± 0,51
α -Tokoferol	7,26 ± 1,04
Ergosterol	1,51 ± 0,90
Stigmasterol	9,37 ± 2,18
β -Sitosterol	148,32 ± 3,10
Retinol	0,15 ± 0,01
Retinol Asetat	12,98 ± 2,83

Yağ Asitleri (%)	
15:1	2,14 ± 0,13
16:0	12,10 ± 0,45
16:1	1,71 ± 0,10
18:0	0,96 ± 0,14
18:1	3,99 ± 0,27
18:2	15,35 ± 0,65
18:3	42,73 ± 2,10
20:3	7,06 ± 0,17
22:1	3,29 ± 0,25
22:6	4,55 ± 0,20
24:0	1,33 ± 0,06
Diğerleri	4,79 ± 0,07
Σ Doymuş Yağ Asitleri	17,98
Σ Doymamış Yağ Asitleri	80,82

3.3. Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları

Polygonum cognatum Meissn bitkisi için kullanılan *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* COWAN 1, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumonia* FMC 5 suşları ve *Candida albicans* FMC 1 maya türüne karşı yapılan MİK ve DİSK difüzyon test değerleri Tablo 3. Ve Tablo 4.' de verildi. MİK değerleri Morales ve arkadaşlarının belirlemiş oldukları parametrelere dayandırılarak değerlendirildi (Morales, Paredes, Sierra, & Loyola, 2008). Bu parametrelere göre elde edilen MİK bulguları;

- 0,1 mg/mL'den daha düşükse antimikrobiyal aktivite yüksek,
- 0,1 mg/mL–0,5 mg/mL arasındaysa, antimikrobiyal aktivite orta,
- 0,5 mg/mL–1 mg/mL arasında ise, antimikrobiyal aktivite zayıf,
- 1 mg/mL'den fazla ise, etkisiz olarak kabul edilmiştir.

3.3.1. DİSK Difüzyon Yöntemi

Antimikrobiyal aktivite tayini için yapılan DİSK difüzyon metodunda; bakteriler için Streptomisin sülfat (10 µg/disk) ve maya için Nystatin (30 µg/disk) antibiyotik diskler standart olarak kullanıldı. DİSK difüzyon yönteminde *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin, etanol, metanol, aseton ve hekzan ekstraktlarının antimikrobiyal aktivite sonuçları Tablo 3.' de gösterildi. Elde edilen verilere göre *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının, antimikrobiyal aktivite tayini için kullanılan tüm mikroorganizmaların gelişimini engellediği görüldü. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarından, en yüksek inhibisyon zonlarını aseton ekstraktının *E. coli* ve *B. subtilis* e karşı (10 mm), hekzan ekstraktının ise sadece *B. subtilis* e karşı (10mm) göstermiş olduğu tespit edildi.

Tablo 3. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktının DİSK (mg/mL) değerleri

Test Mikroorganizmaları	Metanol ekstraktı	Etanol ekstraktı	Aseton ekstraktı	Hekzan ekstraktı	Streptomisin Sülfat	Nystatin
<i>E. coli</i>	7	8	10	8	24	-
<i>B. subtilis</i>	7	8	10	10	26	-
<i>K. pneumoniae</i>	7	8	8	8	28	-
<i>S. aureus</i>	7	8	8	8	28	-
<i>C. albicans</i>	8	8	8	8	-	20

3.3.2. MİK Yöntemi

Polygonum cognatum Meissn bitkisinin metanol ve etanol ekstraktlarının *E.coli*, *B.subtilis*, *K.pneumoniae*, *S.aureus* ve *C.albicans* mikroorganizmalarına karşı MİK değerleri 0,625 mg/mL olarak ölçüldü. Aseton ekstraktının, *E.coli*, *B.subtilis* a karşı MİK değerleri 0.312 mg/mL; *K.pneumoniae*, *S.aureus* ve *C.albicans* a karşı MİK değerleri 0,625 mg/mL olarak ölçüldü. Hekzan

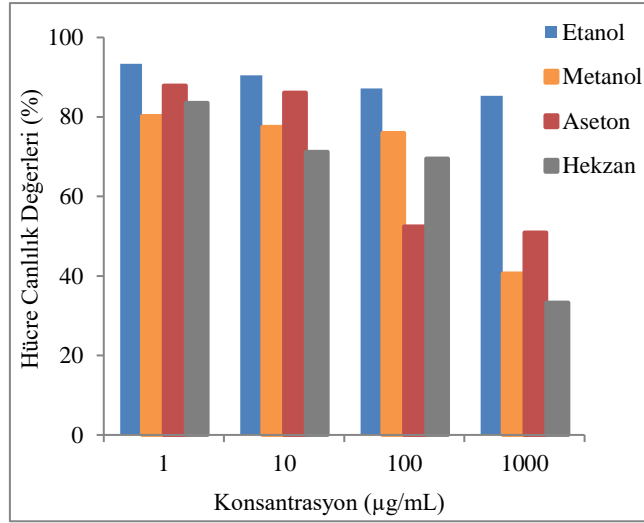
ekstraktının ise *B. subtilis* a karşı MİK değeri 0,312 mg/mL, *E.coli*, *K.pneumoniae*, *S.aureus* ve *C.albicans* mikroorganizmalarına karşı MİK değerleri ise 0,625 olarak belirlendi. Bu ölçümler ışığında *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin metanol ve etanol ekstraktlarının çalışmada kullanılan tüm mikroorganizmalara karşı zayıf antimikrobiyal etki gösterdiği; aseton ekstraktının *E. coli* ve *B. subtilis* a karşı orta, diğer mikroorganizmalara karşı zayıf antimikrobiyal etki; hekzan ekstraktının ise sadece *B. subtilis* a karşı orta, diğer mikroorganizmalara karşı zayıf antimikrobiyal etki gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının MİK (mg/mL) değerleri

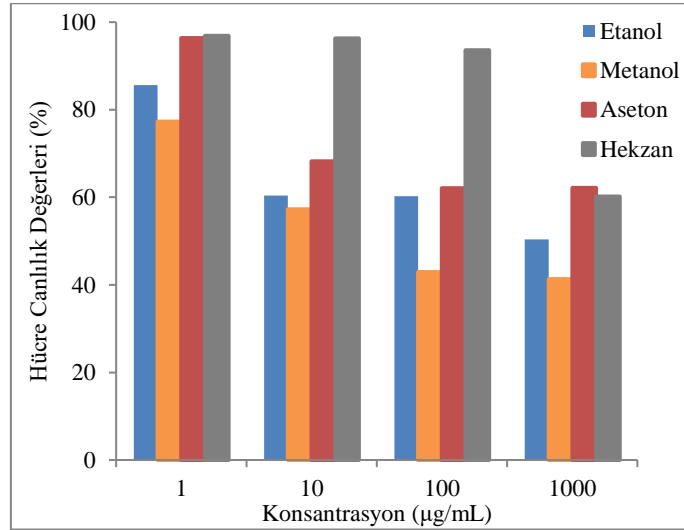
Test Mikroorganizmaları	Metanol ekstraktı	Etanol ekstraktı	Aseton ekstraktı	Hekzan ekstraktı
<i>E. coli</i>	0.625	0.625	0.312	0.625
<i>B. subtilis</i>	0.625	0.625	0.312	0.312
<i>K. pneumoniae</i>	0.625	0.625	0.625	0.625
<i>S. aureus</i>	0.625	0.625	0.625	0.625
<i>C. albicans</i>	0.625	0.625	0.625	0.625

3.4. Hücre Kültürü Sonuçları

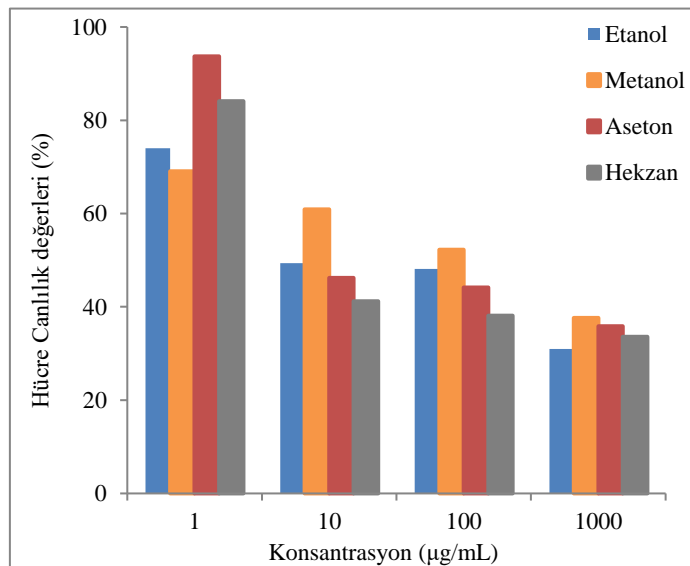
Polygonum cognatum Meissn bitkisinin etanol, metanol, aseton ve hekzan özütlerinin in vitro antikanserijen etkinlikleri MCF-7, PC3, MKN-45 hücre hatlarında WST-1 testi yapılarak belirlendi. Bitki özütü 1-10-100-1000 µg/mL olacak şekilde 4 farklı doz halinde 24 saat süresince hücre kültürlerine uygulandı. Elde edilen veriler SPSS programında ANOVA ve TUKEY testiyle istatistiksel olarak değerlendirildi. Şekil 3.' de *Polygonum cognatum* Meissn (Madımak) bitkisinin MCF-7 kanser hücre hattı üzerindeki etkileri kontrole göre gösterilmektedir. Buna göre *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin tüm ekstraktları, istatistiksel olarak kontrole göre anlamlı hücre canlılık azalması göstermesine rağmen ($p < 0,05$); etanol ekstraktının tüm dozlarının hücre canlılığında önemli bir azalmaya sebep olmadığı görüldü. Metanol ve hekzan ekstraktlarının 1000 µg/mL, aseton ekstraktının ise 100 µg/mL ve 1000 µg/mL konsantrasyonlarının hücre canlılığını azalttığı, diğer konsantrasyonlarda dikkate değer bir hücre canlılık azalması görülmediği belirlendi. Ekstraktların IC₅₀ değerleri Tablo 5.' de belirtildi. IC₅₀ değerleri ve kontrole göre hücre canlılık verileri göz önüne alındığında en yüksek sitotoksik etkiyi aseton ekstraktının verdiği söylenebilir. PC3 kanser hattı üzerine *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin etkisi Şekil 4.' de verildi. Etanol, metanol ve aseton ekstraktlarının 1 µg/mL konsantrasyonları dışındaki diğer konsantrasyonlarda hücre canlılığı doza bağlı olarak azalırken; hekzan ekstraktının ise sadece 1000 µg/mL konsantrasyonunun hücre canlılık miktarını etkilediği görüldü. İstatistiksel olarak da aseton ekstraktının 1 µg/mL ($p > 0,05$), hekzan ekstraktının 1 ve 10 µg/mL ($p > 0,05$) konsantrasyonları dışındaki dozları kontrole göre anlamlı derecede hücre canlılık değerlerinde azalma sağlamıştır. IC₅₀ değerlerine ve hücre canlılık değerlerine bakılarak en etkili olan ekstraktın metanol olduğu belirlendi. Etanol, aseton ve hekzan ekstraktlarının her ne kadar doza bağlı hücre canlılığında azalma görülse de hücre canlılığını önemli derecede azaltmadığı ve IC₅₀ değerlerinin yüksek konsantrasyonda çıkmasından dolayı sitotoksik etkisinin olmadığı ifade edilebilir. Metanol ekstraktının IC₅₀ değerine göre (20,26 µg/mL) kayda değer sitotoksik etkisi olduğu söylenilebilir. *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin MKN-45 hücre hattı üzerindeki etkisi Şekil 5.' de verildi. 1-10-100-1000 µg/mL dozlar halinde uygulanan ekstraktlar, istatistiksel olarak kontrol grubuyla karşılaştırıldığı zaman ekstraktların bu hücre hattı üzerinde doza bağlı olarak anlamlı şekilde hücre canlılığını azalttığı ($p < 0,05$) görüldü. Her bir ekstraktın IC₅₀ değerleri dikkate alındığında *Polygonum cognatum* bitkisinin her bir ekstraktının yüksek sitotoksik aktivite gösterdiği ve MKN-45 hücre hattı üzerindeki en etkili ekstraktın hekzan daha sonra sırasıyla aseton, etanol ve metanol olduğu görülmektedir.



Şekil 3. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının MCF-7 hücre hatlarında 24 saat boyunca dozlara bağlı olarak hücre canlılık değerleri



Şekil 4. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının PC3 hücre hatlarında 24 saat boyunca dozlara bağlı olarak hücre canlılık değerleri



Şekil 5. *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının MKN-45 hücre hatlarında

Tablo 5. *Polygonum cognatum* Meissn(Madımak) ekstraktlarının MCF-7, PC3 ve MKN-45 kanser hücre hatlarındaki IC₅₀ değerleri

Örnekler (µg/mL)	MKN-45	PC3	MCF7
Etanol ekstraktı	11,03	610,36	>1000
Metanol ekstraktı	33,03	20,26	466,82
Aseton ekstraktı	5,90	>1000	238,13
Hekzan ekstraktı	1,84	>1000	453,86

4. Sonuç

Polygonum cognatum Meissn bitkisinin etanol, metanol, aseton ve hekzan ekstraktlarının DPPH ve ABTS' ye dayalı antioksidan aktiviteleri araştırıldı. Metanol ekstraktının hem DPPH hem de ABTS radikal giderme aktivitelerinde daha etkili olduğu görüldü. Ayrıca bitki ekstraktlarının ABTS radikal giderme etkileri doğal antioksidan olan C vitamini kadar etkili olmuştur. Çalışmada ayrıca, *Polygonum cognatum* bitkisinin vitamin, sterol ve yağ asitleri düzeyleri değerlendirildi. Elde edilen sonuçlarda, bu bitkinin iyi bir yağ asidi, vitamin ve sterol kaynağı olduğu görülmektedir. Ek olarak bu bulgular beslenme bilimleri için önemlidir, çünkü özellikle yağ asitleri, vitamin ve steroller sağlık üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. 4 farklı çözücüde hazırlanan bitki ekstraktlarının *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* ve *Candida albicans* mikroorganizmalarının antimikrobiyal aktiviteleri hem Disk difüzyon hem de MİK yöntemi uygulanarak değerlendirildi. Sonuçlara göre *Polygonum cognatum* Meissn bitki ekstraktlarının antimikrobiyal etkilerinin orta düzeyde olduğu söylenilebilir. Bitki ekstraktlarının sitotoksik aktiviteleri ise MCF-7, PC3 ve MKN-45 hücre hatları kullanılarak değerlendirildi. Elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirildi. Bütün hücre hatlarında tüm ekstraktların yüksek dozları kontrole göre sitotoksik etki göstermiştir. Ancak kullanılan 3 kanser hücre hattı içerisinde bitkinin en etkili olduğu kanser hücre hattı IC₅₀ değerlerine ve istatistiksel verilere bakılarak MKN-45 olarak belirlendi. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen veriler *Polygonum cognatum* Meissn bitkisinin yukarıda belirtilen tüm radikallere, mikroorganizmalara ve kanser hücre soylarına karşı oldukça iyi antiradikal, antimikrobiyal ve sitotoksik aktivitelere sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu bitkinin yüksek antiradikal, antimikrobiyal ve sitotoksik özelliklerinden dolayı, farmakolojik amaçlar için kullanılabilceği söylenilebilir.

Teşekkür

Yazarlar; Prof. Dr. Ökkeş YILMAZ'a, Prof. Dr. Sevda KIRBAĞ'a, Doç. Dr. Serhat KESER' e, Doç Dr. Sevgi Durna DAŞTAN'a, Dr. Mustafa Ersin PEKDEMİR' e ve Şule İNCİ' ye katkılarından dolayı teşekkür eder.

Yazarlar ayrıca, bu çalışmanın gerçekleşmesine finansal destek sağlayan FEF.2018.00.002 nolu Bingöl Üniversitesi BAP projesine teşekkür eder.

Kaynakça

- Amaze, O., Ayoola, G., Sofidiya, M., Adepoju-Bello, A., Adegoke, A., & Coker, H. (2011). Evaluation of antioxidant activity of *Tetracarpidium conophorum* (Müll. Arg) Hutch & Dalziel leaves. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2011.
- Baytop, T. (1999). *Türkiye'de bitkiler ile tedavi: geçmişte ve bugün*: Nobel Tıp Kitabevleri.
- BİLGİN, A., & KOCABAĞLI, N. (2010). Etlik piliç beslemede esansiyel yağların kullanımı. *İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 36(1), 75-82.
- Boivin, D., Blanchette, M., Barrette, S., Moghrabi, A., & Beliveau, R. (2007). Inhibition of cancer cell proliferation and suppression of TNF-induced activation of NFκB by edible berry juice. *Anticancer research*, 27(2), 937-948.
- Christie, W. W. (1989). *Gas chromatography and lipids*: Oily.
- Collins, C., & Lyne, P. (1987). *Microbiological Methods* Butter Morths & Co (Publishers) Ltd. London. 450pp.
- Cragg, G. M., & Newman, D. J. (2005). Plants as a source of anti-cancer agents. *Journal of ethnopharmacology*, 100(1-2), 72-79.
- Endo, Y., Usuki, R., & Kaneda, T. (1985). Antioxidant effects of chlorophyll and pheophytin on the autoxidation of oils in the dark. II. The mechanism of antioxidative action of chlorophyll. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 62(9), 1387-1390.
- Eruygur, N., Ucar, E., Ataş, M., Ergul, M., Ergul, M., & Sozmen, F. (2020). Determination of biological activity of *Tragopogon porrifolius* and *Polygonum cognatum* consumed intensively by people in Sivas. *Toxicology Reports*, 7, 59-66.
- FAYDAOĞLU, E., & SÜRÜCÜOĞLU, M. (2013). TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN ANTİMİKROBİYAL, ANTIOKSİDAN AKTİVİTELERİ VE KULLANIM OLANAKLARI. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 233-265.
- Fedorov, A. (1985). Rastitelnie Resursi SSCB. *Nauka, Leningrad*, 260, 61-97.
- Hartwell, J. L. (1982). *Plants used against cancer: a survey*: Quarterman Publications.

- Ho, C.-T., Ferraro, T., Chen, Q., Rosen, R. T., & Huang, M.-T. (1994). Phytochemicals in teas and rosemary and their cancer-preventive properties: ACS Publications.
- Hsieh, T.-c., Wu, P., Park, S., & Wu, J. M. (2006). Induction of cell cycle changes and modulation of apoptogenic/anti-apoptotic and extracellular signaling regulatory protein expression by water extracts of Im-Yunity™(PSP). *BMC complementary and alternative medicine*, 6(1), 30.
- İnci, Ş., Dalkılıç, L. K., Dalkılıç, S., & Kırbağ, S. (2019). Helvella leucomelaena (Pers.) Nannf.'in antimikrobiyal ve antioksidan Etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 20(2), 249-253.
- İnci, Ş., & Kırbağ, S. (2018). Terfezia claveryi Chatin'in besinsel içeriği, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 19(2), 138-143.
- Jain, A., Katewa, S., Galav, P., & Nag, A. (2007). Unrecorded ethnomedicinal uses of biodiversity from Tadgarh-Raoli Wildlife sanctuary, Rajasthan, India. *雲南植物研究*, 29(3), 337-344.
- Keser, S., Celik, S., & Turkoglu, S. (2013). Total phenolic contents and free-radical scavenging activities of grape (Vitis vinifera L.) and grape products. *International journal of food sciences and nutrition*, 64(2), 210-216.
- Keser, S., Kaygili, O., Keser, F., Tekin, S., Yilmaz, Ö., Demir, E., . . . Sandal, S. (2018). Phytochemical Composition, Antiradical, Antiproliferative and Antimicrobial Activities of Capsicum frutescens L. *Analytical Chemistry Letters*, 8(5), 642-652.
- Kim, D.-O., Chun, O. K., Kim, Y. J., Moon, H.-Y., & Lee, C. Y. (2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(22), 6509-6515.
- KÜÇÜKBAY, H., Mumcu, A., Tekin, S., & SANDAL, S. (2016). Synthesis and evaluation of novel \$ N, N'\$-disubstituted benzimidazolium bromides salts as antitumor agents. *Turkish Journal of Chemistry*, 40(3), 393-401.
- Morales, G., Paredes, A., Sierra, P., & Loyola, L. A. (2008). Antimicrobial activity of three Baccharis species used in the traditional medicine of Northern Chile. *Molecules*, 13(4), 790-794.
- Nishina, A., Kubota, K., Kameoka, H., & Osawa, T. (1991). Antioxidizing component, musizin, inrumex japonicus houtt. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 68(10), 735-739.
- Onen, H., Yılar, M., & Kaya, C. (2009). *Phenolic composition of madimak (Polygonum cognatum Meissn.) plants*. Paper presented at the 3rd Plant protection Congress. Abstract Book.
- Önen, H., Altuntaş, E., ÖzGöz, E., Bayram, M., & Özcan, S. (2014). Moisture effect on physical properties of knotweed (Polygonum cognatum Meissn.) seeds.
- Sanchez-Machado, D., Lopez-Hernandez, J., & Paseiro-Losada, P. (2002). High-performance liquid chromatographic determination of α -tocopherol in macroalgae. *Journal of Chromatography A*, 976(1-2), 277-284.
- SARAÇ, H., DAŞTAN, T., DEMİRBAŞ, A., DAŞTAN, S. D., KARAKÖY, T., & DURUKAN, H. Madımak (Polygonum cognatum Meissn.) Bitki Özütlelerinin Besin Elementleri ve In Vitro Antikanserijen Aktiviteleri Yönünden Değerlendirilmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 340-347.
- Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of agricultural and food chemistry*, 40(6), 945-948.
- Shu, Y.-Z. (1998). Recent natural products based drug development: a pharmaceutical industry perspective. *Journal of natural products*, 61(8), 1053-1071.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178): Elsevier.
- Tatli, A. (1988). Important Range Plants of Erzurum Province. *Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome*, 43.
- TOKUR, O., & AKSOY, A. (2017). In vitro sitotoksizite testleri. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 6(1), 112-118.
- Wu, L.-c., Chang, L.-H., Chen, S.-H., Fan, N.-c., & Ho, J.-a. A. (2009). Antioxidant activity and melanogenesis inhibitory effect of the acetic extract of Osmanthus fragrans: A potential natural and functional food flavor additive. *LWT-Food Science and Technology*, 42(9), 1513-1519.
- Yalçın, A. S., Yılmaz, A. M., AltunDAğ, E. M., & KOçtürK, S. (2017). Kurkumin, kuersetin ve çay kateşinlerinin anti-kanser etkileri.
- Yıldırım, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2003). Antioxidant and antimicrobial activities of Polygonum cognatum Meissn extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(1), 64-69.



Prevention of Sourdough Bread Spoliage by Antifungal Lactic Acid Bacteria Fermentation

Zühal Alkay^{1*}, Hilal Kılmanoğlu², Muhammed Zeki Durak^{3†}

^{1*} Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering and Department of Food Engineering 34210, Esenler, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-2420-3369)

² Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering and Department of Food Engineering 34210, Esenler, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0003-0561-4653)

^{3*} Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering and Department of Food Engineering 34210, Esenler, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-7245-1116)

(İlk Geliş Tarihi 12 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.646043)

ATIF/REFERENCE: Alkay, Z., Kılmanoğlu, H. & Durak, M. Z. (2020). Prevention of Sourdough Bread Spoliage by Antifungal Lactic Acid Bacteria Fermentation. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 379-388.

Öz

Fırıncılık ürünleri arasında önemli bir yere sahip olan ekmeğin, kısa sürede tüketilmesini gerektiren en büyük neden küflenmedir. Ekmekte küflenmenin engellenmesi için laktik asit bakterilerinin kullanımı yapılan çalışmalar arasındadır. Ekşi hamur ekmeği, laktik asit bakterisi (LAB) ve maya arasındaki etkileşimle oluşan geleneksel bir ürün olmaktadır. Ekşi hamur fermentasyonunda meydana gelen laktik asit, asetik asit ve alkol, ester, karbonil gibi uçucu bileşikler hamurdaki mikroorganizmalar tarafından üretilmektedir. Ekşi hamur kullanımının, ticari maya kullanılarak elde edilen ürünlerden daha fazla lezzet, daha iyi reoloji ve depolama özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmada, 12 farklı LAB suşunun antifungal aktivitesi ve bu aktivitenin ekşi hamur ve ekmeğin üzerindeki sonuçları incelenmiştir. *Lb. brevis* 28C1B3, *Lb. plantarum* 59E1B4, *Lb. crustorum* 34TB6N, *Lb. brevis* 34TB2M, *Lb. numerensis* 34TB1M, *Lb. paralimentarius* 59O1B2 suşlarının en iyi antifungal aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir. *Lb. brevis* 28C1B3 suşunun en iyi proteolitik aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Ekşi hamurdan saflaştırılan EPS'lerin tümü glukoz yapıda olmuştur. Son olarak ekşi hamur ekmeğinin kontrollü küflenmesi ile antifungal analiz sonucu arasında paralellik gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile ekşi hamur laktik asit bakteri izolatlarının ekmeğin kalite kriterlerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekşi hamur ekmeği, Laktik asit bakterisi, Antifungal aktivite

Prevention of Sourdough Bread Mould Spoliage by antifungal Lactic Acid Bacteria Fermentation

Abstract

Bread has an important place among bakery products. Also, the mold is the biggest reason that requires consumed in a short period of time. The use of lactic acid bacteria to inhibit mold growth in breads are among the studies performed. Sourdough bread is a traditional product formed by the synergistic interaction of lactic acid bacteria (LAB) and yeasts. Lactic acid, acetic acid and various volatile compounds such as ester, alcohol, aldehydes, furan derivatives which occur in the sourdough fermentation, are produced by yeast and bacteria in the dough. It is known that the application of sourdoughs provides more flavor, better rheology, and storage properties than products obtained using commercial yeast. In this study, antifungal activities of 12 different LAB strains and the results of this activity on sourdough and breads were investigated. It was determined that *Lb. brevis* 28C1B3, *Lb. plantarum* 59E1B4, *Lb. crustorum* 34TB6N, *Lb. brevis* 34TB2M, *Lb. numerensis* 34TB1M, *Lb. paralimentarius* 59O1B2 strains had the best antifungal activity. The *Lb. brevis* 28C1B3 strain was found to have the best proteolytic activity. All EPSs purified from sourdough were glucan. Finally, a parallelism was observed between controlled mold molding of sourdough bread and antifungal analysis. With this study, sourdough lactic acid bacterial isolates have shown that it affects the quality criteria of bread positively.

Keywords: Sourdough bread, Lactic acid bacteria, Antifungal activity

^{1*} Sorumlu Yazar: Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering and Department of Food Engineering 34210, Esenler, Istanbul, Turkey ORCID: 0000-0002-2420-3369, zuhalalkay21@hotmail.com

^{3†} Sorumlu Yazar: Yıldız Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering and Department of Food Engineering 34210, Esenler, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0001-7245-1116, mzdurak@yildiz.edu.tr

1. Introduction

Bread making is one of the oldest skills still accepted by mankind (Pétel et al., 2017). Sourdough bread industry technology is gaining importance due to the food quality criteria such as nutritional development, shelf life, production of digestible and delicious foods. The main characteristics of leavened white bread are parameters such as high volume and shelf life, microbiologically safe, good nutritional and sensory properties (Chavan and Jana, 2008; Mildner - Szkudlarz and Bajerska, 2016). Because of these properties, deterioration caused by bacteria and molds is delayed (Behera and Ray, 2016; Gänzle et al., 2008). Because, the economic loss caused by bread mold is large. Therefore, various methods such as the addition of chemical preservatives, various packaging methods and the use of sourdough are being tried. The use of sourdough which is an alternative method for bread production is a natural method besides improving the textural and aromatic properties, which increases the consumer demand (Yan et al., 2016; Axel et al., 2016).

Sourdough bread is called a traditional product with high nutraceutical factors resulting from the positive interaction and biochemical reactions of yeast and lactic acid bacteria (LAB) (Gobbetti, 1998). The use of sour dough fermented with LAB, an alternative to the commonly used additives in bread processing and selected as a strong bioprotective agent, has been supported by several studies. Garofalo et al., (2012) isolated mold from bread and looked at the in vitro antifungal properties of LAB isolates against these molds and confirmed that they have these antifungal properties. Sourdough is formed by fermentation of homo and heterofermentative LAB by mixing flour and water. Because of the concentration of lactic acid and acetic acid is increased in the mixture, the taste resulting from fermentation is sour (El Sheikha and Mahmoud, 2016; Vrček et al., 2014). Antimicrobial compounds formed by lactic acid bacteria in the sourdough system include acetic and lactic acid (Corsetti and Settanni, 2007), cyclic dipeptides, phenyllactic acid (Lavermicocca et al., 2003; Ström et al., 2002) and hydroxy fatty acids (Black et al., 2013; Schnürer and Magnusson, 2005; Ström et al., 2002). However, the concentrations of most of these antimicrobial compounds produced are too low to be a conservation strategy alone. The antifungal effect of sourdough cannot be said to be directly related to pH (Debonne et al., 2018). However, organic acids in sourdough such as pH, acetic and lactic acid affect the degree of activation of several antifungal activities. Also, during sourdough fermentation occur acidification, proteolysis and enzyme activation. LAB in the sourdough have proteolytic activity and the ability to release acids and small peptides from wheat proteins. These processes lead to biochemical changes that affect dough and bakery products positively. Thus, it improves the nutritional and functional quality of bakery products (Gobbetti et al., 2014; Gocmen et al., 2007; Hadaegh et al., 2017). One of the main metabolic activities of LAB species in sourdough is the production of exopolysaccharide (EPS). EPSs affect the technological properties of sourdough and sourdough bread and EPS produced by LAB is used to improve the textural properties of fermented foods (De Vuyst and Degeest, 1999).

The aim of the study is to determine the proteolytic activity of different lactic acid bacteria, the monosaccharides of EPSs from sourdoughs made with these LABs, and the textural properties of sourdough bread. Our study is important for the textural properties of sourdough made with different starters. For this purpose, It was evaluated the effects on the quality of sourdough bread such as controlled moldy, determination of proteolytic activity, determination of sugar amount. Our study is important for the textural properties of sourdough made with different starters.

2. Material and Methods

2.1 Method

2.1.1. Microorganism Strains and culture conditions

Firstly, for the isolation of yeast and lactic acid bacteria from the collected traditional sourdough samples, cultivation was carried out on their suitable media. After all strains performed DNA extraction, they were identified by 16S rRNA sequencing. While the lactic acid bacteria strains selected to this study were *Lb. crustorum* 34TB6N, *Lb. paracasei* 39CB11, *Lb. numerensis* 34TB1M, *Lb. koreensis* 34BB5, *Lb. plantarum* 59E1B4, *W. cibaria* 37KB2, *Lb. brevis* 28C1B3, *Lb. paracasei* 61TB8, *Lb. numerensis* 78STB4, *Lb. brevis* 34TB2M, *Lb. paralimentarius* 59O1B2, *Lb. plantarum* 39LB2, selected yeast was *Saccharomyces pastorium* HM3. These strains were maintained in glycerol at -80 °C until used. The medium used for the reproduction of pure bacteria culture was MRS (De Man Rogosa Sharpe) medium and incubated at 37 °C for 24 hours under anaerobic conditions. Yeast recovery was in culture medium Sabouraud dextrose broth at 30 °C for 24 hours.

Fungal strains (*Penicillium carneum*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* and *Alternaria*) isolated from moulded bread samples. These strains were cultivated on PDA (potato dextrose agar) at 25°C for 72h.

2.1.2 Determination of antifungal activity of LAB

The inhibitory effects of lactic acid bacteria isolated from sourdough on bread molds were investigated. Suspensions of lactic acid bacteria developed in MRS broth were adapted to 10⁷ colony-forming units (CFU) / ml. 5 µl of strains grown in broth were then placed on the MRS agar plates and plates were incubated for 48 h at 37 °C under anaerobic condition. After cooling prepared soft PDA, mold was inoculated into sterile conditions. The plates were overlaid with 10 ml of soft PDA containing 10⁴ cfu / ml molds. The plates were incubated for 72 h at 25 °C and then, measurement of inhibition zone diameter around the bacterial spots was conducted (Mauch et al. 2010). This experiment was performed in duplicate to ensure the accuracy of the results.

2.1.3. Proteolytic activity

The antifungal metabolites formed during sourdough fermentation differ according to the type of bacteria and the substrates used by them. One of the factors affecting the antifungal properties of lactic acid bacteria is the metabolites that are released by breaking down the amino acids in the medium. Therefore, determining the level of their proteolytic activity can be examined relationship with antifungal properties. The proteolytic activities of the isolates of lactic acid bacteria were performed as described by Axel et al. (2016). For this purpose, a modified medium containing 28 g / l skim milk powder, 5 g / l casein peptone, 2.5 g / l yeast extract, 1 g / l glucose and 15 g / l agar was prepared. The clear zones formed by the bacteria developed in the modified medium were measured and experiment was performed twice.

2.1.4. Sourdough preparation

In present study, three different sourdough was prepared. Two different lactic acid bacteria were used for each sourdough fermentation. These bacteria were chosen because of their high antifungal and proteolytic activity properties and are shown in Table 1. Apart from LAB strains (0.2 g per each one bacteria), the ingredients used are 0.2 g of yeast, 75 g of water, 100 g of flour and prepared sourdough fermented for 24 h at 30 ° C. Lactic acid bacteria and yeast cell counts, total titratable acidity (TTA) and pH values of sourdough samples were determined at the beginning and end of fermentation.

2.1.5. Microbiological analysis

Microbiological analysis of sourdough samples were determined according to Gül et al. (2005). The determination of the bacterial population was carried out after completion of sourdough fermentation. Briefly, the samples was homogenised in proportion 1:9 sourdough to 0.85% (w/v) sterilised physiological saline (FTS) (Merck, Germany) solution in stomacher. Obtained serial dilutions plated onto MRS agar and Sabouraud dextrose agar, the plates were incubated at 37 °C for 1-2 day.

2.1.6. Acidity measurements

The total acidity (% lactic acid) of the sourdoughs acidity was determined by volumetric method (Erbaş, 2003) and pH was measured using the (WTW Inolab 7110) pH meter.

2.1.7. Purification of EPS in sourdough

The sourdough sample was weighed and 2:1 ratio of ultrapure water was added. After dissolution, centrifuge at 5000×rpm for 20 min. The supernatant removed after centrifugation was mixed with 96% cold ethanol (twice the supernatant). The mixtures stored for 24 h at 4°C. Collapsed material was collected by centrifugation at 5 °C for 20 min at 5000×rpm. The pellet was dissolved in deionized water, and then 2 times of cold ethanol was added and the same centrifugation conditions were applied to mixture. The purified EPS was frozen at -80°C. After the obtained EPS was lyophilized, it was analyzed by HPLC (Van Geel-Schutten et al., 1999).

2.1.8. Determination of sugar content of sourdoughs

In this context, approximately 0.1 g of sample was mixed with 0.5 M 25 mL of sulfuric acid and incubated at 95°C for 12 hours. Then pH of mixture was adjusted to 7 with 4 M NaOH. After centrifugation at 8000×rpm for 10 minutes and the supernatant was removed and passed through 0.22 µm pore size filter. The prepared samples were injected into the high-pressure liquid chromatography (HPLC-RID, Shimadzu) system with RID-10A refractive index detector. Injection volume was determined as 20 µl and CARBOsep CHO-682 Pb was used as column. The flow rate was adjusted to 0.7 mL/min. The column temperature was kept constant at 25°C and deionized water was used as mobile phase. Sugars such as glucose, sucrose, fructose, xylose, arabinose were used to create the standard calibration curve (Ispirli and Dertli, 2018).

2.1.9. Production of sourdough breads

Three doughs were prepared using previously prepared three different sourdough. Bread doughs include 60 g water, 3 g salt, 2.75 g gluten. It also consists of two times the total weight of the sourdough (220 g wheat flour, 110 g sourdough). The shaped doughs were left to fermentation for 2 hours. After the doughs were fermented baked at 210°C for 30 minutes. LAB strains used in bread preparation are shown in Table 1.

Table 1. Bacterial and yeast combinations used in sourdough breads

Strains codes	
Bread 1	<i>Lb. brevis</i> (22), <i>Lb. plantarum</i> (11), <i>Saccharomyces pastorium</i> (HM3)
Bread 2	<i>Lb. crustorum</i> (4), <i>Lb. brevis</i> (31), <i>Saccharomyces pastorium</i> (HM3)
Bread 3	<i>Lb. numerensis</i> (13), <i>Lb. paralimentarius</i> (33), <i>Saccharomyces pastorium</i> (HM3)
Control	<i>Lb. plantarum</i> 39LB2, <i>Lb. brevis</i> 28C1B3, <i>Saccharomyces pastorium</i> HM3

2.1.10. Controlled mold of breads

Penicillium carneum, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* and *Alternaria* were used to mold the bread. This assay was performed to determine the antifungal effect of LAB strains on these molds after baking bread. Briefly, 10 µL from suspension of 10⁶ conidia/mL of mold was placed on the bread slice. The plastic boxes containing the slices were incubated at room temperature for 10 days. Slices were checked daily in terms of mold growth and colony diameters were measured (Suhr and Nielsen, 2003).

2.1.11. Texture analysis

Texture profile analysis was performed to evaluate the hardness or staling of the breads produced. The textural properties of the breads were measured by the Texture Analyzer TA Plus after the breads were cooked and cooled. The analysis was carried out with a 35 mm cylinder probe on, a approach speed of 55 mm/min, a compression ratio of 25% and a maximum load of 50 N. Bread were tested by cutting a 2.5 cm height. The results were carried out in triplicate and recorded (Mohamed et al., 2008).

2.1.12. Statistical analysis

All data obtained in this study were represented as mean ± standard deviation using SPSS statistical software (SPSS for Windows ver. 22.0). Evaluation of significant differences was performed with ANOVA and Tukey post-hoc tests. All differences were considered significant at P<0.05.

3. Results and Discussion

3.1. Antifungal activity

Mostly microbiological deterioration of breads is caused by mold formation. In particular, mold species such as *Penicillium* spp. and *Aspergillus* spp. cause bread spoilage (Gerez et al., 2009; Legan, 1993). In addition, bacterial disruption (Sorokulova et al., 2003) and yeast disruption (Deschuyffeleer et al., 2011) may occur with rope formation. Mold formation is very important for the shelf life of bread. Therefore, LABs are used as a fermentation agent in bakery applications to improve the specific properties of bread and to obtain dough acidity (Gobbetti et al., 2014; Hammes and Gänzle, 1998). Because LABs produce metabolites with antifungal activity. However, antifungal metabolites are not approved in foods and have been said to adversely affect the taste of bread (Axel et al., 2017; Black et al., 2013; Quattrini et al., 2018). Acetic acid is produced in primary carbohydrate metabolism and has antifungal activity. It also has an effect on the taste and texture of the bread (Drews, 1959; Gerez et al., 2009; Kaditzky et al., 2008). The in situ protective effects of LAB have often been attributed to the synergistic activity of compounds that are not characterized (Axel et al., 2017; Mandel et al., 2013).

Therefore, antifungal activity of 12 LAB isolated from sourdough was determined in our study. The antifungal activities of LAB isolated from sourdough against *A. niger*, *A. flavus*, *P. carneum* were determined (Table 1). In general, overall the LAB strains showed no antifungal effect on *P. carneum* and *A. alternata*, since no zones were formed in the petri where these molds were inoculated. Among LAB strains, which have the most inhibitory effect against *A. niger* were seen as *L. brevis* 28C1B3, *L. plantarum* 59E1B4 and *L. plantarum* 39LB2. LAB having inhibitory effect on *A. flavus* were identified as *L. plantarum* 59E1B4 and *L. plantarum* 39LB2. At the same time, the strain *L. paracasei* 39CB11 and *L. numerensis* 78STB4 of these bacteria showed no inhibitory effect against any of the identified molds. LAB with high antifungal activity were selected for further studies. Within the heterofermentative group of LAB, such as *L. brevis*, displays a high degree of antifungal activity owing to its production of a mixture of organic acids. These acids were reported to have synergistic inhibitory effects on species of *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*. Obviously, LAB have the potential to be used in food preservation to prevent mold growth in general, and have specific antifungal activity against fungi isolated from bread (Kam et al., 2007).

Table 1. Antifungal activity of sourdough lactic acid bacteria

Types of Bacteria	<i>Penicillium carneum</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Alternaria alternata</i>
(4) <i>Lb. crustorum</i> 34TB6N	-	8.0±0.0 ^A	6.05±0.07 ^a	-
(7) <i>Lb. paracasei</i> 39CB11	-	-	-	-
(13) <i>Lb. numerensis</i> 34TB1M	-	8.05±0.07 ^A	6.05±0.07 ^a	-
(17) <i>Lb. koreensis</i> 34BB5	-	-	2.1±0.14 ^b	-
(11) <i>Lb. plantarum</i> 59E1B4	-	8.05±0.07 ^A	10.05±0.07 ^c	-
(21) <i>W. cibaria</i> 37KB2	-	-	8.07±0.1 ^d	-
(22) <i>Lb. brevis</i> 28C1B3	-	2.05±0.07 ^B	12.05±0.07 ^c	-
(24) <i>Lb. paracasei</i> 61TB8	-	-	6.05±0.07 ^a	-
(29) <i>L. numerensis</i> 78STB4	-	-	-	-
(31) <i>Lb. brevis</i> 34TB2M	-	6.05±0.07 ^C	2.05±0.07 ^b	-
(33) <i>Lb. paralimentarius</i> 59O1B2	-	4.1±0.14 ^D	2.1±0.14 ^b	-
<i>Lb. plantarum</i> 39LB2	-	8.0±0.0 ^A	10.0±0.0 ^c	-

^{a-e} Means followed by different lowercase letters represent significant differences for the inhibition on *A.niger* of each bacteria

^{A-D} Means followed by different lowercase letters represent significant differences for the inhibition on *A.flavus* of each bacteria

3.2. pH, TTA and microbiological characteristics of sourdoughs

Table 2 shows the number of LAB and yeast in sourdough samples at 0 and 24 hours, while **Table 3** shows the pH and TTA (% lactic acid) values. In this study, 39LB2-28C1B3-HM3 combination was chosen as a control sourdough sample. Initially, the LAB and yeast counts in sourdough samples were determined as 7.98 and 5.78 log cfu / g respectively. The LAB and yeast counts were determined as 9.4 and 7.1 log cfu / g after the 24 h of the fermentation. The least bacteria growth was found in the sourdough sample *Lb. crustorum*+*Lb. brevis*+*S. pastorium* (4-31-HM3), while the most bacteria growth was in the samples prepared by the culture combination of *S. pastorium*+*Lb. brevis*+*Lb. plantarum* (39LB2-28C1B3-HM3) but the difference between the dough is not statistically significant. The highest increase in the number of yeast among the doughs is 1 and 3 coded dough and difference is statistically significant.

Table 2. Lactic acid bacteria and yeast count (log cfu / g)

Sourdough Code	0 th		24 th	
	Lactobacilli	Yeast	Lactobacilli	Yeast
1(22-11-HM3)	7.93±0.33	5.00±0.03	9.34±0.01 ^b	7.17±0.03 ^B
2(4-31-HM3)	7.72±0.03	-	9.14±0.06 ^{bc}	7.50±0.01 ^C
3(13-33-HM3)	7.91±0.01	5.20±0.01	9.25±0.05 ^a	7.25±0.01 ^B
Control(39LB2-28C1B3-HM3)	7.98±0.33	5.78±0.01	9.44±0.05 ^c	7.08±0.03 ^A

0th : 0. hour of fermentation, 24th : 24. hour of fermentation

^{a-c} Means followed by different lowercase letters represent the significant difference in the change in the number of Lactobacilli in different doughs

^{A-C} Means followed by different lowercase letters represent the significant difference in the change in the number of yeast in different doughs

LAB and yeast count of sourdough samples varied according to fermentation condition. At the end of the fermentation, the yeast count was low in the sourdough sample with high LAB count and Coda et al. (2018) who stated that the lactic acid bacteria increase as a result of sourdough fermentation.

The improvements in sensory and functional properties of bread as a result of the symbiotic relationship between yeast and LAB, sourdough attracts the attention of many researchers (De Vuyst and Neysens, 2005; Galle and Arendt, 2014). LAB synthesize lactic acid by homofermentation of hexose, lactose and acetic acid, ethanol and CO₂ by heterofermentation of hexose. They affect the acidity of

sourdough. The LAB led to the decrease of pH values of sourdough. Also, with the enzymatic activities of LAB, the proteins are hydrolyzed and the free amino acid rate is increased (Hansen and Schieberle, 2005) and thus may cause higher TTA.

With the production of organic acids by LABs, titratable acidity (TTA) increases. Thus, the pH of the dough decreases. Measurement of total organic acids synthesized during dough fermentation is called TTA value (Brandt, 2007). There was an inverse correlation between PH and tta. TTA value decreases with increasing pH. Acidification kinetic parameters of sourdoughs made from the mixed starters in our results are given in Table 3. Initially, the pH values were between 5-6, and at the end of the 24th hour, these values became 3. In addition, the pH values at the end of the 24th hour were similar. The lower pH of the control group is probably due to the mixture of selected LAB strains. Here, *Lb. plantarum* and *Lb. brevis* strains produced more lactic and acetic acid in particular, resulting in a more effective pH reduction in the sourdough. In our results, it is seen that pH and TTA values overlap with each other and the lowest pH value has control sourdough. The other sourdough groups had a similar pH value at the end of 24 hours. The highest pH reduction and acidity increase occurred in the 2 coded dough and is statistically significant.

Table 3. Acidity measurements of sourdough samples

Sourdough Code	0 th		24 th	
	pH	TTA (%lactic acid)	Ph	TTA (%lactic acid)
1(22-11-HM3)	5.94±0.01	0.17±0.00	3.46±0.007 ^a	1.25±0.00 ^b
2(4-31-HM3)	6.00±0.01	0.18±0.00	3.46±0.030 ^b	1.31±0.00 ^b
3(13-33-HM3)	5.27±0.01	0.29±0.00	3.46±0.007 ^c	1.26±0.00 ^a
Control(39LB2-28C1B3-HM3)	5.55±0.01	0.17±0.00	3.39±0.030 ^d	1.18±0.00 ^a

TTA: titratable acidity, 0th : 0. hour of fermentation, 24th : 24. hour of fermentation

^{a-d} Means followed by different lowercase letters represent the significant difference in the change of pH in different doughs

^{A-B} Means followed by different lowercase letters represent the significant difference in the change of TTA in different doughs

3.3. Determination proteolytic activity

LAB have a large number of amino acid auxotrophs and depend on the nutritional requirements for amino acids (Kunji et al., 1996). Many sourdough lactobacilli do not have extracellular proteinase activity (Pepe et al., 2003; Vermeulen et al., 2005). Wheat and rye proteinase activity promotes the growth of non-proteolytic lactobacilli. Extracellular protease activity is known to improve the organoleptic properties of yeasty bakery products and these properties are achieved by producing small peptides and free amino acids as precursors for taste development (Cagno et al. 2002; Rizzello et al. 2014). In addition, extracellular protease activity produces small peptides necessary for acidification and rapid microbial growth during fermentation (Cagno et al. 2002). In addition, the release of bioactive peptides from proteins that are thought to play a role in improving health of certain LAB strains are among the known properties (Leroy et al. 2006). These inventions have demonstrated the use of these LABs in bread making.

The protease activity of 12 lactic acid bacteria used in the study is examined. As shown in Figure 1, it has been determined that LABs have different protease activities with different zone diameters. The highest activity among these lactic acid bacteria strains was 22 (28C1B3-*Lb. brevis*) and the lowest activity was strain 24 (61TB8-*Lb. paracasei*). Axel et al. (2016), the results of our study was supported by giving the conclusion that *Lactobacillus* has proteolytic activity.

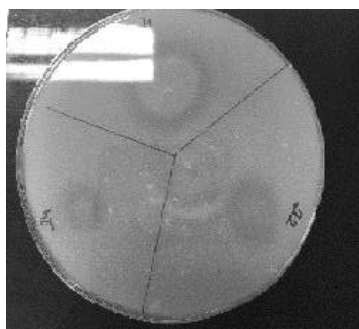


Figure 1. Proteolytic activity of some lactic acid bacteria on milk agar (21: 37KB2-*W. cibaria*, 22: 28C1B3-*Lb. brevis*, 24: 61TB8-*Lb. paracasei*)

3.4. Determination of sugar in sourdough by HPLC

EPSs are long chain polysaccharides produced by microorganisms using various sugars as substrates (Galle and Arendt, 2014; Welman and Maddox, 2003). It is generally composed of branched or repetitive units of sugar and sugar derivatives (Welman and Maddox, 2003). Based on its chemical composition, the EPS may consist of one or two different sugar units. Homopolysaccharide (glucose, fructose) is a type of sugar composed of two different sugar units called heteropolysaccharide (galactose, rhamnose) (Galle and Arendt, 2014). EPS can be used as an anti-staling additive to increase the quality and shelf life of breads (Lynch et al., 2018).

In our results, sour dough was produced with different LAB types and sugars in EPS structure were determined by HPLC. Glucose and fructose were found in all sourdough varieties. In addition, sucrose, arabinose and xylose were not detected. All LAB species produced EPS in the glucan structure and EPSs differed in quantity due to the LAB starters used in sour dough. However, we evaluated sugar groups as present or absent. All EPSs produced by LABs in our study have homopolysaccharide character in glucan structure.

3.5. Determination of Controlled mold of breads

As mentioned previously, it has been reported that the acetic and lactic acids produced by LAB as well as the phenolic acids produced by these bioactive strains exhibit antifungal activity due to their low pH. In addition to organic acids, it has been shown to be the source of antifungal activity in other secondary metabolites produced by LAB (Moore et al., 2008; Crowley et al., 2013; Ahlberg et al., 2015; Hassan et al., 2005). Therefore, in order to protect bakery products from mold spores, it is necessary to either use sourdough with antifungal activity or to use modified atmospheres techniques, ethanol and fungal inhibitors such as propionic, sorbic, benzoic and acetic acids (Legan 1993, Rocken 1996). It is seen that LAB contribute to increase the shelf life of bread since it produces these fungal inhibitors. In our study, the mold zones showed similarity.

In our study, the controlled mold sourdough was kept in plastic containers at room temperature for 10 days. Mold growth was observed at the end of the 7th day. The sourdough was approximately the same as the antifungal activity values of LAB isolates (Table 5). However, *A. alternata* mold developed in 3rd sourdough bread in controlled mold. We also made 39LB2-28C1B3-HM3 sourdough was used as control. In addition, commercial leavened bread (2.5%) was made to show the difference between them. The results showed that commercial yeast bread generally had the highest mold zone measurement. In addition, our control sourdough bread and 4 sour dough bread showed similar mold formation. It was observed that sourdough bread had a higher shelf life compared to commercial bread.

Table 5. Controlled mold results of breads (mm)

Sample Code	<i>Penicillium carneum</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Alternaria</i>
1.dough bread	-	14.0±0.00	15.0±0.00	-
2.dough bread	-	15.0±0.00	15.0±0.00	-
3.dough bread	-	14.0±0.00	15.0±0.00	8.5±0.00
Commercial yeast bread	-	17.0±0.00	15.0±0.00	10.0±0.00
Control(39LB2-28C1B3-HM3)	-	14.0±0.00	15.0±0.00	-

3.6. Bread texture analysis

While the hardness of the breads 1 and 2 from the prepared sourdough was lower than the control sourdough bread, it was seen that the hardness of the bread numbered 3 was higher than the control. Springiness and resilience values were higher than control bread and chewiness and gumminess values were lower (Table 6).

Table 6. Texture profile analysis of the prepared breads (mean ± Std.)

	Hardness(N)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness	Resilience
Control	7.26±0.34	0.91±0.00	0.85±0.01	5.87±0.46	5.32±0.42	0.55±0.02
Bread 1	4.11±0.19	0.96±0.02	0.87±0.00	4.01±0.54	3.84±0.52	0.59±0.01
Bread 2	5.25±0.24	0.95±0.02	0.86±0.00	4.32±0.34	4.08±0.31	0.59±0.00
Bread 3	6.17±0.07	0.93±0.02	0.84±0.01	5.20±0.00	4.90±0.04	0.57±0.01
Commercial yeast bread	2.44±0.22	1.73±0.22	0.89±0.01	2.10±0.27	3.60±0.09	0.61±0.01

The lower hardness of breads 1 and 2 may result from differences in the biological acidification and amino acid use of the strains used in those breads. Hadaegh et al. (2017), the use of sourdough reduces the hardness and organic acids as a result of the enzymatic activation of lactic acid bacteria, acidity is said to increase. Thanks to the increased acidity, it is stated that the solubility of gluten is increased and the hardness decreases. Bread 3 is harder and it's can be because amount of EPS in sourdough 3 is low and this may be the decrease in bread volume (Tamani et al., 2013). According to the results of the texture analysis, it is seen that 2.5% commercial yeast bread has a softer structure than the sourdough. The reason for this may be interpreted as the gas produced by the metabolism of the yeast may cause to increase the bread volume and decrease the hardness (Ronda et al., 2015).

4. Conclusion

This study demonstrated effect of some LAB on the textural, microbiological and quality properties of sourdough breads. The results showed that strains with the best antifungal activity among LABs were *Lb. plantarum* and *Lb. brevis*. *Lactobacillus brevis* strain has the best proteolytic activity. Monosaccharides contained of EPS in sourdough with different LAB and yeast combination have been glucose and fructose and the monosaccharides in the sourdough samples were the same. Also, it was observed that sourdough breads showed higher hardness values than commercial yeast breads. These are of great importance for future work.

References

- Ahlberg, S. H., Joutsjoki, V., Korhonena, H. J. (2015). Potential of lactic acid bacteria in aflatoxin risk mitigation. *International Journal of Food Microbiology*, 207, 87-334 102.
- Axel C., Brosnan B., Zannini E., Peyer L. C., Furey A., Coffey A., Arendt E. K. (2016). Antifungal activities of three different *Lactobacillus* species and their production of antifungal carboxylic acids in wheat sourdough. *Applied Microbiology Biotechnology*, 100, 1701–1711.
- Axel, C., Zannini, E., Arendt, E.K., (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation: a review of current strategies for bread shelf life extension. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57, 3528–3542.
- Behera, S. S., & Ray, R. C. (2016). Sourdough bread. In C. M. Rosell, J. Bajerska, & A. F. El Sheikha (Eds.), *Bread and its fortification* (pp. 53–67). Boca Raton: CRC Press.
- Black, B. A., Zannini, E., Curtis, J. M., & Gi, M. G. (2013). Antifungal hydroxy fatty acids produced during sourdough fermentation: microbial and enzymatic pathways, and antifungal activity in bread. *Appl. Environ. Microbiol.*, 79(6), 1866-1873.
- Brandt MJ (2007) Sourdough products for convenient use in baking. *Food Microbiol* 24(2):161–164. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.010>
- Chavan, R., & Jana, A. (2008). Frozen dough for bread making – A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 2, 9–27. <https://doi.org/10.3923/ijds.2010.113.127>
- Coda R., Xu Y., Morena D. S., Mojzicac D., Nionellia L., Rizzello C. G., Katina K. (2018). Performance of *Leuconostoc citreum* FDR241 during wheat flour sourdough type I propagation and transcriptional analysis of exopolysaccharides biosynthesis genes. *Food microbiology* 76:164-172. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.05.003>.
- Corsetti, A., & Settanni, L. (2007). *Lactobacilli* in sourdough fermentation. *Food Research International*, 40(5), 539–558.
- Crowley, S., Mahony, J., & Van Sinderen, D. (2013). Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-preservatives. *Trends in Food Science & Technology*, 33, 93-109.
- De Vuyst, L., & Degeest, B. (1999). Heteropolysaccharides from lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 23(2), 153–177.
- De Vuyst, L., Neysens, P. (2005). The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends Food Sci. Technol.* 16, 43–56.
- Debonne, E., Van Bockstaele, F., De Leyn, I., Devlieghere, F., & Eeckhout, M. (2018). Validation of in-vitro antifungal activity of thyme essential oil on *Aspergillus niger* and *Penicillium paneum* through application in par-baked wheat and sourdough bread. *LWT*, 87, 368-378.
- Deschuyffeleer, N., Audenaert, K., Samapundo, S., Ameye, S., Eeckhout, M., & Devlieghere, F. (2011). Identification and characterization of yeasts causing chalk mould defects on par-baked bread. *Food microbiology*, 28(5), 1019-1027.
- Di Cagno, R., De Angelis, M., Lavermicocca, P., De Vincenzi, M., Giovannini, C., Faccia, M., & Gobbetti, M. (2002). Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68(2), 623-633.
- Drews, E. (1959). Der Einfluß gesteigerter Essigsäurebildung auf die Haltbarkeit des Schrotbrotes. *Brot Gebäck*, 13, 113-114.
- El Sheikha, A. F., & Mahmoud, Y. A.-G. (2016). Bread fungal contamination: Risk of mycotoxins, protection of anti-fungal and need to fungal identification. In C. M. Rosell, J. Bajerska, & A. F. El Sheikha (Eds.), *Bread and its fortification for nutrition and health benefits* (pp. 150–162). Boca Raton, FL: Science Publishers Inc., CRC Press.
- Erbaş M., (2003). Yaş Tarhananın Üretim ve Farklı Saklama Koşullarında Bileşimindeki Değişmeler. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Galle, S., Arendt, E.K. (2014). Exopolysaccharides from sourdough lactic acid bacteria. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54, 891–901.
- Gänzle, M. G., Haase, G., & Jelen, P. (2008). Lactose: Crystallization, hydrolysis and value-added derivatives. *International Dairy Journal*, 18(7), 685–694. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.003>
- Garofalo, C., Zannini, E., Aquilanti, L., Silvestri, G., Fierro, O., Picariello, G., & Clementi, F. (2012). Selection of sourdough *Lactobacilli* with antifungal activity for use as biopreservatives in bakery products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(31), 7719–7728

- Gerez, C. L., Torino, M. I., Rollán, G., & de Valdez, G. F. (2009). Prevention of bread mould spoilage by using lactic acid bacteria with antifungal properties. *Food control*, 20(2), 144-148.
- Gobbetti, M. (1998). The sourdough microflora: Interactions of lactic acid bacteria and yeasts. *Trends in Food Science & Technology*, 9(7), 267-274. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00053-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00053-3)
- Gobbetti, M., Rizzello, C.G., Di Cagno, R., De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, 37, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>
- Gocmen D., Gurbuz O., Kumral A.Y., Dagdelen A.F., Sahin I. (2007). The effects of wheat sourdough on glutenin patterns, dough rheology and bread properties. *European Food Research and Technology*, 225: 821-830.
- Gül H., Özçelik S., Sağdıç O., Certel M. (2005). Sourdough bread production with lactobacilli and *S. cerevisiae* isolated from sourdoughs. *Process Biochemistry* 40: 691-697
- Hadaegh H, Seyyedain Ardabili S M, Tajabadi Ebrahimi M, Chamani M and Azizi Nezhad R. (2017). The Impact of different lactic acid bacteria sourdoughs on the quality characteristics of toast bread. *Journal of Food Quality*, 1-11.
- Hammes, W.P., Gänzle, M.G., 1998. Sourdough breads and related products. In: Wood, B.J.B. (Ed.), *Microbiology of Fermented Foods*. Springer US, Boston, MA, pp. 199-216.
- Hansen, A., and Schieberle, P. (2005). Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1), 85-94.
- Hassan, Y., Zhou, T., & Bullerman, L. B. (2005). Sourdough lactic acid bacteria as antifungal and mycotoxin-controlling agents. *Food Science and Technology International*, 22, 79-90.
- Ispirli H. and Dertli E. (2018). Isolation and identification of exopolysaccharide producer lactic acid bacteria from Turkish yogurt. *J Food Process Preserv.* 42:e13351. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13351>
- Kaditzky, S., Seitter, M., Hertel, C., Vogel, R.F., 2008. Performance of *Lactobacillus sanfranciscensis* TMW 1.392 and its levansucrase deletion mutant in wheat dough and comparison of their impact on bread quality. *Eur. Food Res. Technol.* 227, 433-442.
- Kam, P. V., Bianchini, A., & Bullerman, L. B. (2007). Inhibition of mold growth by sourdough bread cultures. *RURALS: Review of undergraduate research in agricultural and life sciences*, 2(1), 5.
- Kunji, E. R., Mierau, I., Hagting, A., Poolman, B., & Konings, W. N. (1996). The proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 70(2-4), 187-221.
- Lavermicocca, P., Valerio, F., & Visconti, A. (2003). Antifungal activity of phenyllactic acid against molds isolated from bakery products. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(1), 634-640.
- Legan, J.D. (1993). Mould spoilage of bread: The problem and some solutions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 32(1), 33-53.
- Lynch, K. M., Coffey, A., & Arendt, E. K. (2018). Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products. *Food Research International*, 110, 52-61.
- Mandel, V., Sen, S.K., Mandel, N.C., 2013. Production and partial characterisation of an inducer-dependent novel antifungal compound(s) by *Pediococcus acidilactici* LAB 5. *J. Sci. Food Agric.* 93, 2445-2453.
- Mauch A, Dal Bello F, Coffey A, Arendt EK. (2010). The use of *Lactobacillus brevis* PS1 to in vitro inhibit the out growth of *Fusarium culmorum* and other common *Fusarium* species found on barley. *Int J Food Microbiol* 141:116-21.
- Mildner-Szkudlarz, I., & Bajerska, J. (2016). Phytochemicals as functional bread compounds. In C. M. Rosell, J. Bajerska, & A. F. El Sheikh (Eds.), *Bread and its fortification for nutrition and health benefits* (pp. 373-384). Boca Raton, FL: Science Publishers Inc., CRC Press.
- Mohamed A., Rayas-Duarte P., Xu J. 2008. Hard Red Spring wheat/C-TRIM 20 bread: Formulation, processing and texture analysis. *Food Chemistry*, 107, 516-524.
- Moore, M.M., Dal Bello, F., & Arendt, E.K. (2008). Sourdough fermented by *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 improves the quality and shelf life of gluten-free bread. *European Food Research and Technol*, 226, 1309-1316.
- Pepe, O., Villani, F., Oliviero, D., Greco, T., & Coppola, S. (2003). Effect of proteolytic starter cultures as leavening agents of pizza dough. *International journal of food microbiology*, 84(3), 319-326.
- Pétel, C., Onno, B., & Prost, C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 105-123. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.015>
- Quattrini, M., Bernardi, C., Stuknytė, M., Masotti, F., Passera, A., Ricci, G., Vallone, L., De Noni, I., Brasca, M., Fortina, M.G., 2018. Functional characterization of *Lactobacillus plantarum* ITEM 17215: a potential biocontrol agent of fungi with plant growth promoting traits, able to enhance the nutritional value of cereal products. *Food Res. Int.* 106, 936-944.
- Rizzello CG, Curiel JA, Nionelli L, Vincentini O, Di Cagno R, Silano M, Gobbetti M, Coda R (2014). Use of fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria for making wheat bread with an intermediate content of gluten. *Food Microbiol* 37: 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.017>
- Rocken, W. (1996). Applied aspects of sourdough fermentation. *Adv. Food Sci.* 18:212-216.
- Ronda F, Perez Quirce S, Lazaridou A, Billiaderis CG. (2015). Effect of barley and oat β -glucan concentrates on gluten-free ricebased doughs and bread characteristics. *Food Hydrocolloids*, 48, 197-207.
- Schnürer, J., & Magnusson, J. (2005). Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 70-78.
- Sorokulova, I. B., Reva, O. N., Smirnov, V. V., Pinchuk, I. V., Lapa, S. V., & Urdaci, M. C. (2003). Genetic diversity and involvement in bread spoilage of *Bacillus* strains isolated from flour and rye bread. *Letters in applied microbiology*, 37(2), 169-173.
- Ström, K., Sjögren, J., Broberg, A., & Schnürer, J. (2002). *Lactobacillus plantarum* MiLAB 393 produces the antifungal cyclic dipeptides cyclo (L-Phe-L-Pro) and cyclo (L-Phe-trans-4-OH-L-Pro) and 3-phenyllactic acid. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68(9), 4322-4327.

- Suhr and Nielsen,(2003). Antifungal activity of essential oils evaluated by two different application techniques against rye bread spoilage fungi. *Journal of Applied Microbiology* 94, 665–674.
- Tamani RJ, Goh K K T and Brennan C S. (2013). Physico-chemical properties of sourdough bread production using selected Lactobacilli starter cultures. *Journal of Food Quality*, 36, 245–252.
- Van Geel-Schutten, G. H., Faber, E. J., Smit, E., Bonting, K., Smith, M. R., Ten Brink, B., [Kamerling J.P.](#), [Vliegenthart](#), J. F. G. and [Dijkhuizen](#) L. (1999). Biochemical and Structural Characterization of the Glucan and Fructan Exopolysaccharides Synthesized by the *Lactobacillus reuteri* Wild-Type Strain and by Mutant Strains. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(7), 3008-3014.
- Vermeulen, N., Pavlovic, M., Ehrmann, M. A., Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2005). Functional characterization of the proteolytic system of *Lactobacillus sanfranciscensis* DSM 20451T during growth in sourdough. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71(10), 6260-6266.
- Vrček, I. V., Čepo, D. V., Rašić, D., Peraica, M., Žuntar, I., Bojić, M., ... & Medić-Šarić, M. (2014). A comparison of the nutritional value and food safety of organically and conventionally produced wheat flours. *Food chemistry*, 143, 522-529.
- Welman, A. D., & Maddox, I. S. (2003). Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Perspectives and challenges. *Trends in Biotechnology*, 21(6), 269–274.
- Yan B., Zhao J., Fan D., Tian F., Zhang H., Chen W. (2016). Antifungal activity of *Lactobacillus plantarum* against *Penicillium roqueforti* in vitro and the preservation effect on chinese steamed bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1-9.



Adaptation of Media and Technology Usage Scale and Attitude Scale to Arabic

Adel Ayad^{1*}, Abdulkadir Karacı²

¹ Kastamonu University, Institute of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering (Master Student), Kastamonu, Turkey (ORCID: 0000-0003-3662-0079)

² Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Kastamonu, Turkey (ORCID: 0000-0002-2430-1372)

(First received 6 January 2020 and in final form 1 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.670527)

ATIF/REFERENCE: Ayad, A. & Karacı, A. (2020). Adaptation of Media and Technology Usage Scale and Attitude Scale to Arabic. *European Journal of Science and Technology*, (18), 389-400.

Abstract

The aim of the study was to adapt the media and technology usage scale and attitude scale to Arabic. The methodology of the current study was a quantitative method, as the questionnaire was used from 1100 university students. Then, exploratory factor analysis was performed on the media and technology usage scale. As a result of factor analysis, nine factors emerged. The nine factors are named as follows on Facebook Check, general social media use, primary phone use, video games, media sharing, online friendships, email usage, Facebook friendships, and smartphone use. The attitude scale has three factors. The three factors are named respectively as following positive attitude and negative attitude and Preference for Task Switching. The Cronbach alpha coefficient of the media and technology use subscale of the scale adapted to Arabic was found to be 0.757. This coefficient shows that the media and technology usage subscale has a acceptable degree of internal consistency. In addition, the value of Cronbach alpha coefficient of the attitude subscale was found be 0.699. This indicates that the attitude subscale has a acceptable degree of the internal consistency. As a result, the adapted Arabic form of media and technology usage and attitude scale is a scale that can reliably measure the media and technology usage and attitudes of individuals in Arabic-speaking places around the world.

Keywords: Technology, Media, Attitude, Scale.

Medya ve Teknoloji Kullanımı Ölçeği ve Tutum Ölçeğinin Arapçaya Uyarlanması

Öz

Bu çalışmadaki amaç, medya ve teknoloji kullanım ve tutum ölçeğini Arapçaya uyarlamaktır. Çalışmada, nicel bir metodoloji olarak ölçekler kullanılmıştır. Ölçekler vasıtasıyla Libya'daki 1100 üniversite öğrencisinden veri toplanmıştır. Daha sonra, medya ve teknoloji kullanım ölçeğine açımlayıcı faktör analizi yapılmıştır. Faktör analizi sonucunda dokuz faktör ortaya çıkmıştır. Bu dokuz faktör, Facebook kontrolü, genel sosyal medya kullanımı, temel telefon kullanımı, video oyunları, medya paylaşımı, çevrimiçi arkadaşlıklar, e-posta kullanımı, Facebook arkadaşlıkları ve akıllı telefon kullanımıdır. Tutum ölçeğinin üç faktörü vardır. Bu faktörler şunlardır: olumlu tutum, olumsuz tutum ve görev değiştirme tercihi. Arapçaya uyarlanan ölçeğin medya ve teknoloji kullanımı alt boyutunun Cronbach alfa katsayısı 0.757 olarak bulunmuştur. Bu katsayı, medya ve teknoloji kullanım alt boyutunun kabuledilebilir derecede iç tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca tutum alt ölçeğinin Cronbach alfa katsayısı 0,699 olarak bulunmuştur. Bu değer, tutum alt boyutunun iç tutarlılık derecesinin kabuledilebilir olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak medya ve teknoloji kullanım ve tutum ölçeğinin uyarlanmış Arapça formu, dünyada Arapça konuşulan yerlerdeki bireylerin medya ve teknoloji kullanım ve tutumlarını güvenilir bir şekilde ölçebilen bir ölçektir.

Anahtar Kelimeler: Teknoloji, Medya, Tutum, Ölçek.

* Corresponding Author: Kastamonu University, Institute of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering, Kastamonu, Turkey, ORCID: 0000-0003-3662-0079, adel_ayad2003@yahoo.com

1. Introduction

Insufficient number of studies has so far addressed the impact of adapting and using information technology (IT) in the developing countries. Considering the social and cultural factors, for example, level of education, gender and age can affect the information technology adoption in the developing countries. Social networking media is considered as one of the key activities, which are performed on several websites such as MySpace, Facebook, Xanga, Bebo, and Friendster; however, there are some worries for parents and educators about the growing usage and influence of social networking on pedagogy specifically among students and teachers, who are engaged in higher education (Elkaseh, Wong, and Fung, 2016). The transnational industrial globalization is growing that makes it essential to understand the mentioned factors, which result in continuous IT adoption and usage in several organizations, which are located in the mentioned regions. In particular, we should understand the specific socio-cultural factors, which usage as well as adoption. This type of knowledge plays a significant role in assisting the increasing organizations located in certain regions, which require IT usage. The socio-cultural factors include social norms, gender, education, and age. Such factors have a definitive effect on transferring and using information technology in different organizations (Baker, Al-Gahtani, and Hubona, 2007).

This study directed to Arabic countries and the people's attitudes towards media and technology. This study specifically targets the Libyan community, and its attitude towards using latest technologies, including computers, internet, smartphones and social media. Many theoretical backgrounds show different factors, which encourage IT adoption and use in business and other organizations, but so far, this couldn't take place in the developing countries. Since the required frameworks are absent, it shows that some cultures limit the developments in this field (Baker et al., 2007). The Information Technology (IT) researchers, who are keen to explore the relation between the culture and IT, have analyzed the national and organizational cultural impact of different IT problems. On national level, several studies have analyzed the conventional Western management theories, and their relevance to the cultures of the developing countries, and the state cultures on information and communication technology (ICT) and its usage (ICTs) (Leidner and Kayworth, 2006).

In a study conducted in Saudi Arabia (Leidner and Kayworth, 2006) shows that according to respondents, complexity remained the most significant factor that influences the process of e-service adoption. Moreover, the internet quality and its other benefits have a substantial effect on the e-service usage in Saudi Arabia. The next factor is privacy, which is followed by compatibility. This indicates that the respondents of the study, who believed that using internet is easy or the internet is user-friendly, they responded: "I do not face difficulties in accessing the internet from home or work." Besides, they do not face problems in English communication while utilizing the internet services. Generally, such type of people is likely to choose the e-services.

Another study was simultaneously conducted by Baker et al. (2007) in three countries, with different norms and cultures. The authors have demonstrated that among other factors, gender role is a substantial social factor that affects the people's behaviors and perceptions about information technology. The findings demonstrate that gender influences the IT adoption because it provides basis to examine if gender still affects independent variables in the current IT adoption/usage models.

Another study was conducted in the United Arab Emirates (Al-Jenaibi, 2011) that aimed at creating a foundation to understand social media use in the UAE, which helps analyzing the issue of regional social change. Since there is general lack of previous studies in the UAE, the mentioned study has actually laid the foundation for examining complex social media dynamics in the United Arab Emirates, which opened doors for the research. The study conducted by Al-Jenaibi (2011) was an effort to find out the answer to the following questions: What are the challenges and key problems for the UAE residents to accept the social media? What types of social media do the UAE residents prefer and why? What is the trust level of the UAE residents in social media? What are the main advantages of using social media according to the perception of the people living in the UAE? The current study defines the social media as "the media that facilitates social interaction, applying scalable and accessible communication processes, for instance, web-based mobile technology that transforms communication into a kind of interactive dialogue."

The mentioned study provided substantial insight into the social media forms, which are popular in the UAE, which is also true for most of the other countries located in North Africa and the Middle East. The research showed that some popular social media sites are specifically popular such as Facebook, video-sharing sites such as YouTube, and blogging platforms like Twitter. Findings show that the people of the UAE use a variety of social media; so, they have awareness about the potential social media sites, and its ethical/practical limitations. The mentioned social media serves an essential information source, which is nowadays a primary news, entertainment, business, campaigning, and opinion sharing source but according to the opinions of the people living in the UAE, social media sites trigger political changes, urge the government to assure transparency, and help developing business (Al-Jenaibi, 2011).

Another study was conducted in the Middle East and North Africa (MENA) region (Skalli, 2006). It was about the women's viewpoint on information and communication technologies (ICT). According to the author, it is not possible to bring about socio-political changes in MENA without active participation of women. Several studies from other countries also show that women actually affect, determine, and re-determine through their participation in several societies.

The aim of this study is to adapt the media and technology usage and attitude scale to Arabic. It is also to examine the validity and reliability of the scale adapted to Arabic.

2. Assessing Social Media and Technology Usage

After the emergence of social media such as Facebook, researchers have done many efforts to measure the social media usage. For assessing Facebook use, the Facebook Intensity Scale was introduced (Rosen, Whaling, Carrier, Cheever, and Rokkum, 2013). It has six attitudinal statements, which are mainly open-ended questions that evaluate the daily time spent on Facebook and the process of making new friends using a ten-point numerical scale. Moreover, the mentioned attitudinal questions were mostly closed-ended, which needed responses on the Likert scale. This scale has already been used in several studies for measuring activities on Facebook (Rosen et al., 2013). Furthermore, Rosen et al. (2013) assessed people's Daily computer usage and technology-based media usage, and their attitudes towards both of them. According to Rosen et al. (2013), who introduced diverse tools, conducted researches on the people's behaviors towards media and discussed several latest technologies. They mentioned 66 media usage items, and 18 items to measure the people's attitudes towards technology and media. They also used factor analyses for generating 11 subscales such as smartphone use, online friendships, social media usage, internet searches, e-mails, text messaging, media sharing, video games, TV viewership and phone calls. The factor analysis consists of attitude-based subscales: attitudes toward task-switching, negative attitudes, positive attitudes, and technological dependence of anxiety. The mentioned sub-scales show good relations and reliabilities pertaining to the subscales measured in the regular media use and the growing addiction to internet. Based on good validity and reliability, the mentioned study shows that the attitudes scale, and the scale of technology and media use are usable to assess both technology and media.

3. Material and Method

It was found in the business methods literature (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2007) that there are two research paradigms that govern the research domain: They are positivism paradigm and interpretiveism. In the current study, the positivist paradigm would be implemented and utilized, because it is more appropriate for using or applying the scales of technology/media usage and attitudes (Crook and Garratt, 2005; Rosen et al., 2013). More specification of positive is to enhance the scope of the current study in terms of obtaining practical and statistical knowledge about the use of technology and the people's attitudes towards them in Libya.

3.1. Research design

According to the positivist paradigm, the research design of the current study will include the following sub-sections:

3.1.1. Setting

The research setting or context is the Libyan universities, in particular, the higher education institutions. All the universities were intentionally chosen to represent the Libyan higher education institutions. Hence, this setting helped to identify the population and sample for the current study.

3.1.2. Population and Sample

The studied population includes all the students who are currently studying at the Libyan universities; therefore, the study sample would include the students of some Libyan universities.

3.1.3. Sample Selection

A simple sampling procedure (David and Sutton, 2011) was adopted for collecting data using questionnaires from students who are currently studying at the Libyan universities. Thus, the study population is 11000 students and about 1100 students were selected, about 10% of the sample size according to the reliability level (Saunders et al., 2007).

3.1.4. Participants

Participants of research consisted of 1100 university students in 13 different Libyan universities. Overall, 1100 students participated including 48.9% male participants (n=538), while female participants were 51.1% (n=562). 19.6 % of participants were enrolled in the fourth semester (n=216); 15.5% of participants were in the third semester (n=171), and 64.6% of participants were distributed among other semesters from first to tenth semester.

3.1.5. Data collection and Analysis

Details about the current study's questionnaire were explained to the students who are currently studying at the Libyan universities. A verbal agreement (Orfanidou, Woll and Morgan, 2014; Saunders et al., 2007) was made, which can be called as third-party agreement, with the university students. Each questionnaire of the current study had a cover letter that included a brief introduction of the goals of the study, in addition to commitment to confidentiality. Thus, the researcher was responsible for providing instructions to each student on how to answer each question of the study's questionnaire (Saunders et al., 2007). The data collection period was three months.

We used SPSS (Statistical Package for Social Sciences) to statistically analyze the data. Percentages and frequencies were applied for analyzing the socio-demographic data obtained from the questionnaire (Field, 2009). Exploratory factor analysis was used to measure hidden/latent variables, which are not possible to be directly measured. We applied Bartlett's Test and KMO for media to show adequacy of the sample for conducting factor analysis. We calculated correlations to understand the relations among the subscales of media use and attitude.

3.1.6. The Original Scale

The quantitative data were about the technology and media use and attitudes. It includes duration of internet usage, daily internet usage, weekly internet usage, social media usage duration, email checking duration, and duration of smartphone usage (Rosen et al., 2013). We have taken the variables of technology and media usage and attitudes from a study by Rosen et al. (2013). Moreover, Rosen et al. (2013) used the media usage subscale that includes Searching Internet, Facebook Check, General Social Media Usage, Basic phone usage, Video Gaming, Media Sharing, Online Friendships, Email Usage, Facebook Friendships, Smartphone Usage (Rosen et al., 2013).

4. Results and Discussion

This section provides details about the data analysis of the scale that assesses technology, media, and attitudes.

4.1. Factor Analysis of Technology and Media Subscale

4.1.1. KMO and Bartlett's Tests for the Technology and Media Subscale

A principal components factor analysis was conducted on the 44 items. An initial analysis was run to obtain eigenvalues for each factor in the data. Due to cross-loading or low factor loading 21 items were deleted. The KMO value is 0.766 for the current data, which is good (Field, 2009); so, we are confident that we have chosen the right sample size for conducting exploratory factor analysis. Furthermore, the Bartlett's sphericity value = 6737.351 ($p < 0.001$), which indicates that the exploratory factor analysis might be useful with the current data set. That is, Bartlett's sphericity test $\chi^2(253) = 6737.351$, $p < 0.001$, that indicates sufficiently large correlations between questions for conducting the principal component analysis (PCA).

4.1.2. Exploratory Factor Analysis of the Technology and Media Subscale

Table 1 shows Rotated Component Matrix using Varimax with Kaiser Normalization method. The eigenvalues for every component/factor characterize the variance. It is obvious that, for instance, the variance percentage expressed through the first factor is 18.969 % of the total variance. Specifically, the initial nine factors/components show substantially large variance (particularly the Factor 1 because its variance is 18.969 % of the total variance).

The rule of thumb that is usually used to extract all factors is that the eigenvalues should be greater than or equal to 1, which leaves the researcher with nine factors, as the eigenvalues of the nine factors are 4.363, 2.318, 1.951, 1.582, 1.444, 1.215, 1.099, 1.045, and 0.962. There are eight factors, which satisfy Eigenvalues criterion, the ninth factor (Smartphone Usage) falls short of Eigenvalues criterion. The Eigenvalue of Smartphone Usage factor is (.962). It is represented by two strong items that have factor loading of (Q16 = .840 and Q15 = .748) and the correlation between these two items is .328, $p < .001$. All nine factors in combination explain 69.477% of the variance. Factor one is Facebook Check (Q32, Q33 and Q34), factor two is General Social Media Usage (Q35, Q36 and Q37), factor three is Basic Phone Usage (Q5, Q6 and Q7), factor four is Video Gaming (Q29, Q30 and Q31), factor five is Media Sharing (Q22, Q23 and Q24), factor six is Online Friendships (Q43 and Q44), factor seven is Email Usage (Q3 and Q4), factor eight is Facebook Friendships (Q41 and Q42) and factor nine is Smartphone Usage (Q15 and Q16). Table 1 shows each factor explained variance and factor loadings after rotation. Results indicate that the scale is valid.

Table 1 shows rotated component matrix using varimax with Kaiser Normalization method. This matrix contains the factor loadings for each item or question for a specific component or factor. The exploratory factor analysis was conducted applying "Principal Component Analysis" with Varimax Kaiser Normalization, in which, factor loadings should be greater than 0.68. It was used for identifying the factors loadings (Han, 2009). In addition, the cross-factor loading value should be above 0.50 (Han, 2009). The results in Table 1 showed that we have nine factors. The first factor had three questions, which are Q33, Q32, Q34, as their factor loadings are .847, .846 and .685 respectively. The second factor is loaded by three questions, which are Q37, Q36 and Q35, and their factor loadings were .803, .784 and .717 respectively. The third factor is loaded by three questions, which are Q6, Q7 and Q5, as their factor loadings were .837, .804 and .780 respectively. The fourth factor has three questions, which are Q29, Q30 and Q31, as their factor loadings were .783, .773 and .697 respectively. There were three questions pertaining to the fifth factor: Q23, Q22 and Q24, and the ranges of their factor loadings were .755, .744 and .729 respectively. The next factor is sixth in the list, which was loaded by two questions, which are Q43 and Q44. Their factor loadings range from .880 and .856, respectively. The seventh factor is loaded by two questions, which are Q3 and Q4, as their factor loadings ranged from .854 and .852 respectively. The eighth factor is loaded by two questions, which are Q42 and Q41. Their factor loading ranged from .865 and .805 respectively. The final factor or the ninth factor is loaded by two questions, which are Q16 and Q15, as their factor loadings ranged from .840 and .748 respectively. The number of items in the original scale is 44. However, the number of items in the adapted scale is 23. Finally, it can be noticed that the twenty one question was dropped from the analysis, because its factor-loadings are very low or even less than the criterion of factor loading, which is 0.40 (Field, 2009; Han, 2009).

Table 1. Varimax-Rotated Factor Loadings of the twenty-three Usage Items and Explained Variance of the nine Factors

Rotated Component Matrix ^a									
	Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Facebook Check	General Social Media Usage	Basic phone usage	Video Gaming	Media Sharing	Online Friendships	Email Usage	Facebook Friendships	Smartphone Usage
% of the Variance	18.969	10.076	8.483	6.879	6.278	5.284	4.780	4.544	4.185
Eigenvalues	4.363	2.318	1.951	1.582	1.444	1.215	1.099	1.045	0.962
Items									
Q33	.847								
Q32	.846								
Q34	.685								
Q37		.803							
Q36		.784							
Q35		.717							
Q6			.837						
Q7			.804						
Q5			.780						
Q29				.783					
Q30				.773					
Q31				.697					
Q23					.755				
Q22					.744				
Q24					.729				
Q43						.880			
Q44						.856			
Q3							.854		
Q4							.852		
Q42								.865	
Q41								.805	
Q16									.840
Q15									.748

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.^a

4.1.3. Reliability Analysis of the Subscale of Technology and Media Usage

Table 2 shows Reliability Analysis for Media and Technology Usage Scale. The scale had a satisfactory reliability, Cronbach's $\alpha = .757$. Sub-scales reliability ranged from .494 to .819. Although the Smartphone Usage sub-scale Cronbach's $\alpha = .494$ its Inter-Item Correlations' mean is .328 which qualifies the sub-scale reliability in measurement of the indicated sub-variable. Cronbach alpha values are quite sensitive to the number of items in the scale if the scale has fewer items than ten (Pallant, 2013). It is recommended to report the mean inter-item correlation for the items when low values of Cronbach alpha are obtained. Briggs and Cheek (1986) recommend an optimal range for the inter-item correlation of .2 to .4. Since the Inter-Item Correlations' mean is .328 which falls in the recommended range the Smartphone Usage sub-scale is reliable to be used in measurement of the intended sub-variable. Based on the above results the above mentioned scale and sub-scales can be used in measurement of the indicated variable and sub-variables.

Table 2. Reliability Statistics of Media and Technology Usage Subscale

Scales and sub-scales	Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items	Inter-Item Correlations' mean
Media and Technology Usage Scale	.757	.752	23	.116
Facebook Check sub-scale	.819	.820	3	.604
General Social Media Usage sub-scale	.789	.789	3	.554
Basic phone usage sub-scale	.749	.749	3	.498
Video Gaming sub-scale	.716	.716	3	.457
Media Sharing sub-scale	.607	.607	3	.340
Online Friendships sub-scale	.724	.724	2	.568
Email Usage sub-scale	.637	.639	2	.469
Facebook Friendships sub-scale	.619	.619	2	.449
Smartphone Usage sub-scale	.494	.494	2	.328

4.2. Factor Analysis of the Attitude Subscale

4.2.1. Applying Bartlett's Test and KMO to assess the Attitude Subscale

We found that the KMO value. It was 0.759, which is in fact a large value; consequently, we can consider our sample size as adequate for conducting the exploratory factor analysis. Furthermore, the value of Bartlett's test of sphericity $\chi^2 (36) = 1263.252$ ($p \leq 0.001$), which indicates that the exploratory factor analysis might be useful with the current data set. The obtained value of the sphericity test shows that the obtained correlations are large enough to conduct a principal component analysis (PCA).

4.2.2. Exploratory Factor Analysis of the Attitude Subscale

The current research utilizes suppressed small coefficients using an absolute value above 0.40, as recommended by Field (2009). This means that only loadings above 0.40 will be displayed; therefore, it is obvious in Table 3 that just three factors have been extracted. This is because of deciding the load factor, any variable must have a factor equal to 0.50 or more. Consequently, we can conclude that the first factor have significantly higher differences compared to other factors (29.442% much higher than 13.913 and 10.629%).

Table 3 shows Rotated Component Matrix using Varimax with Kaiser Normalization method. There are two factors, which satisfy Eigenvalues criterion, the third factor (Preference for Task Switching) falls short of Eigenvalues criterion. The Eigenvalue of Preference for Task Switching factor is (.957). It is represented by two strong items that have factor loading of (QQ13 = .744 and QQ14 = .624) and the correlation between these two items is .306, $p < .001$. All three factors in combination explain 53.985% of the variance. Factor one is Positive Attitudes (QQ1, QQ2, QQ3 and QQ8), factor two is Negative Attitudes (QQ10, QQ11 and QQ12), and factor three is Preference for Task Switching (QQ13 and QQ14). Table 3 shows each factor explained variance and factor loadings after rotation. Results indicate that the scale is valid.

The results in Table 3 show that there are three factors. The first factor is loaded by four questions, which are QQ1, QQ8, QQ2 and QQ3, as their factor loadings ranged from .752, .679, .655 and .482 respectively. The second factor is loaded by three questions, which are QQ10, QQ11 and QQ12, as their factor loadings ranged from .744, .662 and .660 respectively. The third factor is loaded by two questions, which are QQ13 and QQ14, as their factor loadings ranged from .744 and .624 respectively. The number of items in the original scale is sixteen. However, the number of items in the adapted scale is nine. Finally, it can be noticed that the seven question was dropped from the analysis, because its factor-loadings are very low or even less than the criterion of factor loading, which is 0.40 (Field, 2009; Han, 2009).

Table 3. Varimax-Rotated Factor Loadings of the nine Items Attitude and Explained Variance of the three Factors

	Component		
	1	2	3
	Positive Attitudes	Negative Attitudes	Preference for Task Switching
% of the Variance	29.442	13.913	10.629
Eigenvalues	2.650	1.252	0.957
Items			
QQ1	.752		
QQ8	.679		
QQ2	.655		
QQ3	.482		
QQ10		.744	
QQ11		.662	
QQ12		.660	
QQ13			.744
QQ14			.624

Extraction Method: Principal Component Analysis.
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.^a

4.2.3. Reliability Analysis of the Attitude Subscale

Table 4 shows Reliability Analysis for Attitude Subscale. The scale had a satisfactory reliability, Cronbach's $\alpha = .699$. Sub-scales reliability ranged from .468 to .607. Although all sub-scale Cronbach's α values are below the desired value of .7 their Inter-Item Correlations' mean ranges between .278 and .306 which qualifies the sub-scales reliability in measurement of the indicated sub-variable. Cronbach alpha values are quite sensitive to the number of items in the scale if the scale has fewer items than ten (Pallant, 2013). It is recommended to report the mean inter-item correlation for the items when low values of Cronbach alpha are obtained. Briggs and Cheek (1986) recommend an optimal range for the inter-item correlation of .2 to .4. Since the Inter-Item Correlations' means fall within the recommended range the sub-scales are reliable to be used in measurement of the intended sub-variable. Based on the above results the above-mentioned scale and sub-scales can be used in measurement of the indicated variable and sub-variables.

Table 4. Reliability Statistics of Attitude Subscale

Scales and sub-scales	Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items	Inter-Item Correlations' mean
Attitudes Scale	.699	.699	9	.205
Positive Attitudes sub-scale	.607	.607	4	.278
Negative Attitudes sub-scale	.548	.548	3	.288
Preference for Task Switching sub-scale	.468	.468	2	.306

4.3. Correlation Analysis of Technology and Media Usage and Attitude Subscales

Pearson correlation was used to test the relationships between variables of the study (nine variables of Media and Technology Usage and three variables of Attitudes towards Media and Technology Usage). The aim of using Pearson correlation is to answer the following three research questions:

- Is there an association between the nine types of Media and Technology Usages?
- Is there an association between the three types of Attitudes towards Media and Technology Usages?
- Is there an association between Media and Technology Usages and Attitudes towards Media and Technology Usages?

Table 5 shows Pearson Correlations between variables of the study (nine variables of Media and Technology Usage and three variables of Attitudes towards Media and Technology Usage). There was a statistically strong positive correlation between Facebook Check and General Social Media Usage, $r = .577, p < .01$. There was a statistically moderate positive correlation between Facebook Check and Video Gaming, $r = .455, p < .01$, and between General Social Media Usage and Video Gaming, $r = .454, p < .01$. Other observed correlations between variables of Media and Technology Usage are of weak positive associations, $r < .300, p < .05$. Results indicate associations between most of the nine types of Media and Technology Usages.

There was a statistically moderate positive correlation between Positive Attitudes and Negative Attitudes, $r = .311, p < .01$, and between Positive Attitudes and Preference for Task Switching, $r = .319, p < .01$. A positive significant moderate correlation between Negative Attitudes and Preference for Task Switching is observed, $r = .376, p < .01$. Results indicate associations between the three types of Attitudes towards Media and Technology Usages. Finally, there were no association between Media and Technology Usages and Attitudes towards Media and Technology Usages at the significance level of $p = .05$.

Table 5. Correlations between variables of the study (nine variables of Media and Technology Usage and three variables of Attitudes towards Media and Technology Usage).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-Facebook Check	1	.577**	.085**	.455**	.121**	.036	.020	.056	.102**	-.012-	.001	-.004-
2-General Social Media Usage		1	.078*	.454**	.077*	.023	.037	.025	.099**	.029	.003	.026
3-Basic phone usage			1	.081**	.036	.035	.051	.098**	.273**	.045	.012	.019
4-Video Gaming				1	.128**	.017	-.001-	.074*	.072*	-.003-	-.027-	-.034-
5-Media Sharing					1	.143**	.039	.054	.127**	.048	.026	.038
6-Online Friendships						1	.087**	.291**	.058	.002	.007	-.039-
7-Email Usage							1	.068*	.076*	.045	.006	.000
8-Facebook Friendships								1	.038	.034	.046	.028
9-Smartphone Usage									1	.049	.030	.003
10-Positive Attitudes										1	.311**	.319**
11-Negative Attitudes											1	.376**
12-Preference for Task Switching												1

** p <.01 and * p <.05

4.4. Discussion the Technology and Media Usage Subscale

This study has demonstrated nine factors of the media scale. The first factor (Facebook Check) has factor loadings of three questions, which are Q32, Q33, and Q34. The second factor (General Social Media Usage) is loaded by three questions, which are Q35, Q36 and Q37. The third factor (Basic Phone Usage) is loaded by three questions, which are Q5, Q6 and Q7. The fourth factor (Video Gaming) is loaded by three questions, which are Q29, Q30 and Q31. The fifth factor (Media Sharing) is loaded by three questions, which are Q22, Q23 and Q24. The sixth factor (Online Friendships) is loaded by two questions, which are Q43 and Q44. The seventh factor (Email Usage) is loaded by two questions, which are Q3 and Q4. The eighth factor (Facebook Friendships) is loaded by two questions, which are Q41 and Q42. The ninth factor (Smartphone Usage) is loaded by two questions, which are Q15 and Q16. Finally, the findings have demonstrated that the twenty one question has been dropped from the analysis, because its factor-loadings are very low or less than the criterion of factor loadings, which is 0.40 (Field, 2009; Han, 2009).

The current media and technology scale has nine factors or subscales, which are as follows: Facebook Check, General Social Media Usage, Basic Phone Usage, Video Gaming, Media Sharing, Online Friendships, Email Usage, Facebook Friendships and Smartphone Usage. These subscales are similar to the previous study (Rosen et al., 2013). This study has also shown that the Cronbach's alpha value (0.757) for the media scale is greater than 0.60. This indicates show that the technology and media usage scale have a acceptable internal consistency.

The study shows that Pearson's correlations between the study variables (nine variables in the use of media and technology, and three variables in attitudes towards the use of media and technology). There was a statistically strong statistical correlation between Facebook Check and Social Media Usage. There was a statistically significant positive correlation between Facebook Check and Video Gaming, and between General Social Media Usage and Video Gaming. Other notable correlations between media and technology use variables are weak positive correlations, $r <.300$, $p <.05$. The results indicate a correlation between most of the nine types of media and technology uses

The items Q1, Q2, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21, Q25, Q26, Q27, Q28, Q38, Q39 and Q40 it can be noticed that twenty one questions are dropped from the analysis. Because, their factor-loadings are very low or their factor-loadings are less than the criterion of factor loadings, which is 0.40 (Field, 2009; Han, 2009).

4.5. Discussion on the Attitudes Subscale

The findings have shown that there are three factors. The first factor (Positive Attitudes) is loaded is loaded by four questions, which are QQ1, QQ2, QQ3 and QQ8. The second factor (Negative Attitudes) is loaded by three questions, which are QQ10, QQ11, and QQ12. The third factor (Preference for Task Switching) is loaded by two questions, which are Q13 and Q14. The study showed that the rounded ingredients using Varimax with the Kaiser normalization method. Two factors meet the eigenvalue criteria, and the third factor (preference for toggle tasks) does not meet the eigenvalue criteria. The primary value for the task switcher preference is (.957). It is represented by two powerful elements that have a loading factor (QQ13 = .744 and QQ14 = .624) and the relationship between these two components is .306, $p <.001$. Combined, the three factors explain 53.985% of the variance. When examined reliability findings, it was found that the value of Cronbach's alpha (0.699) is greater than 0.60. The study showed that there is a positive and statistically significant relationship between positive and negative attitudes, $r = .311$, $p <.01$, and between positive attitudes and a task switching preference, $r = .319$, $p <.01$. A moderate positive relationship is noted between negative attitudes and task switch preference, $r = .376$, $p <.01$.

5. Conclusion

In this study, as a result, Rosen et al. the scale developed by (2013) was adapted to Arabic. Arabic technology and media usage subscale consists of 9 factors and 23 questions. Cronbach's alpha value of this subscale is 0.757. Another scale adapted to Arabic is technology and media attitude subscale. This subscale consists of three factors and nine questions. In addition, Cronbach's alpha value of this subscale is 0.699. Reliability of both technology and media usage subscale and attitude subscale adapted to Arabic is acceptable level.

6. Recommendations

The current study recommends the following points:

- It is recommended to use the information obtained by the current media and technology scale and attitude scale when designing the website or publishing advertisements or designing online advertising campaigns.
- It is recommended that the research centers and agencies can utilize the current media and technology scale and attitude scale for measuring people's daily usage of technology-based media and other computer-related activities thus, measuring people's daily online activities can provide information and facts about people's behaviors, as the research centers and agencies can design marketing plans on behalf their clients, such as companies.

7. Limitations and Future Research

The media and technology scale and attitude scale were done with participants contained a self-selected sample of convenience from Libya; thus, the current media and technology scale and attitude scale that may not be generalized to other settings thus, future research is needed to modify the current scales in other settings.

References

- Al-Jenaibi, B. (2011). Use of social media in the United Arab Emirates: An initial study. *European Journal of Social Sciences*, 23(1), 84-97.
- Briggs, S.R. & Cheek, J.M. (1986). The role of factor analysis in the development and evaluation of personality scales. *Journal of Personality*, 54, 106-48.
- Crook, C., & Garratt, D. (2005). The positivist paradigm in contemporary social science research. *Research methods in the social sciences*, 207-214.
- David, M., & Sutton, C. D. (2011). *Social research: An introduction*: Sage Publication, Second Edition, London.
- Elkaseh, A. M., Wong, K. W., & Fung, C. C. (2016). Perceived ease of use and perceived usefulness of social media for e-learning in Libyan higher education: A structural equation modeling analysis. *International Journal of Information and Education Technology*, 6(3), 192.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS*: Sage publications.
- Han, J. (2009). *Supply Chain Integration, Quality Management and Firm Performance in the Pork Processing Industry in China*: Wageningen Academic Publishers.
- Leidner, D. E., & Kayworth, T. (2006). A review of culture in information systems research: Toward a theory of information technology culture conflict. *Mis Quarterly*, 30(2), 357-399.
- Lin, L. Y., Sidani, J. E., Shensa, A., Radovic, A., Miller, E., Colditz, J. B., Primack, B. A. (2016). Association between social media use and depression among US young adults. *Depression and anxiety*, 33(4), 323-331.
- Orfanidou, E., Woll, B., & Morgan, G. (2014). *Research methods in sign language studies: A practical guide*: John Wiley & Sons.
- Pallant, J. (2013). *SPSS survival manual*. McGraw-Hill Education (UK).
- Rosen, L. D., Whaling, K., Carrier, L. M., Cheever, N. A., & Rökkum, J. (2013). The media and technology usage and attitudes scale: An empirical investigation. *Computers in Human Behavior*, 29(6), 2501-2511.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2007). *Research methods for business students*: Financial Times/Prentice Hall.
- Skalli, L. H. (2006). Communicating gender in the public sphere: Women and information technologies in the MENA. *Journal of Middle East Women's Studies*, 2(2), 35-59.
- Baker, W. E., Al-Gahtani, S. S., & Hubona, G. S. (2007). The effects of gender and age on new technology implementation in a developing country: Testing the theory of planned behavior (TPB). *Information Technology & People*, 20(4), 352-375.

MEDIA AND TECHNOLOGY USAGE AND ATTITUDES SCALE
Facebook Check
Q32: Check your Facebook page or other social networks.
Q33: Check your Facebook page from your smartphone.
Q34: Check Facebook at work or school.
General Social Media Usage
Q35: Post status updates.
Q36: Post photos.
Q37: Browse profiles and photos.
Basic phone usage
Q5: Send and receive text messages on a mobile phone.
Q6: Make and receive mobile phone calls.
Q7: Check for text messages on a mobile phone.
Video Gaming
Q29 Play games on a computer, video game console or smartphone BY YOURSELF
Q30: Play games on a computer, video game console or smartphone WITH OTHER PEOPLE IN THE SAME ROOM
Q31: Play games on a computer, video game console or smartphone WITH OTHER PEOPLE ONLINE
Media Sharing
Q22 : Watch video clips on a computer
Q23: Download media files from other people on a computer
Q24: Share your own media files on a computer
Online Friendships
Q43: How many people have you met online that you have never met in person.
Q44: How many people do you regularly interact with online that you have never met in person.
Email Usage
Q3 : Check your work or school e-mail
Q4: Send or receive files via e-mail
Facebook Friendships
Q41: How many friends do you have on Facebook?
Q42: How many of your Facebook friends do you know in person?
Smartphone Usage
Q15: Record video on a mobile phone
Q16: Use apps (for any purpose) on a mobile phone
Positive Attitudes
QQ1: I feel it is important to be able to find any information whenever I want online.
QQ2: feel it is important to be able to access the Internet any time I want.
QQ3: I think it is important to keep up with the latest trends in technology.
QQ8: With technology anything is possible.
Negative Attitudes
QQ10: New technology makes people waste too much time.
QQ11: New technology makes life more complicated.
QQ12: New technology makes people more isolated.
Preference for Task Switching
QQ13: I prefer to work on several projects in a day, rather than completing one project and then switching to another.
QQ14: When doing a number of assignments, I like to switch back and forth between them rather than do one at a time.

ARABIC VERSION OF MEDIA AND TECHNOLOGY USAGE AND ATTITUDES SCALE

النسخة العربية من استخدام وسائل الإعلام والتكنولوجيا ومقاييسها

تفقد الفيسبوك

Q32: تحقق من صفحة في الفيس بوك أو الشبكات الاجتماعية الأخرى.

Q33: تحقق من في الفيس بوك من هاتفك الذكي.

Q34: تحقق في الفيس بوك في العمل أو المدرسة.

استخدام شبكة التواصل الاجتماعي

Q35: نشر تحديثات الحالة.

Q36: نشر الصور ،

Q37: تصفح الملفات الشخصية والصور ،

استخدام الهاتف الأساسي

Q5: إرسال واستقبال الرسائل النصية على الهاتف المحمول.

Q6: إجراء واستقبال المكالمات الهاتفية المحمول.

Q7: التحقق من وجود رسائل نصية على الهاتف المحمول.

ألعاب الفيديو

Q29: اللعب الألعاب على الكمبيوتر أو وحدة التحكم في ألعاب الفيديو أو الهاتف الذكي مع نفسه

Q30: اللعب ألعابًا على جهاز كمبيوتر أو وحدة تحكم لألعاب الفيديو أو هاتف ذكي مع أشخاص آخرين في نفس الغرفة

Q31: اللعب ألعابًا على جهاز كمبيوتر أو وحدة تحكم لألعاب الفيديو أو هاتف ذكي مع الآخرين

تقاسم وسائل الاعلام

Q22: مشاهدة مقاطع الفيديو على جهاز كمبيوتر

Q23: قم بتنزيل ملفات الوسائط من أشخاص آخرين على جهاز كمبيوتر

Q24: مشاركة ملفات الوسائط الخاصة بك على جهاز كمبيوتر

صداقات عبر الإنترنت

Q43: عدد الأشخاص الذين قابلتهم عبر الإنترنت لم تقابلهم شخصيًا أبدًا.

Q44: كم عدد الأشخاص الذين تتفاعل معهم بانتظام عبر الإنترنت والذين لم تقابلهم شخصيًا أبدًا.

استخدام البريد الإلكتروني

Q3: التحقق من عملك أو البريد الإلكتروني المدرسة.

Q4: إرسال أو استقبال الملفات عبر البريد الإلكتروني ،

صداقات الفيسبوك

Q41: كم عدد الأصدقاء لديك على الفيس بوك

Q42: كم من أصدقائك الفيسبوك تعرف شخصيا

استخدام الهاتف الذكي

Q15: تسجيل الفيديو على الهاتف المحمول

Q16: استخدام التطبيقات (لأي غرض) على الهاتف المحمول

مواقف ايجابية

QQ1: أشعر أنه من المهم أن أتمكن من العثور على أي معلومات وقتما أريد في الاتصال بالإنترنت.

QQ2: أشعر أنه من المهم أن تكون قادرًا على الوصول إلى الإنترنت في أي وقت أريد.

QQ3: أعتقد أنه من المهم مواكبة أحدث الاتجاهات في التكنولوجيا.

QQ8: مع التكنولوجيا كل شيء ممكن.

المواقف السلبية

QQ10: التكنولوجيا الجديدة تجعل الناس تضيع الكثير من الوقت.

QQ11: التكنولوجيا الجديدة تجعل الحياة أكثر تعقيدًا.

QQ12: التكنولوجيا الجديدة تجعل الناس أكثر عزلة.

التفضيل لتبديل المهام

QQ13: أفضل العمل على مشاريع متعددة في يوم واحد ، بدلاً من إكمال مشروع واحد والتحول إلى مشروع آخر.

QQ14: عند القيام بعدد من المهام ، أحب التبديل بينكما بدلاً من القيام به في وقت واحد.



Color Based Object Separation in Conveyor Belt Using PLC

Öznur Şengül¹, Sıtkı Öztürk², Melih Kuncan^{3*}

¹Department of Electronics and Communication Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0001-6250-8828)

²Department of Electronics and Communication Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0003-3804-5581)

³Department of Electrical and Electronics Engineering, Siirt University, Siirt, Turkey (ORCID: 0000-0002-9749-0418)

(İlk Geliş Tarihi 6 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 1 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.685936)

ATIF/REFERENCE: Şengül, Ö., Öztürk, S., & Kuncan. M. (2020). Color Based Object Separation in Conveyor Belt Using PLC. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 401-412.

Abstract

In today's production systems, industrial automation systems are preferred in order to provide high-efficiency and high-quality production, and therefore it is continuously developing. PLC is the basis of programmable industrial automation systems. In the study, in the PLC controlled conveyor belt system, the process of separating the objects according to their color by image processing was realized in real-time. In the image processing application, recognition is recognized by separating objects according to their colors. The process of sending objects separated by classes to different containers in the system is also done in real-time. The conveyor belt system used in the study was controlled by S7-1200 PLC. Image processing was performed in Matlab. Communication between Matlab and PLC has been used with the OPC interface application, which is widely used in the industry.

This study, experimental prototype of an automation system that is widely used in industrial applications, has been successfully made. Matlab program was used in the image processing part of the conveyor belt object separation system, PLC program was integrated into communication and control part, and it was seen in experimental studies that the system was working efficiently in real-time. It has been observed that the image processing algorithm for this study has been successfully performed to sort objects according to their colors, PLC-OPC system communication, and separation of objects according to specified positions. As a result of the studies on the experimental prototype, it is foreseen that this system can be applied to a commercial or industrial system.

Keywords: Image processing, image processing in Conveyor belt, Matlab and PLC controlled system, object separation on the conveyor belt, OPC.

PLC ve Operatör Panel Kullanarak Konveyör Bantta Renk Temelli Nesne Ayırıştırma

Öz

Günümüz üretim sistemlerinde yüksek verimli ve kaliteli üretimin sağlanabilmesi için endüstriyel otomasyon sistemleri tercih edilmekte bundan dolayı da sürekli gelişmektedir. Programlanabilir endüstriyel otomasyon sistemlerinin temelini ise PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) oluşturmaktadır. PLC'ler sağladıkları işlem hızı, güvenilirlik, maliyet, programlama esnekliği, fiziksel büyüklük ve bakım gibi avantajlarla endüstride her geçen gün daha fazla tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, endüstriyel sistemlerde gerçekleştirilen görsel denetleme sistemi uygulamalarına bir örnek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada PLC kontrollü konveyör bant sisteminde, nesnelere görüntü işleyerek renklerine göre ayırma işlemi, gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme uygulamasında, nesnelere renklerine göre ayırıştırma yaparak tanıma gerçekleştirilmiştir. Sınıflara

³ Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9749-0418), melihkuncan@siirt.edu.tr

göre ayrılan nesnelere sistemde farklı haznelere gönderilmesi işlemi de gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan konveyör bant sistemi S7-1200 PLC ile kontrol edilmiştir. Görüntü işleme ise Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Matlab ile PLC'nin haberleşmesi ise endüstride yaygın olarak kullanılan OPC (OLE for Process Control) ara yüz uygulaması kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda sanayi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir otomasyon sisteminin başarılı şekilde deneysel prototipi yapılmıştır. Konveyör bant nesne ayrıştırma sisteminin görüntü işleme kısmında Matlab programı kullanılmış, haberleşme ve kontrol kısmında PLC programı entegre edilerek gerçek zamanlı olarak verimli bir şekilde sistemin çalıştığı yapılan deneysel çalışmalarda görülmüştür. Bu çalışma için yapılan görüntü işleme algoritmasının nesnelere renklerine göre ayrıştırma işlemi, PLC-OPC sistem iletişimi ve nesnelere belirlenen konumlara göre ayrıştırılması işlemleri başarıyla gerçekleştirildiği görülmüştür. Deneysel prototip üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde, bu sistemin ticari veya endüstriyel bir sisteme uygulanabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, konveyör bantta görüntü işleme, Matlab ve PLC kontrollü sistem, konveyör bantta nesne ayrıştırma, OPC

1. Introduction

Automation systems take the place of manpower in production. The control of the working systems is carried out in a high quality and efficient manner without the need of manpower with automation systems. Programmable Logical Controller (PLC) is the basis of industrial automation systems. While PLCs offer a cost-effective solution for the control of complex systems, they offer advantages such as applicability to other systems quickly and easily, flexibility in system integration, resistance to electrical noise, vibration, and impact [1]. With the widespread use of automation systems, the workload demanded by PLCs has become too heavy to be performed by a single processor. In most cases, the meaning integrity and requirements of the process are overcome by using multiple PLCs. In the communication of these PLCs, it is mainly realized with the interface that serves high data rates such as Profinet, Modbus, and Profibus. With the additional modules added to the PLC, communication with RS232, RS485 protocols, and GPRS (General Packet Radio Service) networks can also be realized. In literature studies, object separation with PLC, conveyor belt system applications with PLC, image processing with conveyor belt, quality control in image processing system with conveyor belt, and so on. both academic and industrial studies are available in many different fields [2-7]. In the thesis prepared by Turgay Erdoğan in 2012, real-time object recognition and separation of objects were performed with the camera image taken from the band system using artificial neural networks, and studies were performed on various learning methods and performance [8]. In the article published by Sedat Metlek and Bayram Cetişli in 2012, the control of the band system created by using Festo experiment sets was carried out with the digital camera and image processing [9]. In the article published by Filiz Harmankuyu et al., The separation of three different objects in the tape system was controlled by using PLC and Arduino by separating the objects in Matlab environment according to their color and shape using a webcam [10].

In this study, as shown in Figure 1, in the PLC controlled conveyor belt system, the process of separating the objects according to their color was carried out in real-time. Another part of the study, image processing was carried out in Matlab environment. In the image processing stage, the object separation process is performed by taking the image of the objects on the conveyor belt in real-time and determining them according to the colors of the objects with the image processing algorithm. The purposes defined in Matlab are transferred to the PLC by OLE for Process Control (OPC) and carried out for object separation on the conveyor belt in accordance with the object information.

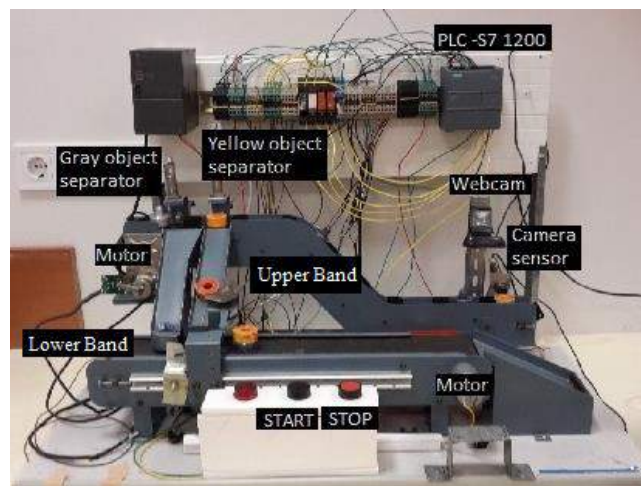


Figure 1. Test setup

2. Operator Panel and OPC

OPC (Ole for Process Control) is a standard for the transmission of real-time data. It is used for communication of SCADA () modules such as PLC, actuator, and sensor used in industrial automation systems. Prior to OPC, each additional module manufacturer defined a unique communication structure. In this case, a software company developing an HMI had to customize the software is developed for each different PLC brand and model. By standardizing OPC communication, for example, HMI software can be developed as the standard for all PLCs. The OPC server is a protocol converter that converts communication of modules that do not conform to the OPC standard to the OPC standard. The first OPC standards were built on Microsoft COM. After 2010, the OPC Foundation began publishing OPC UA (Unified Architecture) features. With OPC UA server,

- Web services and SOA (Service Oriented Architecture) architecture instead of COM,
- Collection of OPC data models (DA, A&E, HDA) under a single service model,
- Can be applied on platforms that contain embedded modules other than Microsoft,
- Reliable and efficient access to highly structured data,

are intended. The OPC server is, in short, a software application. Provides access to a set of data sources (read / write) or communication path. If the OPC client is, OPC is software used by an application to communicate with the server. The client acts as a data receiver, initiates communication, and provides control of the communication. Figure 2 shows the connection between the OPC server and the client.

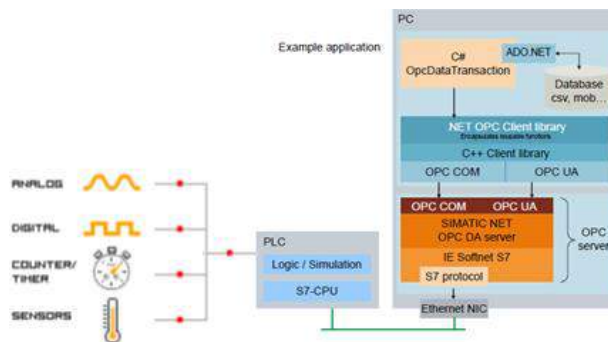


Figure 2. OPC server-client connection

The OPC DA (Data Access) standard provides communication between the client and server and performs real-time data read / write functionality. Matlab – OPC Toolbox is an OPC DA client and can be connected to compatible servers. This enables the OPC server to be accessed in Matlab and read and write OPC data directly.

2.1 OPC Configuration Between PLC-Matlab

To enable OPC communication between PLC-MATLAB, the TIA Portal, and Matlab programs must be pre-set. The necessary actions are given below. Since the PLC project will be created in TIA Portal, OPC configuration is performed in the TIA Portal project. After a new project is created in TIA, PLC and PC station are added to the project via the “add new device mda tab and ‘controller’ and ‘PC station ’interfaces used in the system. In the beginning, the empty PC station is added to the “IE General” communication module and “OPC server from the Catalog Hardware Catalog” tab. As a result of this process, Figure 3 is given the PC station, which forms the OPC structure created in the project.

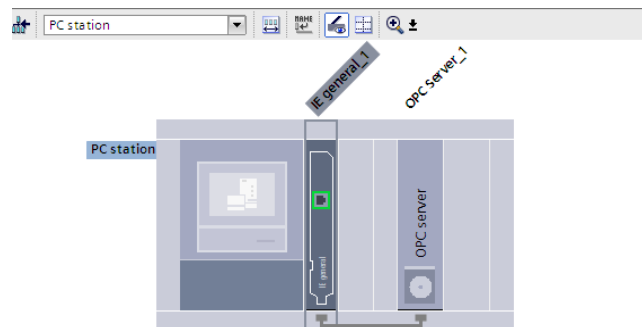


Figure 3. PC station with module added

In the project tree for the IP configuration of the PLC, the IP assignment is performed by following the “Properties >> General >> Profinet interface >> Ethernet address” tabs of the PLC's properties and clicking the “add new subnet” button to assign a subnet to the PROFINET interface. The “Properties >> General >> Profinet interface >> Protection” tabs are followed, and the Allow PLC, HMI, OPC access via PUT / GET communication tab is activated. Figure 4 also shows the interface for the IP assignment.

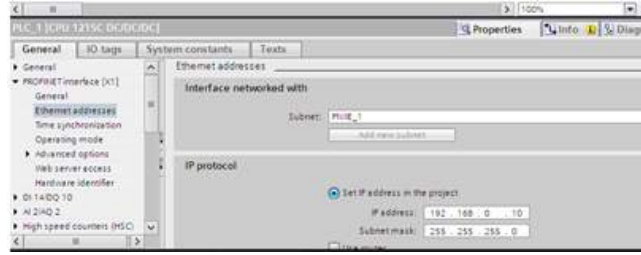


Figure 4. PLC IP assignment

For the PC's network connection configuration, TCP / IPv4 from the Ethernet features of the PC's network and internet settings is first turned on, and an IP assignment is performed on the same network as the PLC. Figure 5 shows the interface where the IP assignment of the PC added to the network is presented.

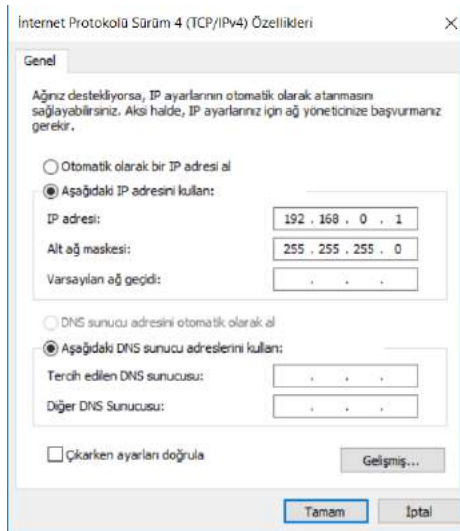


Figure 5. IP assignment of the PC for network connection

The IP assignment of the IE General communication module added to the PC station for OPC configuration is made from Properties >> General >> Profinet interface >> Ethernet address IE from the IE properties. Figure 6 shows the assignment of the IP address of the PC to the IE General module for OPC communication.

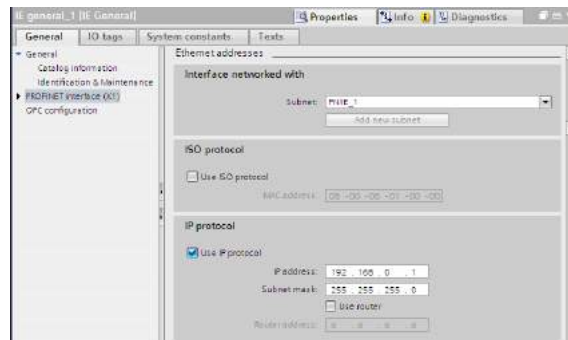


Figure 6. IP assignment of the IE General communication module

The IP address of the PC is also the same as the IE address, whereas the PLC shows the same network IP address, and the PN / IE_1

network of this connection is shown in Figure 7. PN / IE_1 network connection is established between PLC and PC.

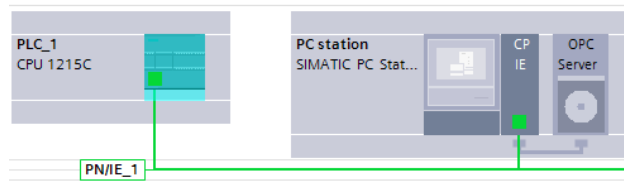


Figure 7. Connecting PLC and PC network Network connection between PLC and OPC

To connect the OPC server to the network, open the “Devices and networks” tab in the project tree and open the “Connections >> S7 connection” interface to make the connection from the toolbar.

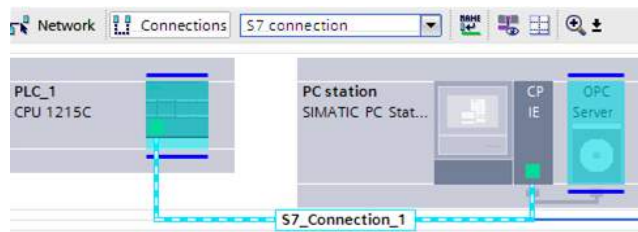


Figure 8. The network connection between PLC and OPC

In order to configure the variables between PLC and Matlab in OPC, the 'Properties >> General >> S7 >> OPC tags un tabs of the OPC server are followed in Figure 9, and the configured option is activated. The XDB file is then created, as shown in Figure 10, to create the variables. The XDB file is created by selecting >> Properties >> General >> XDB Configuration PC from the PC station properties.

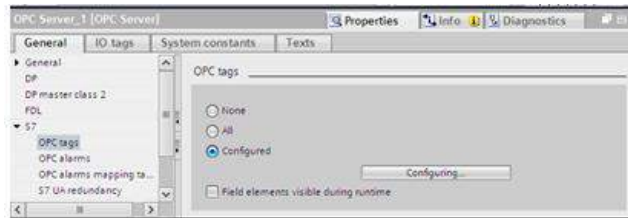


Figure 9. OPC server variable configuration

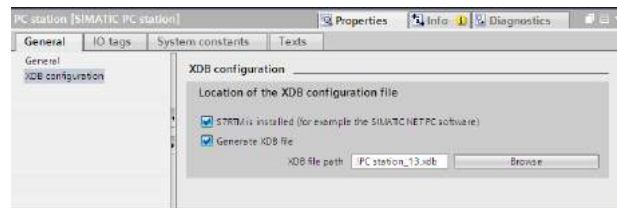


Figure 10. XDB file configuration for OPC server variable configuration

In addition to the TIA Portal program, the Station configurator editor is opened from Simatic Net software for data access with the OPC server. With the interface shown in Figure 10, the XDB file containing IE General and OPC Server configurations is loaded by selecting ‘import Station.’ After these configurations are performed, and the PLC program is written, the PLC program is loaded to the PLC, and the OPC configuration is loaded to the OPC server. When loading into OPC, the OPC Station interface is created as in Figure 11. This indicates that the configuration of the OPC is correct.

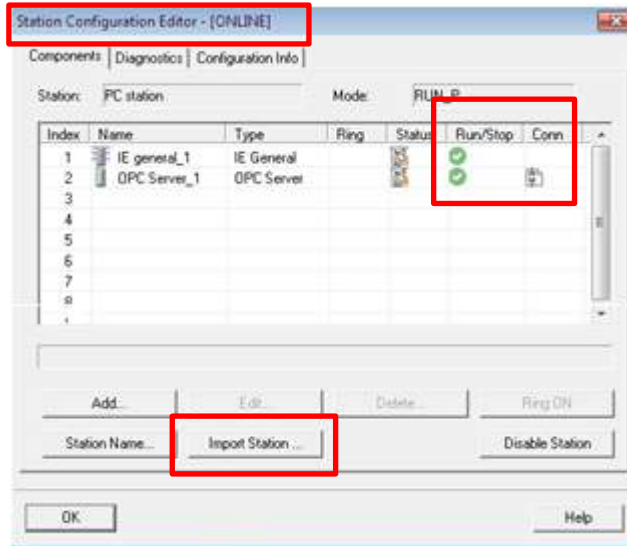


Figure 11. A structured view of the OPC Station interface

OPC Scout software is supported by Simatic Net and used as an OPC client. Using the OPC Scout, the data of the S7-1200 CPU is accessed via the OPC server. The OPC server consists of three objects: OPC Server, OPC Group, and OPC Item. The OPC Item object is the smallest unit used for reading and writing data and is associated with the client's variables. The OPC Item object is accessed using group objects and is not available directly. Figure 12 Access to item objects using OPC Scout is right in 'DA view 1'; the connection of the variables through OPC is correct, and the 'Quality' value should be good as shown in Figure 13. Thus, it shows that the necessary configuration for PLC communication with Matlab over OPC is performed correctly [11-12].

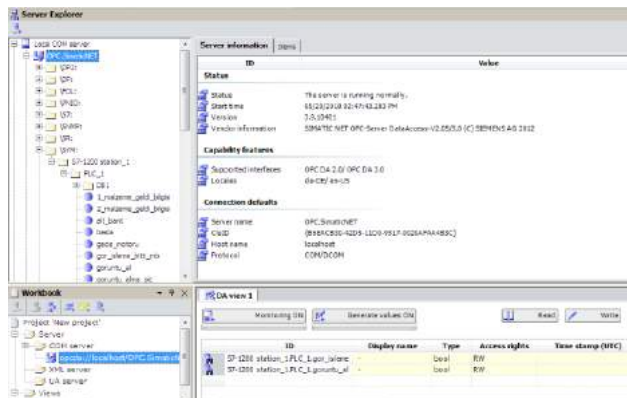


Figure 12. Access to item objects via OPC Scout

3. Object Separation with Image Processing

Image processing is a process other than "signal processing", a study for converting data into a readable format on another device after capture, measurement and evaluation, or transferring it from one electronic medium to another. Image processing is mainly used to process existing images that have been recorded, i.e. to modify, alienate or improve existing images and graphics. In recent years, image processing applications are widely used in many fields. Some of these are industry, health, military, security, quality control, object separation, etc. there are many different fields. In some applications, defining colors has a very important place. In order to define colors, mathematical models which are expressed as color space have been developed. Color spaces are created to represent all colors. Color spaces are designed in 3D. Because according to Grassmann's first law, which forms the basis of the science of colorimetry, three independent variables are needed to determine a color [13-16].

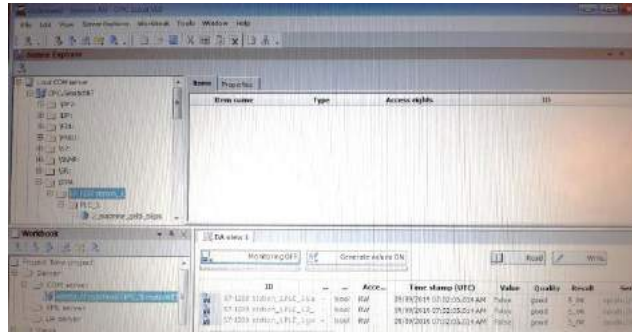


Figure 13. Access to item objects via OPC Scout

Extracting information about the object contained in an image from the image is one of the primary purposes of image processing. The most basic approach for separating an object from an image is the extraction of visual attributes (such as shape, color, texture). Color spaces are mathematical models used to define colors. Color spaces are designed in three dimensions to represent all colors. Because according to Grassmann's first law, three independent variables are needed to determine a color. The place of colors in the color space is determined according to these variables [17]. Each color space has its own standards for color rendering. While creating color spaces, it can be transformed into another color space by linear or non-linear methods [18]. Commonly used color spaces, RGB (Red, Green, Blue), HSV (Hue, Saturation, Value) and NTSC (National Television System Committee) are the color spaces [19-22].

In this study, it is preferred to use HSV color space because it is closer to the human vision mechanism and provides color determination by looking at color essence and saturation levels without being affected by brightness changes. The HSV color space consists of three bands: H (color extract), S (saturation), and V (brightness). It is the color extract that determines the color and is defined by angular values and takes values between 0°-360°. Saturation refers to the vividness of color. A low saturation value brings the color closer to gray tones, while a high saturation value makes the color more vivid. Brightness determines the ratio of white in color, i.e., the intensity of the color.

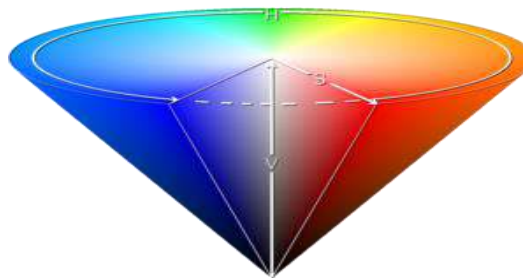


Figure 14. HSV color space

Equations 1, 2, and 3 are used to convert an image of the RGB color space to the HSV color space. In this study, two different materials, yellow and gray, were used, and other materials were identified as foreign materials. A web camera is installed in the apparatus comprising the tape system so as to see the beginning of the system from the top. The transfer of the received image to the computer was realized via the USB connection. The image processing algorithm was executed via Matlab. Since the received image is in RGB format, the HSV color space is provided first. After the threshold values were determined for the objects used in the application, the acquired images were scanned pixel by pixel, and the pixels of the corresponding color were identified and masked. In the obtained image, the noise effect is suppressed by filtering. The detection of the object was carried out by removing unconnected small pieces.

$$H = \begin{cases} \left(\frac{G-B}{V - \min(R,G,B)} \right) * 60, & \text{if } V = R \text{ and } G \geq B; \\ \left(\frac{B-R}{V - \min(R,G,B)} + 2 \right) * 60 & \text{if } V = R; \\ \left(\frac{R-G}{V - \min(R,G,B)} + 4 \right) * 60 & \text{if } B = V; \\ \left(\frac{R-B}{V - \min(R,G,B)} + 5 \right) * 60, & \text{if } V = R \text{ and } G < B; \end{cases} \quad H \in [0,360] \quad (1)$$

$$S = \frac{V - \min(R, G, B)}{V} \quad S \in [0,1] \quad (2)$$

$$V = \min(R, G, B) \quad V \in [0,255] \quad (3)$$

The outputs of the program developed in Matlab are shown in Figure 15, Figure 16, and Figure 17.

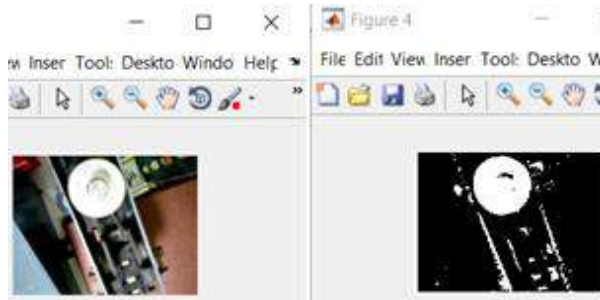


Figure 15. a) Original image taken from the camera for a gray object, b) Image resulting from thresholding and masking



Figure 16. a) Detected gray object, b) Original image from camera for yellow object

4. Operating Principle of the System

Conveyor belts are transfer systems used to transport loads or equipment from the ground or at a certain height, at spaced distances. The conveyor belt system realized in this study is given in Figure 18. There are two conveyor belts in the system.

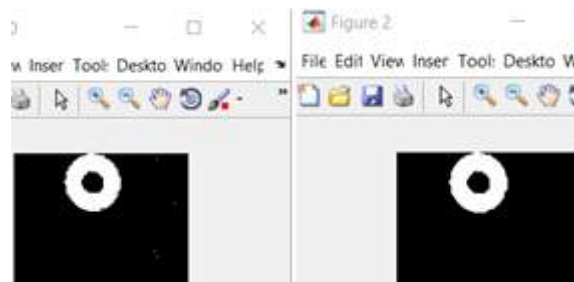


Figure 17. a) The image resulting from thresholding and masking, b) Yellow object detected



Figure 18. The first stage of the realized conveyor belt system

In work done, the start command given to the system by pressing the start button ensures that the operations take place sequentially. With the start command, the upper band starts to work, and the camera sensor at the entrance of the system informs whether the object has arrived. Upon receipt of the object arrival information, the upper band moves for a while and then stops. This ensures that the object is entirely in front of the camera and, thus, possible errors that can result from misalignment. When the object is completed in front of the camera, the command 'Take Image' is sent from PLC to Matlab via the OPC server. The color of the object in the received image is determined by the developed image processing algorithm, and the object information is sent to the PLC through the OPC server. The information obtained from the PLC is written to an array, such as first in first out (FIFO). The reason for writing to the array is that there is a possibility of a new object coming in front of the camera until the object is imaged. When the first sensor (yellow object separation sensor) sees the object, the yellow object is decomposed from the upper band to the lower band by activating the corresponding yellow object output of the yellow object while the object information in the recorded sequence. If the object information in the recorded array is not the yellow object information, the object continues to move through the tape. The second sensor (gray object separation sensor) sees the object this time. If the object information in the recorded sequence is the gray object, the corresponding gray object output of the PLC is activated, and the gray object is decomposed from the upper band to the lower band. If the object information in the recorded array is not the information of the gray object, the object continues to move through the tape and is parsed as faulty material. As the gray object coming to the bottom belt moves through the band, it collects the yellow object at the end of the band. Thus, the separation of objects occurs. These operations continue as long as the stop button is not pressed. The system implemented in Figure 19, and the operating algorithm of the system is given in Figure 20.

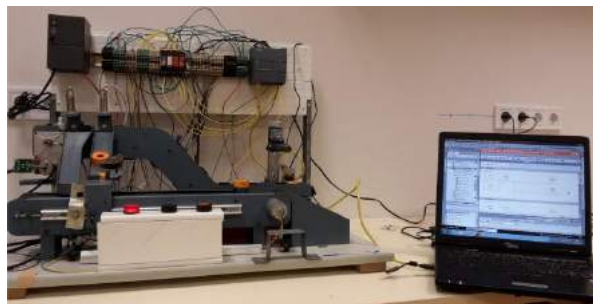


Figure 19. Operational status of the implemented system

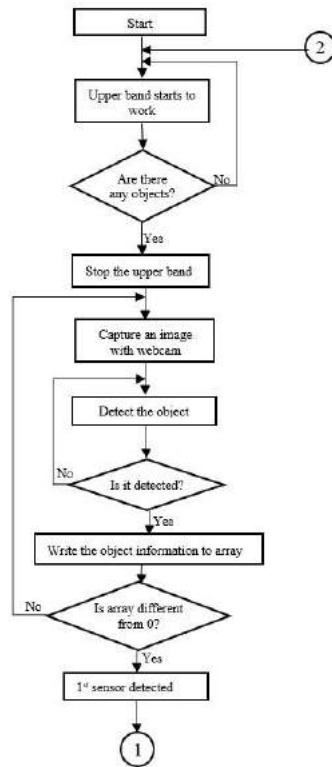


Figure 20.a. Flow diagram of the system

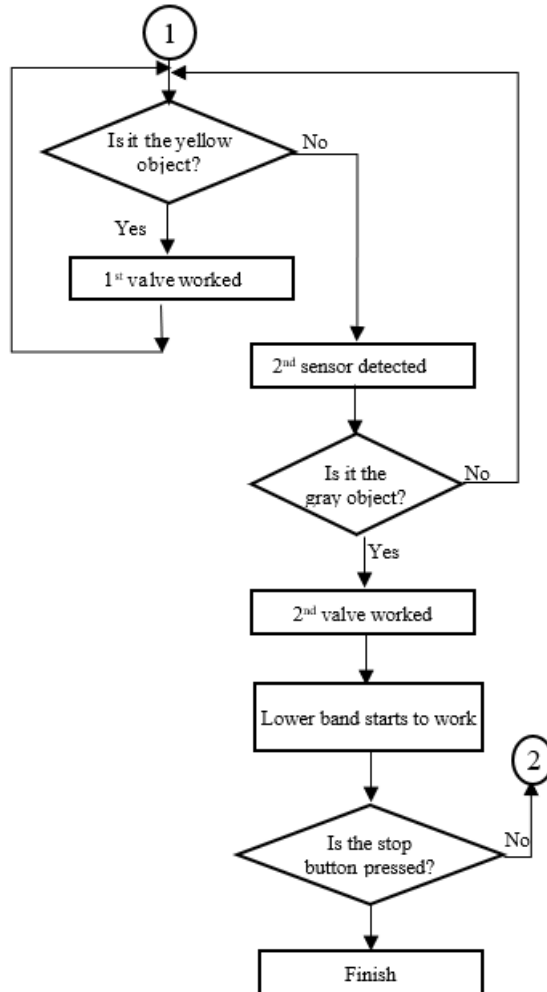


Figure 20.b. Flow diagram of the system (continuation)

5. Conclusion and Suggestion

In this study, the data obtained as a result of the image processing algorithm developed in the Matlab environment is sent to Siemens S7-1200 PLC via the OPC server, and the control of the experimental setup is synchronized in real-time. The control of the designed band system, image acquisition, and separation are performed in real-time. The web camera used in the system was used to differentiate colored objects, and it was found to be sufficient to recognize the object successfully. It was observed that the developed image processing algorithm was distinguished according to the colors of the objects in 5, 6 seconds. It is thought that using a high-quality industrial camera to reduce this time will give more successful results. For this reason, it has been determined that using high-resolution cameras and different lenses for industrial applications, more prosperous and faster responses can be obtained than applications. It was determined that the image processing application developed in different color spaces could be compared to success rates. In addition, synchronous operation of the image processing application with PLC, which is a must in many industrial applications, has been realized.

As a result of these studies, PLCs, which are among the indispensable products in the industrial automation sector, were processed in real-time in a conveyor system, image processing, and OPC was operated synchronously on a prototype test apparatus. It has been seen that the image processing algorithm for this study has been successfully performed to sort objects according to their colors, PLC-OPC system communication, and separation of objects according to specified positions. As a result of the studies on the experimental prototype, it is foreseen that this system can be applied to a commercial or industrial system.

6. Acknowledgments

The authors of this article would like to thank Siirt University Automation and Control Systems Laboratory staff for their support.

7. References

- [1] Mrosko, M., & Miklovičová, E. (2012). Real-time implementation of predictive control using programmable logic controllers. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, 6(1), 106-113.
- [2] Bakır, A., Güney, Ö.F., Kuncan, M., ve Ertunç., H.M., (2012). 3 Eksenli Robot Mekanizmasına Monte Edilmiş Bir Kamera Vasıtasıyla Farklı Rotasyon ve Boyutlardaki Geometrik Cisimlerin Tanımlanarak Vakum Tutucu İle Ayrılması. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2012, October 11-13, 2012, Niğde, Turkey.*
- [3] Çubukçu, A., Kuncan, M., İmren, M., Erol, F., Ertunç, H.M., Öztürk, S., ve Kaplan, K., (2015). Görüntü İşleme İle 3 Eksenli Robot Mekanizması Üzerinde Nesne Ayırt Edilmesi ve Sıralanması, *Object Discrimination and Sorting with Image Processing on 3-Axis Robot Mechanism, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2015, September 10-12, 2015, Denizli, Turkey.*
- [4] Köse, İ., Öztürk, S., ve Kuncan, M., (2019). PANTOGRAPHY APPLICATION WITH REAL-TIME PLC BASED ON IMAGE PROCESSING IN GANTRY ROBOT SYSTEM. *European Journal of Technique*, 9(2), 219-229.
- [5] Bargal, N., Deshpande, A., Kulkarni, R., & Moghe, R. (2016). PLC based object sorting automation. *International Research Journal of Engineering and Technology, IRJET*, 3(07).
- [6] Selver, M. A., Akay, O., Alim, F., Bardakçı, S., & Ölmez, M. (2011). An automated industrial conveyor belt system using image processing and hierarchical clustering for classifying marble slabs. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(1), 164-176.
- [7] Jyothi, H. S., & Harsha, B. K. (2017). Design a Conveyor Based on Size and Color Separation of Product using Arduino UNO Microcontroller and Wireless Monitoring on Labview. *International Journal Of Creative Research Thoughts (Ijcr)*, 5(4), 2532-2539.
- [8] Erdoğan, T. (2012). Hareketli konveyör üzerinde kamera görüntüsü ile nesne tanıma ve nesnelere yerine koyma uygulaması (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [9] Meltek, S., & Çetişli, B. (2012). Gerçek Zamanlı Endüstriyel Nesne Tanımda Kameraların Kullanılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 212-217.
- [10] Harmankuyu, F., Öğretmenoğlu, C., Sevgi, F., Şeker, B., Özer, S.M., Ünal, H.U., (2014). Görüntü İşleme Tabanlı Yürüyen Bant Sistemi ile Nesne Ayırma. *16. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2014.*
- [11] Tekinalp, Z., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2013). OPC Kullanılarak Gerçek Zamanlı Haberleşen Matlab ve PLC Kontrollü Sistem. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013, September 26-28, 2013, p. 26-28 Malatya, Turkey.*
- [12] Erol, F., Emren, M., Öztürk, S., & Kuncan, M. PI Denetleyici İle Sıvı Seviye Kontrolünün Gerçek Zamanlı Olarak PLC İle Gerçeklenmesi Real Time PI Implementation on Liquid Level Control by means of PLC. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2015, , September 10-12, 2015, Denizli, Turkey.*
- [13] Karakoç, Y., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2012). Hareket Eden Renkli Nesnelere Takibinin PID ile Gerçeklenmesi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2012, October 11-13, 2012, Niğde, Turkey.*
- [14] E. Horoz, H. F. Öten, M. Kuncan, H. M. Ertunç, (2013). Kamera Yardımı ile Ayırt Edilen ve Tanımlanan Cisimlerin 3 Eksenli Robot Mekanizması ile Taşınması. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, September 26-28, 2013, p. 1236-1240, Malatya, Turkey.*
- [15] Yılmaz, İ., (2002). Renk Sistemleri, Renk Uzayları ve Dönüşümler. *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği 30. Yıl Sempozyumu, Bildiri Kitabı, p. 340-350, 16-18 Ekim, 2002, Konya, Turkey.*
- [16] Sasidhar, K., Farooqi, S., Moin, M. A., & Sachin, M. (2018). Design and Development of a Colour Sorting Machine using PLC and SCADA.

- [17] Agoston, G. A., (1987). *Color Theory and Its Application in Art and Design*”, Second Completely Revised and Updated Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- [18] Kınık, M., Öztürk, M. S., (2017). Tipografik Tasarımda Rengin Okunurluğa Etkisi Konusunda Öğrenci Görüşlerinin İncelenmesi, Selçuk Ün. Sos. Bil. Ens. Der. 2017; (37): 327-335 - Grafik Tasarım/ Araştırma.
- [19] Copindean, R., Holonec, R., & Drăgan, F. (2018). The PLC Implementation of an Automated Sorting System using Optical Sensors. *Acta Electrotehnica*, 58(4).
- [20] Teimouri, N., Omid, M., Mollazade, K., Mousazadeh, H., Alimardani, R., & Karstoft, H. (2018). On-line separation and sorting of chicken portions using a robust vision-based intelligent modelling approach. *Biosystems engineering*, 167, 8-20.
- [21] Kamboj, D., & Diwan, A. (2019). Development of Automatic Sorting Conveyor Belt Using PLC. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(8).
- [22] Latad, S. K., Dhole, P., Sonare, R., Kukadkar, A., & Mankar, P. (2019). Automatic Object Sorting Machine.



Catering Company Selection with Fuzzy AHP, ELECTRE and VIKOR Method for a Company Producing Trailer

Seher Arslankaya^{1*}

¹ Sakarya University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Sakarya, Turkey (ORCID: 0000-0001-6023-2901)

(İlk Geliş Tarihi 3 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 2 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.684600)

ATIF/REFERENCE: Arslankaya, S. (2020). Catering Company Selection with Fuzzy AHP, ELECTRE and VIKOR Method for a Company Producing Trailer. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 413-423.

Abstract

It is very important to choose a catering company for all kinds of businesses where there is a need for bulk meals. Catering companies are often preferred because they offer a more practical and more economical food solution at workplaces or other community locations. Therefore, people are looking for food companies to meet their expectations. In order to make a selection that is meaningful and meets your expectations, it is necessary to choose a company that can provide this service in a complete way. The food break and quality are important for the employees to continue their daily life and get away from the work stress in a busy working environment. The food break and quality are important for the employees to continue their daily life and get away from the work stress in a busy working environment. Among the issues that employees complain to the human resources department in the companies is the fact that the selected catering companies cannot meet the expectations. It has been observed that companies have difficulty in choosing food supplier in order to meet the expectation of increase in people's awareness. While choosing a catering company, there are other important issues as much as the catering menus. There are some criteria to consider when working with a good catering firm. In this study, a catering company was selected by using multi-criteria decision making methods (MCDM) for a firm making a trailer. In choosing a catering company, quality, price, distance and service criteria are taken into consideration. The weight of the criteria was determined by the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), and alternatives were selected by ELECTRE (ELimination and Choice Expressing REality) and VIKOR methods.

Keywords: Multi-Criteria Decision making, Fuzzy Analytic Hierarchy Process, ELECTRE, VIKOR.

Treyler Üreten Bir İşletmede Bulanık AHP, ELECTRE ve VIKOR Yöntemi ile Catering Firma Seçimi

Öz

Toplu yemek ihtiyacının olduğu her işletme için anlaşma yapılacak catering firması oldukça önemlidir. Catering firmaları, iş yerlerinde veya topluluk olan diğer yerlerde daha pratik ve daha ekonomik bir yemek çözümü sundukları için, oldukça sık tercih edilmektedir. Dolayısıyla da insanlar toplu yemek siparişi vermek için beklentilerini karşılayacak yemek firmaları aramaktadırlar. Yoğun çalışma ortamında çalışanların günlük yaşama devam etmesi ve iş stresinden uzaklaşabilmesi için yemek molası ve kalitesi önemlidir. Çalışanların firmalarda, insan kaynakları departmanına en fazla şikayet ettikleri konular arasında, seçilen catering firmalarının beklentileri karşılayamaması olmaktadır. Günümüzde insanların bilinçlenmesinden kaynaklanan beklenti yükselmesini karşılayabilmek için firmaların catering firması seçerken zorlandıkları gözlenmiştir. Catering firması seçimi yaparken en az catering menüleri kadar

* Corresponding author: Sakarya University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Sakarya, Turkey (ORCID: 0000-0001-6023-2901), aseher@sakarya.edu.tr

önemli başka hususlar da vardır. İyi bir catering firmasıyla çalışmak için göz önünde bulundurulması gereken bazı kriterler vardır. Bu çalışmada, dorse üretimi yapan bir firma için çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) kullanılarak catering firması seçimi yapılmıştır. Catering firması seçiminde, kalite, fiyat, mesafe ve hizmet kriterleri dikkate alınmıştır. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, ELECTRE (ELimination and Choice Expressing REALity) ve VIKOR yöntemleri ile alternatifler sıralanarak seçilmiştir.

Keywords: Çok kriterli karar verme, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, ELECTRE, VIKOR.

1. Introduction

Companies have made significant efforts to make the most appropriate decision on different issues from past to present. Various methods have been developed to facilitate the decision making process. One of the issues that businesses need to decide is the selection of catering company. Today, there are many companies that provide catering services. Among these companies, it is difficult to find a quality and reliable company that will meet expectations. Catering company is a company that provides food and service to any person or organization. It is very important to choose a good catering company for the institutions that receive this service. The meals offered by catering companies are consumed by the staff working in these institutions. The good or bad quality of the meals directly affects the performance of the staff in the institution. For this reason, institutions should be careful in choosing a catering company and keep some criteria in mind. When choosing a catering company, should be selection made considering many criteria. Since there are multiple criteria in the selection of the catering company, multi-criteria decision making (MCDM) methods can be used in the selection of the catering company.

Managers' main tasks include making decisions in the right place at the right time. Managers should also make a correct and timely decision when choosing a catering firm. Managers can choose appropriate selection criteria and evaluate the alternatives according to these criteria while making a selection. In cases where more than one criterion takes place, the use of multi-criteria decision making (MCDM) methods will be effective in achieving the correct result.

MCDM methods are a methodological tool that allows the decision maker to choose the best option by optimizing multiple criteria (Atan et al., 2016). Another benefit of the MCDM methods is that it enables multiple disciplines to coexist and the decision maker can evaluate in multiple dimensions (Ersöz et al., 2018).

Dickson (1966) stated quality, price, delivery and previous performance as important criteria in supplier selection. In recent studies, multi-criteria decision-making methods have been applied together in many problems. For the supplier selection problem, Soner and Önut (2006) used a combined AHP and ELECTRE method. Gal and Hanne (2006) studied the problem of choosing a laptop with the help of an approach based on a combination of multiple criteria decision-making methods and neural networks. Pi and Low (2006) used AHP in supplier evaluation and selection by using Taguchi loss function; Liu and Hui (2005) used AHP for supplier selection.

Vahidov and Ji (2005) developed a fuzzy model based on clustering analysis for the selection of laptops by proposing a method to support purchasing decisions of the customers in e-commerce. Vinodh et al. (2014) used Fuzzy AHP and TOPSIS methods for selecting plastic recycling method. Prakash and Barua (2015) proposed a methodology with TOPSIS and fuzzy AHP to overcome obstacles in reverse logistics. Macuzic et al. (2016) proposed a two-step model for sorting organizational flexibility factors in the process industry. Alarcin et al. (2014); made fault detection in marine diesel engines with Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS method for the subsystems of ship engines.

In order to overcome the obstacles in the Supply Chain, Patil and Kant (2014) identified and prioritized the solutions of Knowledge Management (KM). To overcome the obstacles, they used fuzzy AHP-TOPSIS to rank the solutions to the adoption of Information Management in the Supply Chain. Taylan et al. (2014) made construction projects selection and risk assessment with fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. Junior et al. (2014) made a comparison for supplier selection problem with Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods.

There are several studies about the catering company. Kahraman et al. (2004) selected a catering company for a textile company using the fuzzy analytical hierarchy process. In their work, five experts evaluated three alternative catering companies according to three main criteria and eleven sub criteria. In their work, hygiene, food quality and service quality are the main criteria. Sub criteria are food types, food calories, food taste, food hygiene, service personnel hygiene, service hygiene. Aytaç et al. (2011) used Fuzzy ELECTRE method proposed by Hatami-Marbini and Tavani (2011) for evaluating catering firm alternatives. In their work, hygiene, references, taste and variety of dishes, quality of service, price and adequacy of the structure are the criteria they use. In recent years, Ulutaş (2019) selected a catering company using the SWARA and MAIRCA methods in his study. While criteria weights were obtained with SWARA method, the performances of alternatives were evaluated and ranked with MAIRCA method. In their work, they used the criteria of hygiene, taste, food types, service time, references, service quality, and price. Fu (2019) has determined the best catering supplier for an airline company with its analytical hierarchy process, ARAS (Additive Ratio Assessment) and multi-choice target programming methods.

In this study, the problem of service procurement for a firm making a trailer is resolved with multi-criteria decision making techniques. Catering firm selection was made by using fuzzy AHP, ELECTRE and VIKOR methods. Weights of criteria were obtained with fuzzy AHP. The performances of alternatives were evaluated with the ELECTRE and VIKOR method and the alternatives were sorted. In this study, price, quality, distance and service criteria were used for the selection of the catering company. According to the BAHP method, the most important criterion was found as the quality criterion. Following the BAHP method, two alternatives were

proposed with the ELECTRE method, and the selection of an alternative with the VIKOR method was proposed. Then, methods were analyzed with ANOVA test.

2. Materyal ve Metot

Combined ELECTRE and VIKOR methods with Fuzzy AHP are used for selecting the catering company for the firm that manufactures trailers. In this section, fuzzy AHP, ELECTRE and VIKOR methods are described.

2.1. Fuzzy AHP

The steps of Chang's extended analysis method are shown one by one (Chang, 1996).

Step 1: Fuzzy artificial synthetic rank value is categorized according to the i. criteria as follows:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right] \quad (1)$$

Step 2: $M_1 = (l_1, m_1, u_1) \leq M = (l_2, m_2, u_2)$ the probability value of the two triangular numbers is defined as follows:

$$V(M \geq M) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (2)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (3)$$

$$\mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & , m_2 \geq m_1 \\ 0 & , l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & , \text{other situation} \end{cases} \quad (4)$$

The intersection of the triangle fuzzy numbers M_2 and M_1 is as in figure 1.

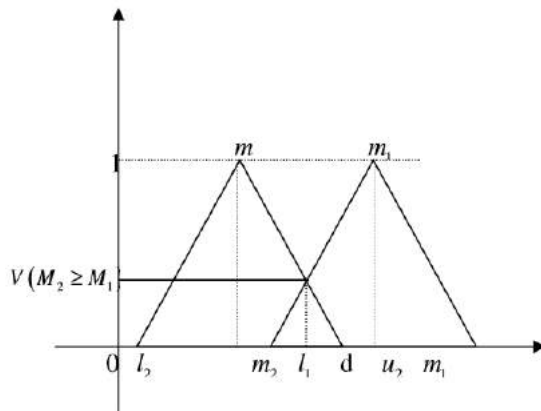


Figure 1. M_2 and M_1 intersection of triangle fuzzy numbers (Yılmaz, 2012)

$V(M_2 \geq M_1)$ and $V(M_1 \geq M_2)$ is needed for the comparison of $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ and $M = (l_2, m_2, u_2)$.

Step 3: Third Step: The probability of a convex number to be M_i ($i=1, 2, \dots, k$) greater than a k convex fuzzy number:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i),$$

$$i=1, 2, \dots, k \quad (5)$$

$$k=1, 2, \dots, n ; k \neq j \text{ ise } d'(A_j), d'(A_n))T \quad (6)$$

The weight vector is calculated as follows:

$$W' = (d'(A_j), d'(A_2), \dots, d'(A_n)) \quad A_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

Step 4: The W value is normalized.

$$W = (d(A_j), d(A_2), \dots, d(A_n))T \quad (8)$$

The most commonly used fuzzy severity scale in the Fuzzy AHP method is given in Table 1.

Table 1. Fuzzy importance level (Chang,1996)

Verbal Importance	Fuzzy Scale	Counter Scale
<i>Almost Equal</i>	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
<i>Secondary</i>	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
<i>Strong</i>	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
<i>Very Strong</i>	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
<i>Exactly</i>	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)

2.2. ELECTRE Method

An et. al (2011), indicated the steps of the ELECTRE method as follows:

Step 1: Creation of decision matrix A. In the decision matrix;

- The column of the table contains the criteria used in decision-making,
- The row contains the desired alternatives to be outranked.

The decision matrix is an initial matrix and is generated by the decision maker. The decision matrix is shown below:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Aij shows m alternative number, n shows the number of evaluation factor.

Step 2: Creation of the normalized decision matrix X. The matrix X is calculated using the elements of matrix A.

For cost criterion;

$$X_{ij} = \frac{1/a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (\frac{1}{a_{kj}})^2}} \tag{9}$$

i=1,2,...,m j=1,2,...,n

For benefit criterion;

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (a_{kj})^2}} \tag{10}$$

i=1,2,...,m j=1,2,...,n

After making the above calculations, X matrix is obtained:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{11}$$

Step 3: Creation of weighted normalized decision matrix Y. The importance of evaluation factors may be different with regards to the decision-maker. The y matrix is calculated to reflect the significance differences to the ELECTRE solution. The decision-maker must first determine the weight of the evaluation (wi) ($\sum_{i=1}^m w_i = 1$) factors. The weighted normalized matrix y is generated by multiplying the elements in each column of the normalized x matrix by the corresponding wi value:

$$y_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11}w_1 & \dots & x_{1n}w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}w_1 & \dots & x_{mn}w_n \end{bmatrix} \tag{12}$$

Step 4: Determining the Concordance (Cpq) and Disconcordance (Dpq) sets: The Y matrix is used to determine concordance sets. Decision points are compared with each other in terms of evaluation factors. The criteria for binary alternative sets are Ap and Aq (1,2,...,m and p≠q)

If the concordance set is better than Ap and Aq;

$$C_{pq} = \{j, y_{pj} \geq v_{qj}\} \tag{13}$$

If the discordance set is worse than Ap and Aq;

$$D_{pq} = \{j, y_{pj} < v_{qj}\} \tag{14}$$

is created. There are as many discordance sets as concordance sets in ELECTRE method. A discordance set corresponds to each concordance set.

Step 5: Calculation of concordance and discordance indices. Assistance is obtained from concordance sets in the creation of the compliance matrix C. Calculation of C matrix elements:

$$C_{pq} = \sum w_j \tag{15}$$

The matrix C is formed as follows;

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \dots & c_{mm} \end{bmatrix} \tag{16}$$

Formation of discordance matrix D:

$$D_{pq} = \frac{\sum_{j=0} |v_{pj} - v_{qj}|}{\sum_j |v_{pj} - v_{qj}|} \tag{17}$$

The matrix D is created as follows;

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{mm} \end{bmatrix} \tag{18}$$

Step 6: Superiority Comparison: Averages of C and D values are taken.

$$C_{pq} \geq \text{ort} C \quad \text{ve} \quad D_{pq} \leq \text{ort} D \quad \text{ise} \quad g_{pq} = 0 \quad \text{dir.} \tag{19}$$

Step 7: Calculation of net concordance and discordance sets: Net concordance is shown by Cp and net discordance is shown by Dp. The Cp values are sorted from large to small and the Dp values are sorted from small to large.

$$C_p = \sum_{k=1, k \neq p}^m C_{pk} - \sum_{k=1, k \neq p}^m C_{kp} \tag{20}$$

$$D_p = \sum_{k=1, k \neq p}^m D_{pk} - \sum_{k=1, k \neq p}^m D_{kp} \tag{21}$$

2.2. VIKOR Method

VIKOR method, (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje; Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution) was developed as a viable technique in 1998 by Opricovic (Opricovic and Tzeng, 2004). This method is a MCDM method used for ranking and makes a ranking among the available alternatives for the various characteristics of alternatives determined by the decision maker (Peng et al., 2015). VIKOR method consists of five steps (Opricovic and Tzeng, 2004; Ho et al., 2011). The steps are given one by one as below.

Step 1: Determining the best and worst value criteria. For each criteria f_i^+ ; shows the best and f_i^- shows the worst and $i=1,2,\dots,n$.

$$f_i^+ = \max f_j^{ij} \tag{22}$$

$$\text{It is defined as } f_i^- = \min f_j^{ij} \tag{23}$$

Step 2: Calculating the average and the worst set score. Sj and Rj values are calculated as $j=1,2,\dots,J$

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^+ - f_{ij}) \div (f_i^+ - f_i^-) \tag{24}$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^+ - f_{ij}) \div (f_i^+ - f_i^-)] \tag{25}$$

Step 3: Calculating the maximum group benefit. Qj values are calculated as $j=1,2,\dots,J$. V value is accepted as 0,5 and called weight.

$$Q_j = v(S_j - S^+) / (S^- - S^+) + (1 - v)(R_j - R^+) / (R^- - R^+) \tag{26}$$

$$S^+ = \min_j S_j \quad S^- = \max_j S_j \tag{27}$$

$$R^+ = \min_j R_j \quad R^- = \max_j R_j \tag{28}$$

Step 4: Sorting the average group, worst group score and maximum group benefit values. The S, R, and Q values are sorted from large to small in the VIKOR method.

Step 5: Supervision of conditions. The VIKOR method has two conditions. The results are expected to meet one of these conditions.

Condition 1: "Acceptable Advantage"

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

(a') The best supplier in order of Q value

(a'') Q is the second best supplier in the ranking by value.

$$DQ = 1/(j-1)$$

j is the number of suppliers. It is a condition that the best supplier should be clearly advantageous over the second best supplier.

Condition 2: “Acceptable Stability in Decision Making”. If it does not meet only second condition, a compromise solution set occurs with (a’) and (a”) alternatives, if it does not meet first condition a compromise solution test occurs with a’, a”, ..., ax and Q values are sorted from small to large and the supplier with the smallest Q value is chosen.

$$Q(ax) - Q(a') < DQ$$

3. The Application of Catering Company Selection and Definition of Evaluation Criteria

In this study, the decision making process of a catering firm for a small company that manufactures trailers in Sakarya is discussed. The process of selecting a catering company is considered as a multi-criteria decision problem and solved with the help of Fuzzy AHP and a combined ELECTRE and VIKOR methods. The weights of the criteria were determined by the Fuzzy AHP method and alternative catering companies were evaluated by ELECTRE and VIKOR methods and a preference ranking was created.

As a result of the literature surveys and interviews with the company authorities, the criteria of supplier selection were determined as follows:

- Product use quality
- Pricing policies
- Distance to service on time
- Before and after sales service concept

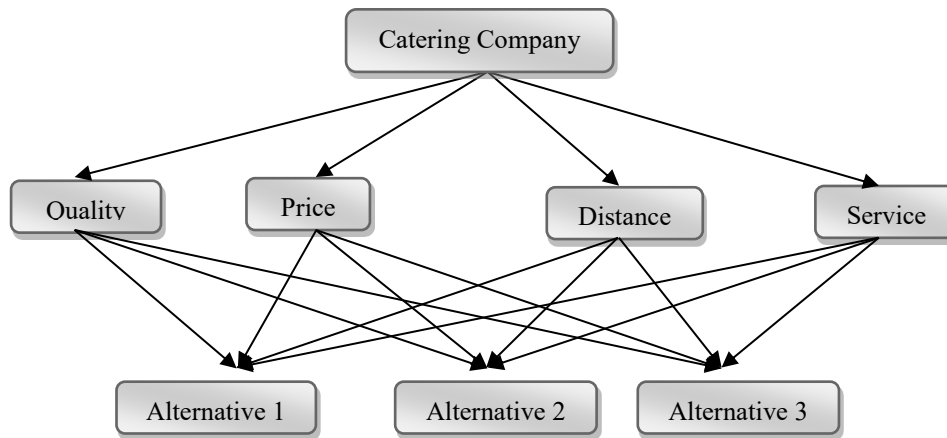


Figure 2. Hierarchical model for catering firm selection

3.1. Determination of Weights of Selection Criteria with Fuzzy AHP

In this study, Fuzzy AHP method was used for determining the weights for the selection of catering firms. The results of the mutual evaluation of the selection criteria in Table 2 were obtained by interviews with the production manager of the company and human resources manager. Table 3 shows the fuzzy severity levels found by Chang (1996). In order to solve the problem by fuzzy AHP method, the main criteria are compared by considering the triangular fuzzy numbers given in Table 1 according to the determined criteria and the importance values are shown in Table 3.

Table 2. Supplier Evaluation Results

Alternatives	Criteria			
	Quality	Price	Distance	Service
A1	6	6	12	7
A2	7	7	8.3	9
A3	8	6.5	9.6	6

Table 3. Supplier Evaluation Criteria Evaluation Results

Alternatives	Criteria			
	Quality	Price	Distance	Service
Quality	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(5/2, 3, 7/2)	(3/2, 2, 5/2)
Price	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2)	(2/3, 1, 3/2)
Distance	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5)	(1, 1, 1)	(2/9, 1/4, 2/7)
Service	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 3/2)	(7/2, 4, 9/2)	(1, 1, 1)

Step 1: The synthetic dimension values of the binary comparison from the fuzzy evaluation matrix were obtained as follows. Si values were calculated using the evaluation results in Table 3:

$$S_{\text{quality}} = (6.5, 8, 9.5) \times (1/25.92, 1/21.92, 1/18.43) = (0.25, 0.36, 0.52)$$

$$S_{\text{price}} = (4.57, 5.5, 6.67) \times (1/25.92, 1/21.92, 1/18.43) = (0.17, 0.25, 0.36)$$

$$S_{\text{distance}} = (1.79, 1.92, 2.08) \times (1/25.92, 1/21.92, 1/18.43) = (0.07, 0.09, 0.11)$$

$$S_{\text{service}} = (5.57, 6.5, 7.67) \times (1/25.92, 1/21.92, 1/18.43) = (0.21, 0.29, 0.42)$$

Step 2: When comparison is done by using these vectors:

$$SV(S_{\text{quality}} \geq S_{\text{price}}) = m_2 \geq m_1 = 0.36 \geq 0.25 = 1$$

$$V(S_{\text{quality}} \geq S_{\text{distance}}) = m_2 \geq m_1 = 0.36 \geq 0.09 = 1$$

$$V(S_{\text{quality}} \geq S_{\text{service}}) = 1$$

$$V(S_{\text{price}} \geq S_{\text{quality}}) = 0.5$$

$$V(S_{\text{distance}} \geq S_{\text{quality}}) = 0$$

$$V(S_{\text{service}} \geq S_{\text{quality}}) = 0.708$$

$$V(S_{\text{price}} \geq S_{\text{distance}}) = 1$$

$$V(S_{\text{distance}} \geq S_{\text{price}}) = 0$$

$$V(S_{\text{service}} \geq S_{\text{price}}) = 1$$

$$V(S_{\text{price}} \geq S_{\text{service}}) = 0.789$$

$$V(S_{\text{distance}} \geq S_{\text{service}}) = 0$$

$$V(S_{\text{service}} \geq S_{\text{distance}}) = 1$$

Step 3: The weight vector is defined as follows. The weight vector (w) is reached with the minimum V values of the criteria:

$$W' = ((d'(A1), d'(A2), \dots, d'(An))T A_i = (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\min V_{\text{quality}} = 1 \quad \min V_{\text{price}} = 0.5 \quad \min V_{\text{distance}} = 0 \quad \min V_{\text{service}} = 0.708$$

$$\sum \min V = 2.208$$

Step 4: After the normalization process, the weight vector for subjective criteria is as follows.

$W = (\min V_{\text{Quality}} / \text{topminV}, \min V_{\text{Price}} / \text{topminV}, \min V_{\text{distance}} / \text{topminV}, \min V_{\text{service}} / \text{topminV})$ with formula is calculated weight vector;

$$W = (0.453, 0.226, 0, 0.321).$$

Weights are sorted from small to large;

$$0.453 > 0.321 > 0.226 > 0.$$

According to this order, the most important criteria is quality with 0,453 weight. The second one is the service with a weight of 0,321; the third one is the price with a weight of 0,226 and the fourth one is the distance with a weight of 0.

3.2. Catering Firm Selection with ELECTRE Method

After obtaining the weights with fuzzy AHP, ELECTRE method was used to determine the most suitable catering company. The decision matrix of supplier selection results is shown in Table 2. First the decision matrix is normalized and it was shown as in Table 4.

Table 4. Normalized Decision Matrix

Alternatives	Criteria			
	Quality	Price	Distance	Service
A1	0,491	0,622	0,687	0,543
A2	0,573	0,533	0,475	0,698
A3	0,655	0,574	0,450	0,466

The weights obtained with the fuzzy AHP method are multiplied by the values in the normalized decision matrix and the weighted normalized decision matrix in Table 5 is obtained.

Table 5. Weighted normalized decision matrix

Alternatives	Criteria			
	Quality	Price	Distance	Service
A1	0,222	0,2	0,155	0
A2	0,260	0,171	0,108	0
A3	0,3	0,184	0,102	0

Concordance and discordance sets are obtained from weighted normalized decision matrix. Net concordance sets are shown in Table 6 and net discordance sets are shown in Table 7.

Table 6. Net Compliance

C(A ₁ ,A ₂)	(F)
C(A ₁ ,A ₃)	(F,H)
C(A ₂ ,A ₁)	(K,M,H)
C(A ₂ ,A ₃)	(H)
C(A ₃ ,A ₁)	(K,M)
C(A ₃ ,A ₂)	(K,F,M)

Table 7. Net Mismatch

D(A ₁ ,A ₂)	(K,M,H)
D(A ₁ ,A ₃)	(K,M)
D(A ₂ ,A ₁)	(F)
D(A ₂ ,A ₃)	(K,F,M)
D(A ₃ ,A ₁)	(F,H)
D(A ₃ ,A ₂)	(H)

Concordance and discordance sets and concordance and discordance indices are shown in Table 8 and Table 9. The sum of C and D values and the average of C and D values are also shown in these tables.

Table 8. Net Compliance index

C(A ₁ ,A ₂)	0,351
C(A ₁ ,A ₃)	0,848
C(A ₂ ,A ₁)	0,648
C(A ₂ ,A ₃)	0,497
C(A ₃ ,A ₁)	0,151
C(A ₃ ,A ₂)	0,502
ΣC	2,997
Avg. C	0,4995

Table 9. Net incompatibility index

D(A ₁ ,A ₂)	1
D(A ₁ ,A ₃)	1
D(A ₂ ,A ₁)	0,4198
D(A ₂ ,A ₃)	0,3534
D(A ₃ ,A ₁)	0,3249
D(A ₃ ,A ₂)	1
ΣD	4,0981
Avg. D	0,683

After the average values are calculated, the superiority comparison is shown as in Table 10.

Table 10. Superiority comparison chart

C _{pq}	C _{pq} ≥ C _{ort}	D _{pq}	D _{pq} ≤ D _{ort}
C(A ₁ ,A ₂)	No	D(A ₁ ,A ₂)	No
C(A ₁ ,A ₃)	Yes	D(A ₁ ,A ₃)	No
C(A ₂ ,A ₁)	Yes	D(A ₂ ,A ₁)	Yes
C(A ₂ ,A ₃)	No	D(A ₂ ,A ₃)	Yes
C(A ₃ ,A ₁)	No	D(A ₃ ,A ₁)	Yes
C(A ₃ ,A ₂)	Yes	D(A ₃ ,A ₂)	No

When choosing the catering company according to ELECTRE method, Cp and Dp values are calculated as follows. Cp values show the net maximum value, Dp values show the net lowest values. Net top value ranking and net low value ranking for alternative catering companies are as in table 11.

$$CA1=(C(A1,A2)+C(A1,A3)) - (C(A2,A1)+ C(A3,A1))$$

$$DA1=(D(A1,A2)+D(A1,A3)) - (D(A2,A1)+ D(A3,A1))$$

Table 11. Net top value ranking and net lowest value order

Catering alternative	Net top value	Net lowest value	Net top value ranking	Net lower value ranking
A1	0,4	1,2553	1	3
A2	0,292	-1.2268	2	1
A3	-0,692	-0,0285	3	2

According to the results obtained by ELECTRE method;

- Alternative 1 is recommended when the highest value is taken into consideration,
- Alternative 2 is recommended when the lowest value is taken into consideration.

3.3. Catering Firm Selection with VIKOR Method

After obtaining the weights with fuzzy AHP, ELECTRE method was used to determine the most suitable catering company. The decision matrix of supplier selection results is shown in Table 2. After that, S and R values are calculated with the help of (f⁺) and (f⁻) values and they are shown in Table 21.

Table 12. Decision Matrix Best and Worst Values

	Quality	Price	Distance	Service
f ⁺	8	7	12	9
f ⁻	6	6	8.3	6

$$S_{11} = 0.453 \times \left[\frac{8-6}{8-6} \right] = 0.453$$

$$S_{21} = 0.453 \times \left[\frac{8-7}{8-6} \right] = 0.227$$

$$S_{31} = 0.453 \times \left[\frac{8-8}{8-6} \right] = 0$$

S and R values for alternative catering companies are as in Table 13.

Table 13. Supplier S and R Values

Alternatives	Criteria				S	R
	Quality	Price	Distance	Service		
A1	0.453	0.321	0	0	0,774	0.453
A2	0.227	0	0,226	0	0,453	0.227
A3	0	0.161	0,147	0	0,308	0.147

The lowest and highest S and R values are shown in Table 14.

Table 14. Highest and Lowest S and R Values

S ⁻	0,774
S ⁺	0,308
R ⁻	0,453
R ⁺	0.147

In the selection of catering companies, weights were determined by fuzzy AHP method and these weights were used in ELECTRE and VIKOR methods. Catering companies are listed by applying ELECTRE and VIKOR methods. In these rankings, suggestions were made to the factory for selecting the appropriate catering service from the three alternatives.

When choosing the catering company according to VIKOR method, Q values were calculated for each alternative. Q values are calculated by the following formula. Table 15 shows the order of the calculated S, R and Q values.

$$Q = V \times (S_j - S^+) / (S^- - S^+) + (1 - V) \times (R_j - R^+) / (R^- - R^+)$$

Q value for alternative 1 Q = 1

Q value for alternative 2 Q = 0.29

Q value for alternative 3 Q = 0.57

Table 15. S and R Values Specified for Suppliers

Alternatives	Criteria					
	S	R	Q	S	R	Q
A1	0,774	0.453	1	3	3	3
A2	0,453	0.227	0.29	1	1	1
A3	0,308	0.147	0.57	2	2	2

The conditions of the VIKOR method are given below;

Condition 1: "Acceptable advantage" The first condition is not fulfilled.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

$$DQ = 1 / (3-1) = 0.5$$

$$0.57 - 0.29 \leq 0.5$$

Condition 1 is not fulfilled.

Condition 2: "Acceptable stability in the decision maker".

Condition 2 is met because S, R, and Q are stable. Company Alternative 2 was suggested to be chosen.

4. Research Findings and Discussion

Fuzzy AHP method is a method used to translate verbal expressions into numerical data. Weights of alternatives were determined with this method and alternative ranking was made for the decision-maker factory with ELECTRE and VIKOR methods from multi criteria decision models.

The ELECTRE and VIKOR methods were compared with the ANOVA analysis in Minitab and the individual reliability levels of the methods were found. The percentages of individual reliability found with ANOVA test were close to each other. As a result of the analysis, the individual reliability level of ELECTRE method was 97.50% while the individual reliability level of VIKOR method was 97.80%. Based on these results, the results of VIKOR method are more reliable, so VIKOR method should be used in the selection of the catering company. The sequence obtained by the VIKOR method is Alternative2> Alternative 3> Alternative1. Alternative 2 was suggested to be selected for catering service.

5. Results and Suggestions

Catering company selection is one of the important decision problems for companies. For companies that receive services from catering companies, these companies have an important place. The personnel employed in the enterprise consumes the dishes taken from these companies and the consumed meals directly affect the performance and morale of the employee. Therefore, businesses should be careful in choosing a catering company. Many criteria must be taken into account for this selection. MCDM methods are successfully used in such selection problems.

In this study, a catering firm selection is done for a company that manufactures trailers. Quality, price, distance and service criteria were used in the selection of the catering company. Here, fuzzy AHP method was used to determine the weight of the criteria in order to take the positive judgments of the decision makers into consideration and thus uncertainty in the decision-making process was reduced. The weights of the criteria found by Fuzzy AHP were used for listing alternative catering companies by ELECTRE and VIKOR method. According to the statistical results, it was seen that the results of VIKOR method were more reliable. For this reason, VIKOR method should be used in the selection of catering firm for this company. According to the VIKOR method, Alternative2> Alternative 3> Alternative1. It was suggested to choose alternative 2 for catering service. For future studies, they can use different CCKV methods instead of ELECTRE and VIKOR methods, or they can use ELECTRE and VIKOR methods for other problems.

References

- Atan, M. Türe, H. and Koçak, D. (2016). Analitik Ağ Süreci Yöntemi İle Gençlerde Madde Bağımlılığı ve Erken Uyarı Sistemine İlişkin Bir Uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (24), 103-112.
- Ersöz, F. Kinci, C. H. and Ersöz, T. (2018). A Model Proposal for Course Selection with the Fuzzy MOORA Approach. *European Journal of Science and Technology*, (14), 369-377.
- Dickson, G. W. (1966). An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions. *Journal of Purchasing*, Vol.2, No.1, 5-17, 1966.
- Soner, S. and Önüt, S. (2006). Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Bir ELECTRE-AHP Uygulaması, *Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2006/4, 110-120.
- Gal, T. and Hanne T. (2006). Nonessential Objectives within Network Approaches for MCDM, *European Journal of Operational Research*, 168, 584–592.
- Pi W.-N. and Low, C. (2006). Supplier Evaluation And Selection Via Taguchi Loss Functions And An AHP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27, 625–630.
- Liu, Fuh-Hwa F. and Hui L. H. (2005). The Voting Analytic Hierarchy Process Method For Selecting Supplier. *International Journal of Production Economics*, 97, 308–3
- Vahidov, R. and Fei, JI (2005). A Diversity-Based Method for Infrequent Purchase Decision Support in e-commerce, *Electronic Commerce Research and Applications*, 4, 143–158.
- Vinodh, S. Prasanna, M. and Prakash, N. H. (2014). Integrated Fuzzy AHP TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: A case study. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 4662- 4672.
- Prakash, C. and Barua, M.K. (2015). Integration of AHP- TOPSIS method for prioritizing the solutions of reverse logistics adoption to overcome its barriers under fuzzy environment. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 599-615.
- Macuzic, I. Tadic, D. Aleksic, A. and Stefanovic, M. (2016). A two step fuzzy model for the assessment and ranking of organizational resilience factors in the process industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 122-130.
- Alarcin, F. Balin, A. Demirel, H. (2014). Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS integrated hybrid method for auxiliary systems of ship main engines. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 13(1), 3-11.
- Patil, S. K. and Kant, R. (2014). A fuzzy AHP- TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers. *Expert Systems with Applications*, 41, 679-693.
- Taylan, O. Bafail, A.O. Abdulaal, R.M.S. and Kabli, M.R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing*, 17, 105-116.
- Junior, F.R.L. Osiro, L. and Carpinetti, L.C.R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.

- Kahraman, C. Cebeci, U. and Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International journal of production economics*, 87(2), 171-184.
- Aytaç E. Tuş Işık A. Kundakçı, N. (2011). Fuzzy ELECTRE I Method for valuating Catering Firm Alternatives. *Ege akademik bakış/Ege Academic Review*, 11, 125-134.
- Hatami-Marbini, A. and Tavani, M. (2011). An Extension of the ELECTRE I Method for Group Decision-Making under a Fuzzy Environment. *Omega*, 39, 373-386.
- Ulutaş, A. (2019). Swara Ve Mairca Yöntemleri İle Catering Firması Seçimi. *Business&Management Studies: An International Journal BMIJ*, 7(4): 1467-1479.
- Fu, Y. K. (2019). An integrated approach to catering supplier selection using AHP-ARAS-MCGP methodology. *Journal of Air Transport Management*, 75, 164-169.
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, Volume 95, Issue 3, Pages 649-655.
- Yılmaz, E. (2012). Bulanık AHP-VIKOR Bütünleşik Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, XXXIII(2), 331-354.
- An, D. Xi, B. Wang, Y. Xu, D. Tang, J. Dong, L. Ren, J. and Pang C. (2016). A sustainability assessment methodology for prioritizing the technologies of groundwater contamination remediation. *Journal of Cleaner Production*, 112 4647-4656.
- Opricovic, S. and Tzeng, G.H. (2004). Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156 (2), 445–455.
- Peng, J.P. Yeh, W.C. Lai, T.C. and Hsu, C.B. (2015). The Incorporation of the Taguchi and the VIKOR Methods to Optimize Multi-Response Problems in Intuitionistic Fuzzy Environments. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 38 (7), 897-907.
- Ho, W.R. Tsai, C.L. Tzeng, G.-H. and Fang, S.K. (2011). Combined DEMATEL Technique with A Novel MCDM Model for Exploring Portfolio Selection Based on CAPM, *Expert Systems with Applications*, 38 (1), 16–25.



Öğrenciler Arasında Blokzincir Farkındalığı Üzerine Bir Araştırma

Şerif Bahtiyar*, Oğuz Paksoy, Ecem Güldöşüren, Mustafa Efehan Pekel

Istanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 28 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 5 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.681021)

ATIF/REFERENCE: Bahtiyar, Ş., Paksoy, O., Güldöşüren, E. & Pekel, M. E. (2020). Öğrenciler Arasında Blokzincir Farkındalığı Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 424-434.

Öz

Moderen toplumlar gün geçtikçe daha çok teknoloji ile iç içe yaşar hale gelmeye başlamıştır. Aynı zamanda toplumlar arası rekabet geleneksel savaş veya ekonomik alanlarından teknolojik alanlara doğru yönelmeye başlamıştır. Bu durum, toplumların teknolojiyi geliştirecek daha çok insan gücüne ihtiyaç duymasına sebep olmaktadır. Blokzincir teknolojisi gelişmekte olan hesaplama biliminin birçok alanı için yenilikçi çözümler sunduğundan gittikçe artan sayıda araştırmacı ve insanın ilgisini çekmektedir. Bununla birlikte, blokzincir teknolojisi ile ilgili araştırma ve geliştirmedeki olağanüstü sorunların çözülebilmesi için iyi eğitilmiş araştırmacılara ve geliştiricilere ihtiyaç vardır. Aksi durumda bu teknoloji, aldatici bir reklamın ötesine geçemeyecektir. Bu çalışmada, blokzinciri teknolojisine katkıda bulunabilecek en iyi adaylar arasında yer alan üniversite öğrencilerinin blokzinciri teknolojisi farkındalığını değerlendirmeye odaklandık. Üniversite öğrencileri arasındaki blokzinciri farkındalığını belirlemek için yeni bir anket araştırması gerçekleştirdik. Anketi çevrimiçi bir uygulama kullanarak 200 öğrenci ile deneysel olarak gerçekleştirdik. Gerçekleştirdiğimiz analizler, üniversite öğrencilerinin blokzincir teknolojisine katkıda bulunmaya hevesli olduklarını ve bu teknoloji ile yeni uygulamalar geliştirmek istediklerini göstermektedir. Diğer taraftan, yaptığımız analizlerin sonuçları, öğrencilerin blokzincir teknolojisi araştırma topluluğuna katılmalarının önünde bazı engeller olduğunu da ortaya koymaktadır. Temel engellerden biri, blokzincir teknolojisi ve uygulamaları ile ilgili yeterli eğitim ve öğretim programlarının olmaması olarak ortaya çıkmıştır. Var olan programların da günümüz teknolojik alt yapısı gözlemlenmeden geleneksel yöntemler kullandığını ortaya koymaktadır. Oysa şu andaki üniversite öğrencileri daha çok görsel materyel içeren, yazının daha az olduğu etkileşimli eğitim programlarını tercih ettiğini ortaya koymaktadır. Yaptığımız bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlar kullanılarak blokzincir teknolojisinin olgunlaşması için geliştirilecek eğitim programlarının yararlanmasını beklenmektedir. Özellikle üniversite seviyesindeki eğitimler için tasarlanacak blokzincir teknolojisi programlarının çalışmamızın sonuçlarının yararlı olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Blokzincir, Farkındalık, Kriptografi, Araştırma.

A Survey on Blockchain Awareness among Students

Abstract

Modern societies are beginning to become more and more intertwined with technology. At the same time, inter-communal competition has begun to move from traditional war or economic fields to technological fields. This circumstance reveals that societies need more work force to develop technology. There has been a growing interest in blockchain since it is considered as an emerging revolutionary technology for many areas of computing. However, outstanding problems in blockchain research and development must be solved to go beyond the hype that require well-educated researchers and developers. This paper focuses on assessing the blockchain awareness of university students who are among the best candidates to contribute the technology. We presented a new survey to explore the blockchain awareness among university students. We experimentally evaluated the survey with two hundred students by using an online questionnaire. Analyses results show that university students are willing to contribute on blockchain technology and they want to develop new applications with that technology. On the other hand, these results also reveal that there are some obstacles for students to participate in the blockchain research community. One of main obstacles is a lack of sufficient training and education programs related

* Sorumlu Yazar: İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0003-0314-2621, bahtiyars@itu.edu.tr

to blockchain technology and its applications. Specifically, existing programs use traditional methods regardless of contemporary technological infrastructure. However, our research reveals that current university students prefer interactive education programs that contain more visual materials and less writing. The results of this survey are expected to be used to create such programs. We particularly expect that the results of our research will become useful for blockchain technology programs designed especially for university level.

Keywords: Blockchain, Awareness, Cryptography, Survey.

1. Introduction

In recent years, advancements in new technologies have resulted in the emergence of new services and applications in our society such as blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications (Tanwar, S., et al., 2020). Another example is Internet of Things (IoT) that has introduced smart services in industry (Dai, H., et al., 2019). However, these technologies confront various challenges, like security and privacy challenges, due to lack of awareness among many people who may be either developer or simple application users (Mishra, M., 2018; Henry, C. Et al, 2019).

Blockchain has certainly left its mark on the society. The decentralized nature of blockchain makes it an important candidate for software solutions, such as e-voting, distributed and tax-free banking, secure decentralized data storage, digital currency, and many services on IoT devices. On the other hand, the potential of blockchain has yet to be depleted. For instance, location based services tend to use blockchain technology. However, blockchain based applications and services are vulnerable to many attacks (Nosouhi, M., et al., 2020), such as location spoofing attacks by dishonest users who misrepresents their location and submit fake position data (Zheng, Y., et al., 2017).

Although blockchain technology has many application areas, some people often believe that blockchain is a technology only for cryptocurrency applications. This creates an implicit problem, as the public attitude towards blockchain becomes directed towards certain applications that prevents pervasive usage of blockchain with different applications. Specifically, blockchain is made popular by the introduction of a new type cryptocurrency, bitcoin (Aggarwal, S., et al., 2019). A fundamental requirement of bitcoin is to avoid double spending without involving any centralized authority. Blockchain technology provides a trusted network where the nodes are anonymous and each node has its own ledger to store the history of the transactions to ensure trust (Lo, S. K., et al., 2017; Aste, T., et al., 2017).

The grand challenge is to increase the awareness of researchers and developers about blockchain technology, which makes the society to benefit from blockchain considerably. The first stage of increasing awareness is to determine status of potential researchers and developers. University students are among the best candidates to contribute developing blockchain applications. In this paper, the challenge is to determine blockchain awareness among university students. We design a novel online questionnaire for university student to reveal blockchain awareness among them. We have conducted an experiment 200 university students. The main contribution of this paper is the online questionnaire specifically designed for university students related to blockchain technology. Our experimental results show that students are willing to contribute on blockchain technology however, there is a lack of formal training and education programs. The results may be used to create training and education programs related to blockchain according to preferred study channels of students.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 is about blockchain and related research. We present our questionnaire in Section 3. Next section is devoted to research and development challenges about blockchain. We conclude the paper in Section 5.

2. Blockchain and Research

Surveys related to blockchain have been generally conducted by industry according to different dimensions of the technology. A survey conducted in India among 100 participants reveal that 41% of people have heard about blockchain as a cryptocurrency and 78% of them believe that cryptocurrencies can be useful for purchases. However, only 28% of people have trust to cryptocurrencies (Mishra, M., 2018).

Another survey which was carried out by Bank of Canada with 1997 participants that illustrates the blockchain awareness of people, where older and less educated people are unaware about blockchain (Henry, C., et al., 2019).

A consulting company, Deloitte, performed a study with 1053 participants from different countries, where 84% of participants thought that block-chain technology can be highly scalable and it will be a mainstream technology in the future. In addition, 59% of participants thought that blockchain technology has damaging effects. On the other hand, 84% of participants stated that Bitcoin-based solutions are safer and more reliable than traditional solutions (Pawczuk, L., et al., 2018).

In a research performed by MBN Solutions, a blockchain consulting company, 64% of company managers considered blockchain to be a reliable technology platform (Deloitte's., 2018).

While these surveys do not provide in-depth information about the awareness of developers who have been created applications with blockchain. Our survey considers engineering students who have a very big potential to create cutting-edge applications with blockchain technology.

2.1. Basics of Blockchain

Understanding the principles of blockchain will reveal many key issues behind questions in our questionnaire. The blockchain technology was introduced in Bitcoin paper of Satoshi Nakamoto (Nakamoto, S., 2008). It is unclear whether Nakamoto ever existed (Di Piero, M., 2017), but the concept that was explained has revolutionized distributed applications. Since then, the term “blockchain” has become a popular word in distributed technology. The power of blockchain has become apparent with its advantages on distributed systems. Blockchain has the following main benefits:

- *Transparency*: Peers can see what other peers are doing on the blockchain (Aste, T., et al., 2017).
- *Trustless*: Peers do not need to trust any central mediator party (Aste, T., et al., 2017).
- *Attack resistance*: Require immense computation power to tamper the system for PoW like consensus mechanisms (Cai, W., et al., 2018, Aste, T., et al., 2017).
- *Autonomous*: The blockchain system works autonomously (Aste, T., et al., 2017).
- *Defect Traceability*: Defective points on the blockchain may be detected.
- *Pseudo anonymity*: Participating peers can hide their real identity for Bitcoin like blockchains (Nakamoto, S., 2008,).
- *Smart contract*: It is a computerized transaction protocol that executes the contractual terms of an agreement (Dai, H., et al., 2019).

Blockchain technology, in its essence, is a way of ensuring that a group of digital peers can cooperate through a network that consists of many peers, using digital signatures and hashes to provide integrity and non-repudiation. Digital signatures are used to digitally verify identities of peers (Roy, A. and Karforma, S., 2012), while a hash is a mathematical function, which is not plausibly, inverted (Yaksic, V. O. C., 2003). The reliability of the blockchain network depends on these cryptographic mechanisms.

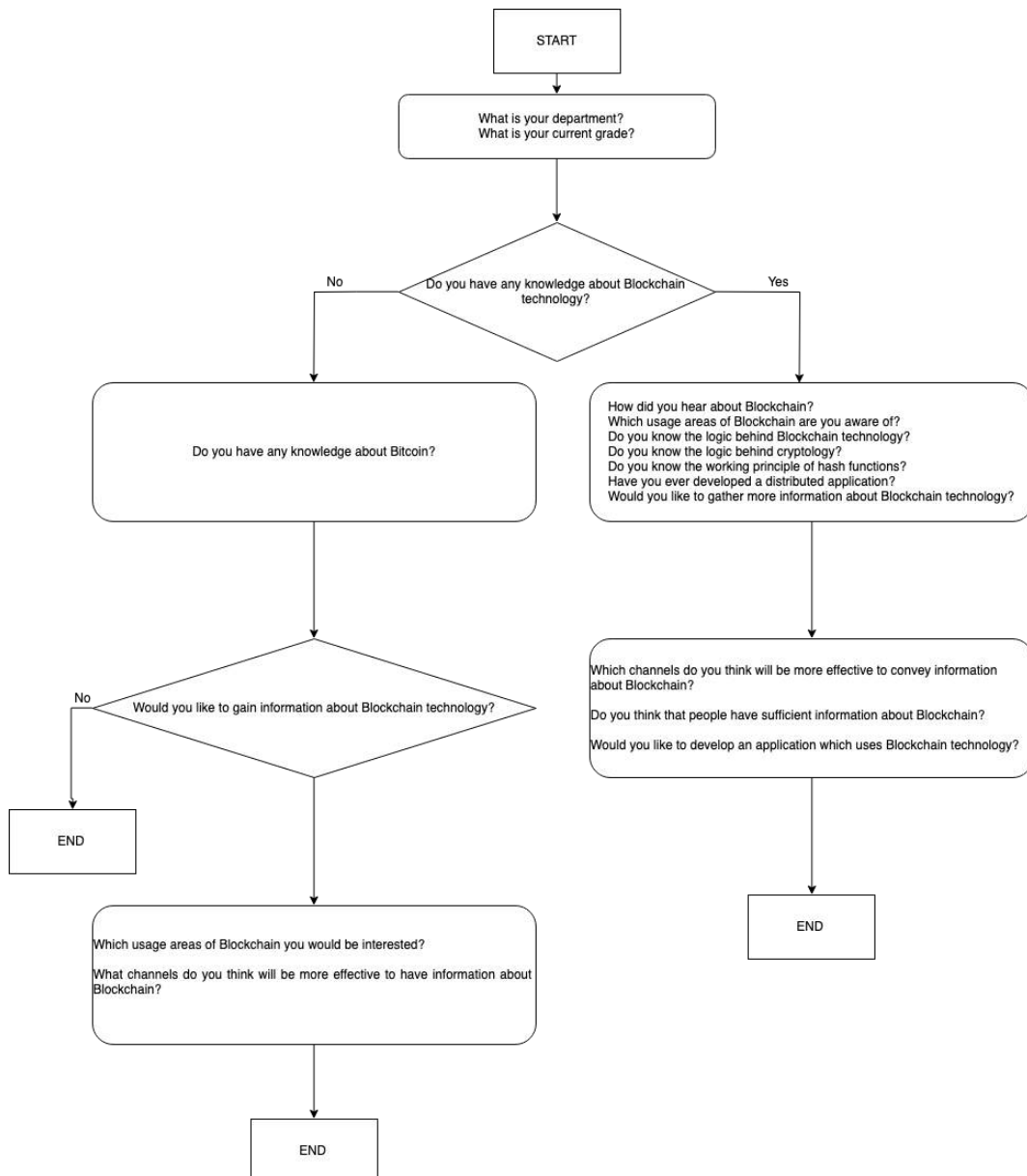


Figure 1. Algorithm of the questionnaire.

The blockchain itself is a linked-list of blocks, where each block contains a hash value for previous block. The entire blockchain is accessible by all peers and they determine the current block on the network. Moreover, the approval process requires a complex computational task for public blockchains which use PoW like consensus algorithms (Nakamoto, S., 2008, Di Pierro, M., 2017). Briefly, the peers approve collectively the current block and the process moves on to the next block (Nakamoto, S., 2008, Cai, W., et al., 2018, Aste, T., et al., 2017).

The blockchain network always stays transparent by being visible to all peers in the system. Therefore, understanding the principles of blockchain will ensure designers to extract advantages of blockchain technology on specific applications. Furthermore, it is significant to measure the awareness of designers about principles of blockchain since they will reveal the benefits of this technology to our society.

2.2. Some Applications with Blockchain

Companies invested around 1.4 billion USD on blockchain technology in 2016, which is a ten-fold increase from 2014 (Plarium., 2018). The investment trend and the expansion of blockchain technology into other fields is likely to continue in the future. Some current applications of blockchain include:

- *Cryptocurrencies*: Bitcoin (Nakamoto, S., 2008) being the pioneer of this field, blockchain networks allow secure transactions with digital currencies (Christidis, K. and Devetsikiotis, M., 2016).
- *Gaming*: Players and developers actively generate currency from games like Crypt-toKitties, due to them being blockchain-based games (Plarium., 2018).
- *User Generated Content Networks (UCGN)*: Centralized UCGN are notorious in terms of keeping information about their users and there is a problem involving plagiarism in such networks with user content constantly being stolen. These problems are candidates to be resolved with blockchain-based platforms such as STEEM (Cai, W. et al., 2018).
- *Internet of Things (IoT)*: Smart contracts may be used to control some digital IoT devices with blockchain (Kshetri, N., 2017).
- *Distributed File Stores*: File stores utilize blockchain to offer for many services, such as providing high throughput (IPFS., 2018).

Since blockchain requires expertise from many technical areas, designers and developers should be aware of principles about blockchain to be able to create a solve a challenge with this technology. University students may extend the state of the art about blockchain. Therefore, it is important to know the blockchain awareness of these students.

3. A Questionnaire on Blockchain with University Students

We have prepared an online questionnaire to assess the blockchain awareness of university students. The algorithm of the questionnaire is given in Figure 1.

3.1. Demographics

The participants of our questionnaire are 200 undergraduate students. We believe that current university students are among the best candidates to be developers and re-searchers related to blockchain technology. Thus, it has become a significant challenge to analyze their awareness (Mishra, M., 2018) and desire to contribute this technology.

Table 1. Distribution of Participants by Classes

Class	Number of Students
Preparatory	11
Freshman	46
Sophomore	41
Junior	23
Senior	79
TOTAL	200

The largest group of participants are seniors that counts 79 out of 200 students. This indicates that seniors are more willing than other groups to respond to a questionnaire about blockchain. Table 1 contains the distribution of participants to the questionnaire.

Table 2. Distribution of Participants by Departments

Department	Number of Students
Computer Engineering	40
Electronics & Communications Eng.	17
Industrial Engineering	14
Economics	10
Civil Engineering	10
Architecture	8
Others	101
TOTAL	200

The largest group of participants are students from Computer Engineering departments with 40 out of 200 students. This data may imply that Computer Engineering students are more willing to a questionnaire about blockchain than other groups. It may be related to the technical background of these students. Table 2 shows the distribution of participants according to their departments.

3.2. Answers of Students about Blockchain

We have prepared questions to extract the awareness of university students about blockchain technology. After determining departments and grades of students, we have started with a question to understand the general awareness of students about blockchain technology

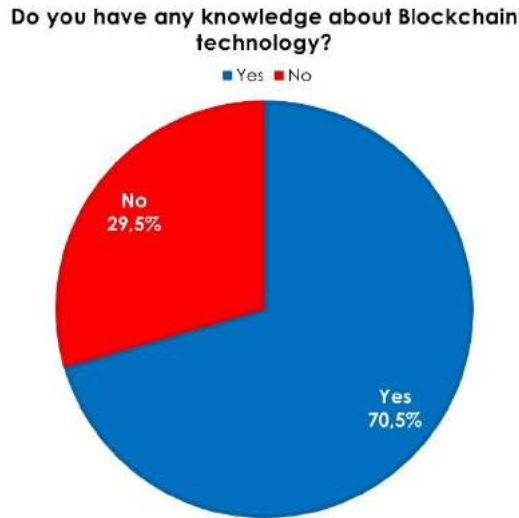


Figure 2. Blockchain awareness in general.

Fig. 2 shows results for this question. The results indicate that 70.5% of participants are aware of blockchain, whereas 29.5% have no previous knowledge about the subject. The results show that a majority of university students are aware of blockchain while a large number of students still have no information about block-chain technology.

The next question depends on the answer given to the general awareness question. We have asked different questions to whom is aware of, Group A, and not aware of, Group B, blockchain technology. There are 141 and 59 participants from Group A and Group B respectively.

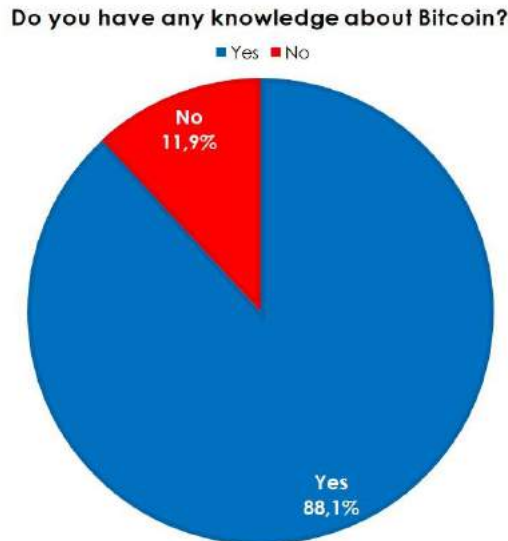


Figure 3. Awareness about Bitcoin.

One of the most well-known applications of blockchain is cryptocurrency, which has become popular with Bitcoin. There are students who do not know blockchain but they have information about Bitcoin. We have a question to test the awareness of Group B participants related to Bitcoin.

Figure 3 shows that many Group B participants are aware of Bitcoin but they do not know the technology behind the cryptocurrency. Specifically, 88.1% of Group B participants are aware of Bitcoin, whereas 11.9% of them has no previous information about this coin. These results reveal the fact that students have different interests on technology and its applications.

Willingness of the targeted audience is important to educate the people on a specific subject. We have a question to Group B participants to be able to evaluate their willingness to learn something about blockchain technology. In Figure 4, we have presented the results of willingness of Group B participants. 61% of Group B participants would like to learn something about blockchain, whereas 39% of them have no interest in blockchain. These results show that most students who did not have knowledge about blockchain would like to learn the technology.

We proceeded with students who are interested in blockchain technology. The group, Group C, consists of 36 participants in total. We excluded other from the final questions of the branch.

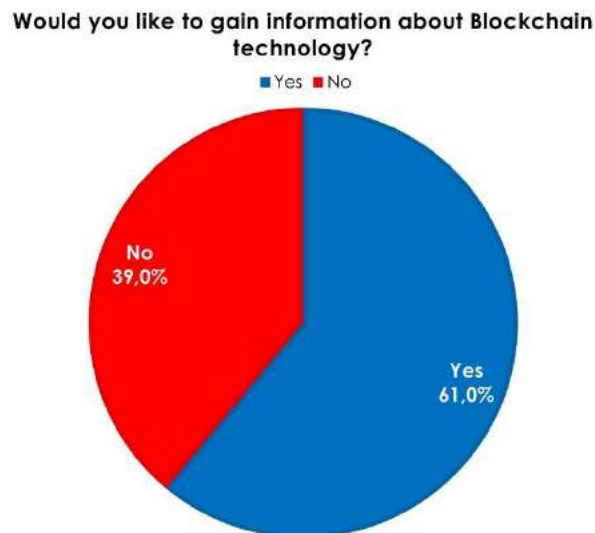


Figure 4. Willingness to know Blockchain.

Finding application areas that attract students may help to design better training programs for the students. Therefore, it is important to know which blockchain application area attracts students related to blockchain. In our questionnaire, we have devoted a question for this purpose. We asked a question to Group C students to select their preferred applications from a list of blockchain implementations. Cryptocurrency and information security are top areas that students want to work with blockchain technology as shown in Figure 5.

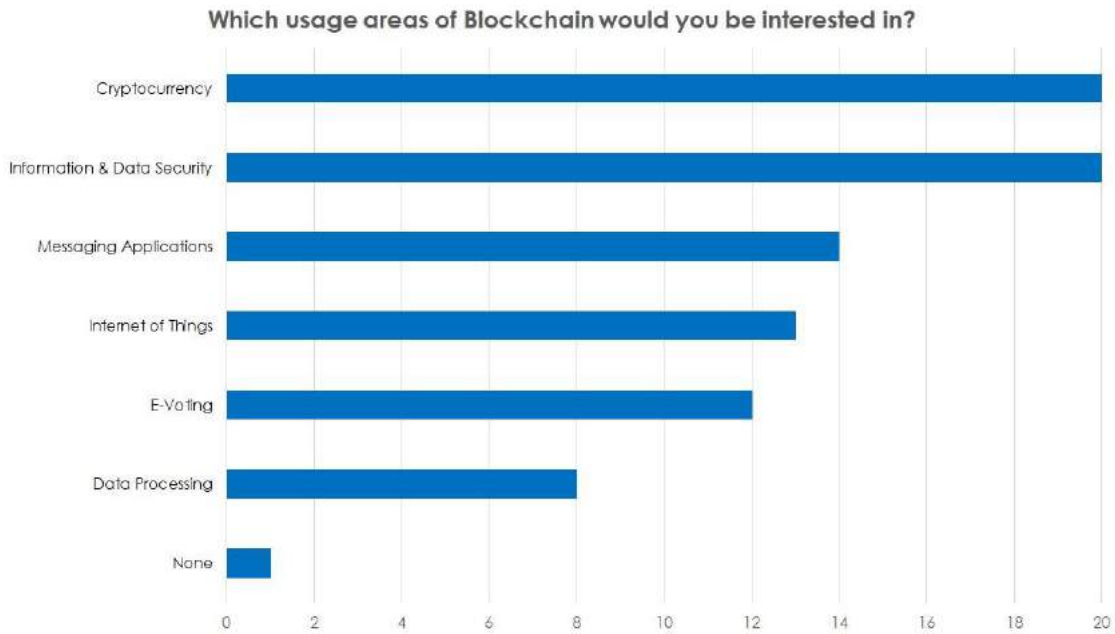


Figure 5. Blockchain areas of interest for Group C participants.

Students have many options to access information about specific topic. Most of the time, they prefer some channels instead of others. Preferred channels may increase the efficiency of training programs. Therefore, we asked students from Group C to reveal their desired channels to convey information about blockchain. We have found that web pages and visual materials (i.e. YouTube channels, videos) may be effective channels to reach the students about blockchain according to results in Figure 6.

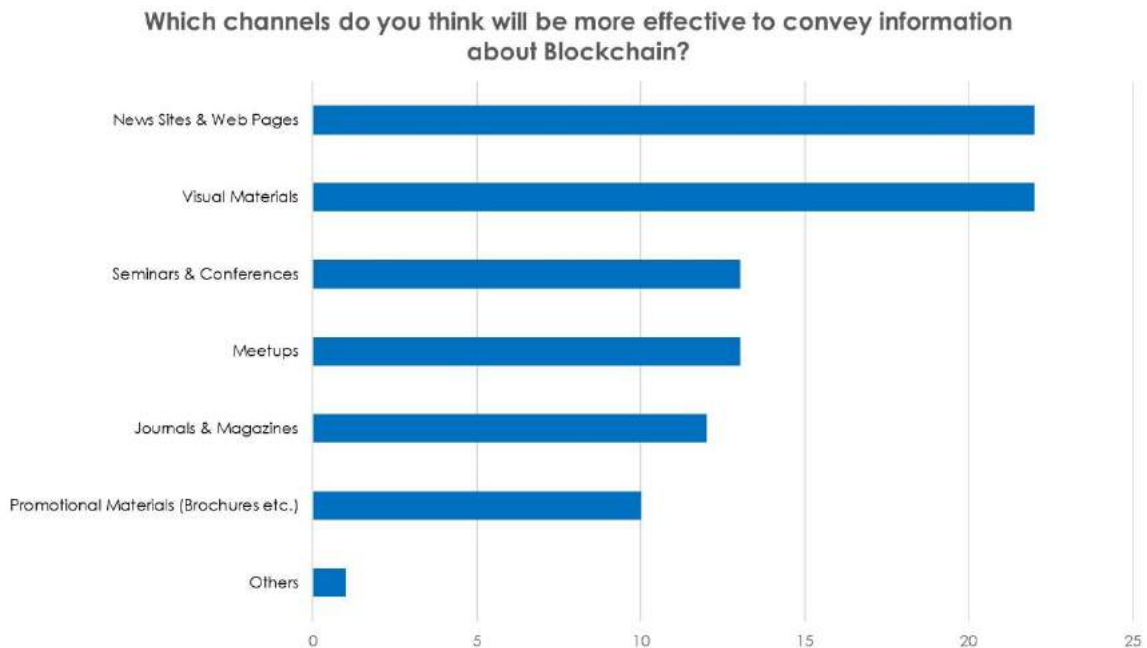


Figure 6. Preferred channels to learn blockchain by Group C participants.

We have investigated the channels from which students obtained information about blockchain with a question that we asked to Group A students. The goal of this question is to find the best channel to educate students about blockchain by revealing existing channels that have been preferred by students from Group A. Answers of students from Group A shows that news sites and web pages have been the primary channel to reach information about blockchain as shown in Figure 7. Particularly, 119 and 66 students voted for news sites and web pages” respectively, which are the top counts. Moreover, these results are compatible with the most preferable channel of students from Group C. These results from Figure 7 and Figure 6 shows that the most effective channel for Group C is the most known channel of Group A. Thus, training programs may consider news sites and web pages as the primary channels for blockchain trainings.

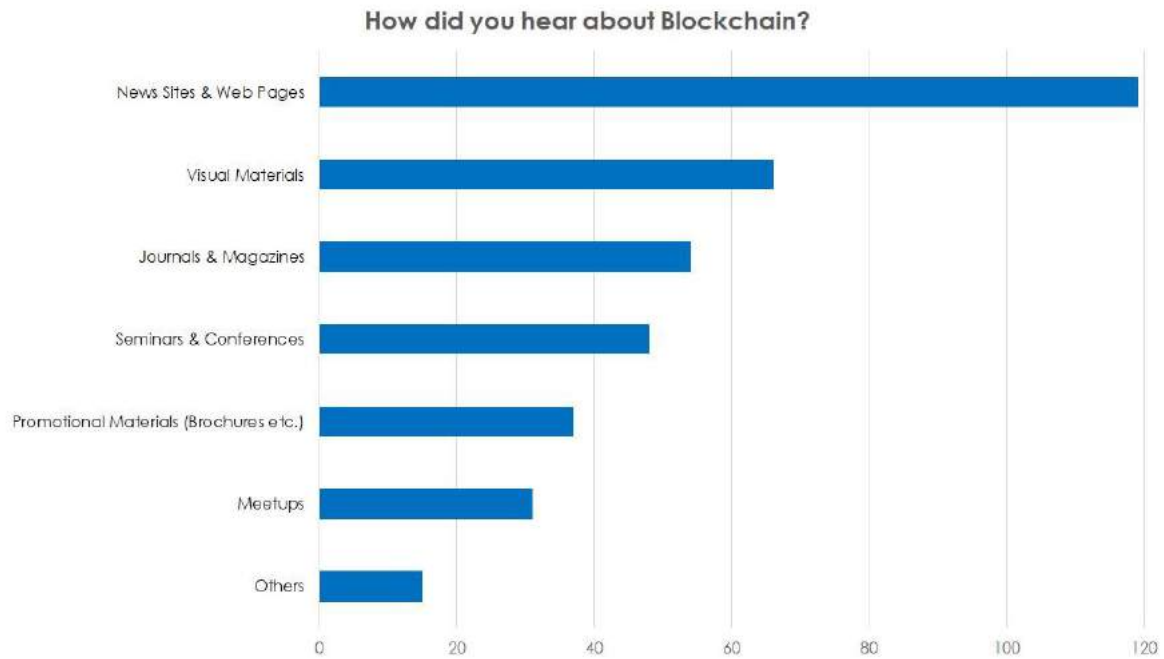


Figure 7. Channels of Group A participants to learn blockchain.

Similar to the previous question, we have investigated the application area awareness of blockchain with Group A students. Results show that cryptocurrency is the most known application area of blockchain by this group, where 137 out of 200 students know cryptocurrencies as shown in Figure 8. Results in Figure 8 and Figure 5 also indicate that students from both Group A and Group C know the relationship between cryptocurrency and blockchain. On the other hand, information security is still a widely known application area of blockchain but the awareness about other areas differ for these groups.

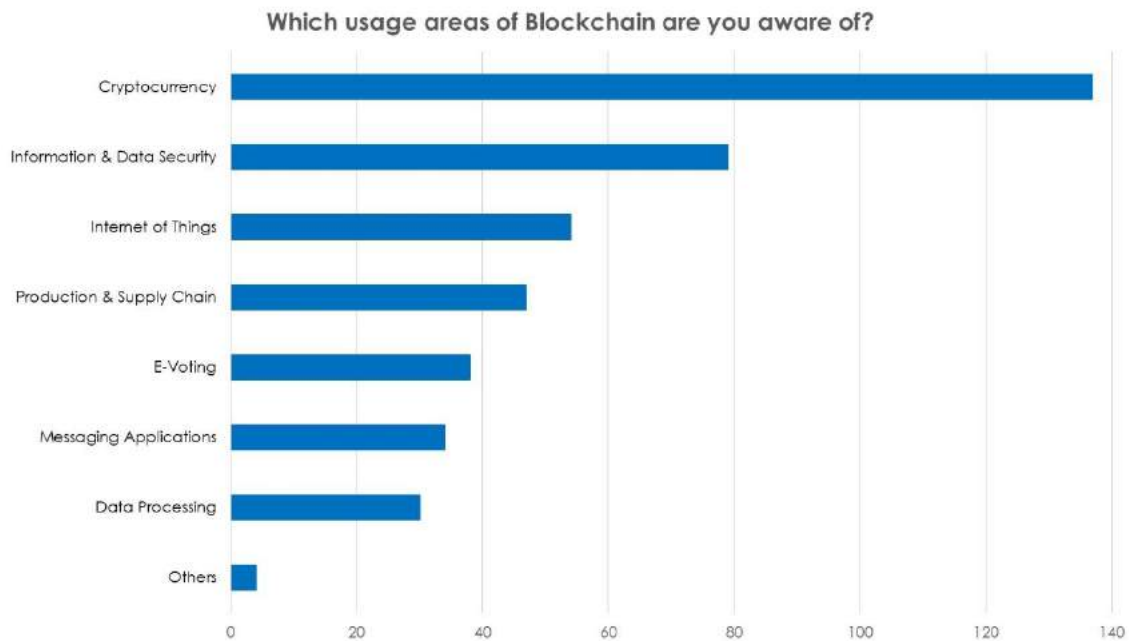


Figure 8. Awareness of Group A students about blockchain application areas.

We have more questions about details of blockchain. The goal of these questions is to reveal how many of the participants actually understand blockchain. For this reason, we have prepared three questions about the basic principles of this technology. The questions are about the logic behind blockchain, hash functions, and cryptography. Figure 9 shows answers given to these questions. Specifically, 63.1% of Group A participants know how blockchain works. Moreover, 66% of the same group participants indicates that they are aware of cryptology, and 45.4% of them know how hash functions work. These results show that less than 45.4% of Group A participants know how blockchain works. Since the majority of participants do not know the principle of blockchain technology, courses should start with fundamental mechanisms behind such technology.

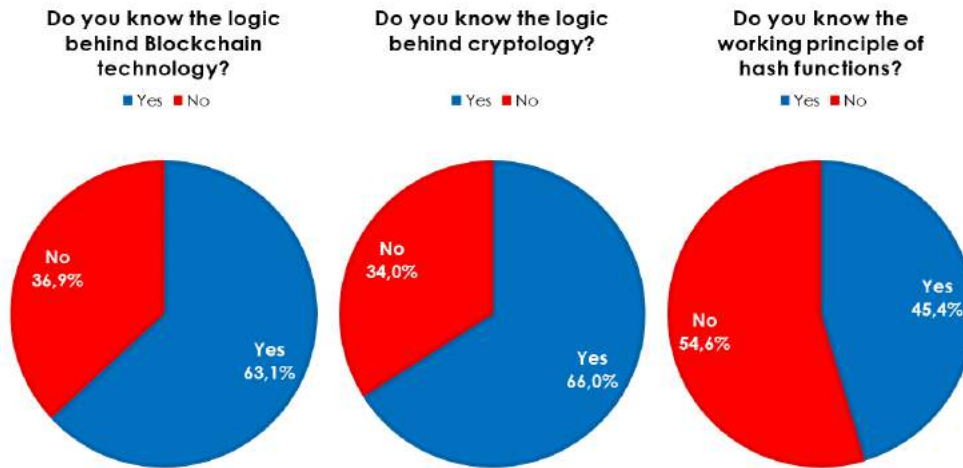


Figure 9. Some principles of Blockchain.

In order to understand current contribution of university students to blockchain technology, it is important to know how many of them are able to develop an application with blockchain. We have a question for Group A students about their experiences related to development of blockchain. Figure 10 contains results for Group A students, where 7.1% of them said that they contributed to develop at least one blockchain application. While many students know principles of blockchain, only a small fraction of them has developed applications with blockchain.

One of the significant measures for trends about the number of researchers and developers related to a technology is the willingness of people to learn more information about the technology and become a contributor. In our questionnaire, we have two questions about this issue. Questions are used to assess interests of Group A students to learn more about blockchain and desire to develop an application in blockchain.

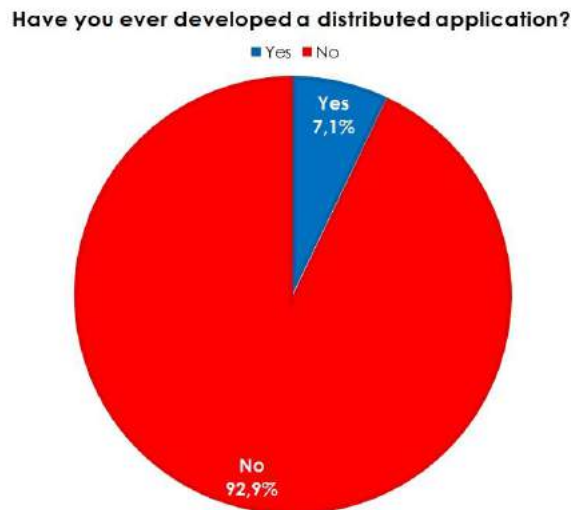


Figure 10. Blockchain developers.

Figure 11 contains willingness of Group A to more blockchain information and become a contributor. Particularly, 75.2% of Group A would like to learn more on blockchain and 74.5% of them want to develop applications with blockchain. These results show that there is a huge interest on blockchain technology from university students.

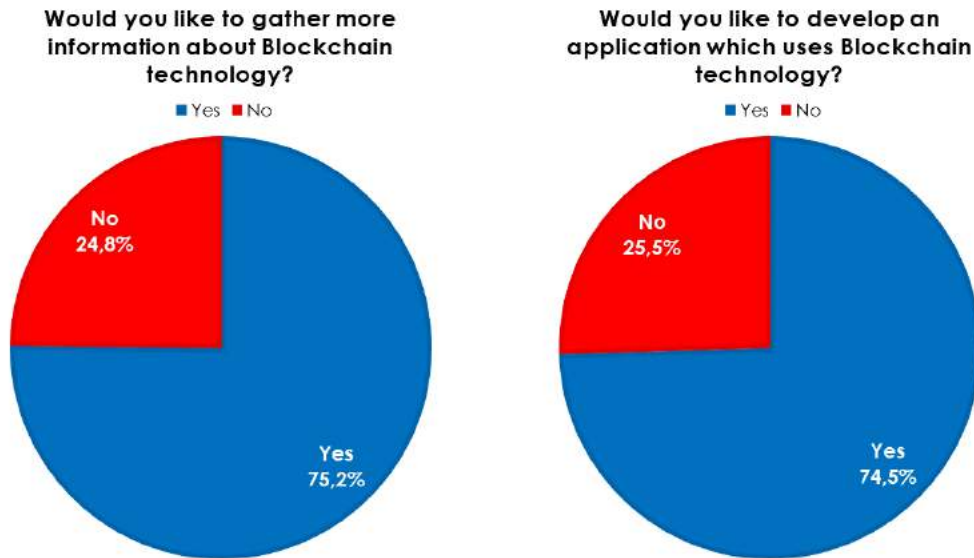


Figure 11. Willingness to contribute on Blockchain.

Our last question is about adequate sources about blockchain technology for Group A participants who want to have more information. We have defined a new group with these students, where there are 106 of them and we have asked an extra question regarding whether people were informed about blockchain sufficiently. Results in Figure 12 show that an overwhelming majority of these students believe that the society does not have enough sources and moreover people are unaware about blockchain technology. Specifically, only 6.1% of Group D participants believe that people have sufficient information about blockchain. These answers imply that blockchain is still thought to be a niche topic among university students.

The results show that university students are partially aware of blockchain and mechanisms behind this technology. On the other hand, the questions reveal that students are willing to know blockchain. Additionally, they want to contribute to the technology as a developer or a researcher. However, they believe that there is a lack of resources about trainings related to blockchain.

4. Challenges

During the survey, it has become apparent that some challenges exist to make block-chain helpful to the society. The first challenge is the fact people have no trust to unproven new technologies that are related to finance since there are many instances for mass frauds. Therefore, people have been suspicious about cryptocurrencies and blockchain.

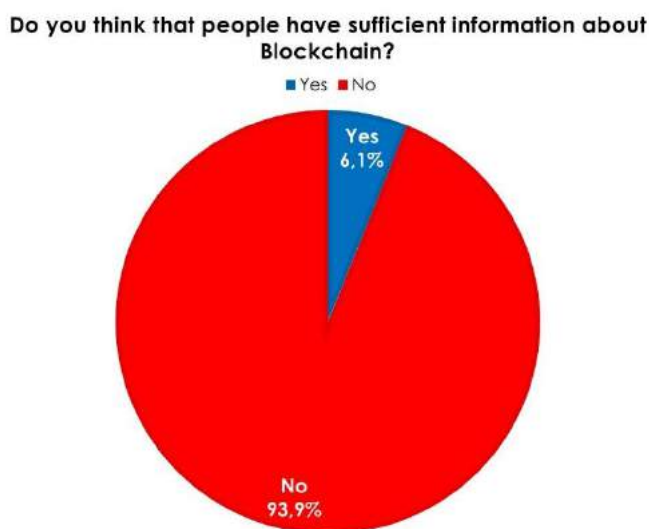


Figure 12. Adequate information sources for Blockchain.

Another challenge is a language barrier for educating people who are not native English speakers. Since most technical studies and sources about blockchain are in English, only students who know English have benefited from the most of existing resources. Additionally, the survey results reveal that students prefer visual resources such as YouTube, and these often do not convey in-depth

information. For instance, the popularity of some the Internet resources may be a threat for people since they have no in-depth explanations of blockchain technology.

5. Conclusions and Discussions

Blockchain is going to be a cutting-edge technology when it becomes mature. University students are among the best candidates to contribute developing this technology. In this paper, we present a new questionnaire to extract the awareness of university students about blockchain and its application areas.

We conducted an online experiment with 200 university students. The experimental evaluation shows that the students are eager to contribute blockchain. However, they have no in-depth information about blockchain. Therefore, students need training and education programs to increase their knowledge. The experimental results show that students also prefer visual materials instead of written ones. Thus, results of the survey indicate that university students may contribute to blockchain research and development if there are adequate training and education programs.

There are several options to design a training or an education program related to blockchain. Content producers may offer appropriate training programs via the Internet. Technology foundations and associations may organize events such as seminars, conferences or summits about blockchain with the support of universities. In addition, these foundations and associations may support all people who have potential to develop applications with blockchain. Some departments of universities may offer courses about blockchain and its applications, such as in the department of computer engineering.

References

- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Di Pierro, M. (2017). What Is the Blockchain?. *Computing in Science & Engineering*, 19(5), 6-8
- Yaksic, V.O.C. (2003). A study on hash functions for cryptography. *Global Information Assurance Certification Paper, SANS Institute*
- Roy, A. and Karforma, S. (2012). A survey on digital signatures and its applications. *Journal of Computing and I.T.*, 3(1&2), 46 - 69
- Cai, W., Wang, Z., Ernst, J. B., Hong, Z., Feng, C. and Leung, V. C. M. (2018). Decentralized Applications: The Blockchain-Empowered Software System. *IEEE Access*, 6, 53019 - 53033
- Aste, T., Tasca, P. and di Matteo, T. (2017) Blockchain Technologies: The Foreseeable Impact on Society and Industry. *IEEE Computer*, 50 (9), 18 – 29
- Scriber, B. A. (2018). A Framework for Determining Blockchain Applicability. *IEEE Software*, 35(4), 70 – 77
- Plarium. (2018). How Blockchain Games Can Change the Gaming Industry, Retrieved from <https://plarium.com/en/blog/blockchain-games>
- Kshetri, N. (2017). Can Blockchain Strengthen the Internet of Things?. *IT Professional*, 19(4), 68 – 72
- Christidis, K. and Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*, 4, 2292 – 2303
- IPFS. (2018). Interplanetary File System, Retrieved from <https://ipfs.io>
- Mishra, M. (2018). Bitcoin: A General Awareness Survey”, *Journal of Business Management & Quality Assurance*, 2(1), 5 – 14
- Henry, C., Huynh, K. and Nicholls, G. (2019). Bitcoin Awareness and Usage in Canada: An Update, Bank of Canada. Retrieved from <https://www.bankofcanada.ca/2018/07/staff-analytical-note-2018-23/>
- Pawczuk, L., Massey, R., and Schatsky, D. (2018). Deloitte’s 2018 Global Blockchain Survey. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/financial-services/us-fsi-2018-global-blockchain-survey-report.pdf>
- Deloitte’s. (2018). Scotchain17 Blockchain Attitudes. Retrieved from https://www.mbnsolutions.com/wp-content/themes/jobify/pdf/Scotchain17_Blockchain_SurveyWEB.pdf
- Tanwar, S., Parekh, K., and Evans, R. (2020), Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications, *Journal of Information Security and Applications*, 50, 102407
- Dai, H., Zheng, Z., and Zhang, Y. (2019), Blockchain for Internet of Things: A Survey, *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8076-8094
- Nosouhi, M., Yu, S., Zhou, W., Grobler, M., and Keshtiar, H. (2020), Blockchain for secure location verification, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 136, 40 - 51
- Zheng, Y., Li, M., Lou, W., and Hou, Y.T. (2017), Location based handshake and private proximity test with location tags, *IEEE Transactions on Dependable Secure Computing*, 14, 406-419
- Aggarwal, S., Chaudhary, R., Aujla, G. S., Kumar, N., Choo, K. R., and Zomaya, A. Y. (2019), Blockchain for smart communities: Applications, challenges and opportunities, *Journal of Network and Computer Applications*, 144, 13-48
- Lo, S. K., Xu, X., Chiam, Y. K., and Lu, Q., (2017), Evaluating suitability of applying blockchain, *In: IEEE 22nd International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS)*, 158-161



Reaktif Azot Türlerinin (RNS) Üretimi, Fonksiyonu ve Stres Koşullarındaki Durumu

İlkay Yavaş^{1*}, Volkan Mehmet Çınar², Aydın Ünay³

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Koçarlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın, (ORCID: 0000-0002-6863-9631)

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri ABD, Aydın, (ORCID: 0000-0001-5822-5649)

³ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Aydın, (ORCID: 0000-0002-7278-4428)

(İlk Geliş Tarihi 3 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 5 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.683895)

ATIF/REFERENCE: Yavaş, İ., Çınar V.M., & Ünay, A. (2020). Reaktif Azot Türlerinin (RNS) Üretimi, Fonksiyonu ve Stres Koşullarındaki Durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 435-444.

Öz

Bitkilerde Reaktif Azot Türlerinin (RNS) biyotik ve abiyotik stres koşullarında sinyal molekülü olarak rol oynadığı, buna karşın varlığının oksidatif hasara yol açtığı bilinmektedir. Kloroplast, mitokondri, peroksisom, endoplazmik retikulum ve plazma membranları RNS'lerin ortaya çıktığı hücre organelleridir. Sitoplazmada nitrat redüktaz enziminin nitrik oksit (NO) üretiminden sorumlu en önemli enzim olduğu ortaya konulmuştur. NO birçok enzim, substrat ve hormonlar ile etkileşime girerek fizyolojik olayların düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Bitki metabolizmasında aşırı konsantrasyonlarda üretildiğinde ise reaktif oksijen türlerinde olduğu gibi birçok enzim tarafından etkisiz forma dönüştürülmektedir. Bu yönden RNS'lerin üretimi, fizyolojik etkileri ve etkisizleştirilmeleri birçok fizyolojik olayı tanımlamada önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, dormansi, nitrik oksit, reaktif azot türleri, stoma

Production and Function of Reactive Nitrogen Species (RNS) and Status in Stress Conditions

Abstract

It is known that Reactive Nitrogen Species (RNS) play a role as a signaling molecule under biotic and abiotic stress conditions in plants, but its presence causes oxidative damage. Chloroplasts, mitochondria, peroxisomes, endoplasmic reticulum and plasma membranes are cell organelles in which RNS occur. It has been shown that nitrate reductase enzyme is the most important enzyme responsible for nitric oxide (NO) production in cytoplasm. NO interacts with many enzymes, substrates and hormones and plays a role in the regulation of physiological events. In this respect, production, physiological effects and inactivation of RNS are important in defining many physiological events.

Keywords: Abiotic stress, dormancy, nitric oxide, reactive nitrogen species, stomata

* Sorumlu Yazar: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Koçarlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın, Turkey, ORCID: 0000-0002-6863-9631, iyavas@adu.edu.tr, Tel: +90 (256) 772 73 48, Fax: +90 (256) 772 74 60

1. Giriş

Bitkilerdeki Reaktif Azot Türleri (RNS), 1960'lı yılların başlarında Fewson ve Nicholas (1960) tarafından tanımlanmıştır. Nitrik oksit (NO) yaprak yaşlanmasına (Leshem ve Haramaty, 1996) ve bitki bağışıklık sistemine etkisi (Noritake vd., 1996) incelenmiştir. Delledonne vd. (1998) ve Durner vd. (1998), bitkilerde nitrik oksit, bitki savunmasında bakteriyel enfeksiyona karşı bir sinyal molekülü olarak rol oynadığını belirtmişlerdir. Bitki patogenezisindeki NO'nun bu yeni fonksiyonu, bitkilerde NO'nun fizyolojik rolü üzerine araştırmalarda çok önemli bir dönüm noktası olmuştur. RNS için sinyal molekülü ve “nitrosatif stres” tanımlamaları yapılmıştır (Beligni vd., 2002; De Michele vd., 2009; Hebelstrup ve Møller, 2015; Türkan, 2018).

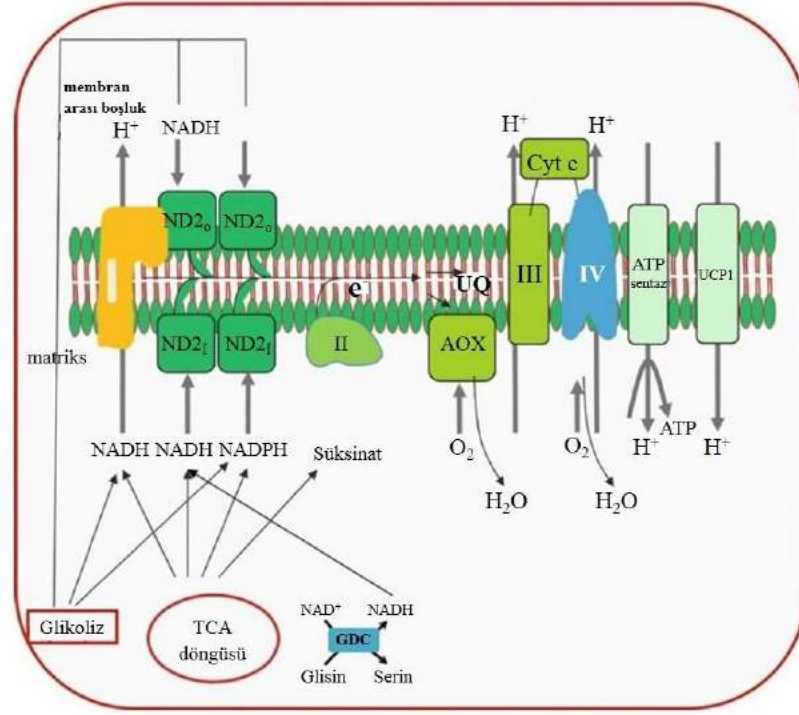
Reaktif azot türleri (RNS), stres koşullarında ve normal yetiştirme şartlarında bitki büyüme ve gelişiminde çeşitli biyolojik süreçlerin düzenlenmesinde rol oynaması nedeniyle önem kazanmaktadır. Reaktif oksijen türleri (ROS) gibi reaktif azot türleri (RNS) de stres koşullarında serbest radikal ve radikal olmayan moleküller üretmektedirler. RNS, çeşitli stres tolerans mekanizmalarında önemli bir sinyal bileşeni olarak görev yapan nitrik oksitten ($\cdot\text{NO}$) elde edilmekte ve bir kısmı da azot döngüsünde yer almaktadır. Bitkilerde esas olarak RNS, $\cdot\text{NO}$ ve azot dioksit ($\cdot\text{NO}_2$) gibi serbest radikalleri ve radikal olmayan S-nitrosotiyoller, peroksinitrit (ONOO^-), nitroksil anyon (NO^-), nitrat (NO_3), nitrosonyum katyonu (NO^+), dinitrojen trioksit (N_2O_3), dinitrojen tetroksit (N_2O_4), nitril klorür (NO_2Cl) ve nitrik oksiti (HNO_2) içermektedir. Nitrik oksit, azot dioksit, nitrik asit, peroksinitrit ve dinitrojen tetroksit gibi RNS'ler, tohum dormansisi ve çimlenmesi, bitki büyüme ve gelişmesi, stoma hareketleri, üreme ve polen tüpü gelişimi, yaşlanma ve yaprak dökülmesi, baklagil-Rhizobium simbiyotik ilişkisi gibi çeşitli fizyolojik süreçlerde rol oynamaktadır. Ayrıca kuraklık, tuzluluk, soğuk, sıcaklık ve ağır metaller gibi çeşitli abiyotik stres koşullarında RNS bir sinyal molekülü olarak görev yapmaktadır. Bunlara bağlı olarak RNS'nin fizyolojik olayların düzenlenmesi ve nitrosatif stres de dahil olmak üzere bitki hücrelerinde iki farklı rol üstlendiği bilinmektedir (Adams vd., 2015; Malerba ve Cerena, 2015).

Özellikle tuz stresi koşullarında çeltik, mısır, buğday, domates ve kültür bitkilerinde, Arabidopsis ve ve halofitlerde RNS'in rolü üzerine çok sayıda çalışma yer almaktadır. $\cdot\text{NO}$, melatonin ve H_2O_2 donör molekülleri uygulamasının bazı bitki türlerinde tuz stresinin etkilerini çeşitli mekanizmalar ile önleyebildiği belirtilmiştir. Reaktif azot türleri arasında, en fazla çalışma $\cdot\text{NO}$ üzerindedir. Bu molekül tuza aşırı duyarlı, Ca^{+2} ve protein kinaza bağımlı ve tuz stresi altında G-protein aracılığı ile sinyal iletimi olmak üzere çok sayıda olayı düzenleyen bir moleküldür. NO'in hormonlar ve reaktif oksijen türleri ile olan karşılıklı etkileşimi absisik asit (ABA) kaynaklı stomaların kapanmasında rol oynamaktadır. Ayrıca mitoz bölünme ile aktifleşen protein kinaz (MAPK) ve siklik GMP (cGMP) aktivitelerini tetiklemektedir. Absisik asit, oksin, giberellin ve etilen gibi hormonlar tuz stresine tepkinin düzenlenmesi için RNS ile sinerjik veya antagonistik olarak etkileşime girmektedir (Lindermayr ve Jörg Durner, 2015; Saddhe vd., 2019).

Bu derlemede, bitkilerde reaktif azot türlerinin üretimi, hücre içi fonksiyonları ve stres koşullarındaki etkileşiminin fizyolojik temelleri üzerinde durulmuştur.

Bitki Solunumunda Elektron Taşıma Sistemi (ETS) ve Kompleksler

Hücre solunumunda, organik bileşikler oksitlenerek ATP formunda kullanılabilir kimyasal enerjiye dönüşmektedir. Bu olayın merkezinde mitokondride yer alan elektron taşıma sistemi (ETS) bulunmaktadır. Bu, NADH dehidrogenaz (kompleks I), süksinat dehidrogenaz (kompleks II), sitokrom c redüktaz (kompleks III) ve sitokrom c oksidaz (kompleks IV) gibi 4 oksidoredüktaz kompleksinden oluşmaktadır (Şekil 1). Ayrıca bu sistemde sitokrom c ve lipid ubiquinon gibi 2 hareketli elektron taşıyıcısı yer almaktadır. Genel olarak, elektronlar NADH veya FADH₂ koenzimlerinden suya indirgenmiş moleküler oksijene aktarılmaktadır. Dört oksidoredüktaz kompleksinden üçü (kompleks I, III ve IV) elektron transfer reaksiyonlarını iç mitokondriyal zar boyunca proton translokasyonu ile birleştirmektedir. Sonuç olarak, ADP'nin fosforilasyonu için ATP sentaz kompleksi (kompleks V) tarafından kullanılacak bir proton gradyanı oluşturulmaktadır. Klasik olarak açıklanan formunda, hücre solunum, doğrusal bir ETS'ye (NADH'den I, III ve IV kompleksleri yoluyla moleküler oksijene kadar) dayanmaktadır. Bununla birlikte, elektronlar ETS'ye birkaç alternatif noktada girebilmektedir. Bu özellikle çok dallı olan bitki ETS sistemi için geçerli olmaktadır (Schertl ve Braun, 2014).



Şekil 1. Bitki mitokondriyal elektron taşıma zinciri ve çeşitli substrat kaynaklarının şeması. I, II, III, IV ve V kompleksler, UCP ayrıştırıcı protein, AOX alternatif oksidaz, ND2 NAD (P) H dehidrogenazlar, GDC glisin dekarboksilaz kompleksi, UQ ubiquinon havuzu (Gupta ve Rolletschek (2013)'den değiştirilerek)

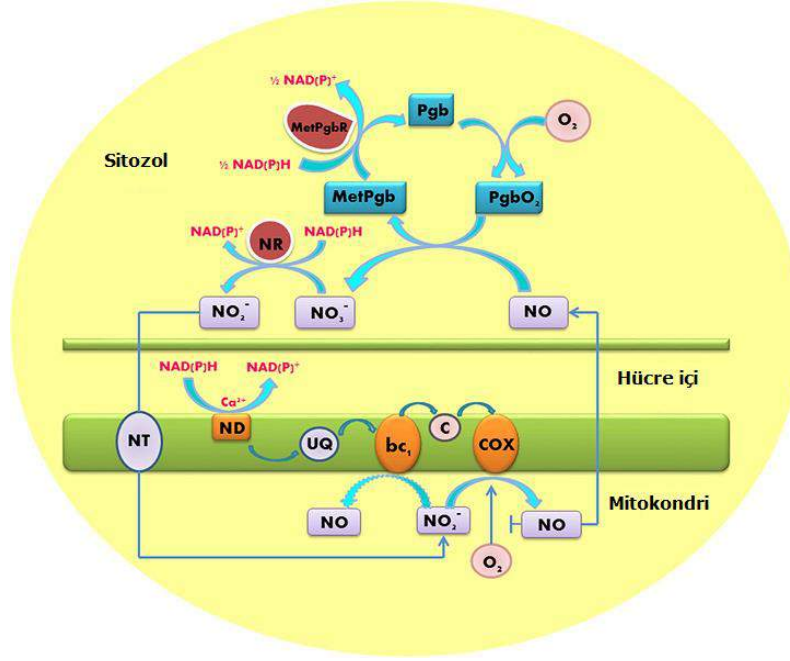
Bitkilerde RNS Üretimi ve Fonksiyonları

Reaktif azot türleri (RNS), nitrik asit (NO) ve nitrik dioksit (NO₂) gibi radikalleri ve ayrıca nitroz asit (HNO₂) ve dinitrojen tetroksit (N₂O₄) gibi radikal olmayanları içermektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Reaktif azot türleri (RNS)

Serbest radikaller	Radikal olmayanlar
Nitrik oksit NO·	Nitroz asit, HNO ₂
Nitrik dioksit, NO ₂ .	Nitrosonyum katyonu, NO ⁺
Nitrat radikali, NO ₃ .	Nitroksil anyonu, NO ⁻
	Peroksinitrit, ONOO ⁻
	Dinitrojen tetroksit, N ₂ O ₄
	Dinitrojen trioksit, N ₂ O ₃

Mitokondrideki NO üretiminin elektron taşıma zinciri, kompleks I,II, III ev IV, alternatif NAD(P)H dehidrogenazlar, alternatif oksidaz ve sitokrom c gibi yolların tümünde ortaya çıkabileceği bildirilmiştir (Gupta vd., 2018). Nitrik oksit, L-arginin'den üretilmektedir ve kalmodulin bağımlı bir mekanizma sinyali ile kalsiyum tarafından sıkı bir şekilde düzenlenmektedir (Adams vd., 2015) (Şekil 2). RNS, mitokondride solunum, kloroplastlarda fotosentez, sitozolde oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları ve peroksizomlarda hücrel fotorespirasyon gibi olaylarda, bitkilerde farklı yerlerde çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucu üretilmektedir ve RNS'nin, çeşitli sinyal yollarında önemli rolleri bulunmaktadır. Proteinler (örneğin, glutaredoksinler, tioredoksinler, sülfiredoksin, peroksiredoksinler vs.) tiollerin düzenlenmesine katkıda bulunmakta ya da azaltmaktadır.



Şekil 2. Fitogloblin / NO döngüsünün anoksik mitokondri ve sitozol arasındaki çalışması. (Gupta ve Igamberdiev, 2016'dan değiştirilerek)

Çeşitli biyotik faktörlere bağlı olarak RNS oluşumu, dokuda oksidatif hasara neden olmakta (Kapoor vd., 2019) ve bazen bunların bozulmuş şekilde uzaklaştırılması bile bitkiler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Mitokondri oksidatif enerji üretim bölgesidir. Aerobik hücrelerdeki çeşitli biyosentetik reaksiyon yollarından, herhangi bir mitokondriyal fonksiyon bozukluğu, hücre fonksiyonunda bozulmaya ve çeşitli anormalliklerin gelişmesine neden olmaktadır. Hüresel anormallikler ya da bozulmaların, yüksek seviyelerdeki reaktif oksijen türleriyle uyarıldığı bildirilmektedir (Adams vd., 2015; Kapoor vd., 2019). Foresi vd. (2010), *Ostreoccus tauri*'nin (deniz yeşili alg) bitkiler içerisinde NOS üreten tek tür olduğunu bildirmiştir. Bitkilerde, güçlü NO kaynağı olan enzimatik olmayan ve enzimatik sistemler bulunmaktadır (Malerba ve Cerena, 2015). Ayrıca, farklı bitki türlerinin ekstraktlarındaki l-arginin bağımlı NOS aktivitesi ile ilgili çeşitli veriler bildirilmiştir (Del Río, 2015). NOS aktivitesi, bitki dokularındaki peroksizom organelinde gözlenmiştir (Luis ve Río, 2013). Peroksizomlara ek olarak, NO üreten kloroplast (Jasid vd., 2006) ve mitokondri (Gupta ve Kaiser, 2010) gibi organellerde bildirilmiştir.

Ayrıca, nitrik oksit, bitkilerin büyümesi ve gelişimi için hücre içi ve hücreler arası sinyalde önemli bir rol oynamaktadır. Sekonder uyarıcıları harekete geçirerek çeşitli patolojik ve fizyolojik süreçlerde, biyotik ve abiyotik stres koşullarında, hücre duvarı lignifikasyonlarında, yaşlanma ve kök organogenezini içeren gen transkripsiyon mekanizmasında birçok görevi bulunmaktadır (Adams vd., 2015; Kapoor vd., 2019).

Çeşitli Stres Koşullarında Bitkilerde RNS Üretimi, Taşınması ve Dağıtımı

RNS üretiminde iki farklı yol tanımlanmaktadır. Oksidatif yol, nitrik oksit sentaz benzeri aktivite (NOS benzeri), poliaminler (PA) ve hidroksilamin bazlı üretimden oluşmaktadır. İndirgenmiş yol ise, nitrit-nitrik oksit redüktaz kompleksi ile nitrat redüktaz (NR), nitrik oksiti oluşturan nitrit redüktaz kompleksi ile NR, mitokondriyal ve plastid elektron taşıma zinciri, peroksizomal nitrik oksit sentaz benzeri aktivite ve snitrosoglutasyon redüktaz aktivitesini içermektedir. Yürütülen çalışmalar RNS ve türevlerinin apoplast, sitoplazma, plazma zarı ve kloroplast, mitokondri ve peroksizomlar gibi çeşitli hücre organellerinde üretildiğini ortaya koymaktadır. ONOO⁻, ·NO ve O₂⁻ özellikle süperoksitin üretildiği bölgelerde reaksiyon sonucu meydana gelmektedir. Nitritin enzimatik olmayan bir şekilde ·NO'ya indirgenmesi düşük pH'da gerçekleşmekte ya da yüksek indirgeyici koşullar ve yüksek nitrat seviyesi gerekmektedir. Bu durum arpa tohumunda aleuron tabakasının apoplastında gözlenmiştir. Poliaminler (PA) stres koşullarında antioksidan aktiviteye sahip küçük alifatik aminlerdir. Tuz stresi koşullarında PA, ROS ve NO arasında etkileşim olduğu belirtilmektedir. PA'lar, tuz stresi altında oksidatif ·NO sentez yoluna katılmakta fakat mekanizmaları bilinmemektedir. Putresin, spermidin ve spermin gibi PA'ların dışarıdan uygulanması, Arabidopsis fidelerinde NO üretimine neden olmaktadır. Tuzluluk stresi koşullarındaki PA'lar narenciye bitkilerinde oksidatif ve nitrosatif stresi artırabilmekte ve strese bağlı fenotipleri tersine çevirebilmektedir. Bitkilerde, sitoplazmik NR, çeşitli gelişim süreçleri, stoma hareketleri ve biyotik ve abiyotik stres koşullarında ·NO sentezi için potansiyel bir enzimdir. Soğuk stresi ve ozmotik stresi, ·nitrit redüktaz aktivitesi ile birlikte NO üretimini tetiklemektedir (Saddhe vd., 2019). Nitroz oksit, bitki patojenlerine karşı bir savunma tepkisi olarak ROS ile koordineli olarak çalışmaktadır. Genel olarak, bitkiler ekolojik veya abiyotik stres koşullarında iken, RNS ve ROS'un aşırı miktarda üretilmesi söz konusudur (Kim vd. 2018; Türkan, 2018). Tekrarlayan NO ve ROS sentezi normalde büyüme ve gelişmenin farklı yönlerini düzenleyen ve ayrıca çevresel

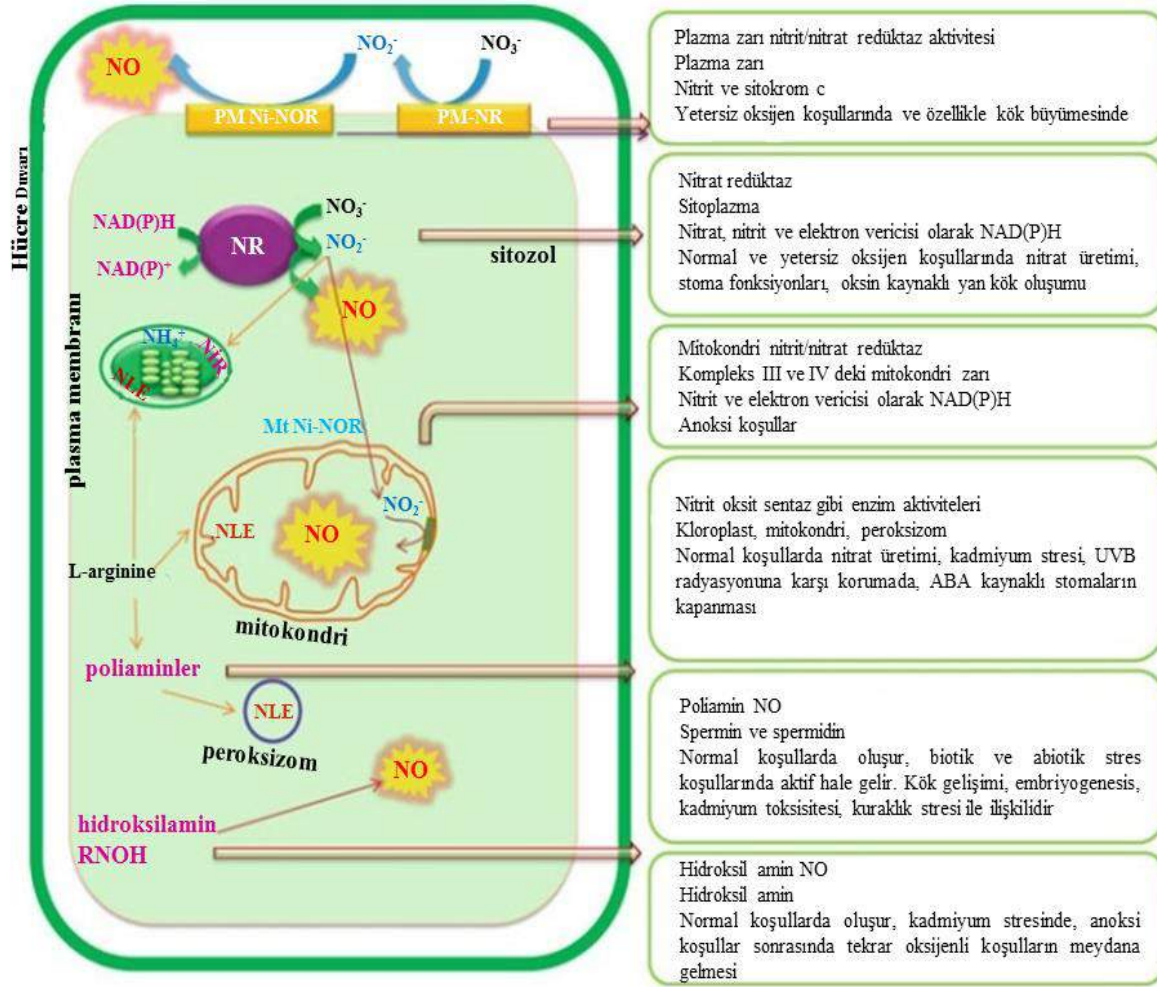
streslere ve patojen saldırılarına verilen tepkiler sırasında hasar görmüş veya enfekte olmuş hücreleri elimine eden önemli bir mekanizma olan programlanmış hücre ölümlerini engellemektedir (Wang vd., 2013; Kim vd., 2018).

O₂ varlığında NO'nun GS-O'yu oluşturan S-nitrosilasyon reaksiyonu sonucu GSH ile reaksiyona girdiği, özellikle de farklı bitki türlerinde görülen önemli bir NO biyoaktivite deposu olduğu belgelenmiştir. Oysa RNS peroksinitrit (ONOO⁻), bir nitratlayıcı / oksidan NO ve O₂ arasında güçlü reaksiyonla sentezlenen türler ve en sık peroksizomlar gibi organellerde bulunmaktadır. Bitki dokusunda NO ve GSNO varlığında, ONOO oluşumu, hem stres altında hem de protein nitrasyon ve S-nitrosilasyon gibi normal şartlarda bitkilerde PTM'lere (translasyon sonrası modifikasyon) yol açmaktadır. Peroksizomlarda, S-nitrosilasyon, gliko oksidaz, katalaz fonksiyonunu engellemekte ve hücresele seviyede H₂O₂ gibi sinyal molekülünü düzenleyebileceği öne sürülmektedir (Ortega-Galisteo vd., 2012). Oysa üretilen ONOO molekülü, tirozin nitrasyonunu sentezlemekte ve bitkilerde nitrosatif bir değişime neden olmaktadır. Ayrıca bazal endojen nitrasyonunun düzenleyici bir işlevi olabilir. Bezelye bitkilerinde EM-immünogold etiketleme üzerine yapılan son çalışmalar, kloroplast, sitozol, mitokondri ve peroksizomlara ilave olarak, yaprak hücrelerinin farklı bölümlerinde nitratlı proteinlerin varlığını ortaya çıkarmıştır. Buna ek olarak, izole bezelye yaprağı peroksizomlarının proteomik olarak değerlendirilmesi, nitrasyon için hedef enzim olan peroksizomal NADH'ye bağlı hidroksipüvat redüktazın, peroksinit öncülüğünde reaksiyon ile ortaya çıktığını göstermiştir (Del Río, 2015; Türkan, 2018; Kapoor vd., 2019).

ROS ve RNS'nin hücreler arası ve hücre içi moleküler iletişimde kilit bir rolü olduğu kesin olarak belirlenmiş olmasına rağmen, ROS sinyalinin başlatılması, algılama ve tepki mekanizmaları ve üretim ile süpürme arasındaki hassas dengenin nasıl olduğu hakkındaki bilgiler kısıtlıdır. Ayrıca RNS, ROS, hücresele redoks değişiklikleri, kalsiyum sinyalleri, hormonlar (oksin, sitokinin, salisilik asit, jasmonik asit ve etilen) ve diğer haberci moleküllerin aracılık ettiği yollar arasındaki etkileşimler bulunmaktadır. Önemli fizyolojik etkileri anlamak için, farklı fizyolojik koşullar altında birçok yüksek bitki türünde tespit edilen l-arginin bağımlı nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesinden sorumlu proteinleri veya genleri tanımlamak oldukça önemlidir. NO ve GSNO'nun bitki dokularındaki varlığı sonucu ONOO'nun oluşumu, önemli kovalent postranslasyonel modifikasyonlar (PTM'ler), bitkilerde S-nitrosilasyonu ve proteinlerin nitratlanması kontrol ve stres koşullarında gerçekleşebilir. Peroksizomlarda, katalaz ve gliko oksidaz aktivitesi S-nitrosilasyon ile inhibe edilir ve bu, H₂O₂ gibi kilit sinyal moleküllerinin hücresele seviyesini düzenleyebilir (Del Río, 2015).

Nitrik oksit (NO)

Nitrik oksitin (NO) 1987'de hayvanlarda önemli bir sinyal molekülü olduğu tartışılmış (Palmer vd., 1987), daha sonra bitkideki rolünün de bildirilmesiyle (Lazalt vd., 1997; Delledonne vd., 1998; Durner vd., 1998) bitkilerdeki işlevinin araştırılması konusunda kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. NO, süperoksit anyon (O₂⁻) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi reaktif oksijen türleri (ROS) ve hidrojen sülfid (H₂S) ile birlikte, hücrelerin aktivitesini ve proteinlerin işlevini kontrol etmeye yardımcı olan hücrelerde nispeten reaktif küçük moleküller grubunun bir parçası olarak çalışmaktadır (Şekil 3). NO tohum çimlenmesi, kök gelişimi, stoma kapanması, patojenlerle mücadele, bitki üretmesi ve stres tepkilerinde rol oynamaktadır. (Adams vd., 2015; Procházková vd., 2015; Hancock ve Neill, 2019). Bitkilerde NO metabolizması ile ilgili tartışmalardan birisi de enzimatik kaynakların belirlenmesidir. Nitrat redüktazın (NR) dahil olduğu konusunda çok az şüphe olsa da, nitrik oksit sentaz (NOS) benzeri enzimin tanımlanması oldukça zor olmakta ve böyle bir proteinin algelerde bulunduğu, yüksek bitkilerde bulunmadığı açıkça ortaya çıkmaktadır. NO ile yapılan doğrudan reaksiyonların, peroksinitrit ve nitrosotioller gibi yeni sinyal molekülleri üretmesi ve sinyal tepkilerinin olası sonucunu belirleyecek kimyasal rekabetlerin olması da muhtemeldir. Bitki hücrelerinde NO'ların nasıl üretildiği ve bu kompleks ortama NO'nun nasıl uyduğunun anlaşılması gerekmektedir (Hancock ve Neill, 2019).



Şekil 3. Bitki hücresinin çeşitli kısımlarında NO üretimi (Gupta ve Igamberdiev, 2015'den değiştirilerek)

Bitki Hücrelerinde Nitrik Oksit Üretimi

Bitki hücrelerinin NO ürettiği ve buna tepki verebildiği gözlenmektedir. Bu nedenle, NO birikimine yönelik bazıları enzime bağımlı ve bazıları enzimden bağımsız olan birden fazla yol önerilmiştir. Temel NO kaynaklarından birisi, nitrat redüktaz (NR) enzimidir. Stomaların kapanmasında önemli olduğu bildirilmiştir (Desikan vd., 2002). Diğer molibden bazı enzimler de önemli olabilirken (Rockel vd., 2002), hipoksik koşullar altında da olsa, NO üretebilen başka bir enzim, ksantin oksidoredüktazdır (XOR) (Millar vd., 1998). Bununla birlikte, en dikkat çeken enzim nitrik oksit sentazdır (NOS). NOS'un yüksek bitkilerden izole edildiğine dair çalışmalar olmasına rağmen, doğrudan NO üreten proteinlerin tanımlanmadığı ortaya konmuştur (Hancock ve Neill, 2019).

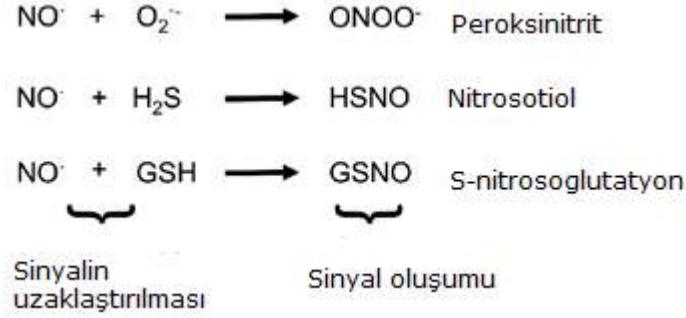
Bazı ilkel bitki gruplarında NOS homologları tanımlanmıştır (Astier vd., 2018). İki yeşil alg genomu, *Ostreococcus tauri* ve *Ostreococcus lucimarinus* için NOS, sekans kanıtı göstermiştir (Foresi vd., 2010). Kara bitkilerinden elde edilen 1087 dizili transkriptom incelendiğinde tipik bir NOS dizisi bulunmamıştır. Aksine, analiz edilen 265 alg türünden 15'i NOS sekanslarına ilişkin kanıtlar göstermiştir. Araştırmacılar bitkilerin hayvanlarda bulunanlardan farklı bir mekanizma kullanarak NO üretmeleri gerektiği sonucuna varmışlardır (Jeandroz vd., 2016). Bitkiler benzer olan redüktazlara sahiptir. Arabidopsis, p450 redüktaz olarak tanımlanabilen iki proteine sahiptir: NP_001190823 ve NP_194750. eNOS 952-980 gibi kısa sekansların bazıları, aranan bitki genomlarında redüktans kanıtı olarak bulunmuştur. Bu nedenle, bitkilerde NOS benzeri herhangi bir enzimin özel bir redüktaza sahip olmaması mümkündür, fakat büyük olasılıkla çok işlevli olan diğer redüktazlardan elektronları çekmesi de mümkündür. NOS'un diğer peptidlerle etkileşime girmesi olasıdır ve bu da önemli fonksiyonel bölgeleri tanımlamanın bir yolu olabilir. Hem Arabidopsis hem de çeltik proteinlerinde homo sapiens NOS ile etkileşime giren protein izoformunun (NP_057037) ortaya çıkarılması önemli olup, bunlar NOS ile etkileşime giren proteinler olarak açıklanmıştır (sırasıyla XP_020890108.1 ve XP_006649867.1) (Hancock ve Neill, 2019).

NO ve Diğer Reaktif Sinyal İlişkisi

Nitrik oksitin kimyası incelendiğinde radikal bir form içerdiği varsayılmaktadır. Bununla birlikte, bir elektronun kaybı veya kazanılmasıyla birlikte, diğer formlar nitroksil (NO⁻) ve nitroonyum (NO⁺) iyonları meydana gelmektedir. Bitkilerde kadmiyum stresi

koşullarında sitoplazma gibi hücrel bölgelede NO ve ROS birikimi ve H₂S oluşumu gözlenmektedir. Bu nedenle, NO'nun mevcut diğer bileşiklerle etkileşiminin nasıl olduğu oldukça önemlidir (Zheng vd., 2009; Hancock ve Neil, 2019).

NO ve ROS'un en iyi bilinen reaksiyonu, peroksitit (ONOO⁻) üreten NO ile süperoksit anyonunun arasındadır (Şekil 4). Bunun potansiyel olarak önemli iki sonucu vardır. İlk olarak, reaksiyon hem O₂ hem de NO'yu hücreden uzaklaştırmakta ya da hücrenin çevresi, her ikisinin de biyo-kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Böylece ROS'a bağlı sinyalizasyon, belki de H₂O₂ ve NO sinyalleşmesini azaltabilmektedir. İkincisi, kendisi bir sinyal molekülü olarak hareket eden belki de ROS veya NO sinyallerinden kaynaklanabilecek olan yeni bir bileşik üreterek farklı bir cevap vermektir (Hancock ve Neil, 2019).



Şekil 4. NO ile bazı reaksiyonlar (Hancock ve Neill, 2019'dan değiştirilerek)

NO üretimi antioksidanlar bakımından zengin bir ortam oluşturacaktır. NO, enzimatik antioksidanların aktivitesini etkilemekte, peroksinitrit aracılığı ile SOD aktivitesini değiştirmektedir ve böylece hücrenin süperoksit anyonlarını ve H₂O₂ üretme kapasitesini düşürmektedir. Benzer şekilde, NO katalaz aktivitesini de değiştirebilir, böylece hücrenin H₂O₂'yi kaldırma kapasitesini azaltabilir, ROS aracılı sinyalleşmeyi uzatabilir. Hücrenin antioksidan kapasitesinin büyük bir kısmı, düşük molekül ağırlıklı antioksidanların varlığından kaynaklanmaktadır. Hücrelerde bir dizi düşük molekül ağırlıklı tiyol bulunmaktadır, bunlardan en önemlilerinden birisi de glutatondur. NO, bir redoks bileşiği olduğu gibi, hücre içi redoks durumunun değişmesine de yol açması mümkündür. Hücre içi redoks ortamının statik olmadığı ve hücrelerin apoptotik bir durumda olması durumunda daha fazla oksitleyici olduğu bilinmektedir, ancak redoks ortamının, herhangi bir NO çiftinin durumunu ve dolayısıyla herhangi bir NO türünün ömrünü belirlemesi de mümkündür. NO ve glutatyon GSNO üretmek için birlikte reaksiyona girebilmekte ve bu durum potansiyel olarak hücrelerdeki GSH / GSSG seviyelerini azaltmaktadır (Kim vd., 2018; Hancock ve Neil, 2019).

GSNO bir donör ve dolayısıyla bir NO rezervuarı olarak işlev görebilir ve GSNO' nun NO ile karşılaştırıldığında belirgin ve örtüşen moleküler hedeflere sahip bazı NO etkilerine aracılık edebileceği de öne sürülmektedir. NO sinyaline müdahale edebilecek başka bir reaktif sinyal, hidrojen sülfittir (H₂S). H₂S'in son zamanlarda hem hayvanlarda hem de bitkilerde önemli bir sinyal molekülü olduğu bulunmuştur (Hancock ve Neil, 2019).

H₂S, nitrosotiol üretmek için doğrudan NO ile reaksiyona girebilir (Şekil 4). H₂S ayrıca hücrelerdeki GSH seviyelerini de yükseltebilir ve bu nedenle GSNO birikimini değiştirme potansiyeline sahip olabilir. Son zamanlarda hayvanlarda ve bitkilerde sinyalleşmenin hidrojen gazı (H₂) içerebileceği öne sürülmüştür (Wilson vd., 2017). H₂'nin varlığı hücrelerde antioksidan seviyelerini değiştirebilir (Ohta, 2015) ve dolaylı olarak NO metabolizmasını da değiştirebilir. H₂ gazının bazı etkileri için NO'ya ihtiyaç duyulduğu bildirilmiştir (Zhu vd., 2016a, Zhu vd., 2016b) ve gelecekte NO ve H₂ sinyalleri arasında daha fazla etkileşimin olacağı vurgulanmıştır (Hancock ve Neil, 2019).

NO'nun Bitki Fizyolojisindeki Rolü

NO bitki-patojen ilişkisinde bitki savunma mekanizması yönünden önemli bir moleküldür. Bu önemli etkisinin yanı sıra tohum ve polen çimlenmesi, bitki büyüme ve gelişmesi, primer kök büyümesi, hücre uzamasının düzenlenmesi, bitki olgunlaşması ve yaşlanması, stoma hareketleri, yer çekimine yönelim, mitokondrinin çalışması ve fotosentez gibi çok sayıda olayda rol oynamaktadır. Benzer şekilde kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık stresi gibi abiyotik strese toleranslılıkta; hastalıklara dayanıklılık gibi biyotik strese; programlı hücre ölümü gibi fizyolojik olaylarda ve baklagillerde biyolojik azot özümlemesinde görev almaktadır. Moleküler organizasyonda hastalıklara dayanıklılık süreçlerinin transkripsiyon düzeyinde düzenlenmesinde, strese bağlı transkripsiyon faktörlerinin ekspresyonu ve sinyal molekülü olarak kinazlar, salisilik asit ve jasmonik asit gibi diğer sinyal molekülleri ile etkileşime girerek gen ekspresyonu düzenlemektedir (Procházková vd., 2015).

Son zamanlarda, NO'nun hücre içi rolü üzerinde de durulmaktadır. NO'nun reaktif oksijen türlerinin (ROS), net NO üretiminin ve primer metabolizmanın akonitazın inhibisyonu yoluyla amino asit biyosentezine kaymasına neden olacak şekilde üretilmesi, net NO üretimi ve mitokondriyal alternatif oksidaz aktivitesini modüle ettiği vurgulanmıştır. Peroksizomlarda, katalaz, glikoksilat oksidaz ve malat dehidrogenaz gibi NO nitrosilat proteinleri fotorespirasyon, β-oksidasyon ve ROS detoksifikasyonunda rol oynadığı gözlenmiştir (Procházková vd., 2015).

Çalışmalar hemen hemen bütün türlerin mitokondrilerinin nitriti, nitrik okside (NO) indirgediğini göstermektedir (Şekil 2). Örneğin siliat protistlerinden ve *Fusarium* mantarından izole edilen mitokondri, nitriti NO'ya indirgeme kapasitesine sahiptir (Tielens vd., 2002). Bitkilerde buna ilk örnek yeşil alg *Chlorella sorokiniana*'da nitrit ilavesi ile NO oluşumunun gözlenmesi ve mitokondrial elektron taşıma zincirinin inhibitörleri tarafından bloke edilebilmesiydi (Tischner vd., 2004). Daha sonra, tütünde, nitritin NO'ya indirgendığı ve mitokondriyal inhibitör uygulamasının bu reaksiyonu bastırdığı gözlenmiştir (Planchet vd., 2005). Daha sonra Gupta vd. (2005) NO'ya olan nitrit indirgenmesinin, bezelye, arpa, *Arabidopsis* ve tütün gibi çeşitli bitkilerin kök mitokondrilerinde meydana geldiğini ve nitritin NO'ya indirgenmesi için Km değerini belirlediklerini vurgulamışlardır. Bu NO üretimi için gerekli olan nitrit konsantrasyonunun tahmin edilmesine olanak sağlamıştır. Soya fasulyesi (*Glycine max*)'ın fotosentez inhibe edici bir herbisit ile veya karanlıkta inkübasyonla muamelesi nitrit birikimine ve daha sonra bilinmeyen bir mekanizma ile nitritten elde edilen NO₂ emisyonuna yol açmaktadır (Mayer vd., 2018). Hipoksi koşullar altında, amonyum nitrit indirgenmesini engellediğinden (Botrel vd., 1996), biriken nitrit NO oluşumu için bir substrat olarak işlev görmektedir. Gupta ve Kaiser (2010) bu sürecin zarda meydana geldiğini ancak mitokondri matrisinde olmadığını ifade etmişlerdir. Mitokondriyal elektron taşıma zincirinin III ve IV komplekslerinin NO üretim bölgeleri olduğu gösterilmiştir. Kompleks III, bu bölgedeki oksijenin bir elektron indirgenmesiyle üretildiği gibi, süperoksitin benzer bir şekilde bir elektron sızıntısı yoluyla NO üretebileceğini göstermektedir. COX ile NO'dan nitrit indirgenme mekanizmaları hala araştırılmaktadır ve bu mekanizmanın açıklaması için çeşitli modeller mevcuttur. Oksijen, nitrit ve NO mevcudiyeti, sırasıyla sitokrom c'nin redoks durumuna bağlı olan a₃ ve bakır B (Fea₃CuB) içeren COX redoks durumunu belirlemektedir. Oksijen olmadığında, Fe⁺² nitritin NO'ya indirgenmesi için elektronu vermektedir. Mitokondride NO'yu indirgeyen diğer nitrit bölgeleri sitokrom c'nin kendisini ve diğer hemeproteinleri içermektedir (Basu vd., 2008).

Bununla birlikte, yonca (*Medicago truncatula*) nodüllerinde NO üretimi, alternatif oksidaz (AOX) inhibitörü propilgallata karşı tamamen duyarsızdır (Horhani vd., 2011). Çeşitli çalışmalarda bildirilen AOX inhibitörlerinin etkisi, peroksidazlar ve diğer hemeproteinler dahil diğer proteinler üzerindeki etkileriyle açıklanabilmiştir. Anoksi (oksijensiz) koşullar altında mitokondri önemli miktarda NO üretmektedir (Gupta vd., 2005). Üretilen NO'nun, nitrozatif stresi önlemek için çok hızlı bir şekilde geri dönüştürülmesi gerekmektedir. NO'nun etkisiz hale getirilmesi (süpürülmesi), fitogloblin demir iyonunun oksidasyonunu, metalogloblin ve nitratın oluşmasını içermektedir. Fitogloblin-NO döngüsünün çalışması nitrat ve nitritin geri dönüşümü için ve NADH ve NADPH fazlalığının oksidasyonu için gereklidir

Nitrit indirgenmesi ve NO oluşumu COX ve kompleks III'te (bc₁) meydana gelmektedir. NO, oksijenli simbiyotik olmayan fitogloblin (PgbO₂) tarafından nitrat (NO⁻³)'e dönüştürüldüğü sitozole geçmektedir. Bu reaksiyonda oluşan Metphytoglobin (MetPgb), metphytoglobin redüktaz (MetPgbR) ile geri dönüştürülmekte ve nitrat, nitrat redüktaz (NR) ile indirgenip, nitrat, mitokondriye nitrit taşıyıcı (NT) ile taşınmaktadır. NAD(P)H, mitokondriyal dehidrogenazlar (ND) ile oksitlenmektedir. (Q, ubiquinon; c, sitokrom c.) (Gupta ve Igamberdiev, 2016)

2. Sonuç

Abiyotik ve biyotik stres koşullarında olduğu kadar, normal yetiştirme şartlarında bitki büyüme ve gelişiminde çeşitli biyolojik süreçlerin düzenlenmesinde reaktif azot türleri (RNS) rol oynamaktadır. RNS, nitrik asit (NO) ve nitrik dioksit (NO₂) gibi radikalleri ve ayrıca nitroz asit (HNO₂) ve dinitrojen tetroksit (N₂O₄) gibi radikal olmayanları içermektedir. Mitokondrideki NO üretiminin elektron taşıma zinciri, kompleks I, II, III ve IV, alternatif NAD(P)H dehidrogenazlar, alternatif oksidaz ve sitokrom c gibi yolların tümünde ortaya çıkabileceği bildirilmiştir. NO, enzimatik antioksidanların aktivitesini olumsuz yönde etkilemekte ve SOD aktivitesini değiştirmektedir. Böylece hücrenin süperoksit anyonlarını ve H₂O₂ üretme kapasitesini düşürmektedir. Bitkilerde, sitoplazmik NR (nitrat redüktaz), çeşitli gelişim süreçleri, stoma hareketleri ve biyotik ve abiyotik stres koşullarında NO sentezi için potansiyel bir enzimdir.

Kaynakça

- Adams, L., Franco, M. C., & Estevez, A. G. (2015). Reactive nitrogen species in cellular signaling. *Experimental Biology and Medicine*, 240(6), 711-717.
- Astier, J., Jeandroz, S., & Wendehenne, D. (2018). Nitric oxide synthase in plants: The surprise from algae. *Plant science: An International Journal of Experimental Plant Biology*, 268, 64.
- Basu, S., Azarova, N. A., Font, M. D., King, S. B., Hogg, N., Gladwin, M. T., & Kim-Shapiro, D. B. (2008). Nitrite reductase activity of cytochrome c. *Journal of Biological Chemistry*, 283(47), 32590-32597.
- Beligni, M. V., Fath, A., Bethke, P. C., Lamattina, L., & Jones, R. L. (2002). Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers. *Plant physiology*, 129(4), 1642-1650.
- Botrel, A., Magné, C., & Kaiser, W. M. (1996). Nitrate reduction, nitrite reduction and ammonium assimilation in barley roots in response to anoxia. *Plant Physiology and Biochemistry*, 34(5), 645-652.
- De Michele, R., Vurro, E., Rigo, C., Costa, A., Elviri, L., Di Valentin, M., & Schiavo, F. L. (2009). Nitric oxide is involved in cadmium-induced programmed cell death in *Arabidopsis* suspension cultures. *Plant Physiology*, 150(1), 217-228.
- Del Río, L. A. (2015). ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 66(10), 2827-2837.
- Delledonne, M., Xia, Y., Dixon, R. A., & Lamb, C. (1998). Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance. *Nature*, 394(6693), 585-588.
- Desikan, R., Griffiths, R., Hancock, J., & Neill, S. (2002). A new role for an old enzyme: nitrate reductase-mediated nitric oxide generation is required for abscisic acid-induced stomatal closure in *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(25), 16314-16318.

- Durner, J., Wendehenne, D., & Klessig, D. F. (1998). Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP, and cyclic ADP-ribose. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(17), 10328-10333.
- Fewson, C. A., & Nicholas, D. J. D. (1960). Utilization of nitric oxide by micro-organisms and higher plants. *Nature*, 188, 794-6.
- Foresi, N., Correa-Aragunde, N., Parisi, G., Caló, G., Salerno, G., & Lamattina, L. (2010). Characterization of a nitric oxide synthase from the plant kingdom: NO generation from the green alga *Ostreococcus tauri* is light irradiance and growth phase dependent. *The Plant Cell*, 22(11), 3816-3830.
- Gupta, K. J., & Rolletschek, H. (2013). Plant respiratory metabolism: a special focus on the physiology of beetroot (*Beta vulgaris* L.) mitochondria. In *Red Beet Biotechnology* (pp. 91-104). Springer, Boston, MA.
- Gupta, K. J., & Igamberdiev, A. U. (2015). Compartmentalization of reactive oxygen species and nitric oxide production in plant cells: an overview. In *Reactive Oxygen and Nitrogen Species Signaling and Communication in Plants* (pp. 1-14). Springer, Cham.
- Gupta, K. J., Stoimenova, M., & Kaiser, W. M. (2005). In higher plants, only root mitochondria, but not leaf mitochondria reduce nitrite to NO, in vitro and in situ. *Journal of Experimental Botany*, 56(420), 2601-2609.
- Gupta, K. J., & Kaiser, W. M. (2010). Production and scavenging of nitric oxide by barley root mitochondria. *Plant and Cell Physiology*, 51(4), 576-584.
- Gupta, K. J., & Igamberdiev, A. U. (2016). Reactive nitrogen species in mitochondria and their implications in plant energy status and hypoxic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 7, 369.
- Gupta, K. J., Kumari, A., Florez-Sarasa, I., Fernie, A. R., & Igamberdiev, A. U. (2018). Interaction of nitric oxide with the components of the plant mitochondrial electron transport chain. *Journal of Experimental Botany*, 69(14), 3413-3424.
- Hancock, J. T., & Neill, S. J. (2019). Nitric Oxide: Its generation and interactions with other reactive signaling compounds. *Plants*, 8(2), 41.
- Hebelstrup, K. H., & Møller, I. M. (2015). Mitochondrial signaling in plants under hypoxia: use of reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). In *Reactive Oxygen and Nitrogen Species Signaling and Communication in Plants* (pp. 63-77). Springer, Cham.
- Horchani, F., Prévot, M., Boscarri, A., Evangelisti, E., Meilhoc, E., Bruand, C., & Brouquisse, R. (2011). Both plant and bacterial nitrate reductases contribute to nitric oxide production in *Medicago truncatula* nitrogen-fixing nodules. *Plant Physiology*, 155(2), 1023-1036.
- Jasid, S., Simontacchi, M., Bartoli, C. G., & Puntarulo, S. (2006). Chloroplasts as a nitric oxide cellular source. Effect of reactive nitrogen species on chloroplastic lipids and proteins. *Plant Physiology*, 142(3), 1246-1255.
- Jeandroz, S., Wipf, D., Stuehr, D. J., Lamattina, L., Melkonian, M., Tian, Z., & Wendehenne, D. (2016). Occurrence, structure, and evolution of nitric oxide synthase-like proteins in the plant kingdom. *Science Signaling*, 9(417), re2-re2.
- Kapoor, D., Singh, S., Kumar, V., Romero, R., Prasad, R., & Singh, J. (2019). Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). *Plant Gene*, 19, 100182.
- Kim, Y., Mun, B. G., Khan, A. L., Waqas, M., Kim, H. H., Shahzad, R., & Lee, I. J. (2018). Regulation of reactive oxygen and nitrogen species by salicylic acid in rice plants under salinity stress conditions. *Plos One*, 13(3).
- Lazalt, A. M., Beligni, M. V., & Lamattina, L. (1997). Nitric oxide preserves the level of chlorophyll in potato leaves infected by *Phytophthora infestans*. *European Journal of Plant Pathology*, 103(7), 643-651.
- Leshem, Y. Y., & Haramaty, E. (1996). Plant aging: the emission of NO and ethylene and effect of NO-releasing compounds on growth of pea (*Pisum sativum*) foliage. *Journal of Plant Physiology*, 148(3-4), 258-263.
- Lindermayr, C., & Durner, J. (2009). S-Nitrosylation in plants: pattern and function. *Journal of Proteomics*, 73(1), 1-9.
- Luis, A., & Río, D. (Eds.). (2013). Peroxisomes and their key role in cellular signaling and metabolism. Springer Netherlands.
- Malerba, M., & Cerana, R. (2015). Reactive oxygen and nitrogen species in defense/stress responses activated by chitosan in sycamore cultured cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(2), 3019-3034.
- Mayer, D., Mithöfer, A., Glawischnig, E., Georgii, E., Ghirardo, A., Kanawati, B., & Gaupels, F. (2018). Short-term exposure to nitrogen dioxide provides basal pathogen resistance. *Plant Physiology*, 178(1), 468-487.
- Millar, T. M., Stevens, C. R., Benjamin, N., Eisenthal, R., Harrison, R., & Blake, D. R. (1998). Xanthine oxidoreductase catalyses the reduction of nitrates and nitrite to nitric oxide under hypoxic conditions. *FEBS letters*, 427(2), 225-228.
- Noritake, T., Kawakita, K., & Doke, N. (1996). Nitric oxide induces phytoalexin accumulation in potato tuber tissues. *Plant and Cell Physiology*, 37(1), 113-116.
- Ohta, S. (2015). Molecular hydrogen as a novel antioxidant: overview of the advantages of hydrogen for medical applications. In *Methods in Enzymology* (Vol. 555, pp. 289-317). Academic Press.
- Ortega-Galisteo, A. P., Rodríguez-Serrano, M., Pazmiño, D. M., Gupta, D. K., Sandalio, L. M., & Romero-Puertas, M. C. (2012). S-Nitrosylated proteins in pea (*Pisum sativum* L.) leaf peroxisomes: changes under abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 63(5), 2089-2103.
- Palmer, R. M., Ferrige, A. G., & Moncada, S. (1987). Nitric oxide release accounts for the biological activity of endothelium-derived relaxing factor. *Nature*, 327(6122), 524-526.
- Planchet, E., Jagadis Gupta, K., Sonoda, M., & Kaiser, W. M. (2005). Nitric oxide emission from tobacco leaves and cell suspensions: rate limiting factors and evidence for the involvement of mitochondrial electron transport. *The Plant Journal*, 41(5), 732-743.
- Procházková, D., Wilhelmová, N., & Pavlík, M. (2015). Reactive nitrogen species and nitric oxide. In *Nitric Oxide Action in Abiotic Stress Responses in Plants* (pp. 3-19). Springer, Cham.
- Rockel, P., Strube, F., Rockel, A., Wildt, J., & Kaiser, W. M. (2002). Regulation of nitric oxide (NO) production by plant nitrate reductase in vivo and in vitro. *Journal of Experimental Botany*, 53(366), 103-110.
- Saddhe, A. A., Malvankar, M. R., Karle, S. B., & Kumar, K. (2019). Reactive nitrogen species: paradigms of cellular signaling and regulation of salt stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 86-97.

- Schertl, P., & Braun, H. P. (2014). Respiratory electron transfer pathways in plant mitochondria. *Frontiers in Plant Science*, 5, 163.
- Tielens, A. G., Rotte, C., van Hellemond, J. J., & Martin, W. (2002). Mitochondria as we don't know them. *Trends in Biochemical Sciences*, 27(11), 564-572.
- Tischner, R., Planchet, E., & Kaiser, W. M. (2004). Mitochondrial electron transport as a source for nitric oxide in the unicellular green alga *Chlorella sorokiniana*. *FEBS letters*, 576(1-2), 151-155.
- Turkan, I. (2018). ROS and RNS: key signalling molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*, 69(14), 3313-3315.
- Wang, Y., Loake, G. J., & Chu, C. (2013). Cross-talk of nitric oxide and reactive oxygen species in plant programmed cell death. *Frontiers in Plant Science*, 4, 314.
- Wilson, H. R., Veal, D., Whiteman, M., & Hancock, J. T. (2017). Hydrogen gas and its role in cell signalling. *CAB Rev.*, 12: 1-3.
- Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Q., & Cao, W. (2009). Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 222-227.
- Zhu, Y., Liao, W., Wang, M., Niu, L., Xu, Q., & Jin, X. (2016). Nitric oxide is required for hydrogen gas-induced adventitious root formation in cucumber. *Journal of Plant Physiology*, 195, 50-58.
- Zhu, Y., Liao, W., Niu, L., Wang, M., & Ma, Z. (2016). Nitric oxide is involved in hydrogen gas-induced cell cycle activation during adventitious root formation in cucumber. *BMC Plant Biology*, 16(1), 146.



Ekmeklik Buğdaylara (*Triticum aestivum* L.) İki Aşamalı Uygulanan Tavlama İşleminin Unun Ekmeklik Özelliklerine Etkisi

Mustafa Kurt¹, Halef Dizlek^{2*}

¹ KOSGEB Osmaniye İl Müdürlüğü, Osmaniye, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5849-6043)

² Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5873-5462)

(İlk Geliş Tarihi 12 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 5 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat. 688149)

ATIF/REFERENCE: Kurt, M., & Dizlek, H. (2020). Ekmeklik Buğdaylara (*Triticum aestivum* L.) İki Aşamalı Uygulanan Tavlama İşleminin Unun Ekmeklik Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 445-453.

Öz

Bu çalışmada; buğdaya iki aşamada uygulanan tavlama işleminin buğdayın ekmeklik kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, çeşit özellikleri farklı 2 buğday örneği (Adana-99 ve Rus) kullanılmıştır. Her bir buğday çeşidinde tavlama ile ilgili 4 ayrı muameleye yer verilmiştir. Bunlar; a. tavsız (=kontrol), b. 24 saat süreyle bir kez tavlı, c. 48 saat süreyle bir kez tavlı ve d. 48 saat süreyle iki kez tavlı. Söz konusu muameleler neticesinde değirmene beslenen buğday örneklerinden elde olunan un numuneleriyle standart bir metotla ekmek üretilmiş ve bu ekmeklerin fiziksel, yapısal, renk ve tekstürel özellikleri ölçülmüştür. İncelenen ekmek nitelikleri bakımından, farklı tav muameleleri arasında çok sınırlı ölçüde bir farklılık olduğu, kayda değer belirgin bir değişimin ortaya çıkmadığı ($p>0.05$) saptanmıştır. Bulgular, tavlama prosesinde buğdaya verilen su miktarının kademeli olarak iki defada verilmesinin un niteliklerini geliştirme noktasında yarar sağladığına dair ipuçları içermektedir. Ancak bu konuda yapılacak olan daha başka çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır.

Anahtar Kelimeler: Ekmeklik buğday, Ekmek kalitesi, İki aşamalı tavlama, Tavlama prosesi.

The Effects of Two-Step Tempering Treatment on the Bread Properties of Flour in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.)

Abstract

In this study, the effects of two-step tempering treatment on the bread quality of wheat were investigated. Two wheat varieties (Adana-99 and Russian) with different variety properties were used in the research. Each wheat variety was subjected to four different tempering treatments. These treatments were; a. no tempering (=control), b. single-step tempering for 24 hours, c. single-step tempering for 48 hours and d. two-step tempering for 48 hours. Following the treatment procedures, flour samples obtained from wheat samples fed to the mill were subjected to bread making experiments by a standard method and the physical, structural, color and textural properties of these breads were measured. It was found that there was a very limited difference between the different tempering treatments in terms of the investigated bread qualities, and no remarkable change was detected ($p>0.05$). The findings include clues that, the fact that water is added to the wheat in the tempering process in two steps improved the flour quality. However, it is clear that further studies are required on this subject.

Keywords: Bread wheat, Bread quality, Two-step tempering, Tempering process.

* Sorumlu Yazar: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5873-5462, hdizlek@osmaniye.edu.tr

1. Giriş

Ülkemizde gerek ekim alanı gerekse üretim miktarı bakımından tahıllar içerisinde ilk sırada yer alan buğday (2017 yılı verilerine göre 21.5 milyon ton; ZMO, 2018; TÜİK, 2019); tarımının kolay yapılabilmesi, çok çeşitli gıdalara dönüşüm uygunluğu ve beslenmedeki rolü itibariyle önemli bir kültür bitkisidir (Pyler, 1988). Ülkemizde buğday bazlı ara ürünlerden (un, irmik, nişasta, kepek, ruşeym, tam buğday unu ve bulgur gibi) üretilen mamul ürünlerin (ekmek, makarna, kek, pasta, bisküvi, kurabiye, simit, bazlama, börek, bulgur pilavı gibi) tüketimi günlük diyetimizde ilk sırada yer almakta ve bu gıdalar diğer gıda gruplarına göre belirgin olarak daha yüksek düzeyde talep görmektedir. Bunda, tahılların temel enerji kaynağı olan karbonhidratlar bakımından çok zengin olmasının yanı sıra, ülkemiz insanının unlu mamullere duyduğu yüksek ilginin önemli rol üstlendiği düşünülmektedir (Dizlek, 2010).

Buğday tanesi anatomik olarak dıştan içe doğru kabuk (%13-17), embriyo (%2-3) ve endosperm tabakalarından (%80-85) oluşur (Hoseney, 1986). Buğday değirmenciliğinde amaç endospermi (un veya irmiği) kabuk ve embriyo tabakalarından (kepekten) ayırmaktır. Değirmencilikte buğdayın un ve irmiğe işlenmesinde yer alan prosesler başlıca 3 grup altında toplanabilir: 1) Hazırlık işlemleri (buğdayın; alımı ve depolanması, temizlenerek yabancı maddelerinden ayrılması, paçal yapılması, gerekiyorsa yıkanması ve tavlama), 2) Öğütme işlemleri (kırama ve inceltme valsleri ile elek takımları ve irmik-kepek saflaştırma düzenekleri yardımıyla) ve 3) Un depolama ve paçal işlemleri (Elgün ve Ertugay, 1997). Tüm bu işlem basamakları, elde edilecek olan değirmencilik ürünlerinin (un, irmik, kepek, razmol, bon kalite gibi) kalitatif ve kantitatif özelliklerine etki etmektedir. Bununla beraber, hazırlık işlemlerinde ortaya konulan emek ve gösterilen titizlik, paritesi yüksek un ve irmik elde etmenin yanında, işletmenin enerji sarfiyatını azaltmakta ve vals-elek sistemlerinin daha uzun süreli ve randımanlı bir biçimde kullanılmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı değirmencilikte öğütme öncesinde uygulanan hazırlık işlemleri, üzerinde önemle durulması gereken proseslerdir. Bu işlemler içerisinde tavlama, özel ve ayrıcalıklı yere sahiptir.

Un değirmenciliğinde buğdayı kırmak ve boyut küçültmek arzu edilen materyali (un, irmik ve nişasta gibi) ortaya çıkarmak için valsere beslemeden önce öğütmeye hazırlık aşamasında buğdaya uygulanan en son işlem basamağı olan tavlama; buğdaya soğuk veya sıcak su eklenmesi ve bu suyu tanenin emmesi için buğday kitlesinin bir müddet dinlendirilmesi işlemidir. Tanımından da anlaşılacağı üzere, tavlama işleminde ilkin buğday kitlesinin nem içeriği belirlenmekte, sonra buna uygun su verilmektedir. Bu işlemden sonra buğday, öğütme için optimum nem dağılımına ve öğütme özelliklerine ulaşana kadar ambarlarda (tav silolarında) dinlenmeye bırakılmaktadır (Keskinoglu ve ark., 2001). Bu suretle, çok rijid bir yapıya sahip olan buğday kabuğu elastik bir yapıya kavuşarak daha kolay kırılır (işletmenin enerji sarfiyatı azalır) ve birbirine sıkı biçimde bağlı olan tanenin kabuk ve endosperm tabakaları arasındaki bağlar gevşetilerek unun kepekten ayrıştırılması daha kolay bir hal alır (Yoo ve ark., 2009; MacRitchie, 2010). Tavlama üzerinde; tane sertliği, buğdayın başlangıç nemi, uygulanacak süre, su miktarı ve sıcaklığı ile elde edilmek istenilen ara ürünün nitelik ve niceliği gibi birçok etmen etkilidir. Dizlek ve Gül (2007) ve Dıraman ve ark. (2013), tavlama prosesinin süne hasarına uğramış buğdayların ekmeçlik kalitesini ıslah edebildiğini; Dizlek ve İslamoğlu (2010) ise, süne-kımlı zararı görmüş buğdayların ekmeçlik kalitesini düzeltecek veya zararı en aza indirecek uygulamaların geliştirilmesi (uygun tavlama normlarının buğdaya muamele edilmesi) halinde (Dıraman, 2010; Dıraman ve ark., 2013), bu buğdayların ekonomiye tekrar kazandırılabilceğini bildirmişlerdir.

Ülkemizde her bölgede yetiştirilebilen buğday yaygın olarak İç Anadolu Bölgesi'nde üretilmektedir. Ülkemizde yıllık olarak üretilen 30-35 milyon ton hububatın 20-22 milyon tonunu (%65-70'ini) yalnız başına buğday oluşturmaktadır. Dünya nüfusuna oranı yaklaşık %1 olan ülkemiz, dünya buğday üretiminde %3 civarında bir paya sahiptir. Buğday ve buğday unu üretimi/ihracatı/ithalatı konularında ülkemiz dünya ülkeleri arasında önemli bir pozisyona sahiptir ve bölgesel anlamda güçlü bir aktördür. Bu bakımdan stratejik öneme de sahip olan buğday (unu) üzerine ülkemizde yapılan bilimsel eksikli çalışmaları ayrı bir öneme sahip olduğu açıktır. Ülkemizde un ihracatı son yıllarda giderek artan bir ivmeye sahiptir. Bundan dolayı buğday ithalatı yapmaya başlayan, ancak bu buğdayı özelde una ve bazen irmiğe işleyerek katma değer sağlayan değirmencilik sektörünün bilhassa Ortadoğu ülkelerine yapmış olduğu un ihracatında, ithalatçılar tarafından üzerinde önemle durulan bir konu unun renginin bembeyaz olmasıdır. Bu nedenle çalışmada, un ihracatımıza destek sunması noktasında önem arz edebilecek bir uygulamaya (buğdayın iki kez tavlama) yer verilmiş, bu suretle – pilot ölçekte – renk ve kül değeri düşük, paritesi yüksek un üretilmeye çalışılmıştır. Yine, günümüze kadar tavlama ile ilgili yapılan çalışmalarda daha çok tavlama süresi, tavlama suyu sıcaklığı ve farklı tavlama metotları (ılık, sıcak, buharlı, mikrodalga, ultrason vb.) üzerinde durulmuştur (Butcher ve Stenvert, 1973; Stenvert ve Kingswood, 1976; Moss, 1977; Finney ve Bolte, 1985; İbanoglu, 2001; Keskinoglu ve ark., 2002; Sünter, 2003; Kweon ve ark., 2009; Dıraman, 2010; Dıraman ve ark., 2013; Warechowska ve ark., 2016). Bu çalışmada, sertlik derecesi farklı olan iki çeşit ekmeçlik buğdaya klasik (bir kez) tavlamanın yanı sıra iki kez tavlama işlemi uygulanmıştır. Bu suretle ekmeçlik buğdaylara iki kez uygulanan tavlama işleminin unun ekmeçlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırmanın materyalini buğday, un, su, maya ve tuz oluşturmuştur. Kullanılan materyalin özellikleri aşağıda ayrı ayrı belirtilmiştir.

Buğday: Araştırmada yerli, orta sert "Adana-99" ve Ukrayna menşeli Rusya'dan ithal edilen düşük proteinli, yumuşak "Rus" olmak üzere 2 farklı ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi kullanılmıştır. Söz konusu buğday örneklerinin her ikisi 2017 ürünü olup; Adana-99 çeşidi Osmaniye'de faaliyet gösteren İslamoğlu Ticaret'ten, Rus çeşidi ise Sunar Özlem Un Fabrikasından (Osmaniye) 100'er kg olarak temin edilmiştir. Söz konusu buğday kitlelerinden numune alma yöntemine (TS EN ISO 24333; TSE, 2012) uygun olarak alınan örnekler 50 kg'lık jüt çuvallara doldurularak analiz edilinceye ve öğütülünceye kadar Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarına nakliye edilmiş ve soğuk hava deposunda (+4 °C) muhafaza edilmişlerdir. Araştırmanın temelini oluşturan

buğday örneklerinin ekmekçilik açısından önemli olan fiziksel ve kimyasal özellikleri (Uluöz, 1965; Atlı ve ark., 1988; Elgün ve ark., 2005; AACCI Metot 39-11.01 ve 39-25.01; AACCI, 2010) Çizelge 1’de, teknolojik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırmada Kullanılan 2 Farklı Buğday Örneğinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine İlişkin Ortalama Veriler

Buğday çeşidi	Süne Emgili Tane Oranı (%)	1000 Tane Ağırlığı (g) ⁽¹⁾	Hektolitreye Ağırlığı (kg)	Un Verimi (%) ⁽²⁾	Sert Tane Oranı (%)	Dönme Tane Oranı (%)	Yumuşak Tane Oranı (%)	Nem Miktarı (%)	Protein Miktarı (%)	Nişasta Miktarı (%)
Adana-99	1.92	37.0	83.1	52.3	45	49	6	12.8	13.0	62
Rus	2.15	40.5	82.7	61.3	15	39	46	14.1	10.7	63

⁽¹⁾1000 tane ağırlık değerleri kuru madde üzerinden verilmiştir.

⁽²⁾CD1 değirmeninde 3 kırma, 2 inceltme valsinden geçirilerek öğütülmüş ve değirmenin kendi eleğinden elenmek suretiyle hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Araştırmada Kullanılan 2 Farklı Buğday Örneğine Ait Unların Teknolojik Özelliklerine İlişkin Ortalama Veriler

Buğday çeşidi	Yaş Gluten Miktarı (%)	Kuru Gluten Miktarı (%)	Sedimentasyon Değeri (mL)	Gecikmeli Sedimentasyon Değeri (mL)	Düşme Sayısı Değeri (s)
Adana-99	28.5	9.2	38	31	337
Rus	21.6	6.7	32	20	356

Un: Araştırmada, sertlik derecesi farklı iki çeşit buğdaya değişik tavlama prosesleri uygulanması ve takiben buğdayların öğütülmesi sonucunda elde edilen unlar kullanılmıştır. Bu unların elde edilmesinde uygulanan yöntem, çalışmanın “Yöntem” kısmında ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Su: Buğdayların tavlama sırasında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, ekmek yapma denemelerinde ise Çukurova Üniversitesi yerleşkesi su şebekelerinden temin edilen içme suyu kullanılmıştır.

Maya: Araştırmada, “Pakmaya” firmasınınca (Kartepe/Kocaeli) üretilen pres yaş maya (TS 3522; TSE, 2015) kullanılmıştır.

Tuz: Osmaniye piyasasından temin edilen “Billur” marka, iyot içermeyen rafine kristal tuz (TS 933; TSE, 2003) kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Deneme Buğday Gruplarının Oluşturulması

Araştırmada kullanılan Adana-99 buğdayının tavlama ile hedef nem miktarı %17, Rus buğdayının ise %16.5 olacak şekilde ayarlama yapılmıştır. Buğday kitlelerine katılacak tavlama suyu miktarı AACCI Metot 26-95.01 (AACCI, 2010)’e göre hesaplanmıştır. Buğday örneklerinin tavlama sırasında musluk suyu kullanılmış ve örnekler soğuk tavlama yapılmıştır. Bu araştırma kapsamında, nitelikleri birbirinden farklı olan 2 ekmeklik buğday çeşidinin her birinde aşağıda belirtilen farklı tavlama muameleleri uygulanarak deneme materyali ve deseni oluşturulmuştur:

a) tavlama maksızın (=kontrol),

b) 24 saat süre ile klasik (bir kez) tavlama (Hedef neme göre hesaplanan su miktarı buğdaylara bir seferde verilmiş ve 24 saat süre ile tavlama yapılmıştır),

c) 48 saat süre ile klasik (bir kez) tavlama (Hedef neme göre hesaplanan su miktarı buğdaylara bir seferde verilmiş ve 48 saat süre ile tavlama yapılmıştır),

d) 48 saat süre ile iki kez tavlama (Adana-99 ve Rus buğdaylarına başlangıçta sırasıyla %15 ve %15.5 olacak şekilde birinci tav suyu verilmiş ve 24 saat dinlendirilmiştir. 24 saat süre bitiminde Adana-99 ve Rus buğdayında sırasıyla hedef nem %17 ve %16.5 olacak şekilde ikinci tav suyu verilmiş ve yine 24 saat dinlendirilmiştir (özetle bu muamelede buğday örnekleri 2 kez tavlama yapılmış ve buğdayların nihai tav nemi b ve c maddesindeki yüzdeye ayarlanmıştır)).

2.2.2. Öğütme İşlemi

Buğday örnekleri; ilk 3’ü kırma, son 2’si inceltme valsli olmak üzere toplam 5 valsli “Chopin” marka “CD1” model laboratuvar tipi tavlama buğday öğütme değirmeninde (Chopin Technologies, Paris, Fransa) öğütülerek un haline getirilmiştir. Deneme desenine uygun şekilde gerekli su miktarı verilen ve belli bir süre (a imli numuneler için 0 saat; b imli numuneler için 24 saat; c ve d imli numuneler için 48 saat) dinlendirilen buğday örnekleri laboratuvar tipi valsli değirmende öğütülerek un haline getirilmiştir. Değirmen, kırma ve redüksiyon olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Temizlenmiş ve tavlama yapılmış buğdaylar önce kırma sistemine verilerek kırılmış, buğday kırmasından irimik, kaba kepek ve biraz da kırma unu ayrılmıştır. Ana ürün olarak elde edilen irimik, redüksiyon sisteminde öğütülerek un haline getirilmiştir ve ince kepek yan ürün olarak ayrılmıştır. Ayrılan ince kepek ikinci defa redüksiyon sisteminden geçirilerek toplam un (kırma unu + 1. redüksiyon unu + 2. redüksiyon unu) elde edilmiştir. Kırma ve redüksiyon sistemlerinden elde edilen un örnekleri

tartılmış, başlangıçta öğütülen temizlenmiş ve tavllanmış buğday miktarına oranlanmak suretiyle un randımanları % olarak hesaplanmıştır (Elgün ve ark., 2005; Çizelge 1).

2.2.3. Ekmek Yapma Denemeleri

Ekmek yapma denemelerinde güdülen amaç, çalışmanın temel sacayağını oluşturan farklı tavlama muamelelerinin ekmek kalitesi üzerine etkilerini belirlemektir. Bu suretle buğdaylara uygulanan farklı tavlama işlemlerinin nihai ürün olan ekmekteki olası etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çünkü bir buğdayın ekmeklik kalitesi fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal ve reolojik testlerle önemli ölçüde ortaya konulsa da söz konusu buğdaydan elde edilen unun gerçek ekmeklik kalitesi bu unun ancak standart bir metotla ekmeğe işlenmesi ve üretilen ekmeklerin analitik olarak bazı özelliklerinin belirlenmesi ile ortaya konulabilmektedir (Uluöz, 1965; Altan, 1986; Dizlek ve Gül, 2009).

Araştırmada farklı tav muamelelerinin buğdayın ekmeklik kalitesine olan etkisinin net bir biçimde ortaya konulması hedeflenmiş ve bu nedenle hamur formülünde sadece temel hamur bileşenlerine (un, su, maya ve tuz) yer verilmiş, hiçbir katkı maddesi kullanılmamıştır. “2.1.1. Deneme Buğday Gruplarının Oluşturulması” başlığı altında verilen ve harf imleriyle kodlanan muamelelerden a, b, c ve d imleriyle gösterilen numunelere ait unlar ile ekmek yapma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Böylece her iki buğday çeşidinde de 4 ayrı tav muamelesi sonucu elde edilen unlar ile ekmek üretimleri yapılmış ve bu muameleler mukayese edilmiştir. Tüm ekmek yapma denemeleri, tavlı ya da tavsız buğday örneklerinin öğütülmesini izleyen 6. ayda yapılmıştır. Ekmek yapma çalışmalarında uygulanan deneme deseni Çizelge 3’de verilmiş, deneme koşulları ve uygulanan yöntem aşağıda açıklanmıştır.

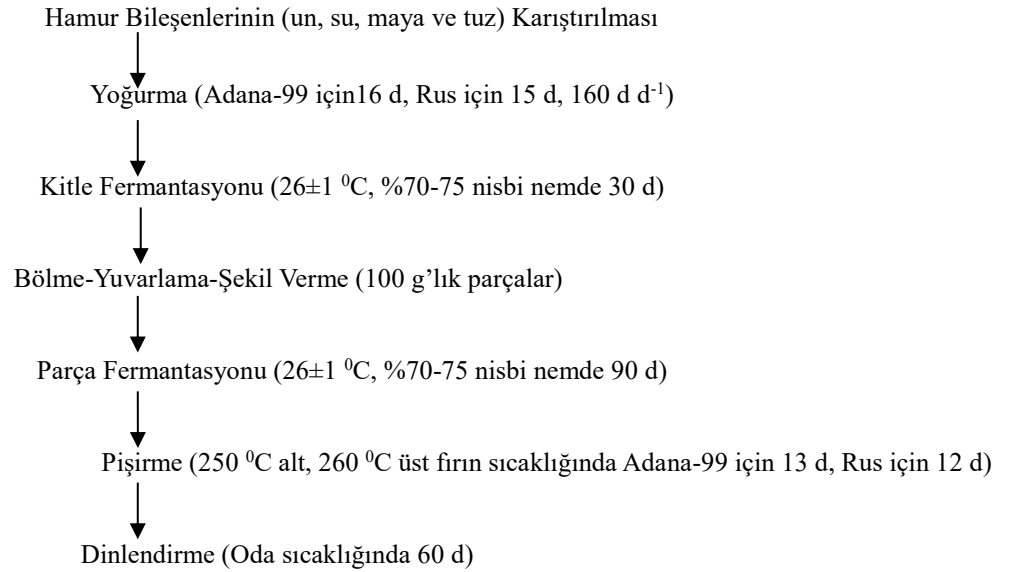
Çizelge 3. Araştırmada Uygulanan Ekmek Yapımına Ait Deneme Deseni ⁽¹⁾

Tav süresi (saat)	Tav sayısı (adet)	Buğday Örneği	
		Adana-99	Rus
0 (tavsız=kontrol)	0	x	x
24	1	x	x
48	1	x	x
48	2	x	x

⁽¹⁾ Her bir deneme için ayrı ayrı hazırlanan hamur formülü sabit olup şu bileşenlerden oluşmaktadır: Un (100 g) + Su (Farinograf cihazında belirlenen su kaldırma miktarı kadar) + Maya (3 g) + Tuz (1.5 g).

2.2.4. Ekmek Yapma Metodu

Ekmek yapma denemeleri, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Pilot Fırın Ünitesinde ve Tahıl İşleme Teknolojisi Laboratuvarında mekanik hamur olgunlaştırma yöntemi esas alınarak (Dizlek ve Özer, 2017) gerçekleştirilmiştir. Ekmek yapımında uygulanan işlem basamakları Şekil 1’de şematize edilmiştir. Ekmek yapımında, un esasına göre, sabit bileşenler olarak; “farinograf cihazında belirlenen su kaldırma miktarı kadar su, %3 maya ve %1.5 tuz” kullanılmıştır.



Şekil 1. Ekmek Yapımında Uygulanan İşlem Basamakları

Ekmek denemelerinde; Günsa Makine Sanayi A.Ş. (İzmir, Türkiye) tarafından üretilen 1 kg un kapasiteli ve 160 d d⁻¹ hızındaki spiral millî yoğurma makinesi, Çukurova Üniversitesi Döner Sermaye Atölyesinde ısı yalıtımına sahip malzemeden yapılmış, ısıtma donanımlı ve buhar üniteli fermantasyon kabini, “Fimak” marka “EKF 60.80” model taş tabanlı fırın (Konya, Türkiye) kullanılmıştır.

2.2.5. Analiz Metotları

2.2.5.1. Ekmek Örneklerine Uygulanan Analizler

Denemelerde üretilen ekmeklerin hacim ve ekmek verimleri (Uluöz, 1965), spesifik hacim (Elgün ve ark., 2002), yükseklik, taban çapı ve yükseklik/tabana çapı (Hoseney, 1986; yayılma oranı testinin kısmen modifiye edilmesi suretiyle), pişme kaybı (Altan, 1986), gözenek (TS 5000; TSE, 2010; 8 puan üzerinden), tekstürel (sıklık ve yayılma bilirlilik; [AACCI Metot 74-09.01; AACCI, 2010]) ve renk özellikleri (L*, a*, b*, Hue ve Chroma değerleri; Francis, 1998) belirlenmiştir.

Üretilen ekmek örneklerinin özgül hacim değerleri; hardal tohumu ile yer değiştirme metoduna göre belirlenen ekmek hacminin (cm³) ekmek ağırlığına (g) oranlanması suretiyle hesaplanmıştır. Başlangıçta kullanılan hamur ağırlığı (100 g) ile elde edilen ekmek ağırlığı arasındaki fark pişme kaybı değeri olarak hesaplanmış ve % olarak ifade edilmiştir. %14 nem esasına göre 100 g undan elde edilen ekmeğin ağırlığı ekmek verimi, yine aynı esasa göre 100 g undan yapılan ekmeğin hacmi hacim verimi olarak hesaplanmıştır. Her 2 verim değerinin belirlenmesinde hamur formülü ve formüldeki un miktarı göz önüne alınarak orantı yoluyla hesaplama yapılmıştır. Yükseklik-taban çapı analizi ise 10 adet ekmek örneğinin eninin ve boyunun kumpas aleti yardımıyla ölçülmesi suretiyle yapılmıştır. Gözenek değerlerinin belirlenmesi, TS 5000 (TSE, 2010) ekmek standardında verilen ekmek içi gözenek yapılarına ait şekillerin incelenmesi suretiyle yapılmıştır. Tekstürel özelliklerin belirlenmesi işlemi “Stable Micro Systems” marka tekstür cihazı ile (TA-XT Plus Texture Analyser, Vienna Court, İngiltere) yapılmıştır. Bunun için proba uygun biçimde kesilen her bir ekmek diliminin üç ayrı noktadan ölçüm alınmış ve “Bulgular” kısmında ortalama değerler verilmiştir. Tekstür analizinin uygulanmasında kullanılan parametreler şu şekildedir; Test Modu: Sıkıştırma, Pre-test speed: 1 mm s⁻¹, Test speed: 1 mm s⁻¹, Post-test speed: 10 mm s⁻¹, Strain: %25, Hold time: 60 s, Trigger force: 5 g, Probe; P/36R; 36 mm çapında, alüminyum). Renk ölçümleri ekmeklerin kabuğunda – 3 ayrı noktada – Konica Minolta Chroma meter CR-400 model (Tokyo, Japonya) renk ölçüm cihazı ile yapılmış; L*, a*, b*, Hue ve Chroma değerleri ölçülmüştür (Francis, 1998). Analizler ekmeklerin fırın çıkışından 1 saat sonra yapılmıştır.

2.2.5.2. İstatistiksel Analizler

Buğday örneklerine uygulanan farklı tavlama muameleleri ile analizler iki kez tekrar edilmiştir. Denemelerde üretilen ekmeklerin ölçülen tüm özelliklerine ilişkin olarak elde edilen verilere öncelikle varyans analizi uygulanmış, sonra önemli bulunan değerler Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. İstatistiksel analizler, “SAS” istatistik enstitüsünce geliştirilen ve aynı adı taşıyan istatistik paket programı (The SAS System for Windows v6.12; SAS Institute, 1982) kullanılarak yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı tavlama muameleleri uygulanmış buğdayların unlarından standart bir yöntemle üretilen ekmeklerin bazı kalitatif özellikleri Çizelge 4’de, renk ve tekstürel özellikleri Çizelge 5’de, resimleri Şekil 2 ve 3’de verilmiştir.

Çizelge 4. Farklı Tavlama Muameleleri İle Öğütülen Buğdayların Unlarından Üretilen Ekmeklerin Bazı Özellikleri ⁽¹⁾

Buğday çeşidi	Tav Muamelesi	Ekmek Verimi (g 100 g un ⁻¹)	Pişme Kaybı (%)	Yükseklik (mm)	Taban Çapı (mm)	Yükseklik Taban Çapı	Hacim Verimi (cm ³ 100 g un ⁻¹)	Özgül Hacim (cm ³ g ⁻¹)	Gözenek Değeri (0-8 Puan)
Adana-99	Tavsız (kontrol)	144.9 ^a	12.2 ^a	65.2 ^a	89.9 ^a	0.73 ^b	475 ^a	3.28 ^a	6.5
	24 saat bir kez tavlı	143.5 ^b	11.8 ^b	61.4 ^b	84.6 ^b	0.73 ^b	434 ^b	3.02 ^b	7.0
	48 saat bir kez tavlı	144.3 ^{ab}	11.7 ^b	63.2 ^{ab}	88.1 ^a	0.72 ^b	463 ^a	3.21 ^a	6.6
	48 saat iki kez tavlı	144.0 ^{ab}	11.4 ^c	67.1 ^a	89.1 ^a	0.75 ^a	482 ^a	3.35 ^a	6.7
Rus	Tavsız (kontrol)	142.1 ^a	12.3 ^a	65.8 ^a	92.3 ^a	0.71 ^a	493 ^a	3.47 ^a	5.5 ^b
	24 saat bir kez tavlı	139.6 ^b	12.4 ^a	59.2 ^b	89.0 ^{ab}	0.67 ^b	459 ^{bc}	3.22 ^c	6.0 ^b
	48 saat bir kez tavlı	142.9 ^a	11.1 ^b	57.5 ^b	87.4 ^b	0.66 ^b	452 ^c	3.16 ^c	7.0 ^a
	48 saat iki kez tavlı	140.3 ^b	12.1 ^a	58.7 ^b	88.6 ^{ab}	0.66 ^b	478 ^b	3.40 ^b	7.3 ^a

⁽¹⁾ Çizelgede aynı buğday örneği için aynı sütunda farklı harfle gösterilen değerler arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Çizelge 4’e ait verilerin bir arada incelenmesiyle, ele alınan ekmek nitelikleri bakımından, farklı tav muameleleri arasında çok sınırlı ölçüde bir farklılık olduğu, kayda değer bir değişimin ortaya çıkmadığı saptanmıştır. Adana-99 çeşidinde tav süresi ve sayısının artmasına bağlı olarak ekmeklerin pişme kaybı değerleri azalmıştır. Ekmek verimi değerlerinde de daha sınırlı düzeyde olmak kaydı ile benzer bir etkiden söz edilebilir. Bu durumun ekmek yapımında un örneklerine verilen su miktarlarının farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nitekim farinograf su kaldırma değeri dikkate alınarak reçete edilen hamur formülünde Adana-99 çeşidinin kontrol örneğine %60.6 oranında su ilave edilmiş oysa 48 saat süre ile iki kez tavlanan buğdaya ait una ise %2.5 oranında daha az su katılarak %58.1 oranında su verilmiştir. Ekmek örneklerinin yükseklik, taban çapı, hacim verimi ve özgül hacim değerleri bakımından 24 saat süre ile bir kez tavlı olan numunenin en kötü niteliklere sahip olduğu, diğer üç farklı muameleye ait ekmek örnekleri arasında kayda değer bir farklılığın ortaya çıkmadığı belirlenmiştir.

ADANA-99 Buğdayı



Kontrol

24 saat bir kez tavlı

48 saat bir kez tavlı

48 saat iki kez tavlı



Kontrol

24 saat bir kez tavlı

48 saat bir kez tavlı

48 saat iki kez tavlı



Kontrol

24 saat bir kez tavlı

48 saat bir kez tavlı

48 saat iki kez tavlı

Şekil 2. Farklı Tavlama Muameleleri İle Öğütülen Adana-99 Buğdayının Unlarıyla Üretilen Ekmek Örnekleri

RUS Buğdayı

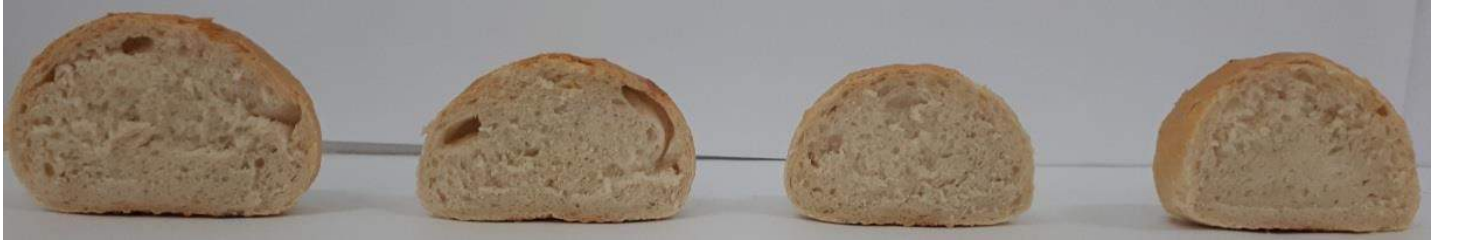


Kontrol

24 saat bir kez tavlı

48 saat bir kez tavlı

48 saat iki kez tavlı



Kontrol

24 saat bir kez tavlı

48 saat bir kez tavlı

48 saat iki kez tavlı



Kontrol

24 saat bir kez tavlı

48 saat bir kez tavlı

48 saat iki kez tavlı

Şekil 3. Farklı Tavlama Muameleleri İle Öğütülen Rus Buğdayının Unlarıyla Üretilen Ekmek Örnekleri

Rus buğday çeşidinde tavlansız buğday örneğine ait ekmek numunesi gözenek yapısı ve pişme kaybı değeri haricinde kalan diğer analitik ölçümler bakımından en üstün değere sahiptir. Bu numuneye ait ekmeğin yükseklik ve taban çapı değerlerinin diğer örneklerle göre belirgin olarak daha yüksek olduğu, bununla ilintili olarak yükseklik/tabana çapı, hacim verimi, özgül hacim değerlerinin daha iyi olduğu gözlenmiştir. Özellikle gözenek değeri ve kısmen pişme kaybı bakımından iki kez tavlı veya 48 saat süre ile tavlı olan örneklerin yekdiğerlerine (tavsız ve 24 saat süre ile bir kez tavlı) göre daha üstün oldukları saptanmıştır.

Ekmek örneklerinin renk özelliklerine ait verilerin incelenmesi ile (Çizelge 5), her iki çeşide ait tavlı buğday örneklerinden yapılan ekmeklerin kontrol örneğine göre daha açık oldukları saptanmıştır. Tav muamelelerinin L* değeri bakımından kendi aralarında bir farklılık olmadığı saptanmıştır. Adana-99 çeşidine ait ekmeklerin a* değerleri arasında istatistiksel bir fark oluşmamıştır (p>0.05). Rus çeşidinde ise kontrol örneğinin kırmızılık değerinin tavlı örneklerle göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Sarılık değerleri bakımından her iki buğday çeşidinde de kontrol örneklerinin daha az sarımtırak renge sahip oldukları, tav muamelesi ile ekmeklerin sarılık değerlerinin yükseldiği belirlenmiştir. Örneklerin Hue değerleri L* ve b* değerleri ile aynı yönde değişim göstermiş ve kontrol örneği bir grubu, tavlı örnekler ise diğer bir grubu oluşturmuştur. Chroma değerleri bakımından muameleler arasında bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Tekstürel özelliklere ait verilerin incelenmesiyle (Çizelge 5), Adana-99 çeşidinde 24 saat süre ile bir kez tavlı olan, Rus çeşidinde ise 48 saat süre ile iki kez tavlı olan numunelere ait ekmeğin en sıkı özelliğe sahip oldukları belirlenmiştir. Her iki çeşitte de kontrol örneğinin sıklığının en düşük değere sahip olduğu tespit edilmiştir. Burada elde edilen veriler Çizelge 4’de sunulan diğer ekmek özellikleri ile uyumlu bulunmuştur. Ekmek örneklerinin yaylına bilirlilik değerleri arasında bir farklılık oluşmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 5. Farklı Tavlama Muameleleri ile Ögütülen Buğdayların Unlarından Üretilen Ekmeklerin Renk ve Tekstürel Özellikleri ⁽¹⁾

Buğday çeşidi	Tav Muamelesi	R e n k Ö z e l l i k l e r i					Tekstürel Özellikler	
		L*	a*	b*	Hue	Chroma	Firmness-Sıklık (g)	Springiness-Yaylına bilirlilik (%)
Adana-99	Tavsız (kontrol)	58.94 ^b	9.34	19.58 ^b	54.89 ^b	30.53	1165 ^c	60.23
	24 saat bir kez tavlı	66.59 ^a	8.61	27.00 ^a	77.29 ^a	28.36	1437 ^a	59.05
	48 saat bir kez tavlı	66.15 ^a	8.28	26.03 ^a	72.29 ^a	27.37	1302 ^b	59.11
	48 saat iki kez tavlı	64.44 ^a	8.92	25.33 ^a	70.23 ^a	27.25	1247 ^b	60.02
Rus	Tavsız (kontrol)	62.16 ^b	10.10 ^a	24.17 ^b	67.17 ^b	26.23	1371 ^c	57.28
	24 saat bir kez tavlı	70.64 ^a	6.62 ^{bc}	28.40 ^a	76.94 ^a	29.21	1474 ^b	57.18
	48 saat bir kez tavlı	72.53 ^a	4.94 ^c	27.73 ^a	79.97 ^a	28.21	1500 ^b	56.17
	48 saat iki kez tavlı	69.08 ^a	7.14 ^b	28.88 ^a	76.05 ^a	29.77	1607 ^a	56.23

⁽¹⁾ Çizelgede aynı buğday örneği için aynı sütunda farklı harfle gösterilen değerler arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Konuyla ilgili yapılan çalışmaların irdelenmesiyle; tavlansız buğdaylardan üretilen unlardan yapılan ekmeklerin hacim, gözenek yapısı ve tekstürel özelliklerinin aynı buğdayların tavlansızdan ögütülmesiyle elde edilen unlardan yapılan ekmeklere göre daha üstün kalitatif niteliklere sahip olduğu kanısına varılmıştır (Bayrakçı, 2008; Warechowska ve ark., 2016). Özellikle ısı işlem içeren tavlama metodlarının zayıf özlü buğdayların ekmeklik niteliklerini geliştirdiği belirtilmiştir (Tekeli, 1964).

4. Sonuç

Bu çalışmada iki farklı ekmeklik buğdaya iki kez uygulanan tavlama işleminin buğdayın ekmeklik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu anlamda 24 ve 48 saat süre ile iki farklı tav süresi ve 1 ya da 2 kez tavlama ile 2 farklı tavlama uygulaması yapılmasının mamul ürün (ekmek) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular ve öneriler şu şekilde özetlenebilir: İncelenen ekmek nitelikleri bakımından, farklı tav muameleleri arasında çok sınırlı ölçüde bir farklılık olduğu, belirgin bir değişimin ortaya çıkmadığı (p>0.05) saptanmıştır. Ekmek yapma denemelerinde muameleler arasında tek düze bir uygulama olması bakımından örneklerin farinograf su absorpsiyon değerleri dikkate alınarak un örneklerine su verilmiştir. Ancak bu durumun hamurların sıkı bir yapıya sahip olmasına yol açtığı, hamur elastikiyetinin istenilen ölçüde olmadığı gözlenmiştir. Bundan sonra konu üzerinde yapılabilecek olası çalışmalarda ekmek hamuru formülünde yer alan bileşenlerin miktarına ve üretim işlem basamaklarında uygulanacak normlara ön denemeler ile karar verilmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca ekmek üretim denemelerinin tavsız ve tav muameleleri neticesinde ögütülen buğdaylardan elde edilen unların 2-3 gün dinlenmesini takiben yapılmasının daha sağlıklı olacağı düşünülmektedir. Bulgular, tavlama prosesinde buğdaya verilen un miktarının kademeli olarak iki defada verilmesinin un niteliklerini geliştirme noktasında yarar sağladığına dair ipuçları içermektedir. Ancak bu konuda yapılacak olan daha başka çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda buğdaya yapılacak iki kez tavlama işleminin kinetiğinin incelenmesi ve ürün özellikleri üzerine etkisi daha geniş bir biçimde incelenebilir. Söz konusu çalışmada laboratuvar olanaklarının sınırlı olmasından dolayı araştırma sadece iki farklı buğday çeşidi üzerinde yürütülmüş ve yine olanakların sınırlı olmasından dolayı tekerrür sayısı kısıtlı tutulmuştur. Bu ve buna benzer çalışmaların daha çok buğday çeşidi üzerinde ve en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmesi durumunda daha sağlıklı analitik bulgulara erişilebileceği öngörülmektedir. Çalışma, soğuk tavlama metodu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda iki kez tavlamanın buğday, un, hamur ve ekmek kalitesine etkisi ılık ve/ya da sıcak tavlama metodları ile araştırılabilir.

5. Bilgi Notu

Bu çalışma yüksek lisans tezinden üretilmiş olup, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimi tarafından OKÜBAP-2017-PT3-033 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- AACCI, (2010). *International Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (11th edition), Method 26-95.01; Method 39-11.01; Method 39-25.01; Method 74-09.01. St. Paul, MN: The Association.
- Altan, A. (1986). *Tahıl İşleme Teknolojisi*. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Atlı, A., Köksel, H. & Dağ, A. (1988). Süne zararının ekmeklik buğday kalitesine etkisi ve belirlenmesi. I. Uluslararası Süne Sempozyumu, 13-17 Haziran 1988, Tekirdağ, s:1-19.
- Bayrakçı, H. (2008). *Buğdayın Tavlanmasında Mikrodalga Uygulamasının Öğütme ve Ekmekçilik Kalitesine Etkisi Üzerine Bir Araştırma*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Butcher, J. & Stenvert, N.L. (1973). Conditioning studies on Australian wheats. III. The role of the rate of water penetration into the wheat grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24, 1077-1084.
- Diraman, H. (2010). Effect of microwaves on technological and rheological properties of suni-bug (*Eurygaster spp*) damaged and undamaged wheat flour. *Food Science and Technology Research*, 16(4), 313-318.
- Diraman, H., Boyacıoğlu, M.H., Boyacıoğlu, D. & Khan, K. (2013). Süne (*Eurygaster spp*) hasarlı buğdayların bazı protein fraksiyonları ve farinogram değerleri üzerine buharla tavlamanın etkileri. *Gıda Dergisi*, 38(6), 359-365.
- Dizlek, H. (2010). *Süne Zararına Uğramış Ekmeklik Buğdayların Bazı Niteliklerinin İncelenmesi ve İyileştirilmesi Olanakları Üzerine Bir Araştırma*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Dizlek, H. & Gül, H. (2007). Süne zararlı buğday unlarının ekmeklik kalitesinin iyileştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(1), 51-58.
- Dizlek, H. & Gül, H. (2009). Required criteria for the definition of bread attributes I. *Miller*, 16, 56-65.
- Dizlek, H. & İslamoğlu, M. (2010). Buğday kitlesindeki süne emgi oranının belirlenmesinde ülkemizde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 81-90.
- Dizlek, H. & Özer, M.S. (2017). The effects of sunn pest (*Eurygaster integriceps*) damage ratios on bread making quality of wheat with and without additives. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 9(1), 79-91.
- Elgün, A. & Ertugay, Z. (1997). *Tahıl İşleme Teknolojisi*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisleri.
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M. & Kotancılar, H.G. (2002). *Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü ve Laboratuvar Uygulama Kılavuzu* (Düzeltilmiş 3. baskı). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisleri.
- Elgün, A., Türker, S. & Bilgiçli, N. (2005). *Tahıl ve Ürünlerine Analitik Kalite Kontrolü*. Konya: Konya Ticaret Borsası Yayını.
- Finney, K.F. & Bolte, L.C. (1985). Experimental micromilling: reduction of tempering time of wheat 18-24 hours to 30 minutes. *Cereal Chemistry*, 62(6), 454-458.
- Francis, F.J. (1998). Colour Analysis: *Food Analysis*, Ed.: Nielsen, S.S., Springer New York Dordrecht Heidelberg, London, pp: 321-389.
- Hoseney, R.C. (1986). *Principles of Cereal Science and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Ibanoglu, S. (2001). Influence of tempering with ozonated water on the selected properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 48(4), 345-350.
- Keskinoğlu, R., Elgün, A. & Türker, S. (2001). Bir un değirmeninde uygulanan farklı ılık tavlama işlemlerinin öğütme kalitesine etkisi. *Gıda Dergisi*, 26(6), 419-427.
- Keskinoğlu, R., Elgün, A. & Türker, S. (2002). Bir un değirmeninde uygulanan farklı ılık tavlama işlemlerinin öğütme kalitesine etkisi. II. Topyekün öğütme kalitesi kontrolünde kümülatif kül kurvesinin kullanılması. *Gıda Dergisi*, 27(2), 137-142.
- Kweon, M., Martin, R. & Souza, E. (2009). Effect of tempering conditions on milling performance and flour functionality. *Cereal Chemistry*, 86(1), 12-17.
- MacRitchie, F. (2010). *Concepts in Cereal Chemistry*. Boca Raton: CRC Press.
- Moss, R. (1977). The influence of endosperm structure, protein content and grain moisture on the rate of water penetration into wheat during conditioning. *International Journal of Food Science and Technology*, 12, 275-283.
- Pyler, E.J. (1988). *Baking Science and Technology*. Manhattan, KS: Sosland Publishing Company.
- SAS Institute (1982). *SAS User's Guide to Statistical Analyses*. Raleigh, NC: SAS Institute Inc.
- Stenvert, N.L. & Kingswood, K. (1976). An autoradiographic demonstration of the penetration of water into wheat during tempering. *Cereal Chemistry*, 53, 141-149.
- Sünter, K. (2003). *Buğdayın Farklı Sıcaklık ve Sürelerde Tavlanmasının Unun Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tekeli, S.T. (1964). *Hububat Teknolojisi*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- TSE (2003). Yemeklik Tuz, TS 933, Ankara.
- TSE (2010). Ekmek, TS 5000, Ankara.
- TSE (2012). Tahıl ve Tahıl Ürünleri - Numune Alma, TS EN ISO 24333, Ankara.
- TSE (2015). Ekmek Mayası, TS 3522, Ankara.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu, 2019). *Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Alan ve Üretim Miktarları*. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 (Erişim tarihi: 20.01.2019).
- Uluöz, M. (1965). *Buğday, Un ve Analiz Metotları*. İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

- Warechowska, M., Markowska, A., Warechowski, J., Mis, A. & Nawrocka, A. (2016). Effect of tempering moisture of wheat on grinding energy, middlings and flour size distribution, and gluten and dough mixing properties. *Journal of Cereal Science*, 69, 306-312.
- Yoo, J., Lamsal, B.P., Haque, E. & Faubion, J.M. (2009). Effect of enzymatic tempering of wheat kernels on milling and baking performance. *Cereal Chemistry*, 86(2), 122-126.
- ZMO (Ziraat Mühendisleri Odası, 2019). *Buğday Raporu* – 2018. http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30125&tipi=17&sube=0 (Erişim tarihi: 25.02.2019).



Numerical Modelling of Full-Scale Lateral Load Test

Gizem Mısır^{1*}, Mustafa Laman²

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2649-0381)

² Çamlıca Ulusoy Plaza No:25, Üsküdar/İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2914-7738)

(İlk Geliş Tarihi 26 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 5 Mart 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.695194)

ATIF/REFERENCE: Mısır, G. & Laman, M. (2020). Numerical Modelling of Full-Scale Lateral Load Test. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 454-464.

Abstract

Ports are very important structures at the national and international sea transportation. These structures are also in a critical position on economy and commerce capacity by providing shipping and distribution services. It is very important to design a port structure, considering its stability and resistance along its service time. In the design of this type of structure, the lateral loads caused by during ship berthing, wind and wave loads etc. can be more important compared with vertical loads. The design and the performance of a port structure foundation should be investigated by full scale field tests considering the service loads. The aim of this study is to investigate the performance of the steel pipe pile under lateral load by full scale in-situ loading tests at Mersin International Port Construction area in the Mediterranean Sea. Full scale pile lateral loading test (PLLT) on a single offshore pile has been conducted at the project site and the test pile has been loaded up to 2 times the service load with 4 loading-unloading cycles. In addition, a numerical analysis has been performed to simulate the real lateral load-deflection behavior by using Plaxis 3D finite element software. It has been observed that, the analysis results obtained from the numerical model has been reflected the test pile lateral load-displacement behavior with good convergence.

Keywords: Full Scale Test; Laterally Loaded Pile, Plaxis 3D, Port Construction

Tam Ölçekli Yanal Yükleme Testinin Sayısal Modellemesi

Öz

Limanlar, ulusal ve uluslararası deniz taşımacılığında çok önemli yapılardır. Aynı zamanda bu yapılar, nakliye ve dağıtım hizmetleri sağlayarak, ülke ekonomisi ve ticaret kapasitesi üzerinde de kritik bir konumdadır. Liman yapısı tasarımında, yapının hizmet ömrü boyunca stabilitesini ve dayanımını mufaza etmesi oldukça önemlidir. Bu tip yapıların tasarımında, rüzgâr ve dalga yükleri ile gemi yanaşması ve bağlanması sırasında ortaya çıkan etkilerin neden olduğu yanal yükler, dikey yüklerle kıyasla çok daha önemli olabilmektedir. Liman yapısı temel sisteminin tasarımı ve performansı, hizmet yükleri dikkate alınarak tam ölçekli saha testleri ile araştırılmalıdır. Bu çalışmanın amacında, Akdeniz'de Mersin Uluslararası Liman İnşaatı bölgesinde tam ölçekli saha yükleme testleri ile çelik boru kazıklarının yanal yük altındaki performansının incelenmesidir. Tekil bir test kazığı, tam ölçekli yanal yükleme düzeneği ile 4 yükleme-boşaltma çevrimi altında, proje yükünün 2 katına kadar yüklenmiştir. Ayrıca gerçek yanal yük-deplasman davranışını simüle etmek için Plaxis 3D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Sayısal modelden elde edilen analiz sonuçlarının, yükleme testinden elde edilen kazık yanal yük-deplasman davranışını başarılı bir şekilde yansıttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tam Ölçekli Deney, Yanal Yüklü Kazık, Plaxis 3D, Liman İnşaatı

*Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2649-0381, gmisir@kmu.edu.tr

1. Introduction

Construction of marine structures can be classified into two groups as shore protection and offshore applications. The breakwaters, docks, wharfs and quay walls are usually designed as coastal port protection structures while submarine pipe lines, marine discharge systems, petroleum platforms can be classified as offshore structures. These structures should fulfill their functions under wind, tidal currents, earthquake and wave loads that are acting along with their service life. The forces consisted of waves are the most important impact to consider among the external loads affecting marine structures, because they apply the greatest lateral loads to the foundations of marine structures.

The foundation system of offshore and port structures is generally designed as a pile foundation. Piles are used extensively for supporting axial and lateral loads for a variety of structures including heavy buildings, transmission lines, power stations, and highway structures. In recent years, design procedures have begun to develop for foundations of port structures, with the development of considerable knowledge of laterally loaded piles.

The behavior of the pile foundations under lateral loads is a nonlinear 3 dimensional geotechnical problem. The analytical solution to this problem is quite complex and that requires an enormous computational effort. Although several methods (such as Brinch Hansen (1961); Broms (1964); Reese et al. (1974); Poulos and Davis (1980)) have been published for predicting the ultimate lateral resistance of piles, the obtained ultimate lateral resistances are significantly different from each other. This difference makes it difficult for engineers to select the appropriate method effectively, when designing laterally loaded piles. Therefore, a full scale loading test if possible, can be the most realistic solution to evaluate the behavior of the pile. Considering the success of the results in the literature, a great number of numerical studies have been widely preferred by design engineers to investigate the behavior of laterally loaded piles besides the analytical and experimental methods. Numerical modeling of the piles using realistic parameters compatible with the test site, facilitates to forecast the optimal pile length and diameter. At the same time, simulations may also allow evaluating the performance of the pile at different parts of the construction site with a variety of soil conditions by reducing the cost of time and money of pile construction and testing equipment.

In full scale in-situ experiments, the results are considered very reliable, due to the real stress and deformation conditions and soil-structure interaction. But, generally it may be impossible to establish a full scale field test because of the higher cost of system and instrumentation, the necessity of expert staff and time consuming process. Because of these limitations, a limited number of studies that are available about the pile loading in-situ test in the literature. The majority of these studies are about laterally loaded pile raft foundation systems (Brown et al. (1988), Ruesta and Townsend (1997), Rollins et al. (2005)).

In this study, the full-scale pile loading test procedure and test results have been presented. Then, 3 dimensional finite element model has been generated according to the site investigation report and test procedure, by using Plaxis 3D software. According to the comparison between the simulation and in-situ test results, the generated 3 dimensional numerical models have been reflected the real behavior, with a great approximation.

2. A Full Scale Field Test

2.1. General Information About the Test Site Soil

The full scale in-situ loading tests have been conducted for a test pile at Mersin International Port Construction in the Mediterranean Sea. The test site has been investigated by 9 boreholes (409 m) at different locations of the port region. The depth has been selected as 50 m for the six of the boreholes named as GSK-1 to GSK-6, respectively. The depth has been implemented as 35 m at the rest of the three boreholes which is from GSK-7 to GSK-9. The borehole (GSK) locations are given in the borehole layout plan (Figure 1). Boreholes were drilled by "Shell & Auger" and "Marine Rotary" methods.

The diameter of the test pile was 1016 mm. And the soil profile that has been used in the numerical modelling has been idealized basically, according to the borehole 4 (GSK-4) which is the closest position for the test pile.

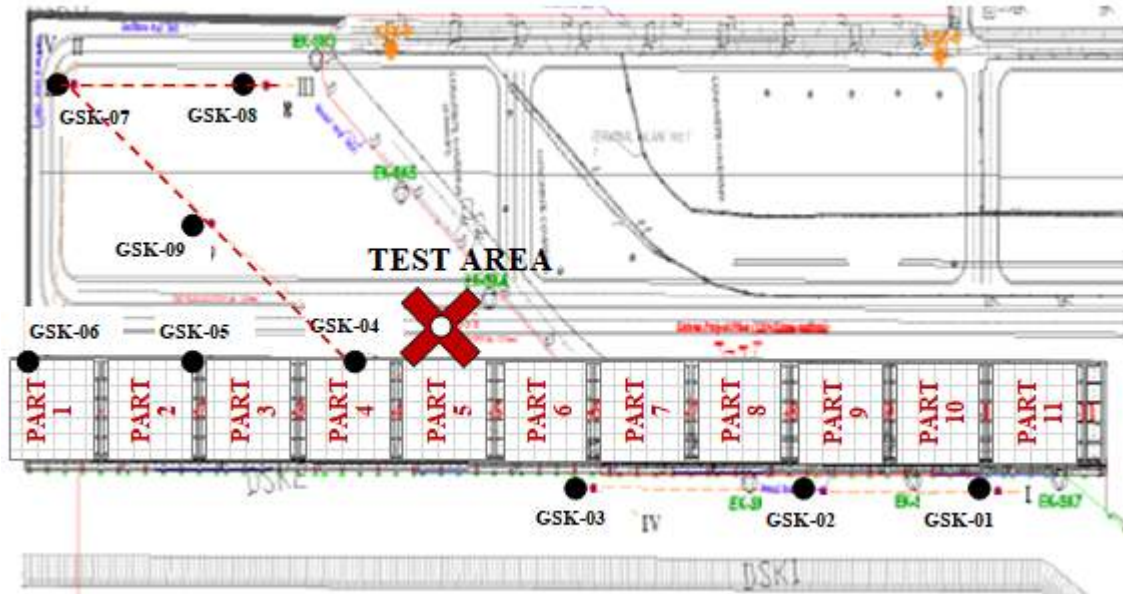


Figure 1. Borehole Layout Plane

According to the soil profile obtained from boreholes, the depth of the sea water varies between 10.0-10.8 m (Table 1). Underneath the sea water, a sediment layer formed in the form of convection has been classified as soft dark grey clay with a thickness ranging from 0.20 to 1.50 m. Two different groups of cross-sections next to the test site that has been obtained from GSK 7-9-4-3 and GSK-2-3-4-5 boreholes are presented together (Figure 2 and 3).

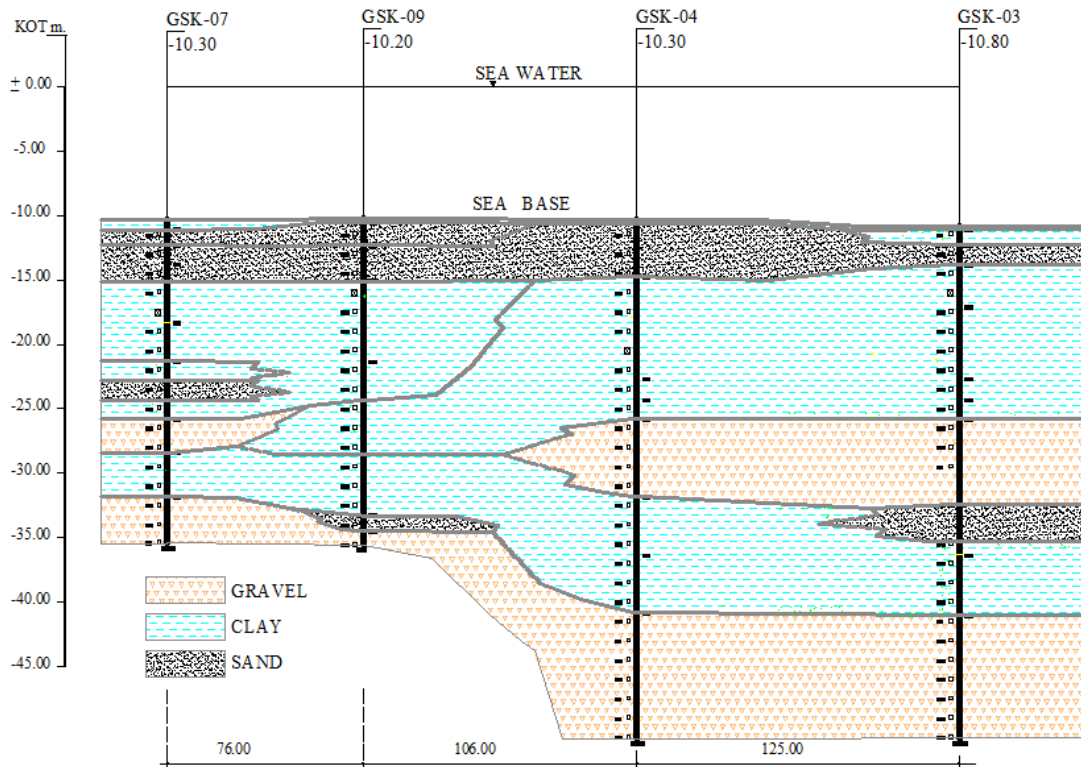


Figure 2. Diagrammatic Cross-Sections of Boreholes GSK-7, GSK-9, GSK-4 and GSK-3

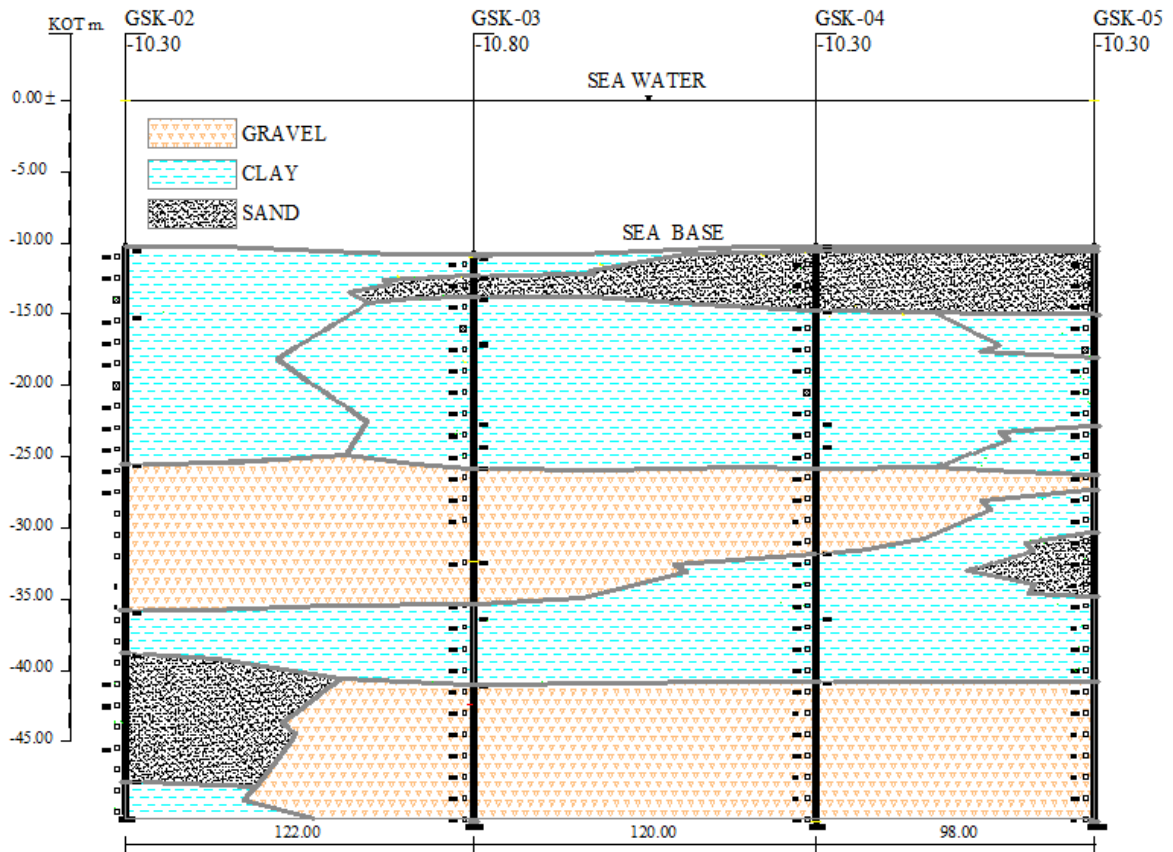


Figure 3. Diagrammatic Cross-Sections of Boreholes GSK-2, GSK-3, GSK-4 and GSK-5

As seen from the soil profile, clay and gravel (sand occasionally) soils have been generally observed, after about 10m sea water up to 50m drilling depth. In general, underneath the sea water, the first soil layer was clay and after that gravel layer has been observed in all boreholes. The layer of gravel (occasionally sand) has started generally at about 25m depth from the level of the sea water and it continuous up to 50 m borehole depth. Standard Penetration Tests (SPT) have been performed according to Turkish Standard (TS)-5744 in boreholes in order to define the consistency of soil layers. The variation of SPT values with depth for all boreholes has shown in a graph in Figure 4.

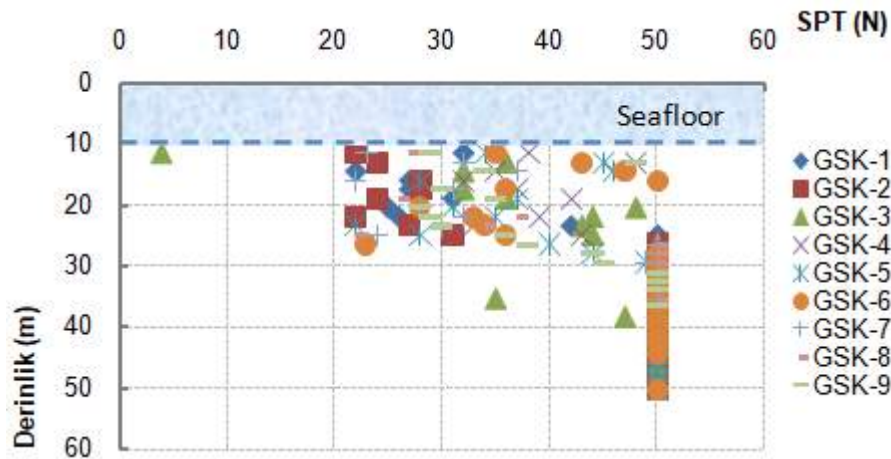


Figure 4. Variation of SPT (N) Values with Depth

According to the SPT values taken along the borehole depth of 40 m from the sea floor, it was observed that the SPT (N) values had shown a significant variation from 20 to 50 in the first 20-25 m depth. After this depth, the SPT values have been generally obtained higher from 50 and have been recorded as 50+.

As seen from the soil profile and SPT test results, a depth after about 25-30m from the sea level is good enough to use as a foundation soil. Laboratory tests were also performed on the samples obtained from the boreholes in order to determine the soil properties in accordance with Turkish Standards (TS-1900 1-2). Based on the test results, the clay layer was classified as high plasticity clay (CH). The underlying sandy gravelly deposits are classified as SC and GC. Triaxial compression (3 CU and 2 CD) tests were performed and the values of effective shear strength parameters were obtained, $\phi=5.0-23.0$ and $c=0.24-0.46$ kg/cm² (Table 1, 2 and 3).

Table 1. Summary of Soil Classification Tests

Sample ID	Sample Depth (m)	Grain Size Distribution (%)				Atterberg Limits (%)	
		Gravel	Sand	Silt	Clay	Liquid Limit	Plastic Limit
GSK-2 U2	20.30-20.80	2.4	3.4	11.4	82.8	80	29
GSK-3 U1	15.80-16.30	0.3	3.4	3.8	92.5	110	44
GSK-6 U1	18.80-19.30	0	6.3	8.4	85.3	92	35
GSK-7 U1	17.30-17.80	0	3.6	10.0	86.4	126	48
GSK-/ U1	15.80-16.30	0	1.6	12.2	86.2	93	39

Table 2. Summary of CU Triaxial Tests

Sample ID	Sample Depth (m)	Cell Pressure (kPa)	Dry Density (kN/m ²)	Moisture Content (%)	Total Failure Envelope Parameters		Effective Failure Envelope Parameters	
					c (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)
GSK-2 U2	20.30-20.80	100	14.1	33	38	13	44	19
		200	12.6	41				
GSK-6 U1	18.80-19.30	100	14.2	32	13	19	35	23
		200	13.2	34				
GSK-7 U1	17.30-17.80	75	11.8	46	16	10	23	10
		150	12.0	45				

Table 3. Summary of CD Triaxial Tests

Sample ID	Sample Depth (m)	Cell Pressure (kPa)	Dry Density (kN/m ²)	Moisture Content (%)	Effective Failure Envelope Parameters	
					c' (kPa)	ϕ' (°)
GSK-3 U1	15.80-16.30	50	12.2	44	24	10
		100	12.4	43		
		200	12.7	41		
GSK-8 U1	15.80-16.30	70	12.6	41	46	5
		140	12.7	41		

2.2. Testing Equipment

Two steel pipe piles have been implemented at the site to find out the performance of the test pile under lateral load. One of the piles has been used as a test pile while the other one has been used as a reaction pile. The steel pipe piles have been drifted from the coast to the test area by floating on the sea, brought to the upright position at the desired coordinates and lowered to the sea bottom with the help of a crane. Driven piles, were socketed to the sea bottom by pile driving equipment. Both the test and reaction piles were driven by SEMW D-100 diesel-type hammer. The maximum energy that can be produced by using SEMW D-100 type of diesel hammer was 333.540 Nm. Pile driving equipment was consist of a hammer, a tugboat and a floating pile driver with a steel tower.

The distance between the reaction and the test piles was far away to satisfy the 3D distance condition. The setup of the in-situ static loading test has been given in Figure 5.



a. Implementation of the Reference Beam b. Topographical Survey Equipment
Figure 5. Setup of the Field Test

A steel frame has been manufactured to use as a reference beam. Measurement instruments such as displacement transducers and load cells have been mounted on this beam and the pile displacements and lateral load values have been measured in this way (Figure 6).



Figure 6. Test Equipment

2.3. Test Procedure of Lateral Load Test

The test has been done on test piles named number 1 and number 2 which have been driven up to the Project elevation in the back yard area of new container berth to be constructed.

Lateral load test has been carried out on the pipe piles that have no concrete inside by applying repellent forces with a hydraulic jack of nominal sufficient capacity which has been horizontally placed at support and frame beam fastened in the horizontal position. As seen in Figure 7, a hydraulic jack has been mounted on the steel frame that has been placed around the two piles [Ø40" and Ø48"] to enable the exertion of load in the test as per specification.



Figure 7. Lateral Load Test Set-up

Piles have been pushed away from each other by being subjected to the lateral loadings according to the test programs given in the technical specification. The percentage of test loadings and the recording of the readings have been taken according to ASTM 3966. The lateral loading procedure has been applied as a loading / unloading cycle. Loading and unloading procedures have been done gradually with specified increments of service load. In the first cycle 50 % (11.25 t) of the service load has been applied. After then, the 100 % (22.5 t), 150 % (33.75 t) and finally the 200 % (45 t) of the service load have been applied as second, third and fourth cycles, respectively (Figure 8). After each increment of lateral load, the load-settlement velocity has been maintained until dropping below 0.25 mm/hr.

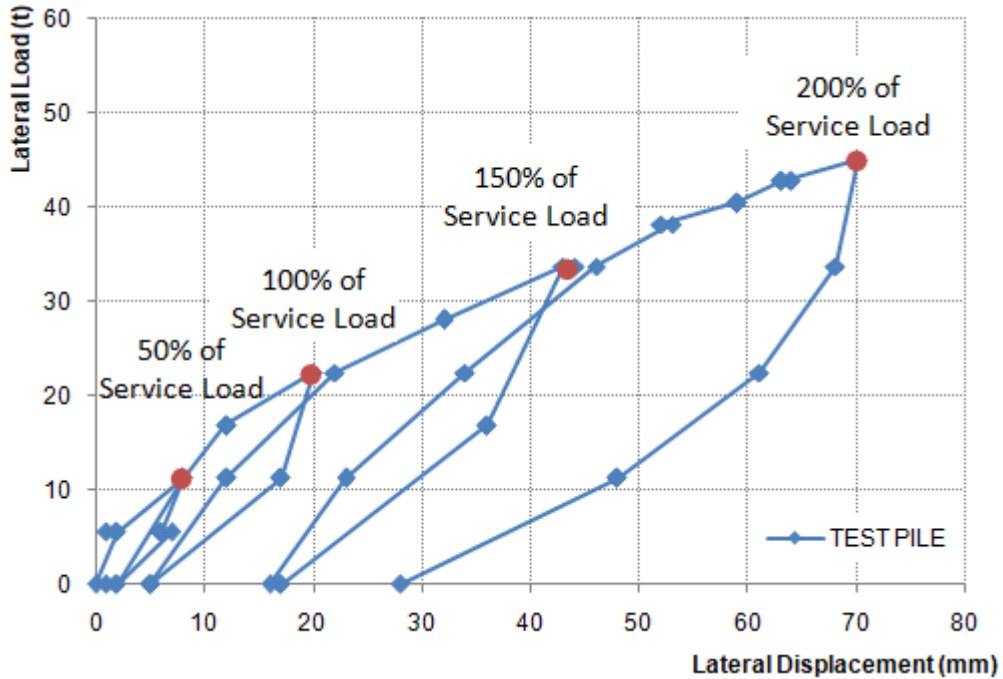


Figure 8. Lateral Load-Displacement Curve

Within any time period in which the load is fixed, measurements of time and displacements were immediately started after the load has been attained. Recorded additional readings have been taken for each loading / unloading cycle totally during 40, 65, 80 and 180 minutes with 5 minutes intervals for the first, second, third and fourth cycles, respectively (Figure 9). Horizontal displacements have been recorded at load and time intervals which were specified in the loading & unloading program. Final readings at the end of 6 hours that corresponds to the condition of unloading the whole load, have been recorded.

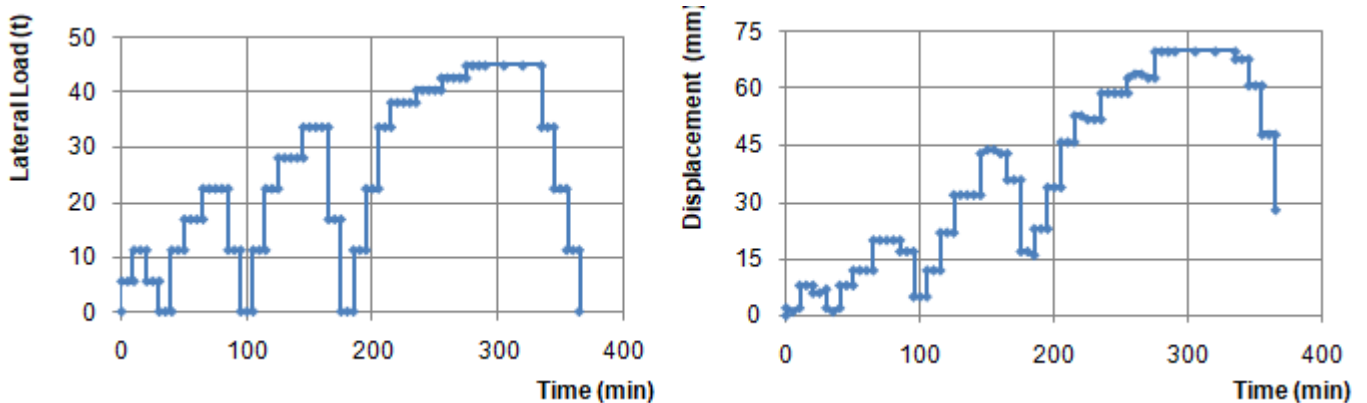


Figure 9. Variation of Lateral Load and Displacement According to Time

Magnitudes of applied horizontal forces have been determined by measuring the effective pressure on the piston surface via a manometer and multiplying it with the piston area. The capacity of the manometer was 0-600 kg/cm². Paper reflectors have been used as references for measuring the displacements. All displacements were also measured from the existing berth by means of topographical survey equipment.

3. Finite Element Modelling

The numerical modeling of the lateral load test of the pile has been carried out by using Plaxis software (Plaxis 3D (2013)). Plaxis is a software depends on the finite element method which can be used for the analysis of deformation and stress distribution of the soil and soil-structure interaction problems. Geotechnical applications require constitutive models, for the realistic simulation of the non-linear and time dependent behavior of soils. Plaxis has the required features to deal with numerous problems encountered in most geotechnical structures. Analyses of axially loaded piles using the finite element method have been studied by many researchers (Lozovyi and Zahoruiko (2012), Said et al. (2009), Gowthaman and Nasi (2017), Yi (2004). However; analyses of the laterally loaded piles using finite element method are much less than axially loaded ones in the literature (Uncuoglu and Laman (2012), Misir and Laman (2019) and etc.).

PLAXIS 3D is a popular three-dimensional finite element program, which is used to perform deformation analyses for various types of foundations in soil and rock. The program allows for a fully automatic generation of three dimensional finite element meshes, which enables users to generate a true three-dimensional finite element mesh based on a composition of horizontal cross-sections at different vertical levels. The geometric model is a composition of boreholes. The boreholes are used to define the local soil profile, ground surface level and pore pressure distribution.

This well known program allows the users to identicate the soil and the structural element behaviors in a realistic manner and to evaluate the effect of different loading conditions. Laterally loaded steel pipe pile test was modeled using the parameters given in Table 4. Also, different types of soil material models can be used in Plaxis to define the actual soil behavior. Due to its simplicity, Mohr Coulomb (MC) material model is highly popular and has been commonly preferred by most of the researchers. The MC model involves five parameters, i.e. Young's Modulus; E, Poisson's Ratio; ν , Cohesion; c, Internal Friction Angle; ϕ , and Dilatancy Angle; ψ . In the numerical analysis the sea base soil parameters given in Table 5, have been taken from GSK 4 borehole data since it is very close to the in-situ test location.

Table 4. Test Pile Parameters for Numerical Analyses

Parameters	Pile
Material Type	Beam
γ (kN/m ³)	77
E(kPa)	3*10 ⁶
A (m ²)	0.0320
I ₂ -I ₃ (m ⁴)	0.0523

Table 5. Mohr Coulomb Soil Parameters for Numerical Analyses

Parameters	Fill	Sand	Clay 1	Gravel	Clay 2
	0-10.55m	10.55-14.75m	14.75-25.8m	25.8-31.8m	31.8-40.8m
γ_{unst} (kN/m ³)	18.0	18.3	18.0	19.0	18.0
γ_{sat} (kN/m ³)	19.0	21.0	18.0	20.0	18.0
E (kPa)	75.000	25.000	7692	100.000	7692
ν	0.25	0.2	0.4	0.25	0.4
c (kPa)	1.0	1.0	69.0	1.0	100.0
ϕ (°)	35.0	33.0	6.0	37.5	7.0
ψ (°)	5.0	3.0	0.0	7.5	0.0

The boundary dimensions for finite element analyses have been determined by conducting several analyses on different mesh sizes to select the dimension of the mesh in which the stress zone is not affected by the boundary conditions. Sensitivity analyses have been also conducted to find out suitable mesh refinement and to minimize mesh-dependent effects.

As a result of preliminary analysis; finite element mesh distribution has been adopted, which has 25 m x 25 m x 70 m dimensions and includes about 9968 elements. The three dimensional model has been analyzed by 26 stage construction phases. Finally, the test pile was loaded laterally, with four loading-unloading cycles as %50, %100, %150 and %200 of the design load as in the field experiment procedure.

4. Comparison of The Experimental and Numerical Results

In this part of the study, the lateral load versus lateral displacement curves which have been obtained from the results of the in-situ full scale experiment and three dimensional numerical analysis have been presented together in the same graph. Comparisons have been made for 4 different loading and unloading cycles and presented in Figure 10.

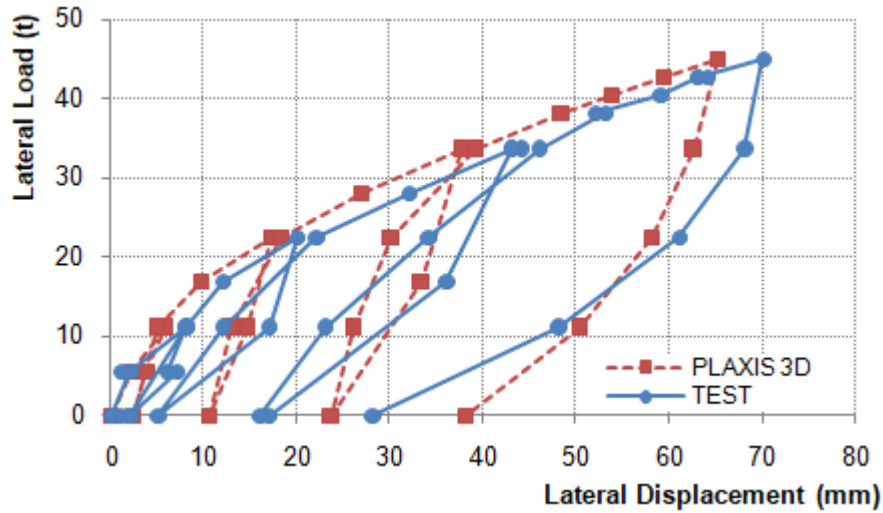


Figure 10. Comparison of the Test and Plaxis 3D Results

According to Figure 10, the lateral load-displacement curves are more compatible at the peak lateral load values in the loading trend. However at the unloading cycles, especially in case the lateral load is completely removed, the permanent deformations obtained from three dimensional finite element analysis were higher than the experimental results. Therefore, it can be concluded that, the actual soil behavior has shown more elastic behavior comparing with the MC material model. The success of the comparison of the numerical and in-situ test results has been evaluated with the coefficients of determination separately for each pile loading and unloading cycles and has shown in Table 6.

Table 6. Coefficient of Determination for Each Loading-Unloading Cycles

	Coefficient of Determination	
	Loading	Unloading
1. Cycle	0.943	0.984
2. Cycle	0.971	0.960
3. Cycle	0.969	0.997
4. Cycle	0.968	0.993

The average correlation coefficient of 0.96 that obtained from the simulation has shown acceptable high reliability. Besides the coefficients of determination, the comparisons have been made according to the lateral displacements obtained from the in-situ test and the numerical model, corresponding to the value of the peak lateral load for each cycle too. As shown in Table 7, the numerical studies have given more conservative results according to the experimental results under the peak lateral loads for each cycle. The lateral displacements and the mean absolute percentage error values (MAPE) are also shown in Table 7.

Table 7. Coefficient of Determination for Each Loading-Unloading Cycles

Percentage of Design Load (%)	Lateral Load (t)	Lateral Displacement (mm)		MAPE (%)
		In-Situ Test	Plaxis 3D	
50	11.25	7.0	5.75	17.80
100	22.50	20.0	17.19	14.05
150	33.75	43.0	37.74	12.20
200	45.00	70.0	65.18	6.90

The mean absolute percentage error (MAPE), is a measure of the accuracy of a method for constructing fitted time series values in statistics, specifically in trend estimation. It usually expresses accuracy as a percentage, and it is defined by the following formula:

$$MAPE = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|A_i - F_i|}{A_i}}{n} \quad (1)$$

where A_i is the actual value and F_i is the forecast value.

According to the numerical model at the peak loading stages, MAPE values vary in the range of 6.9-17.8% with an average error value of approximately 12%. It can be concluded from the reduction of the error rate that, as the lateral load value increases, the interaction between the pile and the surround soil also increases and the system has mobilized.

5. Conclusions

In this study, the laterally loaded pile behavior obtained from a full scale field experiment in a port structure was compared with Plaxis 3D simulation result. The following conclusions can be drawn from the interpretation of test and numerical analyses presented in this study:

- Full scale lateral load test (PLLT) results of steel test pile which was embedded in a sea base were modeled with 3 dimensional Plaxis program with acceptable accuracy.
- The displacements obtained from PLAXIS 3D analysis have given more conservative results compared with the field pile lateral loading test results. When the peak loads of all the loading cycles were considered, the average lateral displacement difference was obtained as 12%.
- According to the lateral load-displacement graph, it can be concluded that, the real soil behavior has shown more elastic behaviour comparing with the Mohr-Coulomb soil model in terms of permanent deformation.
- It can be suggested that, using software, like PLAXIS 3D, with a right soil model and reliable soil parameters can allow reducing the cost and the time for additional field tests. Additionally, the design of the pile configuration can be foreseen by using load-displacement data obtained from the simulation model.
- Simulation studies that correctly modelled make possible to produce parametric investigations for different soil, pile and loading conditions.

Acknowledgements

Mersin Port Development Construction of New Container Berth and Civil Infrastructure Project presented in this paper was carried out with the support of Bektaşoğlu Kulak Construction. We gratefully thank the site manager Mehmet Fatih YALDIZ and construction manager Şenol KARAKAYALI for their contributions.

References

- ASTM D 3966-07. (2007). Standard test methods for deep foundations under lateral load. *ASTM Committee D18 on Soil and Rock and are the direct responsibility of Subcommittee D18.11 on Deep Foundations 2007*.
- Brinch-Hansen, J. (1961). The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces. *Geoteknisk Institute (The Danish Geotechnical Institute)*, 12, 5-9.
- Broms, B.B. (1964). Lateral resistance of piles in cohesionless soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 90 (3), 123-156.
- Brown D. A., Morrison C. and Reese L. C. (1988). Lateral Load Behavior of Pile Group in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 114, Issue 11.
- Das, B. M. (2007). Principles of foundation engineering, adapted international student edition. *Thomson Canada Limited*.
- Uncuoğlu E. and Laman, M. (2012). Numerical modelling of short pile behavior subjected to lateral load. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. Volume 16, 2012 - Issue 2. Pages 204-235.
- Gowthaman S. and Nasvi M.C.M. (2017). 2D and 3D numerical simulation of load-settlement behaviour of axially loaded pile foundations. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 5, No. 5, 187-195. DOI:10.12691/ajcea-5-5-2
- Lozovy S. and Zahoruiko E. (2012). Plaxis simulation of static pile tests and determination of reaction piles influence. *Scientific and Technical Journal: New Technologies in Construction*, 23-24(1-2):68-73.
- Misir G. and Laman M. (2019). Numerical Analysis of Laterally Loaded Battered Rigid Piles. *Technical journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*. 30 (5). pages 9507-9531
- Plaxis 3D. (2013). Reference Manual. *Delft University of Technology & Plaxis b.v.* The Netherlands.
- Poulos, H. G. and Davis, E. H. (1980). Pile foundation analysis and design. *Wiley*, New York.
- Reese, L. C., Cox, W. R. and Koop, F. D. (1974). Analysis of laterally loaded piles in sand. Paper No, OTC 2080, *Proceedings, Fifth Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas*.
- Rollins K. M., Lane J. D. and Gerber T. M. (2005). Measured and Computed Lateral Response of a Pile Group in Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. Vol. 131, Issue 1
- Ruesta P. F. and Townsend F. C. (1997). Evaluation of Laterally Loaded Pile Group at Roosevelt Bridge. *Journal of Geotechnical and*

Geoenvironmental Engineering. Vol. 123, Issue 12.

Said I., Gennaro, V. De and Frank, R. (2009). Axisymmetric finite element analysis of pile loading tests. *Computers and Geotechnics*, 36, 6–19.

TS 1900-1. 2006. Methods of Testing Soils for Civil Engineering Purposes in the Laboratory: Part 1: Determination of physical properties. *Turkish Standard*.

TS 1900-2. 2006. Methods of Testing Soils for Civil Engineering Purposes in the Laboratory: Part 2: Determination of mechanical properties. *Turkish Standard*.

TS 5744. 2013. Determination of bearing capacity of soils in-situ by plate loading test. *Turkish Standard*.

Yi, L. (2004). Finite element study on static pile load testing. *MSc. Thesis*, University of Singapore.



Artificial Neural Network (ANN) Approach for Dynamic Viscosity of Aqueous Gelatin Solutions: A Soft Computing Study

Barış Demirbay^{1*}, Buse Karakullukçu², Fatma Gülay Acar³

¹Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Physics Engineering Program, 34469, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-5454-7437)

²Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 41001, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0002-3655-0931)

³Istanbul Technical University, Faculty of Science and Letters, Department of Physics Engineering, 34469, İstanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-6831-7635)

(İlk Geliş Tarihi 28 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.680773)

ATIF/REFERENCE: Demirbay, B., Karakullukçu, B. & Acar, F. G. (2020). Artificial neural network (ANN) approach for dynamic viscosity of aqueous gelatin solutions: a soft computing study. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 465-475.

Abstract

In this research, we present a multi-layered feed-forward neural network (ANN) model developed for prediction of dynamic viscosity of aqueous gelatin solutions using experimental data collected from a number of measurements. In ANN architecture, shear stress, shear strain, torque of spindle, the angular velocity of spindle together with mass concentrations of gelatin solutions were introduced as input neurons, whereas dynamic viscosity of aqueous gelatin solutions was assigned as a single output neuron to be predicted. Developed ANN model was trained using backpropagation algorithm optimized with Bayesian regulation. Optimal geometry of the hidden layer was first studied to search out the ANN architecture which yields the most accurate performance results. Mean squared error (MSE), mean absolute error (MAE), root-mean-squared error (RMSE), determination of coefficient (R^2), the variance accounted for (VAF) and regression analyses were used as performance assessment parameters for suggested network models. Sensitivity analysis was carried out to investigate the most effective input neuron strongly influencing the performance of the developed ANN model. As a result, the use of 8 neurons in the hidden layer has shown excellent performance results yielding the least MSE and the highest R^2 values compared to other suggested ANN models. Upon sensitivity analysis, the shear rate was found to be the most effective input neuron significantly affecting network performance. ANN-based predicted dynamic viscosity values were found to be in excellent agreement with measured viscosity values, demonstrating the robustness as well as the accuracy of the developed ANN model. Developed ANN model can, therefore, be effectively used to predict the dynamic viscosity of aqueous polymer solutions using the same input and output parameters in specific data range reported in this paper with statistical details.

Keywords: Artificial intelligence, Machine Learning, Artificial neural network, Bayesian regulation, Regression, Relative importance, Statistical analysis, Gelatin, Biopolymer, Rheology, Dynamic viscosity.

Jelatin Çözeltilerinin Dinamik Viskozitesine Yapay Sinir Ağı (YSA) Yaklaşımı: Esnek Hesaplama Çalışması

Öz

Bu çalışmada, bir dizi ölçümden toplanmış deneysel veriyi kullanarak jelatin çözeltilerinin dinamik viskozitesini tahmin etmek üzere geliştirilen çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modeli (YSA) sunuyoruz. YSA yapısında, kayma gerilmesi, kayma oranı, mil torku, mil açılma hızı ile birlikte jelatin çözeltilerinin kütle konsantrasyonu giriş nöronları olarak tanımlanırken, jelatin çözeltilerinin dinamik viskozitesi tahmin edilmek üzere tek bir çıkış nöronu olarak kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modeli, Bayesian regülasyonu ile optimize edilmiş geri yayılım algoritması kullanılarak eğitilmiştir. İlk olarak, en doğru performans sonuçlarını veren YSA yapısını bulmak üzere gizli katmanın optimal geometrik yapısı çalışılmıştır. Önerilen ağ modelleri için ortalama karesel hata (MSE), ortalama

* Corresponding Author: İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Physics Engineering Program, 34469, İstanbul, Turkey
ORCID: 0000-0002-5454-7437, demirbay@itu.edu.tr

mutlak hata (MAE), ortalama kare hatalarının karekökü (RMSE), determinasyon katsayısı (R^2), varyans (VAF) ve regresyon analizleri performans değerlendirme parametreleri olarak kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelinin başarı performansını etkileyen en etkin giriş nöronunu araştırmak amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, gizli katmanda 8 nöronun kullanılması, önerilen diğer YSA modellerine kıyasla en düşük MSE ve en yüksek R^2 değerlerini vererek en yüksek başarı performansını göstermiştir. Duyarlılık analizinin sonucu olarak, kayma oranı oluşturulan sinir ağının başarı performansını etkileyen en etkin giriş nöronu olarak bulunmuştur. Tahmin edilen dinamik viskozite değerlerinin, ölçülen dinamik viskozite değerleriyle büyük bir uyum içinde olması, geliştirilen YSA modelinin doğruluğunu ve güvenilirliğini ispatlamıştır. Bu nedenle geliştirilen YSA modeli, bu araştırmada istatistiksel detayları verilen veri aralığındaki giriş ve çıkış parametrelerini kullanarak, polimer çözeltilerinin dinamik viskozitesini tahmin etmek için efektif bir kullanım sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Yapay Sinir Ağları, Bayesian Regülasyonu, Regresyon, Duyarlılık Analizi, İstatistiksel Analiz, Jelatin, Biyopolimer, Reoloji, Dinamik Viskozite.

1. Introduction

Gelatin is a water-soluble natural biopolymer that can be obtained by the chemical degradation or thermal denaturation of collagen taken from animals. Chemical structure of gelatin is essentially composed of 14% hydroxyproline, 16% proline and 26% glycine, respectively (Wang et al., 2019). Production of gelatin increases with a rapid trend since it can be easily extracted from the skin, tendons, cartilage and bones of different animals, particularly fish and porcine (Char et al., 2019). It has a wide array of applications not only in the food industry but also in clinical studies. Due to its biocompatibility, biodegradability, as well as low cost, much attention has recently been focused on the applications of gelatin mainly in biomedical research methods including tissue engineering, drug delivery and wound dressing (Gullapalli, 2010). Particularly, gelatin is well known with its natural chemical cross-linking ability and it is, therefore, being used as a cross-linker to trap pharmaceutical molecules in drug delivery systems (Foux & Zilberman, 2015). In such systems, for transportation of drugs to target regions in the human body, viscosity of substance as well as carrier medium plays a significant role to ensure homeostasis.

Depending on the age, breed and partial hydrolyzation of the animal from which the collagen is obtained, the resultant gelatin may have different physicochemical and rheological properties that affect its efficiency and workability as well. In this respect, viscosity is one of the most significant parameters to measure both the grade and quality of gelatin-based substances. The viscosity of such natural chemical cross-linkers including gelatin can be controlled by varying a degree of cross-linking and sample concentration. However, the viscosity measurements of gelatin-based solutions, in the presence of other additives or at higher concentrations, are not that simple since the flow characteristics can quickly change over time due to formation of macromolecules which are strongly bound to each other by long peptide chains (Osorio, Bilbao, Bustos, & Alvarez, 2007). It is also known that the rheological characterization of polymer-based solutions requires overtime work as much as a joint effort of researchers from many different backgrounds. In that sense, the applications of machine learning methods, particularly artificial neural networks (ANNs), are recently of utmost importance to researchers to model the most challenging, long-time running experimental problems using earlier measured data and to predict potential results for unknown data sets instead of performing new measurements.

Today, the implementation of ANNs to estimate measurement parameters including the viscosity of materials from different classes has become one of the best soft computing methods due to the efficiency and reliability of ANNs. In accordance with the literature review, there are several successful neural networks have been developed to predict the viscosity of polymer solutions using a different set of parameters (Aminian, 2017; Fatehi, Raeissi, & Mowla, 2017; Hemmat Esfe & Abbasian Arani, 2018). Other than these contributions, there are only a few ANN studies addressing the dynamic viscosity of aqueous biopolymer solutions. However, the dynamic viscosity of gelatin solutions has not been studied by means of ANNs yet. For this reason, the main goal of this study is to develop a multi-layered feed-forward neural network (FFNN) to forecast the dynamic viscosity of aqueous gelatin solutions using a large set of experimental data gathered from rheological measurements. Information regarding ANN present with further details in the following section.

2. Artificial Neural Network (ANN)

Artificial neural network (ANN) is a mathematical analog which can examine linear and non-linear complex relationships between input and output data by learning algorithm (Haykin, 1994). To develop a simple ANN model for any particular system, one needs to define a topology of the network, the training algorithm as well as activation functions, respectively. In each ANN architecture, the simplest processing element is called an artificial neuron, which imitates the behavior and the functions of biological neurons in the human brain where large amounts of information can be stored and processed simultaneously by neurons (Akkoyun, Yildiz, & Kaya, 2019). ANN topology basically consists of a number of artificial neurons, similar to biological neurons. ANN has an input layer and an output layer with different numbers of neurons, which are interconnected to each other by one or more hidden layers. Among the various ANN architectures, the most well-known is a feed-forward neural network (FFNN), which has three distinct layers with several neurons: the input layer, the hidden layer(s) and the output layer (Pal & Chakraborty, 2005). In order to illustrate a simple topology of ANN, the ANN architecture used in this research article is present in Figure 1.

In FFNN, interconnection between each neuron is restricted just to one direction, meaning that information flows from the input layer to the output layer by passing through the hidden layer(s) by using neurons in each layer (Asteris, Roussis, & Douvika, 2017). The first layer in the network topology is known as the input layer where data from the outside world is kept by input neurons. Data stored in the input layer is then passed through the neurons in the second layer, called the hidden layer, to be processed using an

activation function. The hidden layer plays a very significant role in prediction performance since it allows the neural networks to examine the logic of complex relationships between the inputs and the outputs. Based on the complexity of the prediction problems, more than one hidden layer can also be used in the network topology. However, in most of the engineering problems, one hidden layer with an optimal number of neurons gives excellent prediction results. The last layer of the network is the output layer which receives processed information from the neurons in the hidden layer(s) and yields a response of network topology to the inputs. In FFNN, interconnected nodes between each neuron have weights that strongly affect the output response of the network model.

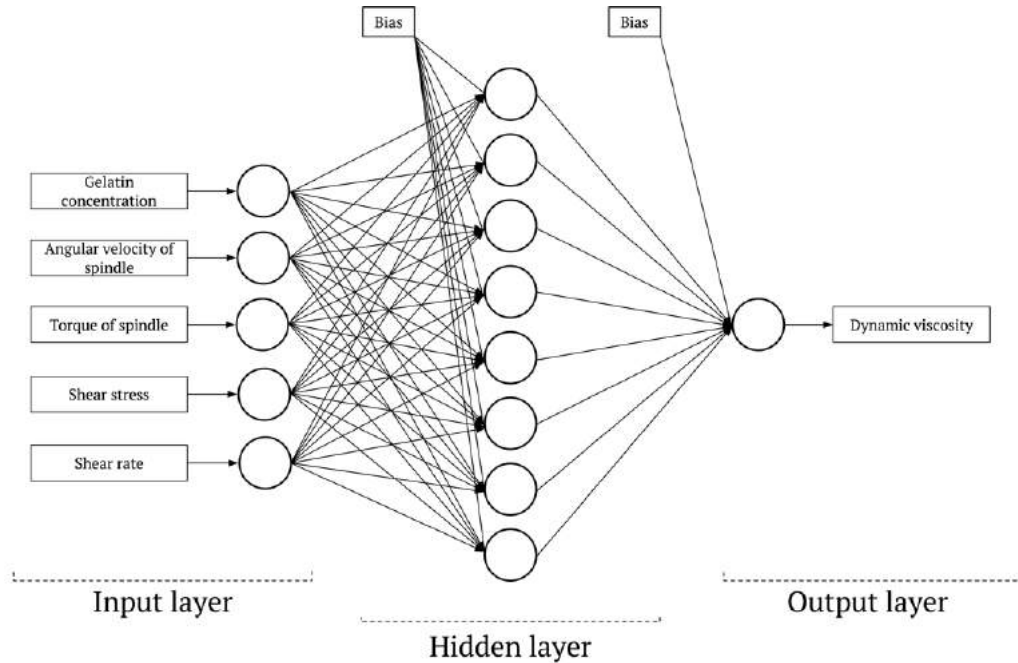


Figure 1. A basic topology of artificial neural network (ANN)

In order to achieve successful prediction results using the ANN approach, the most important step is to train neural network optimally. There are many different types of training algorithms available in the literature used for training ANNs. The most common and effective algorithm is backpropagation, which involves two passes. In the forward pass, data in the input layer are fed to ANN. Signals in the input layer propagate towards the network topology in order to predict an output value in the output layer based on the weights, biases (only connected to the neurons both in the hidden and the output layers) and processing functions of neurons. Predicted output value is then compared with the real output value of the assigned input-output data set when the generated signal reaches the output layer. To evaluate the performance of the backpropagation algorithm, the error between real and predicted output values is computed, and the error signals are then sent backward from the output layer to the input layer by passing through the hidden layer(s) (Erdil & Arcaklioglu, 2013). One pass through the set of training patterns by updating the weights is called epoch. Weights and bias values are updated simultaneously at the end of each epoch. As also seen from Figure 2, training takes place repeatedly through gradient descent on the sum of squares of the errors for all training patterns until these errors are fully minimized (Goh, 1995). After training process is successfully done, all final weights and bias values are stored in ANN memory and the neural network is then able to reproduce target output values that should close enough to real output values.

In order to better minimize the error by updating interconnection weights, an effective optimization method must be carried out in the backpropagation algorithm. There are many different back-propagation algorithms such as Levenberg-Marquardt, Bayesian regulation, scaled conjugate gradient and so forth, which have been used in training of different neural network structures. The trained ANN model has to be tested by a different data set, which are not introduced to neural network during the training process. A perfectly trained network model is supposed to give nearly similar training and testing errors. For this reason, after training and testing phases, neural network is usually validated with a different data set in order to prevent over-fitting when standard optimization methods such like Levenberg-Marquardt algorithm are applied in backpropagation algorithm (Ghatak & Robi, 2018). Recent studies have shown that the optimization of backpropagation using Bayesian regulation is more robust compared to other standard optimization methods as it eliminates the need for lengthy cross-validation (Burden & Winkler, 2009). It is also known that the larger the weights, the higher the error. Bayesian regulation backpropagation minimizes the sum of squared errors together with weights between neurons and bias values to allow the network to generalize very well. Unlike Levenberg-Marquardt optimization, Bayesian regulation optimization does not require an additional data set for validation step and there is no risk of over-fitting (Demirezen & Fung, 2019; Kayri, 2016). Therefore, in this study, Bayesian regulation has been used as an optimization method in back-propagation algorithm during training of developed network model.

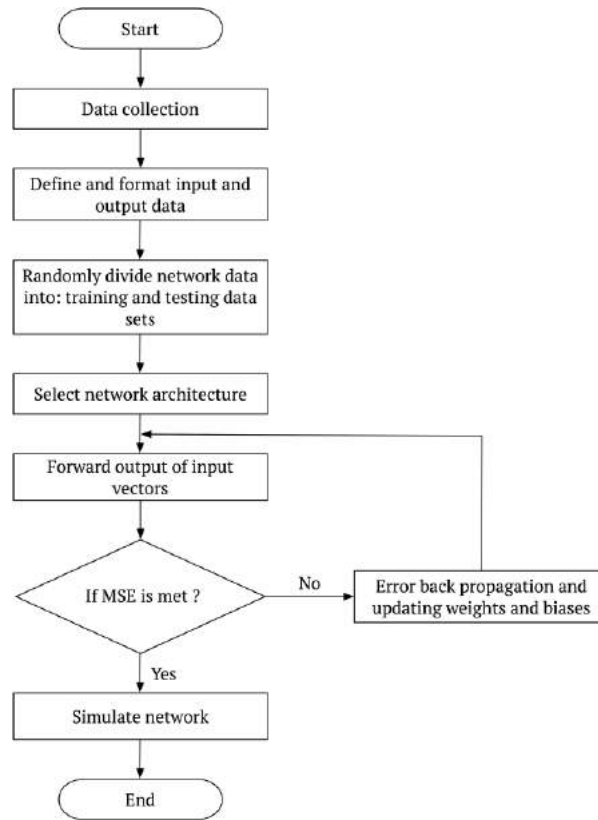


Figure 2. Flow-chart illustration of back-propagation algorithm

3. Materials & Methods

3.1. Preparation of aqueous gelatin solutions

Gelatin (bloom, purchased from Doğa drug industry) powder was used as a main substance to prepare all aqueous solutions. Different amounts of gelatin powders were weighed using a weighing vessel and then added into glass beakers filled with distilled water (dH₂O). All aqueous solutions were homogeneously mixed on a magnetic stirrer with a constant speed of 1200 rpm at 40 °C for 30 min. In total, 6 different aqueous gelatin solutions, each having the same sample amount of 18 ml and different mass concentrations in the range between 0.66 wt/vol% and 5 wt/vol%, were prepared in separate glass beakers and cooled down to the room temperature. The sample preparation process has been done at room temperature about 21 ± 2 °C and each sample solution was freshly prepared just before measurements on the same day. All experiments were performed in cross-linked materials research laboratory in the department of physics engineering at Istanbul Technical University (ITU).

3.2. Dynamic viscosity measurements

Dynamic viscosity measurements of prepared aqueous gelatin solutions were performed using a rotational rheometer (Fungi-Lab premium series) equipped with a heat control unit. All solutions were separately dropped into a removable (stainless-steel) sample container of rheometer, which has 18 ml volume capacity, where measuring spindle is attached and rotates to detect viscous forces of fluid against rotation direction of the spindle. During the measurements, prepared solutions within container were isolated from an external environment using a special component called solvent trap, which restricts the evaporation of the sample. Using a rotational rheometer, the dynamic viscosity of solutions can be determined by detecting shear stress and shear rate values. Shear stress is mainly associated with measured torque and also geometrical shapes of the spindle whereas the shear rate is calculated from the system's geometry as well as the angular velocity of the spindle. In our experiments, coaxial cylinder spindle (LCP) was used to measure the dynamic viscosity of solutions at room temperature (294.15 K). In measurements, not only dynamic viscosity was measured, but also other data sets including shear stress, shear rate, torque of spindle as well as the angular velocity of spindle were recorded to be used in the ANN development. Information regarding the ANN model is given with further details in the following section.

3.3. Neural network model

ANN architecture is designed to predict the dynamic viscosity of gelatin solutions by using several different rheological measurement parameters and mass concentrations of prepared aqueous sample solutions. In the developed ANN model, mass concentration of gelatin solution (C), velocity of spindle (w), torque of spindle (M), shear rate ($\dot{\gamma}$) and shear stress (τ) were used as input

neurons, whereas dynamic viscosity (η) was used as a single output neuron. Statistical details of input and output variables are present in Table 1.

Table 1. Statistical details of input and output neurons employed in ANN model

Network parameters	Variables	Units of variables	Properties of data set used in network topology			
			Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
Input	C	wt/vol%	0.66	5	82.2059	42.1648
Input	w	rad/s	10	220	102.8431	62.6567
Input	M	N.m	2.3481	98.8399	42.7886	28.3242
Input	$\dot{\gamma}$	s ⁻¹	12.23	269.06	125.7772	76.6292
Input	τ	N/m ²	0.1723	7.8513	3.1390	2.0777
Output	η	cP	1.3427	13.2926	2.8513	2.2896

Many different numbers of dynamic viscosity measurements were performed using aqueous gelatin solutions at different mass concentrations. In total, 204 separate experimental data were collected to be used in the ANN development. All collected experimental data were then randomly divided into two different sub-datasets: a training data set, to develop the network topology, and an independent testing data set, to be predicted and then compared with measurement data. 70% of the data (143 data set) were used in network training and the remaining 30% (61 data set) were used in ANN testing, respectively. Design of ANN architecture, development of network model, and all calculations regarding performance indices were computed in Matlab® (MathWorks, version 2017-b) environment and all figures and plots were prepared using Python. A single hidden layer in ANN topology is often sufficient to get high prediction quality when optimal geometry is maintained by varying the number of neurons in that of the hidden layer. For this reason, different number of neurons has been employed in the hidden layer to find out successfully predicted dynamic viscosity values. Since each input and output variable used in ANN development have different orders of magnitude, all experimental data must be normalized to be at a comparable range. Therefore, both input and output data were normalized separately in forms of single vectors in the range between 0 and 1, by using the equation (1):

$$x_i^* = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

The selection of activation functions that are used in the hidden and the output layers remarkably affects the performance of the developed ANN model. Therefore, several different activation functions, such as logistic-sigmoid, hyperbolic sigmoid and linear functions have been tested to investigate which one of them yields the best performance of the network model. Over-fitting is a major problem typically arising during the training stage. The use of suitable optimization methods, such as Levenberg-Marquardt, Bayesian regulation and so forth, in back-propagation can eliminate the risk of over-fitting. Other than Levenberg-Marquardt, the utilization of Bayesian regulation optimization in backpropagation algorithm does not require additional data set used for network validation (Demirezen & Fung, 2019) and there is no danger of over-fitting. For this reason, the Bayesian regulation backpropagation algorithm was used in network training. The learning rate and maximum number of epochs were set to 0.3 and 1000, respectively, as the network model has shown very successful prediction results using these hyperparameter values. All input and output neurons were denormalized after network training to measure the success of the developed neural network models. For interpretation of network performance, several different performance assessment parameters including mean squared error (MSE), mean absolute error (MAE), root-mean-squared error (RMSE), coefficient of determination (R^2), the variance accounted for (VAF) and regression analysis were employed. Equations of MSE, MAE, RMSE and R^2 were listed as below (Erzin & Turkoz, 2016; Khalaj, 2013; Nazari, Hajjiallahyari, Rahimi, Khanmohammadi, & Amini, 2019):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i^n \hat{y}_i^2} \quad (5)$$

where y_i is measured output data, \hat{y}_i is ANN predicted output data and n is the total number of data.

4. Results and Discussion

An ANN model was developed to forecast the dynamic viscosity of gelatin solutions. Network architecture has 5 neurons in the input layer, 1 neuron in the output layer together with 1 hidden layer with different number of neurons, as mentioned in previous section. As a first step, the effect of hidden layer geometry, i.e. the number of neurons in the hidden layer as well as different activation functions used in the hidden and the output layer on training performance of developed network model was studied. MSE has been chosen as an error function in training phase since Bayesian regulation backpropagation algorithm can minimize sum of squared errors. MSE, R^2 and other details of all optimal network models were listed in table 2.

Table 2. Performance evaluation of the best network models having different transfer functions and hidden neurons

Number of hidden neurons	Transfer functions used in		μ	Epoch	Training		Testing	
	Hidden layer	Output layer			R^2	MSE	R^2	MSE
5	Tan-sigmoid	Tan-sigmoid	0.005	195	0.99991	5.28×10^{-6}	0.99869	1.78×10^{-4}
6	Log-sigmoid	Tan-sigmoid	0.5	509	0.99998	1.34×10^{-6}	0.99983	3.71×10^{-4}
6	Tan-sigmoid	Tan-sigmoid	0.005	422	0.99904	4.07×10^{-6}	0.99894	0.0106
7	Tan-sigmoid	Linear	0.5	314	0.99999	7.21×10^{-7}	0.99912	1.32×10^{-4}
7	Tan-sigmoid	Tan-sigmoid	0.005	549	0.99998	1.37×10^{-6}	0.99077	0.0075
8*	Tan-sigmoid	Tan-sigmoid	0.05	546	0.99999	6.27×10^{-7}	0.99918	1.26×10^{-4}
8	Tan-sigmoid	Linear	0.05	352	0.99998	8.45×10^{-7}	0.99957	3.91×10^{-4}
9	Tan-sigmoid	Tan-sigmoid	0.05	574	0.99999	6.52×10^{-7}	0.99752	1.65×10^{-4}
9	Log-sigmoid	Tan-sigmoid	0.05	474	0.99999	7.16×10^{-7}	0.99672	0.0011
10	Tan-sigmoid	Tan-sigmoid	0.05	685	0.99999	4.91×10^{-7}	0.99183	0.0018
11	Log-sigmoid	Tan-sigmoid	0.5	441	0.99999	3.62×10^{-7}	0.99172	7.32×10^{-4}

*Represents a suggested ANN model yielding the best performance results

As clearly shown in Table 2, when ANN model having 8 neurons in the hidden layer is trained by using a hyperbolic-tangent activation function in both hidden and output layer, it yields the highest R^2 and the least MSE values for both training and testing data sets, compared to other network models having different numbers of neurons in the hidden layer and different activation functions. For the best ANN model, MSE and R^2 values were found to be 6.27×10^{-7} and 0.9999, respectively.

Apart from MSE values, as shown in Figure 3(a), regression between measured viscosity and ANN predicted viscosity values, which yielded excellent $R^2(=0.9999)$ value, quite close to unity, is a great indication of equally updated weights between interconnected nodes. It is clearly shown in Figure 3(a) that a uniform distribution of training data points around the linear least-square fit line in the regression plot is another reason why ANN reflects an excellent R^2 value.

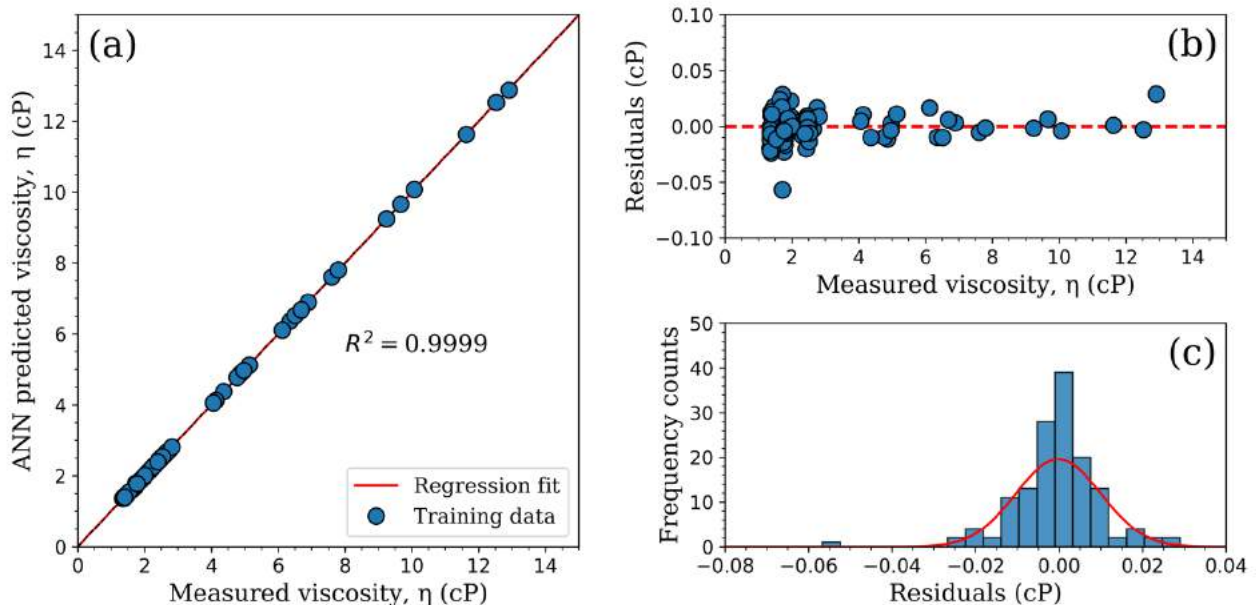


Figure 3. Performance assessment of ANN training: (a) regression plot, (b) residuals, the difference between ANN predicted viscosity and measured viscosity values, (c) residual distribution histogram

To further investigate how the developed network model is well-trained, residuals and their distribution were additionally analyzed. For each training data point, residuals (the difference between measured viscosity and ANN predicted viscosity values) were calculated. Residuals were found to be mainly centered around zero with very small homogeneous deviations (see Figure 3(b)), meaning that there is no systematic error stemming from the ANN method. The randomized symmetrical distributions of residuals on both sides of zero indicate that the developed ANN model is unbiased with a good prediction capability. The main source of prediction error might be due to the nature of data sets which cannot be entirely attributed to prediction capability of neural network itself, however, partially the data set used in the network model. The residual distribution of the training data set was then studied with a histogram plot to find out the range of the error. Figure 3(c) reveals that residuals obtained by the ANN method show a very symmetrical Gaussian distribution and most of the training data points used in ANN training found very close to zero, which is in a good agreement with results shown in Figure 3(b). It was also observed that residuals obtained using the ANN model were very small, varying between -0.0567 and 0.0289. Residuals of training data were found to be 0.0856 in total.

Table 3. Weights and biases for the best ANN topology having 8 hidden neurons

Hidden neuron	Weights					Bias		
	Input neurons					Output neuron	Hidden layer	Output layer
	<i>C</i>	<i>w</i>	<i>M</i>	$\dot{\gamma}$	τ	η		
1	-0.17429	-2.83420	5.96910	-2.83420	5.96930	13.0190	7.83870	3.039
2	-0.19178	-1.76520	-0.01034	-1.76450	-0.00365	2.1228	-3.10890	
3	0.06877	0.07517	0.09080	0.08348	0.22441	4.2771	0.27651	
4	-0.07328	0.35505	-1.09480	0.35502	-1.09850	-0.9783	-1.33850	
5	-0.00030	2.02180	-0.25705	2.02330	-0.25461	4.297	3.18920	
6	-0.06137	-0.13843	-0.11151	-0.12491	-0.00559	11.312	-0.88134	
7	0.15642	-2.37500	0.53605	-2.37400	0.53530	2.7375	-3.54640	
8	0.80464	-20.46600	4.18640	-20.4660	4.18660	10.569	-35.991	

In order to determine which of the input neurons employed in ANN training has a domestic effect on prediction performance of dynamic viscosity, relative importance-based sensitivity analyses were performed. The relative importance of each input neuron on that of dynamic viscosity was studied using inter-connection weights and biases at each neuron presented in Table 3 as well as Garson’s algorithm (Garson, 1991). Garson suggested a method of partitioning ANN weights in order to determine the sensitivity of each input neuron in network topology as given below:

$$I_j = \frac{\sum_{m=1}^{m=N_h} \left((w_{jm}^{ih} \div \sum_{k=1}^{N_i} |w_{km}^{ih}|) \cdot |w_{mn}^{ho}| \right)}{\sum_{k=1}^{k=N_i} \left\{ \sum_{m=1}^{m=N_h} \left((|w_{jm}^{ih}| \div \sum_{k=1}^{N_i} |w_{km}^{ih}|) \cdot |w_{mn}^{ho}| \right) \right\}} \quad (6)$$

where I_j is the relative importance of the j th input parameter on the output parameter, N_i and N_h are the number of input and hidden neurons, respectively, w are connection weights, the subscripts i , h and o refer to input, hidden and output layers, respectively, and subscripts k , m and n refer to input, hidden and output neurons, respectively. Essentially, the sensitivity analyses are applied to the developed network models to be trained with a new set of random weights to check the robustness of the developed ANN model. In our analysis, the best ANN model has been trained five times with various random starting weights to elucidate how the relative importance of each input neuron responds after each training step.

Table 4. Sensitivity analysis using relative importance of each input neuron employed in the network topology

Trial Number	Relative importance (%)				
	<i>C</i>	<i>w</i>	<i>M</i>	$\dot{\gamma}$	τ
1	4.9212	30.6567	16.9452	30.4652	17.0117
2	9.8811	31.4406	13.5993	31.4481	13.6310
3	7.2235	24.6285	23.2589	24.7425	20.1465
4	7.8629	25.4671	20.5122	25.5287	20.6291
5	4.6052	29.5418	18.0748	29.6451	18.1331
Average	6.8977	28.3469	18.4781	28.3659	17.9103
Ranking	5	2	3	1	4

The analysis results were listed in Table 4 and the calculated average relative importance (%) was additionally provided with a histogram plot including error bars that obtained from standard deviation (see Figure 4(a)). As shown in Table 4, it is clear that the order *e-ISSN: 2148-2683*

of relative importance of each input neuron does not change after each training step with new random weights, demonstrating the robustness and reliability of the developed ANN model. The contribution of input neurons on network prediction varied from 4.6052% to 31.4481%. Among all input neurons, it is shown that $\dot{\gamma}$ has the most significant effect on the predicted dynamic viscosity values, followed by w , M , τ and C .

The reason why $\dot{\gamma}$ has a domestic contribution, as opposed to C , on the prediction of η by suppressing all other input neurons is a large distribution of $\dot{\gamma}$ data set used in ANN training. Distribution of all normalized input neurons obtained from the best ANN model is present in histogram plots shown in Figures 4(b)- 4(f). As clearly seen in Figure 4, most of the data points of $\dot{\gamma}$ distributed in a very broad range and distribution of data set of C (shown in Figure 4(b)) is very narrow due to repetitive nature of C . Since only 6 different aqueous gelatin concentrations were used as input neurons in the development of the ANN model, the relative importance of that of C was found to be weaker on prediction performance of developed ANN model, compared to other input neurons.

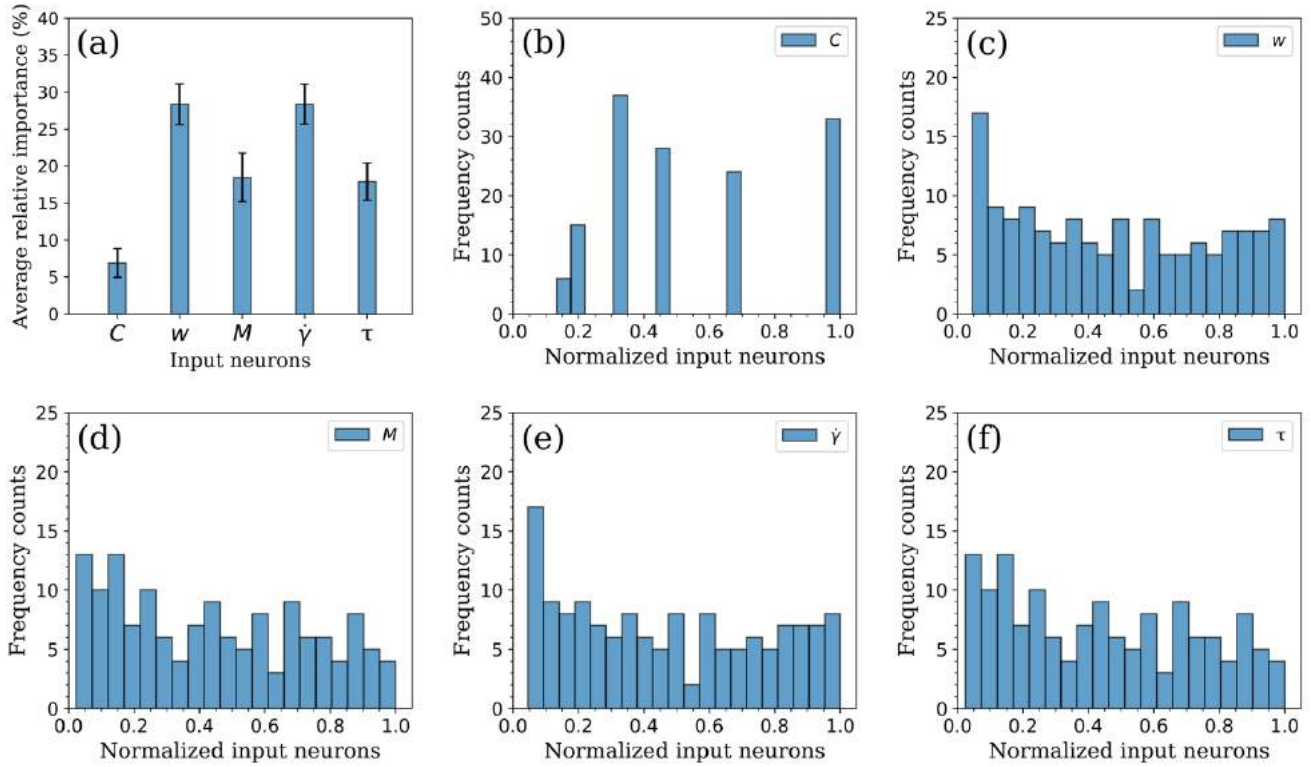


Figure 4. (a) Sensitivity analysis results and distributions of normalized input variables: (b) mass concentration of aqueous gelatin solutions, (c) the angular velocity of spindle, (d) torque of spindle, (e) shear rate, and (f) shear stress

After ANN training stage, a second data set, which has not introduced to neural network during training, have been used to test the performance of the developed ANN model with additional performance evaluation parameters to demonstrate the versatility of network architecture. In ANN testing, as an alternative to MSE, MAE and RMSE were considered as additional error functions to measure the accuracy of the ANN model. Because MSE itself may not be universal in testing the ANN model.

For the testing data set, MSE, MAE, RMSE and R^2 values were found as 1.26×10^{-4} , 0.0898, 0.1496 and 0.99918, respectively. Regression between measured viscosity and ANN predicted viscosity values for testing data set was also studied and a very fine $R^2(=0.99918)$ value, which is almost unity, was obtained, as found for training data set. As shown in Figure 5(a) that testing data points dispersed very uniformly around the linear least-square fit line in the regression plot, indicating equally updated weights between interconnected nodes, as observed for ANN training.

Table 5. Additional performance indices of the best ANN model

Data set	Number of data	RMSE (cP)	MAE (cP)	VAF (%)
Training	143	0.0102	0.0068	99.9977
Testing	61	0.1496	0.0898	99.7738

In order to interpret how errors are greatly minimized in ANN testing, the residuals and their distribution were further investigated with a histogram plot. For each testing data point, the residuals were calculated and they randomly dispersed around zero with very

small homogeneous deviations on both sides of zero (see Figure 5(b)), showing that developed ANN model is unbiased and it is able to predict dynamic viscosity with high performance. The main reason why slightly higher errors arouse in ANN testing is possibly due to the number of data set used in testing (61 data points) is less than the amount of training data set (163 data points). Small prediction errors possibly as a result of a nature of data sets used in ANN testing, as mentioned and also found for ANN training. As shown in Figure 5(c), the majority of data points used in ANN testing accumulated around zero with a very small divergence, which is in a good agreement with the results shown in Figure 5(b). It was also observed that residuals found by using the ANN method varied from -0.756 to 0.125. Residuals of testing data were found to be 0.881 in total.

As distinct from MSE, MAE, RMSE and R^2 values employed in performance evaluation of ANN testing phase, Variance Accounted For (VAF) between predicted and measured data points, represented by Equation 7, was additionally computed to interpret the performance of the developed network model (Erzin & Cetin, 2013).

$$VAF = \left[1 - \frac{var(y - \hat{y})}{var(y)} \right] \times 100 \tag{7}$$

where var represents variance, y is measured value and \hat{y} is the predicted value. If VAF and RMSE values are close enough to 100% and 0, respectively, the performance of the developed ANN model can be treated as excellent (Erzin & Turkoz, 2016). Computed VAF values together with other performance indices including RMSE and MAE are present in Table 5.

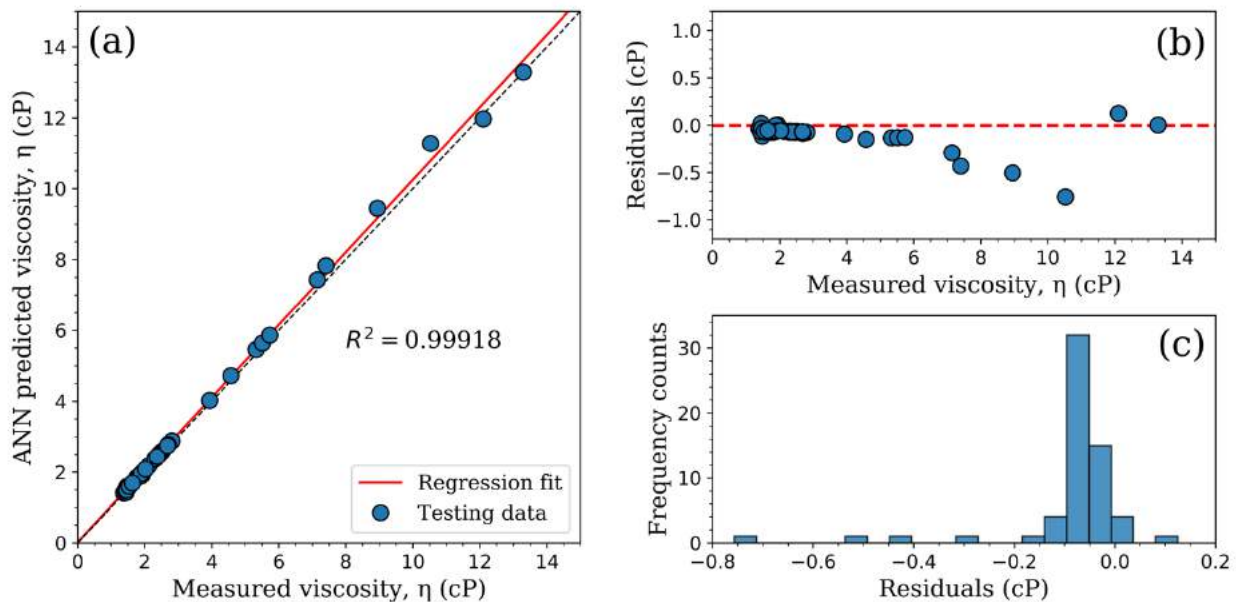


Figure 5. Performance assessment of ANN testing: (a) regression plot, (b) residuals, the difference between ANN predicted viscosity and measured viscosity values, (c) residual distribution histogram

Table 6. Details of the best ANN topology

Network type	Feed-forward neural network
Number of neurons in input layer	5
Number of hidden layers	1
Number of neurons in hidden layer	8
Number of neurons in output layer	1
Transfer function in hidden layer	Hyperbolic-tangent (tan-sig)
Transfer function in output layer	Hyperbolic-tangent (tan-sig)
Training rule	Bayesian regularization back-propagation algorithm
Training termination	Minimum mean squared error (MSE)
Momentum factor (μ)	0.05
Learning rate	0.3
Maximum number of epochs used in training	1000
Epoch number achieved minimum MSE	546
Performance goal	0.00000001

It can be seen from Table 5 that VAF and RMSE values for both training and testing were found to be quite close to 100% and 0, meaning that developed ANN model exhibits a very high prediction performance and these results can be easily verified with other performance indices obtained. All error parameters calculated in both training and testing phases (see Tables 2 and 5) were found very close to each other. It is known that in the case of over-fitting, testing errors and inter-connection weights would be much higher. In our analysis, as shown in Table 3, inter-connection weights and biases that we found in ANN training are very small, demonstrating that the data is not over-fitted. All details of the best ANN topology are additionally given in Table 6.

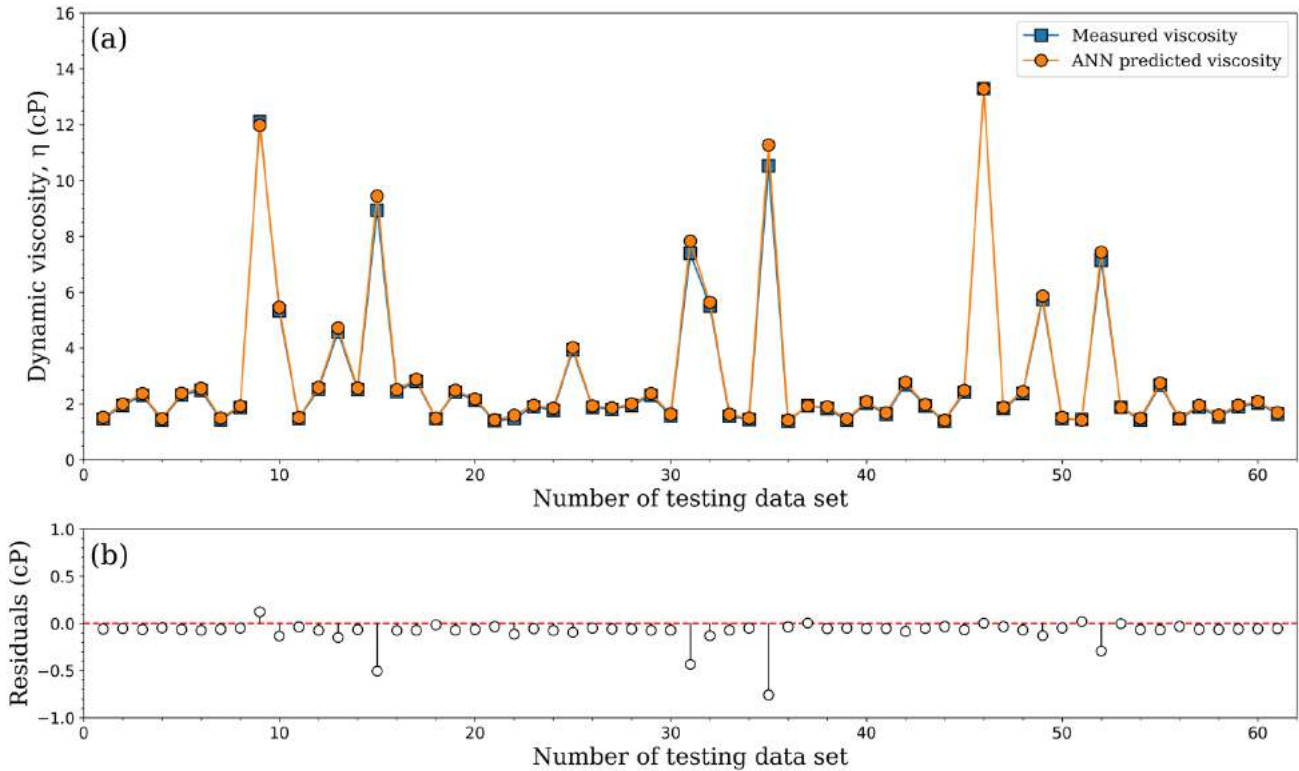


Figure 6. Prediction performance of developed ANN model using testing data set: (a) a comparison of all measured viscosity values with ANN predicted viscosity values, (b) residual analysis

As a final step of ANN performance analysis, ANN predicted viscosity values were compared with measured values. Figure 6(a) reveals that all ANN predicted η values were found quite close to measured η values, proving the usefulness and efficiency of the developed network model. The difference between these values was successfully minimized as most testing data points are approaching zero with random distributions around zero due to high performance and the robustness of the developed ANN model (see Figure 6(b)). To conclude, when all performance assessment parameters including MSE, MAE, RMSE, R^2 and VAF, found in both training and testing phases, are taken into account, it is very clear that η of aqueous gelatin solutions could be effectively predicted using ANN approach. One should also say that similar network models can be designed in order to forecast η value of other biopolymer solutions by using the same input and output parameters in the specific data range we reported in this work.

5. Conclusion

In this study, a multi-layered feed-forward neural network (FFNN) was used to predict the dynamic viscosity of aqueous gelatin solutions having different mass concentrations. For this purpose, the experimental results of viscosity measurements were used in the development of the FFNN model. In network topology, five different input neurons (C , w , M , $\dot{\gamma}$ and τ) and one output neuron, η , were used, respectively. Employing 8 neurons in the hidden layer has yielded the highest R^2 value, quite close to unity, and the least MSE value in both training and testing phases. Apart from MSE and R^2 , other performance indices, such as MAE, RMSE and VAF were used to evaluate the prediction performance of developed FFNN models. MSE, R^2 , MAE, RMSE, and VAF values were calculated as 6.24×10^{-7} , 0.99999, 0.0068, 0.0102 and 99.9977, respectively, for training data set, and calculated as 1.26×10^{-4} , 0.99938, 0.0898, 0.1496 and 99.7738, respectively, for testing data set. Using regression plots of training and testing data sets, the residuals between measured η values and ANN predicted η values were obtained and they randomly dispersed around zero with very small homogeneous deviations on both sides of zero since developed ANN model is unbiased and shows excellent performance. In addition, as a result of sensitivity analysis, $\dot{\gamma}$ was found as the most significant input neuron remarkably affecting the η value of aqueous gelatin solutions. All taken together, we can conclude that ANN can be employed as a very powerful soft computing method for the prediction of dynamic viscosity of aqueous gelatin solutions. Our findings have demonstrated the applicability of ANN in the prediction of η for a specific input-output data range.

6. Acknowledgment

Experimental data used in this work were provided from a part of undergraduate thesis written by Barış Demirbay.

7. References

- Akkoyun, S., Yildiz, N., & Kaya, H. (2019). Neural Network Estimation for Attenuation Coefficients for Gamma-Ray Angular Distribution. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 16(4), 397-401. doi:10.1134/s1547477119040034
- Aminian, A. (2017). Predicting the effective viscosity of nanofluids for the augmentation of heat transfer in the process industries. *Journal of Molecular Liquids*, 229, 300-308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.12.071>
- Asteris, P. G., Roussis, P. C., & Douvika, M. G. (2017). Feed-Forward Neural Network Prediction of the Mechanical Properties of Sandcrete Materials. *Sensors*, 17(6), 1344.
- Burden, F., & Winkler, D. (2009). Bayesian Regularization of Neural Networks. In D. J. Livingstone (Ed.), *Artificial Neural Networks: Methods and Applications* (pp. 23-42). Totowa, NJ: Humana Press.
- Char, C., Padilla, C., Campos, V., Pepczynska, M., Díaz-Calderón, P., & Enrione, J. (2019). Characterization and Testing of a Novel Sprayable Crosslinked Edible Coating Based on Salmon Gelatin. *Coatings*, 9(10), 595.
- Demirezen, G., & Fung, A. S. (2019). Application of artificial neural network in the prediction of ambient temperature for a cloud-based smart dual fuel switching system. *Energy Procedia*, 158, 3070-3075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.992>
- Erdil, A., & Arcaklioglu, E. (2013). The prediction of meteorological variables using artificial neural network. *Neural Computing and Applications*, 22(7), 1677-1683. doi:10.1007/s00521-012-1210-0
- Erzin, Y., & Cetin, T. (2013). The prediction of the critical factor of safety of homogeneous finite slopes using neural networks and multiple regressions. *Computers & Geosciences*, 51, 305-313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.09.003>
- Erzin, Y., & Güneş, N. (2011). The prediction of swell percent and swell pressure by using neural networks. *Mathematical and Computational Applications*, 16(2), 425-436.
- Erzin, Y., & Turkoz, D. (2016). Use of neural networks for the prediction of the CBR value of some Aegean sands. *Neural Computing and Applications*, 27(5), 1415-1426. doi:10.1007/s00521-015-1943-7
- Fatehi, M.-R., Raeissi, S., & Mowla, D. (2017). Estimation of viscosities of pure ionic liquids using an artificial neural network based on only structural characteristics. *Journal of Molecular Liquids*, 227, 309-317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.133>
- Foxx, M., & Zilberman, M. (2015). Drug delivery from gelatin-based systems. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 12(9), 1547-1563. doi:10.1517/17425247.2015.1037272
- Garson, G. D. (1991). Interpreting neural-network connection weights. *AI Expert*, 6(4), 46-51.
- Ghatak, A., & Robi, P. S. (2018). Prediction of creep curve of HP40Nb steel using artificial neural network. *Neural Computing and Applications*, 30(9), 2953-2964. doi:10.1007/s00521-017-2851-9
- Goh, A. T. C. (1995). Back-propagation neural networks for modeling complex systems. *Artificial Intelligence in Engineering*, 9(3), 143-151. doi: [https://doi.org/10.1016/0954-1810\(94\)00011-S](https://doi.org/10.1016/0954-1810(94)00011-S)
- Gullapalli, R. P. (2010). Soft gelatin capsules (softgels). *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 99(10), 4107-4148. doi:10.1002/jps.22151
- Haykin, S. (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*: Prentice Hall PTR.
- Hemmat Esfe, M., & Abbasian Arani, A. A. (2018). An experimental determination and accurate prediction of dynamic viscosity of MWCNT(%40)-SiO2(%60)/5W50 nano-lubricant. *Journal of Molecular Liquids*, 259, 227-237.
- Kayri, M. (2016). Predictive Abilities of Bayesian Regularization and Levenberg-Marquardt Algorithms in Artificial Neural Networks: A Comparative Empirical Study on Social Data. *Mathematical and Computational Applications*, 21(2), 20.
- Khalaj, G. (2013). Artificial neural network to predict the effects of coating parameters on layer thickness of chromium carbonitride coating on pre-nitrided steels. *Neural Computing and Applications*, 23(3), 779-786. doi:10.1007/s00521-012-0994-2
- Nazari, A., Hajiallahyari, H., Rahimi, A., Khanmohammadi, H., & Amini, M. (2019). Prediction compressive strength of Portland cement-based geopolymers by artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 31(2), 733-741. doi:10.1007/s00521-012-1082-3
- Osorio, F. A., Bilbao, E., Bustos, R., & Alvarez, F. (2007). Effects of Concentration, Bloom Degree, and pH on Gelatin Melting and Gelling Temperatures Using Small Amplitude Oscillatory Rheology. *International Journal of Food Properties*, 10(4), 841-851. doi:10.1080/10942910601128895
- Pal, S. K., & Chakraborty, D. (2005). Surface roughness prediction in turning using artificial neural network. *Neural Computing & Applications*, 14(4), 319-324. doi:10.1007/s00521-005-0468-x
- Wang, Y., Guo, Z., Qian, Y., Zhang, Z., Lyu, L., Wang, Y., & Ye, F. (2019). Study on the Electrospinning of Gelatin/Pullulan Composite Nanofibers. *Polymers*, 11(9), 1424.



Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşlanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri

Sunay Türkdogan^{1*}, Muhammet Talha Mercan², Tuğçe Çatal²

¹ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9690-325X)

² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 11 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.688048)

ATIF/REFERENCE: Türkdogan, S., Mercan, M. T. & Çatal, T. (2020). Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşlanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485.

Öz

Bu çalışmada 40 haneli 160 kişiden oluşan bir topluluğun şebekeden bağımsız bir şekilde elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılamak için çeşitli hibrit enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Ortalama 320 kWh/gün elektrik ve 142,47 kWh/gün termal yük ihtiyaçlarının karşılanması ve bu amaç için kurulacak enerji sistemlerinin üreteceği enerjinin birim fiyatının gerçeğe yakın bulunabilmesi için HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) programı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak Türkiye'nin ortalama güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı değerlerine yakın parametrelere sahip Manisa'nın Gördes bölgesi seçilmiştir. İleriki aşamalarda ise tüm Türkiye coğrafyasına hitap edebilmesi ve en uygun sistemin belirlenebilmesi için çeşitli parametreler (dizel fiyatı, jeneratör çalışma yükü, jeneratör atık ısı kullanımı, rüzgâr türbini kule yüksekliği, vb...) değiştirilerek hassasiyet analizleri yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar sonunda şebekeden bağımsız şekilde tasarlanarak sistemlerden elde edilebilecek enerjinin birim maliyet fiyatının bölgeye göre değişiklik gösterdiği ve \$0,151/kWh-\$0,198/kWh arasında değiştiği tespit edilmiştir. Şebekeden bağımsız sistem haricinde enerji nakil hatlarının uzatılması durumunda ilgili topluluğun enerji ihtiyacının karşılanması ve termal yük ihtiyacının elektrik enerjisiyle sağlanması gibi durumlar da incelenmiştir. Bu çalışma yenilenebilir enerji alanında kurulabilecek enerji sistemlerine iyi bir örnek teşkil edip özellikle ülke olarak bu alanda büyük bir potansiyele sahip olduğumuzu göstermekte ve diğer araştırmacıların da bu alanda çalışma yapmalarını teşvik edici özellikte olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Enerji Sistemleri, Yenilenebilir Enerji, Enerji Maliyeti, HOMER

Meeting the Electrical and Thermal Load Demands of a 40-Household Community Using Off-Grid Hybrid Energy Systems: Technical and Economic Analysis

Abstract

In this study, technical and economic analyses of various off-grid hybrid energy systems were investigated to meet the electric and thermal load demands of a group of 160 people within 40 household. HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) program has been utilized to meet the average 320 kWh/day electricity and 142.47 kWh/day thermal load requirements and to find the unit price of the energy generated by different hybrid energy systems. In the first study, the Gördes region of Manisa, which has

* Sorumlu Yazar: Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9690-325X, sunay.turkdogan@yalova.edu.tr

parameters close to the average solar radiation and wind speed values of Turkey, was selected. In the future stages, various parameters (diesel price, generator working load, generator waste heat usage, wind turbine tower height, and etc.) were modified and sensitivity analyses were made to figure the most appropriate system in different regions of TURKEY. At the end of all these studies, it was determined that the unit price of the energy varies by region and lies between \$0.151/kWh-\$0.198/kWh. The cases for grid extension and meeting the thermal energy needs by direct electricity were also examined. This study is a good example of the energy systems utilizing renewable energy and shows that we as an entire country have a great potential in this field and is thought to encourage other researchers to work in this world saving field.

Keywords: Hybrid Energy Systems, Renewable Energy, Energy Cost, HOMER.

1. Giriş

Enerji kaynakları yüzyıllardır insanlığın en önemli araştırma konularından biri olmuştur. İnsanların enerji kaynakları olan ilgisiz ve ihtiyacı endüstri devriminden sonra artmış ve günümüze dek sürmüştür. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlar tarafından sağlanmaktadır. Geçmiş yıllarda fosil yakıtların ekonomik olarak uygunluğu, üretim sistemlerinin gelişmesi ve yaygınlaşması nedeniyle kullanımları en üst seviyede olmuştur. Kömürle başlayan fosil yakıt kullanımı daha sonra petrol ve doğal gaz'ın da eklenmesiyle daha yaygın hale gelmiştir. Ancak, 20. yüzyılın sonlarına doğru çıkan petrol krizi bu kaynaklara olan güveni azaltmıştır. Ayrıca fosil yakıtların ömrünün azalması ve tükenecek olması ciddi bir problem açığa çıkarmıştır. Tüm bunlarla birlikte fosil yakıtların çevreyi olumsuz yönde etkilemesi, küresel ısınma ve çevre kirliliğine neden olması yenilenebilir enerji kullanımını arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenme gibi bir probleminin olmaması, dünya üzerinde birçok yenilenebilir enerji kaynağının homojen olarak dağılması, yenilenebilir enerjiyi popüler hale getirmiştir [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hibrit bir sistem içinde bir arada kullanılması birçok açıdan olumlu özellikler barındırmaktadır. Güneş enerjisinin sadece gündüz saatlerinde olması, rüzgârın sürekli olmaması bu sistemlerin bağımsız kullanılmasını kısıtlamakta veya yüksek kapasitelerde kurulum depolama yapması sağlanarak enerji üretmediği durumlarda depolanan enerjinin kullanılması sağlanabilmektedir [2]. Yenilenebilir enerji sektörüne öncülük eden rüzgâr ve güneş enerjisinin hibrit enerji sistemlerinde birlikte kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Hibrit sistemlerde rüzgâr ve güneş enerjisinin yanında dizel jeneratör sisteminin kullanılması da enerjinin sürekli olmasını ve gereksiz kapasitede güneş veya rüzgâr enerjisi kurulumunu engeller ve enerji birim maliyet fiyatını düşürür [3].

Bu çalışmada 40 haneden oluşan 160 kişinin yaşadığı bir topluluğun hem elektrik ihtiyacının hem de termal yük ihtiyacının şebekeden bağımsız bir şekilde karşılanabileceği bir hibrit enerji sisteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Meskenin elektrik yükü ve termal yük ihtiyaçları hesaplanmış ve seçilen bölgenin meteorolojik verileri kullanılarak HOMER programında hibrit enerji sistemi modeli oluşturulmuştur. Bu sistem, Türkiye'nin ortalama güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı değerlerine yakın parametrelere sahip ve 21. yüzyıl Türkiye'sinde çeşitli bürokratik süreçlerden kaynaklı şebeke bağlantısına ulaşamayan Manisa'nın Gördes bölgesinin verileri kullanılarak modellenmiştir. Hedef bölge haricinde aynı sistemin farklı bölgelerde uygulanabilirliğini tespit etme amacıyla güneş radyasyon değerlerini ve ortalama rüzgâr hızlarını değiştirerek uygulanabilirliği incelenmiştir. Oluşturulan sistemin maliyet analizleri yapıldıktan sonra sistemin optimize edilmesi için jeneratörün farklı çalışma yüklerinde devreye alınması, jeneratörün atık ısısının kojenerasyon sistemiyle kullanılması, rüzgâr türbini gövde yüksekliğinin artırılması, dizel fiyatının artması gibi parametreler kullanılarak hassasiyet analizleri yapılmıştır. Termal yük kontrolörü ve batarya kullanımının sisteme hem ekonomik hem de teknik olarak etkileri araştırılmıştır. Tüm optimizasyonlar yapıp hassasiyet analizleri incelendikten sonra maliyetin ne kadar düşürülebileceği yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hibrit Sistem Girdileri

2.1.1. Proje Uygulama Yeri

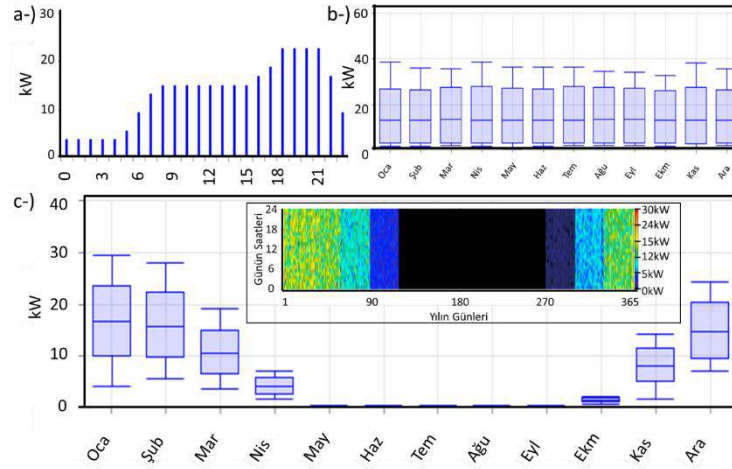
Projenin ilk uygulanma yeri Türkiye'de Ege bölgesinde bulunan Manisa ilinin Gördes (38°56' N 28°18' E) ilçesidir [4]. Araştırmalar 40 hane 160 kişiden oluşan bir topluluk için yapılmıştır.

2.1.2. Elektrik ve Termal Yük Yapısı

4 kişilik bir ailenin günlük ortalama elektrik tüketimi TEİAŞ tarafından yapılan çalışmada yaklaşık olarak 8 kWh olarak bulunmuştur [5]. 40 hanenin günlük 8 kWh'ten toplam günlük ihtiyacı 320 kWh'tir. Bir meskende elektrik tüketiminin akşam saatlerinde daha yüksek olması beklenmektedir. Bu çalışmada HOMER programında ön tanımlı olan topluluk yük profili kullanılmıştır (Şekil 1a). Topluluğun günlük elektrik tüketimi 320 kWh olup gün içerisindeki tepe güç değerinin 38,62 kW olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1b).

Kurulacak olan sistem sadece elektrik yük ihtiyacını değil aynı zamanda meskenin termal yük ihtiyacını karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bir evin ortalama ısı kaybının metrekare başına 13 kWh olduğu belirlenmiş [6] ve bir evin 100 metrekare olduğu varsayarak bir evin yıllık ısı kaybı 1300 kWh olarak bulunmuştur. Toplulukta 40 hane olduğundan yıllık termal enerji ihtiyacının 52000 kWh olduğu bulunmaktadır. Ancak meskenin ısı ihtiyacı elektrik yükü gibi sabit değil, yıl içerisinde mevsim koşullarına göre değiştiği bilinmektedir. Isı ihtiyacının büyük bir kısmının kış aylarında olduğu yaz aylarında ise ısıtma ihtiyacı olmadığı için termal

yük profili belirlenmiş ve Şekil 1c' deki gibi sisteme girilmiştir. Termal yük ihtiyacının %24,13'ü Ocak, %20,92'si Aralık, %20,59'u Şubat, %14,94'ü Mart, %11,63 Kasım, %5,8'i Nisan, %1,98'i ise Ekim aylarında olduğu hesaplanmıştır. Kalan aylarda ısı kaybı olmadığı için termal yük ihtiyacı sıfır olarak kabul edilmiştir [7]. Sistemin yıl içerisindeki saatlik termal yük verileri Şekil 1c içerisinde verilmiştir.

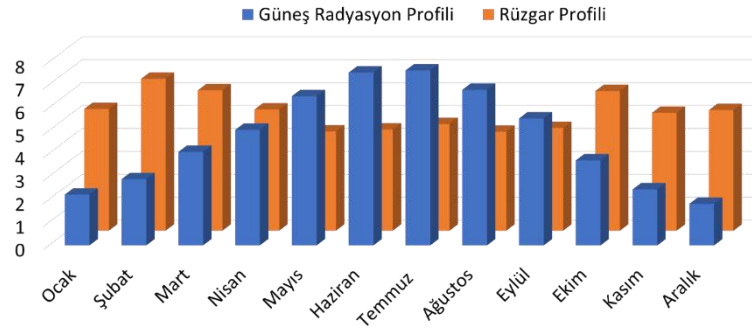


Şekil 1. Elektrik Tüketiminin (a) ün içerisinde saatlik, (b) aylık yük profilleri (c) aylık termal yük profili (İnset: yıllık termal yük profili)

2.1.3. Bölgenin Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapacak olan güneş panellerinin üretebileceği enerji miktarı bölgenin meteorolojik verileri ile doğru orantılıdır. Bölgenin solar enerji verileri HOMER programına entegre edilmiş olan NASA'nın veri tabanından alınmıştır. İlgili veriler Temmuz 1983-Temmuz 2005 yılları arasında 22 yıllık ölçümler sonucu elde edilmiş ve ortalaması alınarak belirlenmiştir [8]. Şekil 2' de görüldüğü gibi bölgenin solar enerji potansiyeli yaz aylarında fazlayken kış aylarında azalmakta ve yıl geneli ortalama günlük solar enerji potansiyeli 4,66 kWh/m² olarak belirlenmiştir.

Rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri çok yüksek olduğundan kurulacak bölgenin rüzgâr hızı profili çok önemlidir. Bölgenin rüzgâr hızı profili yine NASA veritabanından alınmış ve ortalama 5,16 m/s olduğu gözlemlenmiştir [8]. Veritabanındaki rüzgâr hızı verileri 50m yükseklikte 1983-1993 yılları arasında yapılan 10 yıllık ölçümlerin ortalamasıdır. Bölgenin rüzgâr hızı profili Şekil 2'de gösterilmiş ve kış aylarında solar enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda rüzgâr enerjisinin tamamlayıcı enerji kaynağı olacağı ve ikisinin beraber sinerjik etki göstereceği aşikârdır. Birbirini tamamlayıcı özellik göstermesinden dolayı da hibrit sistemlerde en çok kullanılan enerji kaynakları olmuşturlar.



Şekil 2. Aylık ortalama solar radyasyon (kWh/m²/gün) ve rüzgâr hızı (m/s) profil verileri.

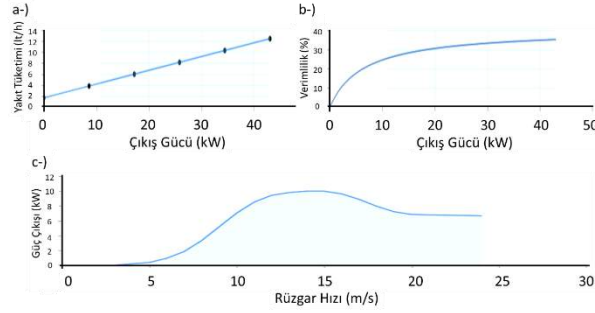
2.2. Kullanılan Komponentler

2.2.1. Dizel Jeneratör

Yapılan araştırmalara göre dizel jeneratörlerin kW başına 250\$-500\$ arasında bir maliyeti olduğu görülmüştür [3]. Bu projede kullanılan dizel jeneratör için 300 \$/kW maliyet değeri baz alınmıştır. Dizel jeneratörlerin fiyatı kapasitesi arttıkça ters orantılı olarak düşmektedir ve daha büyük kapasiteli jeneratörlerin kW başına maliyeti azalmaktadır. Hibrit enerji sisteminde kullanılan jeneratörün yakıt tüketimi ve verimlilik eğrileri Şekil 3a-b' te verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi jeneratörün etiket değerine yakın değerlerde kullanılması verimliliğin artmasına neden olmakta ve kW başına tüketilen yakıt miktarı azalmaktadır. Bu çalışmada dizel yakıtın fiyatı 1,2\$ alınmıştır [9].

2.2.2. Rüzgâr Türbini

Birim enerji maliyetinin düşürülmesi için en uygun sistemlerden biri rüzgâr türbini sistemidir. Ancak kurulum maliyeti yüksek olduğu için düşük kapasiteli rüzgâr santrali sistemleri fiyat bakımında elverişli değildir. Yapılan araştırmalarda rüzgâr türbini sisteminin kurulum maliyeti kW başına 2500\$ [11] olduğu görülmüştür. Sistemde kullanılan rüzgâr türbini 10 kW güce sahip olup kurulum maliyeti 25000\$'dır. Kurulum maliyetinin yanında değişim maliyeti 25000\$ ve bakım maliyeti 400\$/yıl olarak belirlenmiştir. İlgili rüzgâr türbine ait güç/hız eğrisi Şekil 3b' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Dizel jeneratöre ait a-) yakıt tüketim ve b-) verimlilik eğrileri. c-) Rüzgâr tribününe ait güç-hız eğrisi.

2.2.3. Güneş Paneli

Güneş panelleri herhangi bir hareketli aksana gerek kalmadan güneş ışınlarından doğrudan elektrik enerjisi üretmeye yarar ve güneş enerjisi tüm dünyanın enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılayabilecek en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Sistemde kullanılan panel HOMER programındaki entegre panellerden bir tanesi olup önemli olan parametre watt başına maliyet bilgisidir. Güneş paneli fiyatları günümüzde watt başına 45 cent [10], güneş paneli sistemlerinin kurulum maliyetleri ise 1000 \$/kW civarlarında olup yapılan hesaplamalarda da bu değerler baz alınmıştır [11].

2.2.4. Batarya

Bataryalar aldığı elektrik enerjisini kimyasal formda depolayabilen elektro kimyasal elemanlardır ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen enerjinin kullanım fazlasının daha sonra kullanılma amacı ile depolanmasını sağlar. Sistemde 1 kWh kapasiteye sahip lityum iyon bataryalar kullanılmış olup maliyet değeri her 1 kWh başına 200\$ olarak alınmıştır [12]. Kullanılacak olan batarya sayısı önemli oranda etkileyen deşarj derinliği yüzdesi ise %80 olarak alınmıştır.

2.2.5. Termal Yük Kontrolörü

Termal yük kontrolörü (Thermal Load Controller-TLC) termal yük sistemiyle elektrik yükü sistemi arasında bağlantı kurar. Elektrik sisteminde üretilen fazla enerjiyi termal yük barasına aktarır ve böylece ısınma amaçlı fazla enerji kullanımının önüne geçmiş olur. Termal yük kontrolörünün kW başına maliyeti HOMER programında verilen 200\$ esas alınarak hesaplama yapılmıştır.

2.2.6. Kazan

HOMER kazan (boiler) sistemini termal yükün ihtiyacını karşılamak için kullanır ve enerji kaynağı olarak dizel yakıt tüketilir. Sistemde kullanılan kazanın verimi %85 olarak girilmiştir.

2.3. Ekonomik Analiz Girdileri

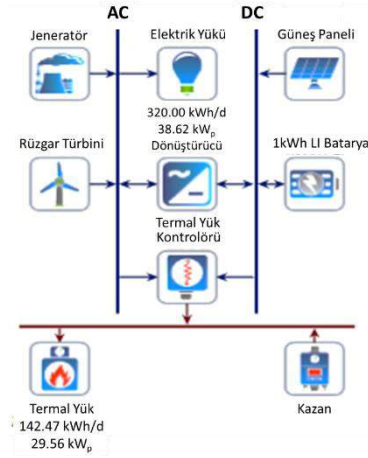
HOMER programı maliyet hesaplamaları yaparken yıllık gerçek faiz oranını kullanılır. Gerçek faiz oranı güncel faiz oranı ve enflasyon oranları kullanılarak bulunur. Yıllık gerçek faiz oranı aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$i=(i'-f)/(1+f) \quad (1)$$

burada, i yıllık gerçek faiz oranını, f yıllık enflasyon oranı, i' güncel faiz oranıdır. Bu çalışmada güncel faiz oranı %12 ve enflasyon oranı %10,50 olarak alınmıştır. Bu verilerden gerçek faiz oranının %1,36 olduğu bulunmuştur [13].

2.3. Hibrit Sistem Modeli

Bu çalışmada Manisa'nın Gördes ilçesinde şebekeden bağımsız bir hibrit sistemin HOMER programı ile simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonda en uygun sistemle birlikte diğer sistemlerin de enerji maliyeti ve net şimdiki maliyet değerleri bulunmuştur. Sonrasında ise ana sistem üzerinden hassasiyet analizleri ve optimizasyonlar yapılarak en uygun sistemin bulunması sağlanmıştır. Sistemde optimizasyon yapılırken dizel fiyatı, jeneratörün çalışma gücü aralıkları, jeneratörün kojenerere sistem olarak kullanılması, sistem yüklerindeki değişimler, rüzgâr türbinin kule yüksekliği ve farklı bölgelerde sistemin karşılaştırılması için güneş radyasyon değerleri ve rüzgâr hızları değiştirilmiştir. Tasarlanan hibrit sistemin şematik görünümü Şekil 4' teki gibi olup hem elektrik yük ihtiyacının hem de termal yük ihtiyacının karşılanmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan hibrit sistem modeli.

3. Çalışma Sonuçları ve Tartışma

Yapılan simülasyonlar neticesinde bölgeye kurulabilecek birçok sistem geliştirilmiştir. Tablo 1’de bulunan en uygun 8 sistemin sonuçları verilmiştir. Sonuçlar bulunurken bölgenin meteorolojik verileri kullanılmış, dizel fiyatı 1,2\$ alınmış, rüzgâr türbini yüksekliği 24 m kabul edilmiş, jeneratörün sadece elektrik üretimi yaptığı kabul edilmiş, jeneratörün devreye girme yükü %25 olarak alınmış ve sistem yüklerinin değişmeyeip sabit kaldığı durumlar incelenmiştir.

Tablo 1. Simülasyon sonucu açığa çıkan hibrit enerji modelleri listesi.

Architecture										Cost			System	
PV (kW)	G10	Gen (kW)	1kWh LI	TLC (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
114		44,0	297	100	40,0	LF	\$0,198	\$643.674	\$20.153	\$218.861	64,5	10.462		
107	1	44,0	267	100	38,8	LF	\$0,198	\$644.871	\$19.670	\$230.225	65,4	10.046		
7		44,0	159	100	24,9	CC	\$0,445	\$1,25M	\$47.712	\$247.465	24,3	29.406		
		44,0	123	100	21,1	CC	\$0,520	\$1,44M	\$65.118	\$64.128	0	45.156		
112		44,0		100	19,9	CC	\$0,623	\$1,69M	\$73.036	\$151.433	18,6	44.764		
105	1	44,0		100	19,9	CC	\$0,630	\$1,71M	\$73.013	\$169.435	20,4	44.219		
6		44,0		100		CC	\$0,660	\$1,78M	\$75.894	\$183.200	15,3	45.278		
		44,0		100		CC	\$0,663	\$1,79M	\$83.285	\$33.200	0	53.566		

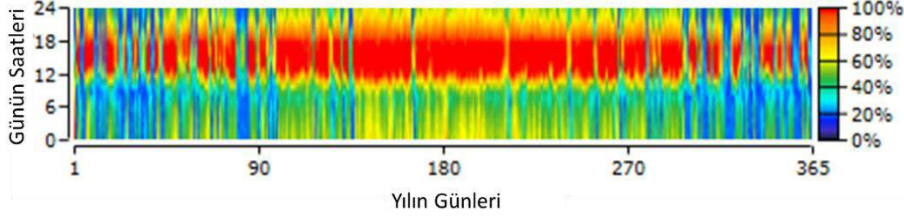
Simülasyon belirlenen parametreler dahilinde bölgedeki en uygun sistemlerinin analizini yapar. Yapılan simülasyonda en uygun birim enerji maliyeti 0,198\$ olarak bulunmuş ve iki farklı sisteme ait aynı değer elde edilmiştir. Birinci sistem rüzgâr türbini kullanmazken ikinci sistem rüzgâr türbini kullanmaktadır. İlk sistemde 114 kW’lık güneş paneli, 44 kW’lık dizel jeneratör, 297 kWh’lık batarya depolama sitemi, 100 kW lık termal yük kontrolörü ve 40 kW’lık dönüştürücü kullanılmıştır. İkinci sistemin tek farkı rüzgâr türbininin eklenmiş olmasıdır ve bu eklenme güneş panellerinin kurulum gücünü 107 kW’a, batarya sistemini 267 kWh’a düşürmüştür ancak yenilenebilir enerji faktörünü %64,5’ten %65,4’e çıkarmıştır. Rüzgâr türbinin eklenmesiyle kışın güneş panellerinin üretilmediği elektriği rüzgâr türbini üretmiş ve jeneratörün çalışma yükünü azaltarak yakıt tüketiminin 10462 lt’ den 10046 lt’ ye düşmesini sağlamıştır. Sistemin tek dezavantajı ise rüzgâr türbinin kurulum maliyetinin yüksek olması sebebiyle ilk yatırım maliyeti artmış olmasıdır. Buna karşın Tablo 2’ de görüldüğü gibi emisyon değerlerinde %3,98’lik azalma görülmüştür. Sistemin yatırım maliyetine yapılacak bir miktar eklemeye kurulabilecek sistem çok daha çevreci olacak olup emisyon salınımlarını azaltacak ve aynı enerji maliyeti ile enerjinin üretilmesi sağlanacaktır. Sürdürülebilir bir dünya için bu ve bunun gibi eklemeler tüm sistemler için her daim düşünülmelidir.

Tablo 2. En uygun hibrit enerji sistemlerinin emisyon değerleri karşılaştırması.

	1. Sistem (Birimler: kg/yıl)	2. Sistem (Birimler: kg/yıl)
Karbon Dioksit	27.544	26.455
Karbon Monoksit	79,5	73,4
Yanmamış Hidrokarbon	3,47	3,2
Patikül Madde	0,482	0,445
Sülfür Dioksit	67,9	65,2
Nitroz Oksit	74,7	69

3.1. Batarya Kullanılmasının Sisteme Etkileri

Normal şartlarda batarya banklarının kullanılması sistem maliyetini önemli oranda arttıracakı düşünülerek tercih edilmezler. Ancak yapılan simülasyonlar sonucunda batarya kullanımının özellikle şebekeden bağımsız sistemlerde maliyete pozitif yönde etki ettiği görülmektedir. Güneş yoğunluğunun ve rüzgâr hızlarının yıl boyunca genele yayılmaması bataryasız sistemlerde jeneratörün kullanım sıklığını arttırmaktadır. Batarya kullanılan sistemlerde birim enerji maliyeti 0,198\$'a kadar düşerken bataryasız sistemlerde birim enerji maliyetinin 0,623\$ olduğu Tablo 1'de görülmektedir. Maliyetin yanı sıra bataryasız sistemlerin yenilenebilir enerjinin oranı %64,5'ten %18,6'a düşmüş ve beraberinde çevreye salınan zararlı gazların %428,55 oranında artmasına neden olmuştur. Alışılmışın aksine batarya depolama sisteminin hem maliyeti düşürdüğü hem de emisyon oranlarında ciddi düşüşe neden olduğu görülmüştür. Şekil 5 batayaların yıl içerisindeki şarj durumunu saatlik olarak göstermekte ve ne kadar aktif kullanım olduğu görülmektedir. Görüleceği gibi güneş ışınlarının yoğun olduğu öğle saatleri batarya bankları %100 dolu olup günün diğer saatlerinde yüklerin beslenmesinde kullanılmaktadır.



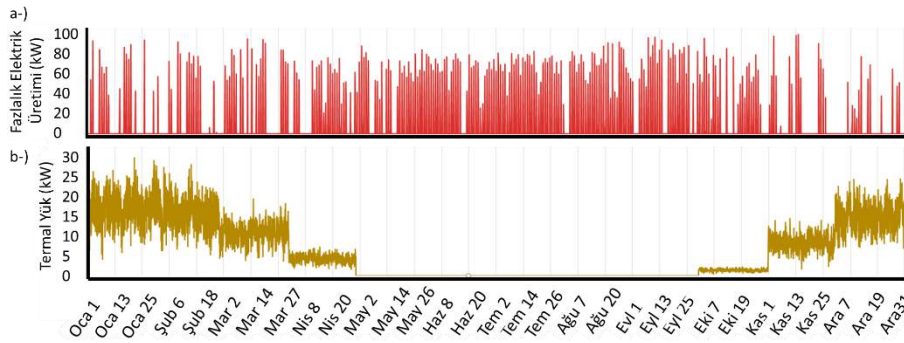
Şekil 5. Yıl boyunca saatlik batarya banklarının doluluk oranı.

3.2. Jeneratörün Farklı Çalışma Yüklerinin Sisteme Etkisi

Yapılan simülasyonda hassasiyet analizi olarak jeneratörün devreye girme yükü %25, %50, %75 olarak 3 ayrı kategoride incelenmiş ve dizel fiyatının zamanla artarak 1,2\$,-1,3\$,-1,4\$,-1,5\$ değerlerinde olabileceği varsayılmıştır. Simülasyon sonucunda jeneratörün sadece %75 yükten fazla çalışması durumunda birim enerji maliyetinin 0,183\$/kWh seviyelerine kadar indiği görülmüştür (tüm yüklerde kullanım halinde: 0,198\$/kWh). Ayrıca jeneratör sürekli yüksek yüklerde çalıştığı için çalışma verimi de sürekli yüksek seviyelerdedir. Jeneratörün yüksek verimlerde çalışması daha az yakıt tüketmesini sağlamaktadır. Jeneratör tüm yüklerde devreye girdiğinde ortalama 12,9 kW gücünde çalışmıştır. Yıllık 4744 Litre yakıt harcarak 12461 kWh elektrik üretimi yapmıştır. Jeneratörün ortalama verimi ise %26,7'de kalmıştır. Ama jeneratör minimum %75 kapasitede ortalama 33 kW gücünde çalışarak %33,7 verimlilik yakalamıştır. Yakaladığı bu verimlilikle hem yıllık 439 Litre daha az yakıt harcamış hem de 1795 kWh daha fazla elektrik üretimi yapmıştır. Jeneratörün verimli kullanılması fazla elektrik üretimini de etkilemiştir. Verimli çalışma ile yaklaşık 4000 kWh daha az fazla elektrik üretilmiştir. Ayrıca çevreye yaymış olduğu zararlı gazların %9,25 oranında azaldığı görülmüştür. Dizel fiyatı 1,4\$ seviyesini geçtiğinde sisteme rüzgâr türbini eklenmesi gerektiğini ortaya çıkmıştır.

3.3. Termal Yük Kontrolünün Sisteme Etkisi

Termal yük kontrolörü sistemin ürettiği fazla elektriğin 9510 kWh' lik kısmını geri kazandırarak termal yüke katkı sağlamış, böylece kazanın daha az üretim yapmasını sağlayarak çevreye salınan zararlı gaz emisyonunu %16,73 oranında azaltmıştır. Sistemimizdeki ana güç üreticimiz fotovoltaik paneller olduğundan yaz aylarında daha fazla enerji üretilerek fazlalık enerjinin yaz aylarında birikmesine neden olmaktadır. Buna karşın termal yük ihtiyacımız kış aylarında yükselmekte ve bundan dolayı fotovoltaiklerin üretmiş olduğu fazlalık enerjinin termal yük kontrolörü tarafından kullanılması özellikle yaz aylarında mümkün olmamaktadır. Şekil 6 yıl içerisinde üretilen fazlalık elektriğin ve termal yük ihtiyacını göstermektedir. Sistemin verimli kullanılabilmesi için özellikle Mayıs-Ekim ayları arasındaki üretilen fazlalık enerjinin farklı soğutma sistemlerinde kullanılması yaz aylarında soğutma için harcanan enerji miktarında önemli oranda azalmaya neden olur.

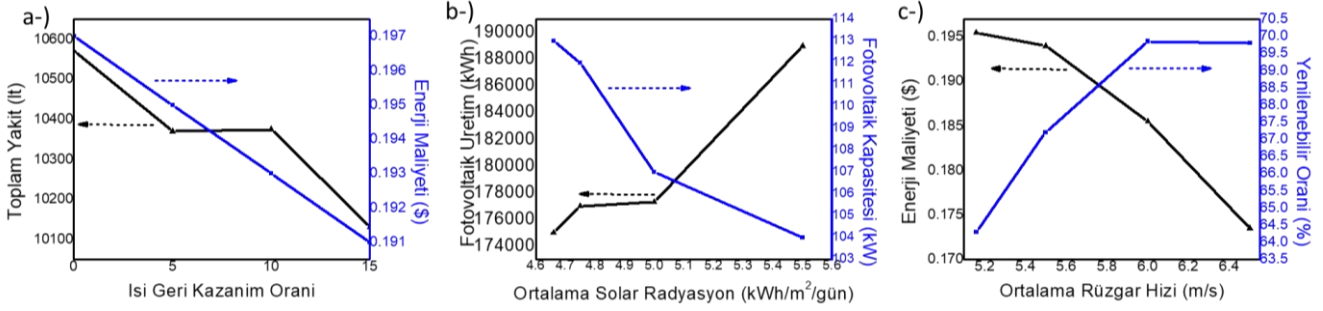


Şekil 6. Yıllık a-) fazla elektrik üretimi b-) termal yük profili grafikleri.

3.4. Jeneratörün Kojenerasyon Sistemi İle Atık Isısının Kullanılması

Jeneratörler elektrik üretimi yaparken kayıpların büyük kısmını ısı kayıpları oluşturur. Bu ısı kayıpları kojenerasyon sistemiyle ısı enerjisi olarak kullanılabilir. Kullanmış olduğumuz benzetim programı jeneratörün elektrik üretimi sırasında açığa çıkardığı ısıyı termal yükte kullanmak üzere geri kazanabilir. Yapılan simülasyonda ısı geri kazanım oranı %15' lere kadar artırılarak sisteme olan etkileri incelenmiştir. Jeneratörün ısı geri kazanım oranı arttıkça kazan yakıt tüketiminin yıllık 500 lt azaldığı görülmüştür. Tüketilen yakıt miktarındaki azalmanın yanı sıra CO2 ve SO2 emisyonlarında da %4,4' e varan düşüşler gözlemlenmiştir. Azalan yakıt

tüketimiyle beraber birim enerji maliyeti de azalmış ve 0,191\$' a kadar düşmüştür. Jeneratör ısı kazanım oranının birim enerjiye ve yakıt kullanımına etkisi Şekil 7a'da gösterilmiştir.



Şekil 7. a-)Jeneratör ısı kazanım oranının yakıt kullanımı ve birim enerji maliyetine etkisi. b-) Güneş radyasyonunun fotovoltaik enerji üretimine ve fotovoltaik kapasitesine etkisi c-) Ortalama rüzgâr hızının enerji maliyeti ve yenilenebilir enerji oranına etkisi.

3.5. Lokasyona Bağlı Solar Radyasyonun Sisteme Etkisi

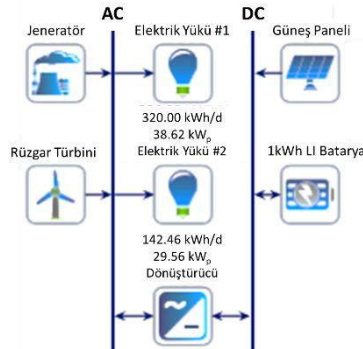
Simülasyonu yapılan hibrit sistem daha önce de bahsedildiği gibi Türkiye'nin güneş ve rüzgâr olarak ortalama potansiyeline sahip bir bölgesinde yapılmıştır. Aynı sistemin solar radyasyon açısından daha iyi konumda olan bölgelerde kullanılması durumunda ekonomik ve teknik parametrelerde nelerin değişeceğini tespit etmek için ortalama solar radyasyon olarak 4,66-4,75-5 ve 5,5 kWh/m² değerleri girilerek hassasiyet analizleri yapılmıştır. Yapılan simülasyonda günlük güneş radyasyon ortalaması arttıkça panellerin daha verimli çalıştığı, daha az paneller daha çok elektrik üretildiği ve birim enerji maliyetinin 0,179\$'a kadar düştüğü Şekil 7b'de gösterilmiştir. Kış radyasyonunun artması sonucunda termal yük kontrolörü kışın da fazla elektriği kullanabileceğinden termal yüke daha fazla katkı sağlayabilecektir. Bu sayede kazanın çalışması azalarak yakıt tüketimini düşecek ve emisyon değerlerinde azalma meydana gelecektir. Tüm bunların yanı sıra sistemin yenilenebilir enerji oranı da %66,5' lere kadar çıkacaktır. Bu artış jeneratörün etkinliğinin azalıp güneş panelleri etkinliğinin arttığını ve bu sayede atmosfere salınan zararlı gazların azaldığını göstermektedir.

3.6. Ortalama Rüzgâr Hızının Sisteme Etkisi

Solar radyasyonda olduğu gibi simülasyonu yapılan sistemin daha fazla rüzgâr alan farklı bir bölgede kurulması durumunda sistem parametrelerinde meydana gelecek değişikliklerin tespiti için ortalama rüzgâr hızının 5,16-5,5-6 ve 6,5 m/s olması durumları incelenmiştir. Ortalama rüzgâr hızının yaklaşık 5,2 m/s'nin üzere çıktığı zamanlarda rüzgâr türbinin aktif kullanımı birim enerji maliyetini düşürmektedir. Birim enerji maliyeti sabit kule yüksekliği ve sabit dizel fiyatında 0,174\$'a kadar düşmüş ve yenilenebilir enerji üretim oranı %71,8' e kadar çıkmıştır. Yenilenebilir enerji oranının artması zararlı gazların salınımını %10-15 oranında azaltmıştır. Rüzgâr hızı güneş radyasyonuna nazaran yıl boyunca daha orantılı olup rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerjinin yıl boyunca çok fazla değişmemesini sağlamaktadır. Termal yük kontrolörü kış aylarında solar panelden alamadığı fazla elektrik enerjisini rüzgâr türbinlerinde almakta, bu da hem jeneratör elektrik üretiminin azalması hem de kazanın daha az termal enerji oluşurmasını önleyerek emisyon oranlarında ciddi düşüşlere neden olmaktadır. Ortalama rüzgâr hızının 6,5 m/s, kule yüksekliğinin ise 40 metreye çıkarılması birim enerji maliyetini 0,166\$'a kadar düşürmüştür. Rüzgâr hızı ve kule yüksekliğinin sisteme etkisi ve enerji maliyetinin değişimi Şekil 7c'te gösterilmiştir.

3.7. Termal Isı İhtiyacının Kazan Yerine Elektrikli Aletlerden Sağlanması

Şimdiye kadar incelenen sistemlerde termal ısı ihtiyacının termal yük kontrolörü (fazlalık enerji) ve kazan tarafından sağlandığı görülmüştür. Kazan sistemin karmaşık olması ve tüm evlere iletim hatlarının kurulması bazı sıkıntılar ortaya çıkarabileceğinden ısıtma ihtiyacının toprak kaynaklı ısı pompaları ve normal elektrikli ısıtıcılar tarafından karşılanması durumları da incelenerek maliyet analizleri yapılmıştır. Isı pompaları rezistanslı ısıtıcılara göre 3 katı daha verimli olup rezistanslı ısıtıcılar harcamış olduğu elektrik enerjisini doğrudan ısı enerjisine dönüştürmektedir [14-15]. Isıtma için toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığında ortalama 47,5 kWh/gün, geleneksel ısıtıcılar kullanıldığında ise 142,47 kWh/gün enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 8 termal yükün elektrik yükü olarak alınması sonucu ortaya çıkan hibrit enerji sistemi modelini göstermekte olup "Elektrik Yükü #2" termal yükün elektrik enerjisi karşılığını ifade etmektedir.



Şekil 8. Termal yükün elektrik enerjisinden karşılanması durumunda oluşturulan HOMER modeli.

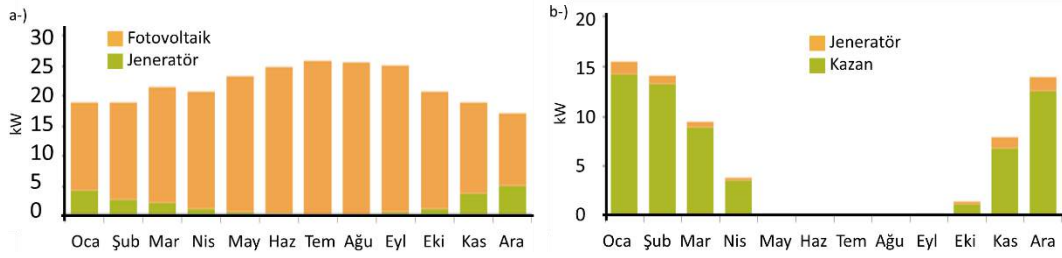
Yapılan simülasyonlar sonucunda ısıtma ihtiyacının elektrik ile karşılanması durumunda sistemin kurulu gücünün 2 katı olması gerektiği görülmüştür. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanımında birim enerji maliyeti 0,218\$ iken geleneksel ısıtıcı kullanımında birim enerji maliyeti 0,248\$ olarak bulunmuştur. Toprak kaynaklı ısı pompası ve geleneksel ısıtma sistemlerinin kullanılması durumunda sistem parametrelerinin ne olacağı Tablo 3’ te görülmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanımında geleneksel ısıtıcılardan elde edilen sisteme göre kurulu güç %25 oranında azalmış ve depolama ihtiyacı 531 kWh’ ten 380 kWh’e inmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanımı enerji maliyetini ciddi oranda azaltmış, yenilenebilir enerji oranını %89,6’ lara çıkarmış ve kazanda üretilen enerjinin ortaya çıkardığı hava kirliliğinin de önüne geçilmiştir. Ancak toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımı her ne kadar iyimser gözükse de kazan kullanımında elde edilen enerji maliyeti seviyelerine inilememiş ve kazan sisteminin en uygun ısıtma sistemi olduğu gerçeğini ortaya koymuştur.

Tablo 3. Isı pompası ve geleneksel ısıtma sistemlerinin kullanılması ile elde edilen sistem verileri.

Sensitivity	Architecture								Cost				System	
Electric Load #2 Scaled Average (kWh/d)	PV (kW)	G10	Gen (kW)	1kWh Li	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)		
142	233	75,0	531	50,6	LF	\$0,248	\$883.710	\$24.023	\$377.306	85,7	8.752			
47,5	173	75,0	380	43,5	LF	\$0,218	\$615.258	\$15.670	\$284.928	89,6	5.285			

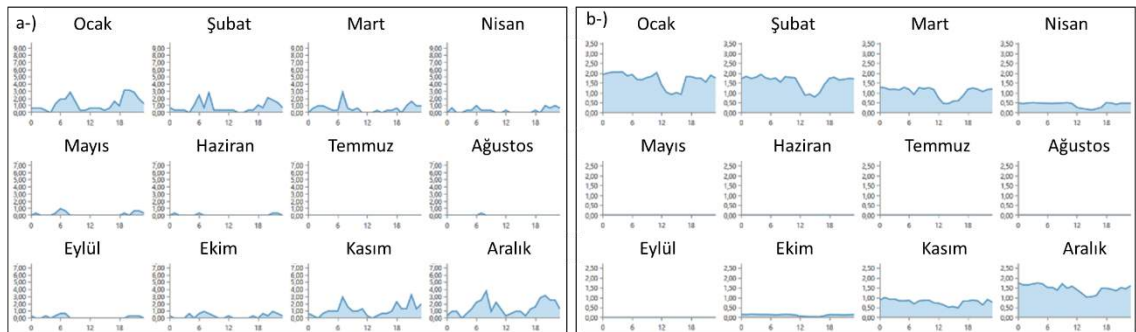
4. Tüm Optimizasyon ve Hassasiyet Analizlerinin Değerlendirilmesi

Yapılan optimizasyon ve hassasiyet analizleri sonucunda sistemin daha da geliştirilebileceği açıkça ortaya konmuştur. Tüm araştırmalar sonunda maksimum verimlilikte çalışan sistemin şu özelliklere sahip olması gerektiği görülmüştür: Bataryaların etkin bir şekilde kullanılması, Jeneratörün en az %75 kapasitede çalıştırılması, Jeneratörün atık ısısından faydalanılması, Termal yük kontrolörünün (TLC) kullanılması, Kazan sistemi ile ısıtma ihtiyacının karşılanması. Tüm bu parametreler sisteme eklendiğinde sistemin birim enerji maliyetinin \$0,178 seviyelerine düştüğü görülmüştür. Elektrik üretiminin büyük bir kısmı güneş panellerinden elde edilirken jeneratörün atık ısısından faydalanılması kazanın çalışmasını azaltmış ve emisyon salınımlarını düşürmüştür. Elektrik enerjisinin ve termal enerjinin sağlanmasında kullanılan üretim metodlarının dağılımı Şekil 9’ da gösterilmiştir.



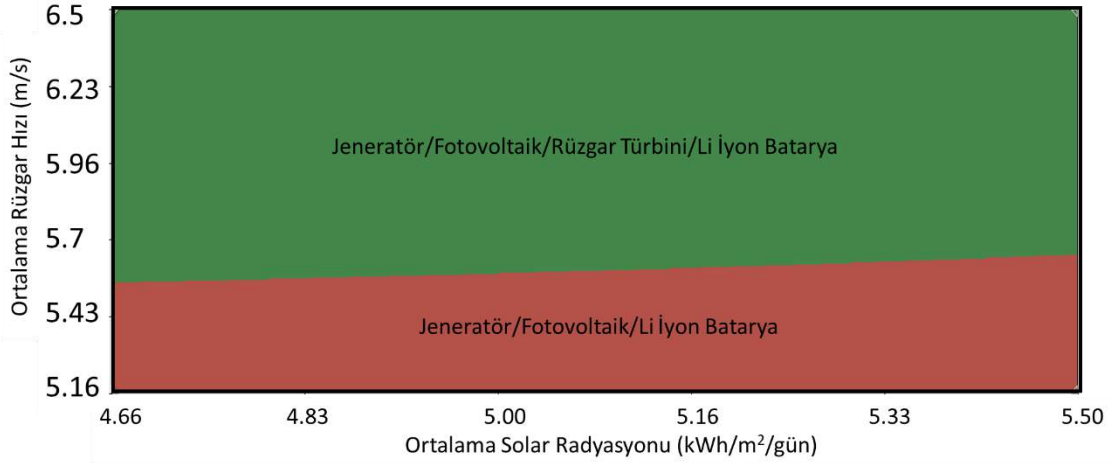
Şekil 9. Elektrik ve termal enerji üretiminin bileşenlere ayrılmış hali.

Sistemin elektrik gücünün %92,4'lük bir kısmının güneş panelleri ile sağlanması jeneratörün yaz aylarında etkin kullanılmadığını göstermektedir. Yakıt tüketiminin çoğunluğu hem kazanın hem de jeneratörün etkisiyle kış aylarında olduğu görülmüştür. Yakıt tüketiminin yaklaşık %46,4'ü jeneratör % 53,6'sı kazan tarafından kullanılmaktadır. Yıllık yakıt tüketimi Şekil 10’ da gösterilmiştir.



Şekil 10. Aylara göre anlık a-) Jeneratör ve b-) kazan yakıt kullanım oranları.

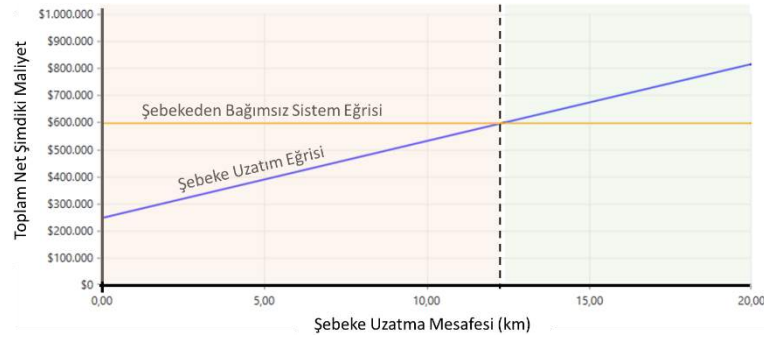
Yapılan araştırmalar Türkiye geneli ortalama güneş radyasyonu ve ortalama rüzgâr hızları için yapılmıştır. Ancak, Türkiye coğrafyasında ortalama rüzgâr hızının 6,5 m/s, ortalama güneş radyasyonunun ise 5,5 kWh/m²/gün seviyelerine çıkabileceği konular söz konusu olabilmektedir [16,17]. Ortalama değer ile bahsedilen maksimum değerler arasında değişebilecek ortalama rüzgâr hızı ve ortalama solar radyasyon değerleriyle hassasiyet analizleri yapılmış ve Şekil 11’ deki grafik elde edilmiştir. Türkiye’de rüzgâr hızının 6,5 m/s hızlara ulaşabildiği yerlerde maliyetin rüzgâr türbinleri kullanılarak \$0,166 seviyesine indiği, güneş radyasyonunun 5,5 kWh/m²/gün seviyelerine çıktığı bölgelerde ise enerji maliyetinin \$0,164 seviyelerine indiği görülmüştür. Şekil 11’ de görüldüğü gibi rüzgâr hızı 5,5 m/s seviyesine ulaştığında, sisteme rüzgâr türbini eklenmesi gerektiği görülmektedir.



Şekil 11. Rüzgâr hızı ve güneş radyasyon değerlerine bağlı hassasiyet analiz sonucu.

Sistemin emisyon açısından değerlendirilmesi durumunda oldukça iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir. Hem jeneratör hem de kazanda aktif olarak dizel yakıtı kullanmamıza rağmen yıllık CO₂ salınımı 25447 kg/yıl olarak bulunmuştur. Bu değer tek başına çok gözüktüğü de Türkiye’de şebeke elektrik üretimi için salınan CO₂ miktarı 0,5 kg/kWh civarlarındadır [19] ve hibrit enerji sisteminin kWh başına salınım değeri sadece 0,1 kg olup şebekeye nazaran 5 kat daha az zehirli gaz salınımı yapacağı ortaya çıkmaktadır.

Sistemin yatırım maliyetleri düşünüldüğünde elektrik hatlarına kısa mesafeli konumlarda şebeke hatlarının uzatılarak elektrik enerjisi verilmesi sağlanabilir. Ancak, şebeke hatlarının km başına maliyeti ve gerekli yasal izin prosedürleri işleri zorlaştırmakta. Şebeke uzatma maliyeti ile sistem maliyeti karşılaştırıldığında 12,3 km² lik mesafeye kadar şebeke hattının uzatılması, bu mesafeden sonra ise hibrit enerji sistemin kurulmasının daha mantıklı olacağı görülmektedir. Yapılan bu karşılaştırma sadece maliyet bazlı olup çevreye salınan zararlı gazlar kesinlikle düşünülmemiştir. Tüm bunlar düşünüldüğünde mesafe ne olursa olsun yenilenebilir enerji oranının yüksek olduğu sistemler sürdürülebilir bir dünya için en iyi seçenek olmalıdır.



Şekil 12. Şebeke hattının uzatılması ve sistem maliyeti arasındaki ilişki grafiği.

5. Sonuç

Bu çalışmada elektrik hattının ulaşamadığı veya elektriğin verilemediği bölgeler için araştırmalar yapılarak şebekeden bağımsız şekilde hem elektrik hem de ısıtma yükünün karşılanabileceği hibrit sistem analizleri yapılmıştır. Toplanan verilerin HOMER programında kullanılmasıyla farklı sistemler karşılaştırılarak simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre hibrit sistemde bataryaların etkin bir şekilde kullanılması gerektiği görülmüş, jeneratörün atık ısını kullanmanın sisteme katkıda bulunduğu açıkça gösterilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda seçilen sistemin kurulum maliyeti 215.958\$, operasyon maliyeti 18.029\$ ve tüm projenin net bugün ki maliyeti 598.958\$ olduğu hesaplanmıştır. Birim enerji maliyetinin \$0,164 seviyelerine indiği görülmüştür. Maliyetin düşmesi toplu elektrik kullanımlarında bireysel yatırımlara göre daha iyi fiyat aralığına ulaşıldığını göstermiştir. Her hanenin yaklaşık 15000 \$ yatırım yapmasıyla 25 yıllık hem elektrik hem de ısıtma ihtiyacının karşılayabileceği düşünülmektedir. Günümüz şebeke maliyeti ortalama 0,116 \$/kWh seviyelerinde olup kurulacak sistemin 25 yıllık süre boyunca hem elektrik hem de ısıtma ihtiyacının ortalama 0,164\$ seviyelerine kadar inmesi bu alanda umut var olmamızı sağlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle yenilenebilir enerji komponent maliyetlerinin düşmesi, fosil yakıtların tüketimine bağlı fiyat artışıyla yakın zamanda hibrit enerji sistemlerinin ürettiği enerjinin birim maliyetinin geleneksel yolla üretilen enerjiden daha uygun olacağı gerçeğini ortaya koymaktadır.

Kaynakça

- [1] Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.

- [2] Engin, M. (2010). Bornova İçin Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji Üretim Sistemi Tasarımı. Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2(13), 11-20.
- [3] Türkdoğan, S., Dilber, S., & Çam, B. (2018). Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik Ve Teknik Açından İncelenmesi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2), 52-65.
- [4] Google Earth. (2020). Overview – Google Earth. [Online] Available At: <https://Earth.Google.Com/> [Accessed 11 Feb. 2020].
- [5] Sayfa, A. And Bilgiler, F. (2020). Türkiye’de Hane Başına Düşen Ortalama Elektrik Tüketimi Ne Kadar ?. [Online] Gazelektrik. Available At: <https://Gazelektrik.Com/Faydali-Bilgiler/Elektrik-Tuketimi> [Accessed 11 Feb. 2020].
- [6] Passivhaus-Vauban.De. (2020). Pasifev Nedir?. [Online] Available At: <https://Www.Passivhaus-Vauban.De/Passivhaus.Tr.Html> [Accessed 11 Feb. 2020].
- [7] Eser, C., Öner, F., Başoğlu, O., Bilir, L., Özcan, N. Y., & Özcan, H. G. Urla-İzmir’de Bulunan Müstakil Bir Ev İçin Bütünleşik Hibrit Sistem Analizi.
- [8] Nasa, Surface Meteorology And Solar Energy, https://Eosweb.Larc.Nasa.Gov/Cgi-Bin/Sse/Grid.Cgi?&Num=210131&Lat=40&Submit=Gnder&Hgt=100&Veg=17&Sitelev=600&Email=Skip@Larc.Nasa.Gov&P=Grid_Id&Step=2&Lon=29, (26.12.2019).
- [9] <https://Www.Opet.Com.Tr/Manisa-Akaryakit-Fiyatları> [Accessed 22 Dec. 2019].
- [10] Fu, R., Feldman, D. J., & Margolis, R. M. (2018). Us Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018 (No. Nrel/Tp-6a20-72399). National Renewable Energy Lab.(Nrel), Golden, Co (United States).
- [11] Erkoç, R. (2019). Güneş Enerji Santrallerinin Modellenmesi, Ekonomik Analizi Ve Değerlendirme: Almanya Ve Türkiye Uygulamaları (Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [12] Curry, C. (2017). Lithium-İon Battery Costs And Market. Bloomberg New Energy Finance, 5.
- [13] Yılmaz, U., Demirören, A., & Zeynelgil, H. L. (2010). Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Politeknik Dergisi, 13(3), 215-223.
- [14] Energy, E. (2014). Guide To Pv Watts Derate Factors For Enphase Systems When Using Pv System Design Tools. An Enphase Energy Technical Report.
- [15] Ozdemir, M. B., & Ozkaya, M. G. (2015). Energy And Exergy Analyses Of The Vertical Type Ground-Sourced Heat Pump For Ankara Conditions. Journal Of Polytechnic-Politeknik Dergisi, 18(4), 269-280.
- [16] Mgm.Gov.Tr. (2020). Türkiye Rüzgâr Atlası - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. [Online] Available At: <https://Www.Mgm.Gov.Tr/Genel/Ruzgar-Atlasi.AspX> [Accessed 27 Dec. 2019].
- [17] Mgm.Gov.Tr. (2020). Radyasyon Mevsimler - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. [Online] Available At: https://Www.Mgm.Gov.Tr/Kurumici/Radyasyon_İller.AspX [Accessed 27 Dec. 2019].
- [18] Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 67-74.



Smart House with Artificial Intelligence

Melek Tomuş^{1*} Neslihan Dostoğlu²

¹ Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5947-214X)

² İstanbul Kültür Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 15 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.689634)

ATIF/REFERENCE: Tomuş, M. & Dostoğlu, N. (2020). Smart House with Artificial Intelligence. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 486-493.

Abstract

Technological developments are diversified every day from the early periods of human existence, changing human life more and more. The most intense period of these developments is the IT Revolution. This period has brought processes such as artificial intelligence, electronic commerce and online life. Just as a hundred years ago, electricity transformed everything, and artificial intelligence is expected to transform all industries today.

Technological developments in recent years have also shown itself in the design and production of housing and have begun to change the technical characteristics of the houses that improve the quality of life of the user. The way homes are used has changed, people have become used for their homes for work, entertainment and their families. Sustainable to produce time-appropriate solutions, to save energy and living costs while protecting nature, in short, to improve quality of life, to facilitate life at home, to provide a safer, more comfortable and more costly environment. Smart House" proposal has also emerged in this process.

It's impossible to predict what the future will look like. However, it will show time whether human intelligence will increase or remain in the shadow of artificial intelligence, thanks to smart homes that are becoming widespread by the development of technology. The purpose of this study was analyzed by the SWOT method of smart homes thanks to extensive literature research on smart homes and interviews with smart home experts. This study is expected to make an important contribution to interdisciplinary studies.

Anahtar Kelimeler: Smart Home, Artificial Intelligence, Architecture and Technology, Energy Saving, Quality of Life.

Yapay Zekaya Sahip Akıllı Evler

Öz

Teknolojik gelişmeler insan varlığının ilk dönemlerinden itibaren her geçen gün çeşitlendirilmekte ve insan yaşamını giderek daha fazla değiştirmektedir. Bu gelişmelerin en yoğun yaşandığı dönem Dördüncü Endüstri Devrimi olarak bilinen Bilişim Devrimi'dir. Bu dönem yapay zeka, elektronik ticaret ve online yaşam gibi süreçleri getirmiştir. Tıpkı yüz yıl önce olduğu gibi, elektrik her şeyi dönüştürmesi gibi yapay zekanın da günümüzde bütün endüstrileri dönüştürmesi beklenmektedir.

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler insan yaşamının her alanında olduğu gibi konut tasarımında ve üretiminde de kendini göstermiş ve konutların kullanıcının yaşam kalitesini arttıran teknik özelliklerini değiştirmeye başlamıştır. Evlerin kullanım şekli değişmiş, insanlar evlerini iş, eğlence ve aileleri için kullanır hale gelmiştir. Sürdürülebilir ve zamana uygun çözümler üretmek, teknolojik ürünleri yönetmek ve doğayı korumakla birlikte enerji ve yaşam maliyetinde tasarruf sağlamak, kısacası yaşam kalitesini artırmak için, daha güvenli, daha konforlu ve daha tasarruflu bir ortam sunan sürdürülebilir "Akıllı Ev" önerisi de bu süreçte ortaya çıkmıştır.

Geleceğin nasıl olacağını tahmin etmek mümkün değildir. Ancak, teknolojinin gelişmesi ile yaygınlaşan akıllı evler ile insan zekasının artacağı mı, yoksa yapay zekanın gölgesinde mi kalacağını zaman gösterecektir. Bu çalışmanın amacı, kapsamlı literatür araştırması ve akıllı ev uzmanlarıyla yapılan görüşmeler sonucunda çıkan veriler, SWOT yöntemiyle değerlendirilerek disiplinler arası çalışmalara önemli bir katkı sunması beklenmektedir.

Keywords: Akıllı Ev, Yapay Zeka, Mimarlık ve Teknoloji, Enerji Tasarrufu, Yaşam Kalitesi.

* Sorumlu Yazar: Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Antalya, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5947-214X, melektomas07@gmail.com

1. Introduction

When researches in the field of science and technology from before history to the present day are examined, two important points are emerging in the development of technology. The first point is that technology is associated with nature because people shape the world of objects, nature, and sometimes even are inspired by nature. The second point is that people need technological materials to survive (Basalla, 2013).

Mechanical production facilities were established in the First Industrial Revolution with the use of water and steam power. In the Second Industrial Revolution, mass production began with the use of electrical energy. In the Third Industrial Revolution, automation production with electronic systems began. In the Fourth Industrial Revolution, the internet of things, the cellular transport system, autonomous interaction and virtualization were developed.

While the first three phases of the Industrial Revolution have promoted mechanization and mass production, the fourth Industrial Revolution, also known as the It Revolution, has brought processes such as economy, electronic commerce, electronic business and online life (Lighted and Kucukvardar, 2016).

The IT Revolution, which emerged in the late twentieth century, has started a whole new era. This period can also be called the digitization of the industry. The It Revolution, also known as Industry 4.0, includes technological advances such as inter-machine communication, internet, automation, artificial intelligence and robotic devices, where things can communicate with each other over the Internet.

The Fourth Industrial Revolution is not just about smart and connected machines and systems, its scope is much wider. From gene sequences to nano-technologies, there are simultaneous advanced breakthrough waves in a number of fields of quantum information processing from renewable energies. What makes the Fourth Industrial Revolution fundamentally different from previous revolutions is the intersecting and intertwining of these technologies in physical, digital and biological fields (Schwab, 2016).

The technologies that stand out with the Fourth Industrial Revolution are cyber physical systems, horizontal vertical integration, internet of things, learning robots, big data, cloud computing, augmented reality, cybersecurity, three-dimensional printers. Groundbreaking robotic history began in the 21st century. Robots are electromagnetic machines that perform tasks according to predefined instructions. Most robots are equipped with artificial intelligence to make their own decisions (Winston, 2014).

The first smartphone iPhone in 2007 was produced in 2010, the first successful tablet computer. In 2018, Sophia, the first artificially intelligent robot, was produced. In the same year, Google designed the driverless smart car project. With the development of technology, people's approach to work, communication and handling day-to-day work have been redefined. A world connected globally has evolved with the emergence of the Internet. Within the scope of the technical, social and cultural changes contained in the industrial revolution, new materials and requirements first had an impact on railways and bridges and then on buildings, and the search for rational and healthy settlements in the globalized world multiplied.

During the Information Revolution, increased use of technology causes differentities in our everyday lifestyle, daily living needs, as well as manifested in residential design and production and to change the technical characteristics of housing started. To produce time-appropriate solutions, to manage technological products and to protect nature, to save energy and cost of living, in short, to improve the quality of life, The "Smart Home" proposal, which offers a safer, more comfortable and more cost-saving environment that makes life easier, has also become widespread in this process.

In studies on smart home, instead of the concept of smart home to this day; Concepts related to home automation, intelligent structure, building automation system, smart building and integrated home systems have been used. As many different concepts have been used for the name of the smart house to date, various descriptions have been made by many researchers in the smart house to this day (Akdaş, and The Sun, 2015).

The concept of smart home has been described by researcher Lütolf as a home that creates an economical, safe and comfortable environment by combining the different services the user needs in a common communication network (Lütolf, 1992). Smart home, mennicken and friends using computer technologies to increase the comfort of users can be done at home or easier to do things that need to be done, user-sensitive, home it is defined as a technological home that can learn by monitoring the behavior of its residents (Mennicken, Vermeulen, & Huang, 2014).

Aldrich describes the smart house as a home that integrates communication technologies with computers and can offer comfort and security conveniences to home residents (Fernandez, Losada&Domonte, 2014). Güğül has defined the smart house as a safe, comfortable and energy-saving home that can meet the needs of the residents, make their lives easier, and save energy thanks to the integration of home technologies and home automation (Güğül, 2008).

In the 1900s, the invention of small household appliances also led to smart homes developing systems. While the invention of small household appliances is not what we call smart today, it can be seen as a great success for the twentieth century. In 1966, the kitchen computer was named the first smart device, which was able to store recipes, calculate the amount of the shopping list, turn off and off devices based on home temperature (Hendricks, 2014).

Home automation systems used today in smart house: Smoke sensor, door entrance control, thief alarm system, energy measurement, panic button, irrigation, lighting, off-the-floor heating. The aforementioned home automation systems are added according to the user's needs, improving the quality of life of the person and saving energy.

In 1950, push button manor was built by Emil Mathias, considered the first smart house. Many devices at home have been automated by setting up various mechanisms. The curtains have many systems such as automatic withdrawal, closing windows when it rains and lights on when pressed with a pitch (Brudbury, 1950).

In 1991, gerontology science used technology to make life easier for older people. One of these new research and technologies is smart homes. Thanks to smart houses, 24 hours of health checks were carried out. Since 2000, information about smart home has become widespread. Smart homes that provide security, energy saving and comfort are built around the world today with an environmentally friendly sustainable approach. Current home automation systems used in smart homes are used with remote control, automatic lights, smart thermostat, text notifications with user interface, mobile and e-mail tools to be able to program and write scenarios and remote cameras can be supervised by the house.

When the development of smart houses has been examined since 1950, it has been observed that these technologies have entered the houses with the advancement of technology. It is increasingly important that the user is becoming more aware of energy, increased security and ensured safety is provided against potential problems at home. In addition, comfort the quality of life is increased by increasing, health checks are carried out, entertainment facilities are offered. The purpose of this study is to make an overview of smart homes.

2. Smart Home Concept and Smart Home Types

Given the literature research and developments about smart homes to date, smart home is desired to be defined; With scenarios created according to predetermined need programs of homeowners, which can be managed and programmed with technological devices such as smart homes, remote controls, smartphones or tablets, an unusual in case of a new generation of technological facilities that can notify the user, and most importantly, are environmentally friendly, saving comfort, safety and energy, where users can watch their homes at all times and off the ground, and offer them conveniences in their lives design. In smart homes, home automation systems are determined according to the needs of people living in the house, and the characteristics of each smart house are flexible because they vary according to the user's wishes.

Therefore, the definition of a smart house varies according to its users, because everyone's expectation of a smart house is different. For example, elderly people with disabilities and need care, the expectation of a smart home, health checks can be done and the use of their medicines properly, while the need of a university student who wants to celebrate with relatives at home, the sound of the house to make the space of your smart house fit for purpose with various automation systems such as changing the image of the system, light system and walls. Features of the smart house: Home automation systems, energy and ecology, safety and safety, comfort, health, technology, entertainment and flexibility are summarized below.

1) Home Automation Systems

Home automation systems used today in smart home are shown in Figure 1. It varies depending on the needs of the person who uses the smart house. Systems used: Smoke sensor, door entrance control, thief alarm system, energy measurement, panic button, irrigation, lighting, floor heating. The aforementioned home automation systems are added according to the user's needs, improving the quality of life of the person and saving energy.



Figure 1. Home Automation Systems

2) Energy and Ecology

Looking at the past centuries, the way of life of man has changed dramatically. In this context, an architectural approach should be adopted that will not lead to environmental pollution, shortage of resources and deterioration of ecological balance, and should be switched from traditional high consumption mode to low consumption and low pollution mode. Thanks to smart homes, how much electricity each electronic device used at home or in the workplace consumes, no matter where the user is, they can be monitored

instantly and reports can be examined. Thanks to intelligent control technology, power tools, lighting systems, heating cooling systems can save energy (electricity, natural gas, etc.) without giving up comfort.

With the smart home system, energy consumption values and statistics for the past period can be viewed, analyzed and compared to general averages. Energy consumption used in previous months and data from the relevant month can be compared to the energy consumption of future periods. The smart home can continue to control and manage energy consumption even when it is not at home, and alert information messages can be sent to the user when a consumption above the previously defined average values is detected.

With user-designed configurations and scenarios, the home can be automatically put into outdoor mode, and electronic devices such as televisions can be put into sleep mode to prevent unnecessary energy consumption. Lights or unnecessary working devices that do not need when sleeping can be switched off from a single point, automatized and saved.

3) Safety and Safety

The smart home system can send informational sms, e-mail, drop calls to phone numbers specified by the user, or create camera recording in accordance with scenarios, depending on the specific scenarios set by the user. With an advanced and remote manageable automation system that is always connected to the central alert system, the security of the house or workplace can be provided more intelligently and more reliably. It protects and takes counter-essentials to all kinds of undesirable situations that are valuable to the user, unauthorized use, theft, fire, flooding, gas leakage and so on. Smart homes provide preventive and protective service, rather than just a warning and alarm system, such as ordinary security systems. Control of your home or workplace from anywhere with smart home systems is under user management.

4) Comfort

Everything in the smart house can be easily adjusted and very complex scripts can be simply designed. Many commands can be managed with a single click, so all devices are freed from the hassle of checking separately. For example, with a designed "Welcome home" scenario, lighting can be turned on in the desired format, the temperature of the desired room can be defined as desired and the air conditioning of the house can be adjusted, the security module can be automatically passively removed or curtains can be turned on automatically. All this can only be done by pressing a single key, with a pre-designed scenario.

With the smart home, a completely user-specific automation and security solution can be designed. Thanks to the advanced programmer, the house can be thought and managed instead of the user. Thanks to its timer feature, all scenarios and commands that it defines work at the desired time and minute. It automatically opens and closes the curtains at this time, referring to the sunrise and sunset. Make the security system active or passive, and this programmer will make it user-specific can be brought in. Thanks to the graphics interface, rules can be easily defined to the system without difficulty, and home configuration can be added and subtracted.

5) Health

Smart houses Using various sensors and cameras, it provides the opportunity to be aware of the safety of the person's parents or those who take care of the person 24/7 and intervene when necessary by creating elderly-specific scenarios in the house. In case of emergency, it offers quick response by sending sms, email and phone calls with the emergency button.

6) Technology

Smartwatches, smart wristbands and smart switches are the technologies we've been accustomed to for a few years. In a world where everything is becoming digital, households are also expected to increase management through smart apps. Relatives of the smart home resident can follow where they come from the smartphone. Geo-fence technology allows you to notify the mobile phone when it is away from home or when it reaches home.

7) Entertainment

All audio, video and home theater systems in the house can be integrated remotely controlled. A computer or mobile phone can be used for all multimedia devices as a remote control. It can automatically turn on and off media units, turn these audio devices on and off remotely and turn them off as a deterrent for the impression that there is someone in the house against thieves when they are not at home.

8) Flexibility

The rapid changes that are due to time today have made it necessary for structures to adapt quickly to this change. Achieving this rapid change and harmony depends on the capacity of the structure's flexibility. Flexibility is a design approach with spatial and structural strategies that enable the structure to meet changes in the face of possible changes in the process.

Smart Home Types

Smart homes are homes that can be controlled by remote control in order of sophistication, programmable homes and scripted homes. These houses can be applied today. There are also smart houses with Artificial Intelligence that have not yet been made, but are still in development. In addition, smart homes can be specially designed according to the user's needs. Depending on technological innovations, smart homes are examined in order of sophistication, and apart from these houses, there are smart houses with the flexibility to be shaped according to their intended use.

Homes That Can Be Controlled by Remote Control

It is houses that can work with radio brake, do not have a main control unit, can only be controlled by controller. There is no programming and scenarioing capability. Just like a television controller, curtains, lights or other devices can be controlled.

Programmable Homes

The time-dependent programming of houses that can be controlled by remote control is added. One or more devices can be programmed with timer relays. They are houses with systems that can be automatically opened and turned off at any time with the watch on it, and when not wanted.

Scenario Smart Homes

Scenario smart homes cover all the features of programmable houses that can be controlled by remote control and adjustable according to time. In addition, the main controller, i.e. the brain of the smart home system, has modules and sensors. Scenarios are entered into this system. For example, thanks to the CPS tracking feature added to the main controller, air conditioning can be operated when we get close to the house. However, the smart home's main controller needs to be entered in advance with the user interface and various scenarios, and one of these scenarios is subsequently selected. (I'm leaving home, like a movie night script, adjust sleep environment script.)

Smart Homes with Artificial Intelligence

The term Artificial Intelligence has been used for years. However, the concept he expresses varies with the development of technology. AI is self-fulfilling by looking at the data it has, removing the instructions necessary for the completion of the task. The more data, the greater the success of artificial intelligence. Some things AI can do: Speech recognition, text voice over, language recognition, translation, emotion determination, object detection, relationship detection, document review, text production, summarization, question answering.

Artificial intelligence is divided into three: weak Artificial Intelligence, powerful Artificial Intelligence and super artificial intelligence. Weak Artificial Intelligence is a software specializing in different jobs. All these AI software sits together to create smart home software. Powerful Artificial Intelligence can be defined as a computer that can establish a cause-effect relationship, abstract thinking, and draw conclusions from its experiences, which are as intelligent as human beings in everything called human aide. Superintelligence is defined as artificial intelligence, which is superior to human beings in every subject. (Science Technical)

Nowadays, only weak examples of Artificial Intelligence are seen. However, when the powerful AI is reached, super AI will also be opened up. Super AI will be able to decide that it needs to improve itself even if it is not programmed to develop itself.

In scripted smart homes, smart homes with artificial intelligence have the ability to learn when scenarios are created by humans. It monitors its users at a certain time and extracts analysis of recurring movements and activates the command that is intended to be performed according to the reactions shown by its users. The user does not write the scenario of smart houses with Artificial Intelligence, the smart house itself can be written by learning according to repeated movements. For this reason, it is still working today.

3. Method

In the study, extensive literature research and research on smart houses in the world and face-to-face interviews with smart home experts in Turkey have been established. In light of the knowledge, eight main topics covering the characteristics of smart houses have been identified. Headings set by conceptual framework Associated. Thanks to all the data collected by taking care of the collection of a large number of scientific data related to the subject of the study, smart houses were examined by SWOT analysis method.

4. Evaluation of Findings

In light of the research findings, SWOT analysis of smart homes was conducted in Table 1. The strengths of smart homes are energy saving, security, comfort, time saving, adding need-specific features, providing the ability to perform health checks from home for people aged and with various physical disabilities. The weaknesses of smart houses are that they can lazide people, control of the house, systemic errors can occur, and the cost of smart homeconstruction can be sold as a smart home.

Opportunities for smart homes, protection of energy sources, security being provided at the highest level, increased interest in technology, partial fact of the house in our dream with technology, control of the house can be done from the phone it is easy to make a financial profit in the long term, to add and remove features according to the need, and to make smart homemaking easy. Threats of smart homes, the proliferation of smart home technology, hackers increasingly have access to private information and manage remote homes, and cheap smart home products that are not certified by the proliferation of smart homes increase.



Figure 2. SWOT Analysis

In the Swot analysis of smart homes, the opportunities, weaknesses and strengths, threats, in Table 1, which was created as a result of research, were expressed in Figure 2. When smart homes were evaluated, opportunities and strengths turned out to be more than weaknesses and threats. The opportunities and strengths offered by smart homes make human life easier, maximizing comfort, as well as saving costs of living. It should be minimized by interdisciplinary studies focusing on threats and weaknesses.

Table 1. SWOT Analysis of Smart House

SMART HOME SWOT ANALYSIS

STRENGTHS

- Saves energy
- Provides security
- Provides comfort
- Saves time
- Need-specific features can be added

For people aged and with various physical disabilities, health checks can be done from home.

OPPORTUNITY

- Energy sources are protected.
- The maximum level of safety can be achieved.
- Your interest in technology increases.
- The house in our dreams can be partially made a reality with technology.
- Control of the house is easy enough to be done from the phone.
- Makes a financial profit in the long term.
- The property can be added and removed according to the need.

Smart homebuilding is easy.

WEAKNESS

- It can make you lazy
- Control of the house can be taken
- Systemic errors may occur
- The cost of smart homeconstruction may be high
- Intercom can be sold as a smart home

THREAT

- Hackers may increase with the proliferation of smart home technology.
- With the proliferation of smart homes, cheap smart home products that are not certified can increase.

In the Swot analysis of smart homes, the opportunities, weaknesses and strengths, threats, in Table 1, which was created as a result of research, were expressed in Figure 2. When smart homes were evaluated, opportunities and strengths turned out to be more than weaknesses and threats. The opportunities and strengths offered by smart homes make human life easier, maximizing comfort, as well as saving costs of living. It should be minimized by interdisciplinary studies focusing on threats and weaknesses.

4. Result

In order to develop technological products, imagination is required as well as the impulse of need. Socio-economic and cultural factors are subjects worth examining in the process of inventing technological products, because socio-economic and cultural constraints also limit the search for technological diversity.

Advanced robot technologies and robot technology bring people to pull their hands off production and heavy work in future times, and many professions are expected to be redefined as part of this situation. Connected devices greatly change our view and behavior to products and objects. The fact that the devices are connected leads to a different relationship between people. The fact that things are connected to the internet in a smart home allows them to connect to a large network, making inter-object communication stronger.

While it is difficult to know where the internet of things entering smart homes will go, in a technology-centric world, more automated homes, using smart tools, shopping in interactive stores, the basic approach to health many different smart systems are expected to be used in the coming years, such as redefining.

The history of technology is filled with optimistic ideas that think of the future as a happier, healthier and rest-oriented place. However, each new technology brings with it a change that is more than positive or negative. For example, the irrigation system, equipped with sensors in smart homes, makes watering easier while saving. Thanks to the internet of things, you can connect to the weather to see if there will be rainfall. Given that this system is connected to the whole city, like smart cities, each system can work more efficiently with the whole city while optimizing conditions by working on its own.

However, if these systems are sabotaged by hackers or terrorists take control of autonomous vehicles, disrupt the traffic network, spies can control devices such as cameras or Google glass to monitor what people are doing and can access confidential data. The internet of things can be used for both good and bad purposes, as it will bring challenges to both our digital lives and security and privacy. Besides, there will be significant changes in social traditions.

As the reliability and efficiency of automated systems is increasing, people rely on automated systems and become indifferent about using their own knowledge and ability. However, the problems that arise from accidents or minor disruptions are greater because it is not foreseen what mistakes these systems can cause.

Technology is not something we are looking for, it should not be the goal that allows us to search, and technology that can't be reached with technology gives us the joy of making time travel searching technology is just a tool around the technology that we are in. to be able to build things

It's impossible to predict what the future will look like. However, the development of technology will make it easier and more difficult in some ways, while increasing safety in some ways, which will improve human quality of life. Another worrying issue is whether the way our mind works when the devices are smart. There are many paradoxes about it. The more work the devices do to our place, the less contact with our natural environment and the less the body and mind work. However, our brains will change to adapt to technology. Time will tell whether human intelligence will increase or remain in the shadow of artificial intelligence.

References

- Akdaş, D., Güneş, H. (2015). Akıllı Evler, İşlevleri ve Akıllı Evlerde Kullanılan Teknolojiler. *Bina Elektrik, Elektronik, Mekanik ve Kontrol Sistemleri Dergisi*, 166, 128-132.
- Asimov, I. (2006). *Bilim ve Buluşlar Tarihi*. (Çev. Elif Topçugil). Ankara: İmge Kitapevi.
- Aslan, A. (2014). *Akıllı Ev Kavramı ve Otomasyon Sistemleri*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Ana Bilim Dalı İç Mimarlık Programı.
- Bağcı, E. (2018). Endüstri 4.0: Yeni Üretim Tarzını Anlamak. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 24, 123-146
- Basalla, G. (2013). *Teknolojinin Evrimi*. (Çev. Cem Soydemir). Ankara: Doğu Batı Yayınları.
- Bayram, U. (2006). *Akıllı Ev Otomasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Crofton, I. (2016). *Kılçıksız Bilim*. (Çev. Dilek Berilgen Cenkçiler). İstanbul: Domingo Yayıncılık.
- Douligeris, C. (1993). Intelligent Home Systems, *IEEE Communications Electronics Journal*, 6, 1291-1297.
- Fabi, V. Spigliantini, G. Corgnati, S. P. (2017). Insights On Smart Home Concept And Occupants. *Interaction With Building Controls Science Direct*, 111, 759-769.
- Fernandez, J., Losada, D., ve Domonte, E. (2014). An Integrated and Low Cost Home Automation System with Flexible Task Scheduling. *XV Workshop of Physical Agents*.
- Ford, R., Pritoni, M., Sanguinetti, A., Karlım, B. (2017). Categories And Functionality of Smart Home Technology For Energy Management. *Building and Environment Journal*, 123, 543-554.
- Freeman, C. ve Louça, F. (2016). *Zaman Akıp Giderken*. (Çev. Osman S. Binatlı). İstanbul: İthaki Yayınları.

- Greengard, S. (2017). *The Internet of Things*. Amerika: The MIT Press Essential Knowledge Series.
- Güğü, G., N. (2008). *Akıllı Ev Sistemleri ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gül, F. (2010). *Akıllı Ev Sistemleri*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Işık, Ş. Ve Küçükvardar, M. (2016). *Bilişim Devrimi Teknolojinin Felsefesi ve Sosyolojik Analizi*. Ankara: Birleşik Yayınevi.
- İslamoğlu, Ö. (2018). Mimari Tasarımda Esneklik Yaklaşımlarına Kuramsal Bir Bakış. *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*. 8, 673-683.
- Köksal, A. (2003). *Bilişim Toplumu*. İstanbul: Toroslu Kitaplığı.
- Lütolf, R. (1992). Smart Home Concept And The Integration of Energy Meters Into A Home Based System Switzerland. *Landis Gyr Energy Management Corp. Journal*. s. 52-61
- Lütolf, R. (1992). Smart home concept and the integration of energy meters into a home based system. In *Seventh International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply*. 277-278. IET.
- Mennicken, S., Vermeulen, J., ve Huang, E. (2014). From Today's Augmented Houses to Tomorrow's Smart Homes: New Directions for Home Automation Research. *UbiComp 2014: the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. 105-115.
- Osmanlı, U. (2017). Zanaatkarlığın Tarihsel Dönüşümü ve Richard Sennett'in Zanaatkarlık Kavramı Historical Transformation of Craftsmanship and Richard Sennett's Concept of Craftsmanship. *Journal of History Culture and Art Research*. 6, 803-817.
- Railton, A., R. (1950). Push Button Manor, *Popular Mechanics Magazine*. 252, 85-87.
- Saito, N., Menga, D. (2015). Akıllı Ev Ağlarının Ekolojik Tasarımı. Woodhead Yayıncılık.
- Schwab, K. (2016). *Dördüncü Sanayi Devrimi*. Çev. Zülfi Dicleli. İstanbul: Optimist Yayınları.
- Sharr, A. (2013). *Mimarlar İçin Heidegger*. (Çev. Volkan Atmaca). İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Tez, Z. (2005). *Tekniğin Evrimi*. Ankara: Paragraf Yayınları.
- Winston, R. (2014). *Bilim Tarihi*. (Çev. Serhat Atay). İstanbul: Alfa Yayıncılık.
- Wilson, G. Pereyda, C. Raghunath, N. Vd. (2019). Robot-Enabled Support of Daily Activities in Smart Home Environments. *Cognitive Systems Research*. 54, 258-272.



İş Sağlığı ve Güvenliği için IoT Tabanlı Cihaz Tasarımı ve Uygulaması

Çağatay Ersin^{1*}, Ali Öz²

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Çankırı, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5018-9313)

² Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0814-4020)

(İlk Geliş Tarihi 21 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.692616)

ATIF/REFERENCE: Ersin, Ç. & Öz, Ali. (2020). IoT Based Embedded System Desing and Implementation for Occupational Health and Safety. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 494-504.

Öz

IoT (nesnelerin interneti) kavramı nesnelerin bir ağ üzerinden birbirleriyle haberleşmesi olarak tanımlanmaktadır. Nesnelerin interneti ile günümüzde farklı alanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Giderek artan bir şekilde, farklı endüstrilerdeki kuruluşlar verimli çalışmayı arttırmak, daha kaliteli müşteri hizmeti sunmak, karar vermeyi geliştirmek ve işin değerini artırmak, müşterilerle iletişime geçebilmek için nesnelerin interneti teknolojisini kullanmaktadır. Yapılan bu çalışmada iş sağlığı ve güvenliği için IoT tabanlı bir cihaz geliştirilmiştir. Cihaz üzerinde iş güvenliğini, işçi sağlığını ve verimli çalışmayı etkileyen fiziksel koşullar göz önünde bulundurulmuştur. İş yeri için uygun fiziksel koşul parametreleri literatürde taranarak tespit edilmiştir. İş sağlığı için gerekli optimum fiziksel koşul parametreleri günümüzde yaygın olarak kullanılan arduino uno mikrodenetleyici geliştirme kartına kodlama aşamasında girilmiştir. Tasarlanan sistemde ısı ve nem sensörü, ldr ışık sensörü, manyetik alan sensörü, mq7 karbon monoksit gaz sensörü ve ses sensörü kullanılmıştır. Sistem üzerinde bulunan bu sensörler ile CNC dik işleme merkezinin ve freze cihazlarının sıklıkla kullanıldığı bir iş yerinde anlık ölçümler yapılmıştır. Cihaz 2 aylık bir süre ile iş yerinin fiziksel koşul parametrelerini cihazda bulunan sensörler ile almıştır. Cihaz bu süre içerisinde 3051 veri almıştır. Yapılan bu ölçüm değerleri IoT gerçek zamanlı veri platformu olan thingspeak web sitesine esp8266 wifi modülü ile gönderilmiştir. Thingspeak web sitesine gönderilen veriler bu adreste grafik haline dönüştürülmüştür ve anlık olarak ölçüm sonuçları internet ortamından takip edilmiştir. Bu sistem iş yerinde sabit olarak belirli bir yerde tutulmuş ve iş sağlığı için gerekli fiziksel koşul verilerini sensörler aracılığıyla ölçüp esp8266 wifi modülü ile web sitesine göndermiştir. Eğer bu parametreler optimum değerleri aşarsa sistem iş yerinde dışardan bağlanan bir alarm sayesinde işitsel uyarı verecektir. Ayrıca thingspeak web sitesindeki anlık parametreler android yazılım olan thingview sayesinde akıllı cihazlar ile de takip edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: IoT, İş Sağlığı ve Güvenliği, Thingspeak, Mikrodenetleyici, Sensor, Esp8266

IoT Based Device Design and Application for Occupational Health and Safety

Abstract

IoT (the internet of things) is defined as the communication of things over the network. It is for working with the Internet of Things for different options today. Increasingly, organizations in different industries are using the Internet of Things technology to communicate with customers to increase efficient work, provide higher quality customer service, improve decision making and ensure business. It is for an IoT based device. It is effective on occupational safety, worker health and efficient work on the device. It is detected by scanning. Aritinoino microcontroller development card is entered in the coding phase. In the designed system, heat and humidity sensor, magnetic field sensor, mq7 carbon monoxide gas sensor and sound sensor detection. With these sensors on the system, it is for instant measurements in a workplace in CNC measurement operations and the requirements of milling devices. The device is associated with the sensors on the physical condition parameters of the workplace for a period of 2 months. The device is for 3051 data during this time. In these measurements, IoT was sent via the esp8266 wifi module on the thingspeak website, which is the data platform of real data. At the Thingspeak web address, it can be converted into a graphic at this address, and instantly the measurement results are followed on the internet. This system is fixed at a certain place in the workplace. If these parameters exceed

* Sorumlu Yazar: Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Çankırı, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5018-9313, cagatayersin@karatekin.edu.tr

the optimum alarm, the system is for audio warning, thanks to an externally connected alarm at the workplace. You can also follow up with smart devices thanks to the visualization of instant parameters android software on thingspeak websites..

Keywords: IoT, Occupational Health and Safety, Thingspeak, Microcontroller, Sensor, Esp8266

1. Giriş

Millions of people in the world are exposed to fatal and non-fatal work accidents every year. According to a recent International Labor Organization (ILO) report, about 2 million workers per year die from occupational accidents. Work accidents can be eliminated by applying current measures and methods. Many industrial countries have comprehensive occupational health and safety (OHS) management systems, and this has been demonstrated by continuously decreasing accident rates [10]. In the past 15 years, the concepts of systematic OHS management and OHS management systems have a wide network among regulators, employers and other parties in developed industrialized countries [11]. Considering the researches on the occurrence of occupational accidents and occupational diseases, it is remarkable that the number of occupational accidents and occupational diseases is at a considerable level [14]. Developing countries are experiencing increasing occupational injuries worldwide. The degree of protection against occupational hazards varies not only by country, but also by the size of the economic sector and enterprise. The highest occupational accident rates occur in the agriculture, forestry, mining and construction sectors, and generally small businesses have a worse safety record than large companies. The economic costs of these injuries and deaths are enormous and cover individuals, initiatives and nations, and even the whole world. In addition to the traditional measures and methods available to protect workers, good OSH systems are systems that constantly update their mechanisms to take account of new risks and hazards that arise in the workplace. In the past decade, the scope, direction and magnitude of OHS have improved significantly both at national and international levels [10].

Occupational work is very important in ensuring worker health and safety and increasing work efficiency. Some of the common features of Industrial organizations, especially in developing countries, are poorly structured jobs, incompatibility between worker abilities and job demands, negative environment, bad human-machine system design and inappropriate management programs. This leads to hazards in the workplace, poor worker health, mechanical equipment injuries, disabilities, which is for employee productivity and product / work. Increasing employee productivity, occupational health, safety and satisfaction in applications of ergonomics or human factors. For this, there are trips and indirect ones on the whole performance in one page. [12]. It would be correct to assume that 80% of work accidents generally occur due to people, 18% due to physical and mechanical environmental conditions, and 2% due to unexpected events. This generalization reveals that approximately 98% of occupational accidents can take preventive measures [18].

Lighting is one of the most important factors in providing a safe working environment at workplaces, performing visual works easily and creating a suitable field of view. Providing a safe working environment is one of the top priorities and improvement of work safety conditions will be provided by making the hazards in the workplace visible. In addition to the visual effect of illumination, the employee also has biological and psychological effects such as feeling good, high morale and not feeling tired [23]. Employees at workplaces with adequate lighting can see better than those working in poorly lit workplaces and, accordingly, are tired later. If the illumination in the places where work is less than necessary, eye and body fatigue occurs quickly in the employees. This increases the probability of an accident. In a research conducted; If the light intensity in the workplaces is increased from 50 lux to 200 lux, the accident rate has been reduced by 32%. After painting the walls of the same workplace in a light and reflective color, it was observed that there was another 6.5% decrease in accident rates [18].

Occupational health and safety is defined as the analysis of working conditions, the effects of working conditions on the health and happiness of employees, the reduction of work hazard and risk factors, and the measurement of the effectiveness of these factors [1]. Made works; demonstrated that the air quality, temperature, illumination, noise amount, location, layout and comfort of the working environment are effective in ensuring the productivity of the employees and the efficiency of the working environment [13]. Especially, keeping the humidity levels at high temperatures in workplaces low is very beneficial for work efficiency and health. The amount of moisture should exceed 70%. However, since the humidity level is very low in hot or cold, it will cause dryness in the throat and nose, and it will cause health problems, and the humidity should not fall below a certain rate. The ideal humidity in the workplaces should be 50% - 60%. In developed industrial countries, it is adopted that the most comfortable ambient temperature is 18.3 degrees in the factories where light physical workers work. Even at this temperature level, it was observed that 1/7 of the employees complain about the heat level. Generally, it has been determined that the upper and lower limits of a workplace environment with suitable working conditions are between 15.6-20 degrees. However, it is not possible for employees to work under this temperature continuously. As the physical activity of the employees increases, it is necessary to decrease the ambient temperature values for a healthy working environment. In heavy industrial works, the ambient temperature limits where the employees feel comfortable are determined as 12.8-15.6 degrees. Workers working against open sources of heat and emitted heat were found to want to work at even lower ambient temperatures [18].

Although noise has very different effects on human health, it can generalize psychological, physiological and performance effects. Psychological effects of noise, behavioral disorders, anger, general discomfort, boredom, temporary or permanent hearing damage, physiological effects; changes in body activity, increase in blood pressure, circulatory disorders, acceleration in breathing, acceleration in heartbeat, sudden reflexes, and performance effects are seen as a decrease in work efficiency, concentration disturbance and inhibition of movements [18].

2. Material and Method

2.1. Internet of Things

The industrial revolution and technological advances are making great progress today. This option is looking for ways to use available businesses technology better and more efficiently. The concept we encounter as an integral part of technology is the internet. The Internet of Things is a popular and widely used concept today [25]. The Internet of Things (IoT) is a network of devices, software and access services that you can use to control and monitor physical events around us. These physical events include production processes, energy networks, patient tracking systems, recycling processes, transportation, smart buildings, shopping, etc. There may be measurable dimensions or control systems such as [1]. "Internet of Things" is required in a presentation that lists the benefits of using RFID (Radio Frequency Identification) technology and recommends it for use [2]. The Internet of Typical Objects architecture consists of 5 basic layers. Detection layer can be used in OSI (Open Systems Connections) model, RFID, ZigBee, QR (Quick Response) code reader etc. Used. It consists of different detection devices and environmental factors. It acquires certain information about all types of sensors in these layers and makes identification. Among the information collected, location, wind speed, vibration, degree of belonging, humidity, temperature, dust ratio in the air, etc. The resulting options are then transferred to the top layer, the network layer [6]. Identification and monitoring / tracking technologies, wired and wireless sensor and activator networks, enhanced communication protocols, and distributed information systems for smart objects are the best known IoT applications. Serious contributions to the advancement of IoT are realized as a result of activities carried out in different fields of knowledge such as social sciences, electronics, informatics and telecommunications [7]. Context-sensitive computing using intelligent connectivity and network resources with existing networks is an indispensable part of IoT. Evolution is already evident towards the ubiquitous information and communication networks, with the increasing availability of WiFi and 4G-LTE (Long Term Evolution) wireless Internet access. However, for the vision of the Internet of Things to emerge successfully, the computing paradigm will have to go beyond traditional mobile computing scenarios using smartphones and portable devices and turn into combining everyday existing objects and putting intelligence in our environment [9]. The activities of companies are shaped by globalization, intense competition and technological developments. The Internet of Things has emerged as a new concept. With this concept, it is expressed that the internet, which is a global communication network, receives information not only from people but also from objects and thus interprets the information it collects and transmits it to other objects and people. Today, almost all of the information entries on the internet are of human origin. With the concept of the Internet of Things that emerged very recently, it is expected that the Internet will lead to a more important and major change from the global impact created by the Internet by communicating not only with people but also with objects [3].

As a result of the establishment of a global neural network in the near future; everyone and everything will be connected. The cloud technology used today can be counted among the steps of this process. As the Internet of Things is part of the daily lives of companies and people, the issue of data security comes to the fore. Data security can have different meanings for individuals and companies. Due to the information shared voluntarily, no material damage or reputation loss is a priority for individuals and companies [3]. With the new developments in technology, a large number of sensor devices can be integrated into the Internet environment via WSN (Wireless Sensor Networks) systems [4]. The Internet of Things provides a widespread worldwide network of uniquely addressable objects and objects in this network to communicate with each other through a specific protocol [5]. The Internet of Things is called the next industrial revolution or the next evolution of the internet. IoT can be defined as an advanced and effective solution for connecting objects to the Internet and collecting data from objects over a network. It will determine how businesses, governments and consumers interact with the physical world through Internet-connected sensors, cameras, handsets, smartphones and other smart IoT devices. IoT is a technological paradigm that aims to increase the connectivity of everyday devices. Therefore, the growth and use of this type of technology will increase exponentially in the coming years due to its application in multiple fields [22]. In this study, an instant measurement device is designed for workplace health and safety. With the designed device, measurement of physical conditions in the workplaces and a healthy and safe working environment were requested. Seven different sensors were used in the device and instant data was obtained from these sensors. Data control and software were provided with the arduino uno microcontroller development board. The data obtained through the sensors were sent to the thingspeak web page used as IoT interface with the esp8266 wifi module. The data are displayed graphically on this web page. Dht 11 heat and humidity sensors, ldr light sensor, hall effect sensor, mq-7 carbon monoxide gas sensor, mq-2 gas sensor and sound sensor were used on the designed device. This designed device has been tried for 2 months in order to receive data in a workplace where CNC vertical machining machines and milling machines are used frequently. The device is installed in a central place at work. The image of the device in the workplace is shown in figure 1.



Fig. 1. View of the device at work

With this study, the values taken from the sensors were measured in the workplace, temperature, humidity magnetic field, carbon monoxide gas value, flammable gas and smoke rate, sound and noise level and light amount instantly. The block diagram of the created system is shown in figure 2.

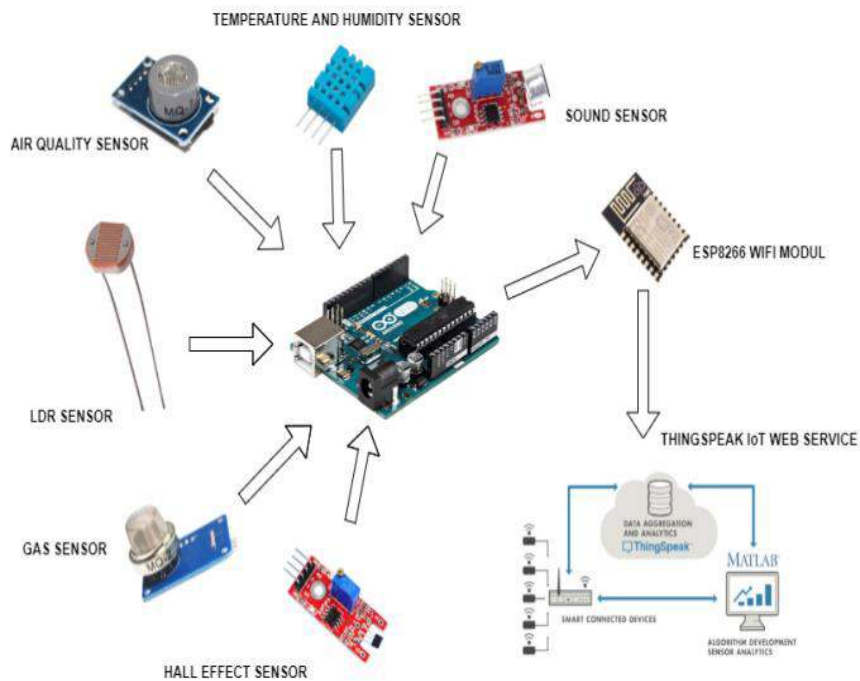


Fig. 2. System block diagram

System simulation and electronic circuit connection has been done. Dht 11 temperature and humidity sensor digital pin is connected to Arduino uno microcontroller development board and other sensors are connected to analog input pins. Tx-Rx connection is made with Esp8266. The electronic circuit connection diagram of the system is shown in figure 3.

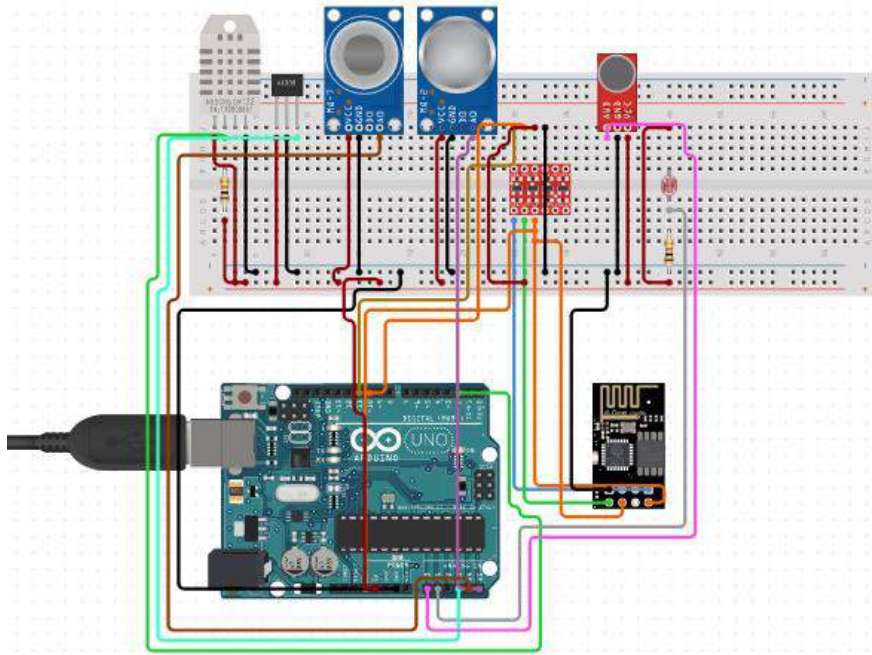


Fig. 3. System electronic circuit connection diagram.

After the electronic circuit connection of the system was made as a simulation, the system was installed on the microcontroller. The designed version of the system is shown in Figure 4.

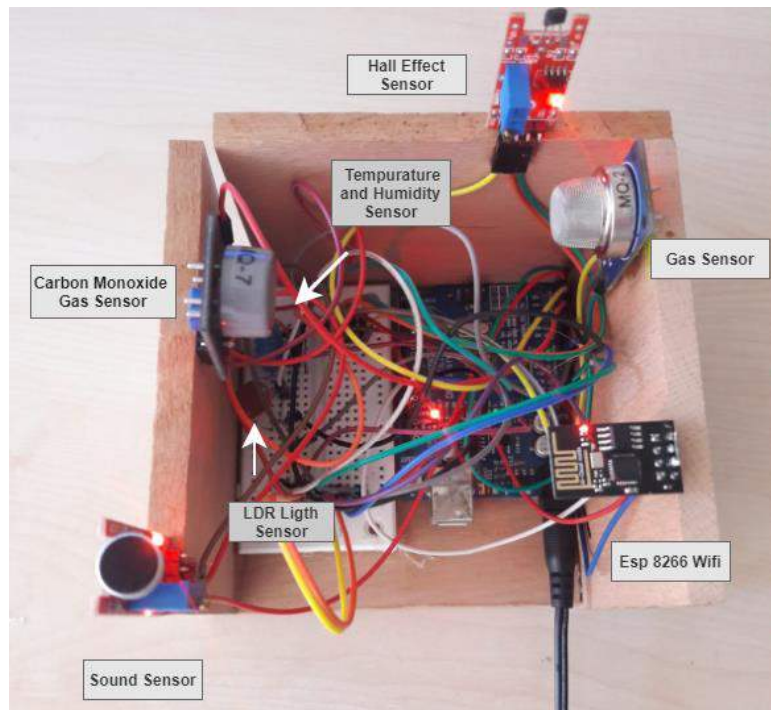


Fig. 4. Image of the system.

2.2. Esp 8266 Wifi Board

Wifi modules are used to send data or receive data by connecting to the internet over any wifi line. These modules allow data transfer from Arduino to web servers using the standard HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) protocol [21]. ESP8266 is a low cost

Wifi Module and has ultra low power technology [17]. It is a wifi module supplied by AI Thinker company. ESP8266 can operate in three modes. The first mode is the basic mode. The ESP8266 basic mode is a mode that allows the status of the ESP8266 to be checked to see if it is in good condition. The second mode is layer mode wifi. WiFi ESP8266 layer mode is a mode used when ESP8266 is operating under WiFi condition. The third mode is a TCP (Transmission Control Protocol) layer. TCP layer mode is an ESP8266 mode used when we use an inter-network connection. [19]. The ESP8266 allows fewer external circuits thanks to its highly integrated chip. Includes antenna switch and front-end module designed to minimize PCB space. [24]. ESP8266 is a low cost development board that combines GPIOs, I2C, UART, ADC, PWM and WiFi for rapid prototyping. Powered by 3.3V supply, ESP8266 is packaged as voltage regulator and ESP-12 module from USB to series. Applications can be developed on this board via the Arduino IDE or Lua-based ESPlorer [15]. The ESP8266 module is designed to provide high performance, high integration performance. Shutdown logic and advanced power management provide an energy-efficient Wi-Fi based wireless sensor network. ESP8266 consumes 60uA in deep sleep mode, and the RTC clock is still running and less than 1 mA to stay connected to the access point. However, if you need an Arduino shield where competing solutions have an edge, for example, the ESP8622 can be programmed with the Arduino IDE and some ESP8266 based shields are available, but probably [16].

ESP-8266 modules should usually be updated before use. For this reason, the update process of ESP-8266 was carried out before the electronic circuit was installed. ESP-8266 connects to the wifi network set in the microcontroller, using the username and password set again in the microcontroller. After the connecting process has been successful; Information from dust, temperature and humidity sensors is sent to the Thingspeak analytical IoT platform through this module [21]. Esp82266 wifi module is shown in figure 5.

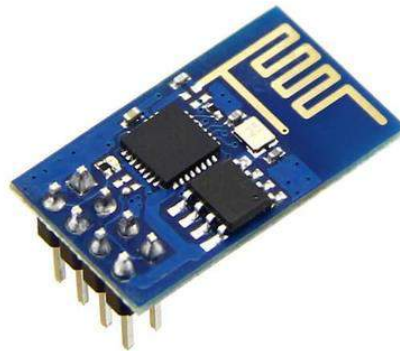


Fig. 5. Esp8266 wifi board

3. Research Results and Discussion

3.1. Thingspeak: A IoT Web Service

Thingspeak is a free data platform for the Internet of Things (IoT) that remains popular today [25]. Thingspeak is also a web-based open API IoT-based information platform that converts external components used for IoT into their own data and used to store sensor data [20]. Thingspeak communicates between the internet connection and the cloud as a 'data packet' carrier and takes the detected graphic from the connected sensor to the main microcontroller, records, analyzes, observes and works. Thingspeak Arduino, TI CC3200 module, Raspberry-pi etc. It helps build the social network of development photos, sensor-based daily apps, location / location tracking app, and updated objects. The main feature of the Thingspeak function is the Data field, location field, Channel field, which is the status field. Thingspeak, mechanical mechanisms can be created, the information you choose and information can be processed and visualized alternately and matched with MATLAB's use of tweets and other warning forms. It also offers the ability to create a general channel for general analysis and forecasting. It takes advantage of graphic visualization operations for sensors / actuators and can be used for objects. IoT helps bring everything together and allows us to communicate with our own things, and more interestingly, allows objects to interact with other objects. This is the platform. Thingspeak offers the use of real data, graphic visualization, as well as plug-ins used to collaborate with web services, social network or API. The main feature of Thingspeak is the Thingspeak Channel. On a page that will send the channel to Thingspeak for channeling. Programs loaded on the microcontroller transmit to the thingspeak channel within a certain period of time on the sensor screen. Programs uploaded to the microcontroller have a 15-second period to transmit the latest sensor values to the Thingspeak Channel [18]. As the internet of things progressed, the wireless sensor network became more and more acceptable. As the Internet of Things progresses, the wireless sensor network is used. [16].

Production and consumption are increasing in the developing world economy. There are high-capacity machines and workers using these machines in factories, large-scale enterprises. The physical conditions of the workplace must be in suitable conditions under the occupational health and safety laws. The physical conditions of the workplace for the healthy and productive working environments of the workers have been scanned in the literature for temperature, humidity, magnetic field, sound level, flammable gas value, carbon monoxide gas value. These values can be monitored on the thingspeak web interface by the occupational safety specialist or business owner. The maximum and minimum values of the data sent are shown at the bottom of the graphs as well as the last data received. Thus, the occupational safety specialist will be able to see the values that affect the physical conditions in the

workplace with this web interface. In addition, these values and created graphics can be followed with the android device with the android based thingview program. The images of the graphics are shown in figures 6 and 7 through the thingview program.

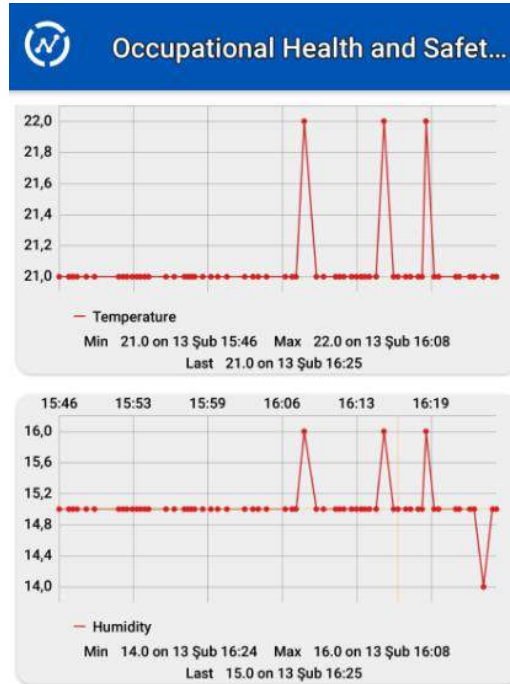


Fig. 6. Thingview Program Screenshot I



Fig. 7. Thingview program screenshot II

The system is programmed with the arduino uno microcontroller development board ide software. The data of the designed system is displayed numerically from the com port of the arduino ide software. The esp8266 wifi module has been added to the Arduino uno microcontroller development board. The flow diagram of the created software is shown in figure 8.

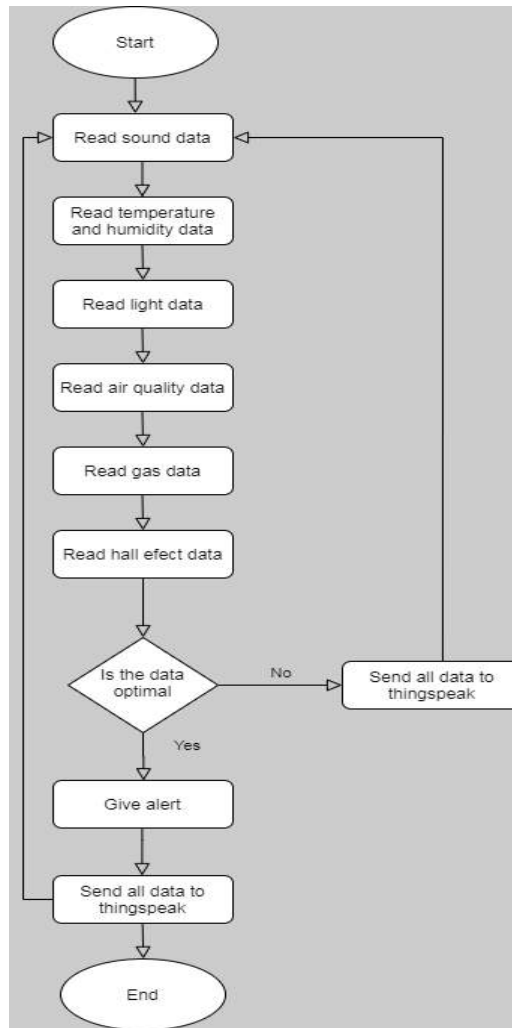


Fig. 8. Flow chart of the system

The graphical image of the data sent by the occupational health and safety device designed in the study in the thingspeak web interface is shown in figures 9-15.

Channel Stats

Created: [2 months ago](#)
Last entry: [23 minutes ago](#)
Entries: 3051

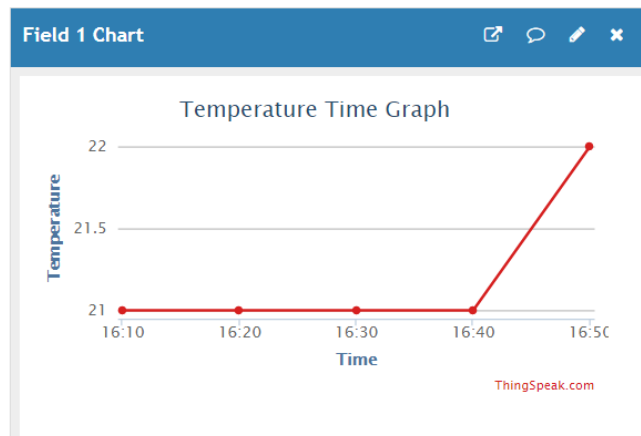


Fig. 9. Thingspeak temperature view

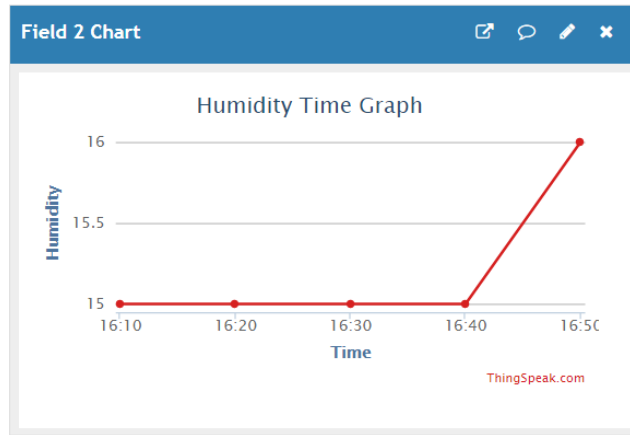


Fig. 10. Thingspeak humidity view

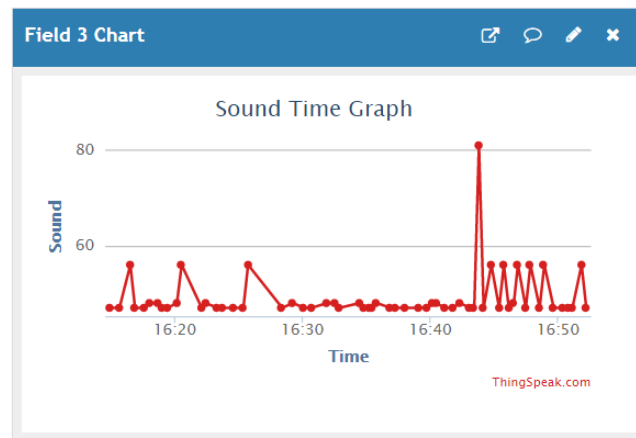


Fig. 11. Thingspeak sound view.

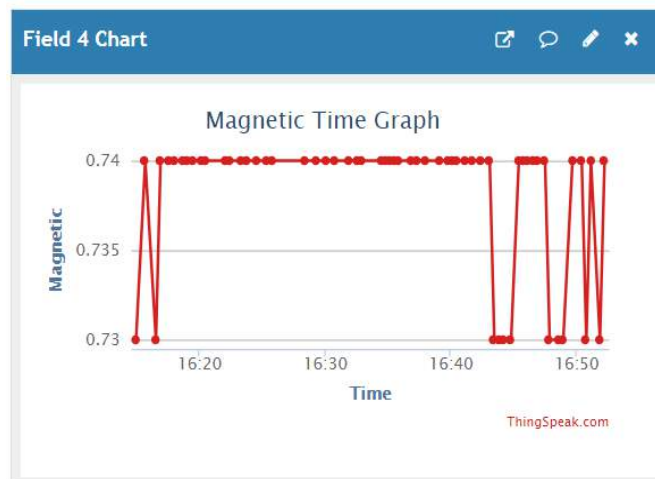


Fig.12. Thingspeak magnetic view

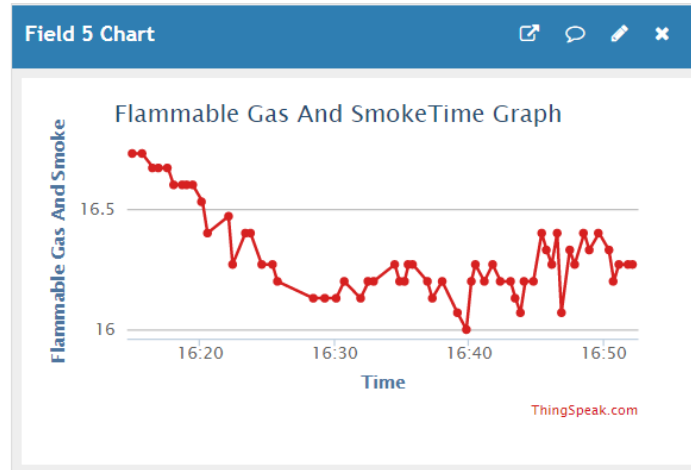


Fig. 13. Thingspeak flammable gas and smoke view

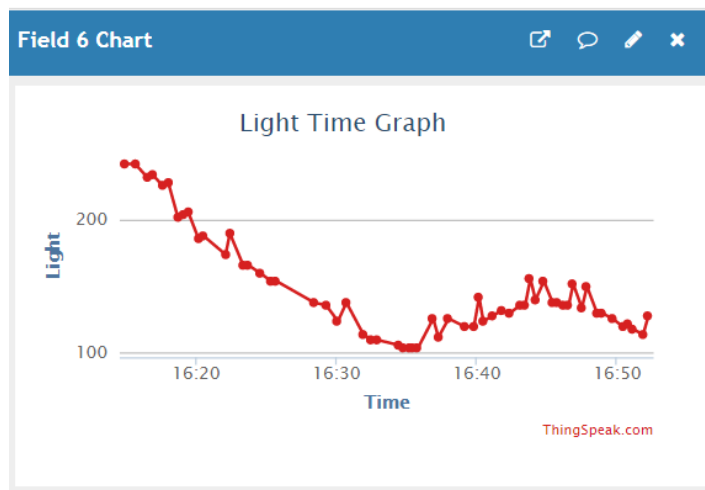


Fig. 14. Thingspeak light view

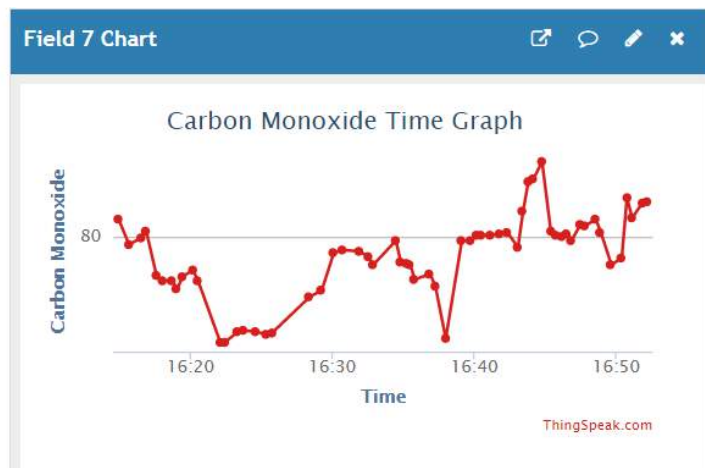


Fig. 15. Thingspeak carbon monoxide view.

4. Result

The internet concept of objects is finding itself more and more application areas. Many products we use in daily life are connected and communicated via the internet. These devices can be easily tracked through android devices, tablets, personal computers and smart phones that people use widely. In the scanned literature, it has been observed that the internet concept of objects is widely used in many areas, but not many studies on occupational health and safety have been identified. This designed work was carried out on the increasing importance of the concept of occupational health and safety in the developing world industry. Physical environmental

conditions for occupational health and safety have been searched from the literature and the device has been coded in accordance with these parameters. The control of the system was made with the microcontroller development board of the arduino flour, which is widely used today. Within the scope of occupational health and safety, parameters such as temperature, humidity, carbon monoxide ratio, flammable gas value, noise and light were measured by sensors. The device instantly received data from these sensors and sent it in the thingspeak IoT interface. The device was tested at a workplace for a period of 2 months and 3051 data was received. The data received were measured as average 21 C° for temperature, average humidity of 16 g/m³, noise value of 60 decibels, average light value of the workplace 160 lux, flammable gas value of 16.5% magnetic field average of 0.73 and carbon monoxide gas average of 80 ppm (parts per million). The system received data with seven different sensors in its designed state. It can be developed to add more sensors to the system and to alert the occupational safety specialist by e-mail or sms when these physical conditions exceed the optimum level.

References

- [1] Gökrem, L., Bozoklu, M., Nesnelerin İnterneti:Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, P 47-68, 2016, Tokat.
- [2] Aktaş, F., Çeken, C., Erdemli, Y., E., Biyomedikal Uygulamaları için Nesnelerin İnterneti Tabanlı Veri TOplama ve Analiz Sistemi, Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, 2014, Kapadokya.
- [3] Erturan, E., İ.,Ergin, E., Muhasebe Denetiminde Nesnelerin İnterneti:Stok Döngüsü, The Journal of Accounting and Finance, Temmuz, 2017.
- [4] Ercan, T., Kutay,, M., Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,P 599-607, 2016.
- [5] Oral, O., Çakır, M., Nesnelerin İnterneti Kavramı ve Örnek Bir Prototipin Oluşturulması, Mehmet Akif Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,P 172-177, 2017.
- [6] Arslan, K.,Kırbaş, İ.,Nesnelerin İnterneti Uygulamaları için Algılayıcı/Eyleyici KABlosuz Düğüm İlkörnek Geliştirme, Mehmet Akif Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, P35-43, 2016.
- [7] Gündüz, Z., M., Daş, R., Internet of Things(IoT): Evolution, Components and Applications Fields, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, P 327-335, 2018.
- [8] Pasha, S., Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis, P19-23,2016.
- [9] Gubbi, J.Vd, Internet of Things(IoT): A vision, architectural elements and future directions, Future Generation Computer Systems, P 1645-1660, 2013.
- [10] Alli, B., O., Occupational safety and health: A global perspective, Fundamental principles of occupational health and safety Second edition, 2017.
- [11] Kaj, F., Occupational safety and health: A global perspective, Middlesex University Res, 14.01.2020.
- [12] Shikdar, A., A., Sawaqed, N., M., Workerproductivity, and occupational health and safety issues in selected industries, Computer&Industrial Engineering, P 563-572, 2003.
- [13] Hoşten, G., Yalbay, N., Kapalı Ortam Hava Kalitesinin Ofis Ortamlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi, Aydın Sağlık Dergisi P 1-12, 2018.
- [14] Karacan, E., Erdoğan, ö., N., İşçi Sağlığı ve Güvenliğine İnsan Kaynakları Yönetimi Fonksiyonları Açısından Çözümsel Bir Yaklaşım, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi P 102-116, 2011.
- [15] Kodali, R., K., Soratkal, S., R., MQTT based Home Automation System Using ESP8266, IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, 2016.
- [16] Thaker, T., ESP8266 Based Implementation of Wireless Sensor Network with Linux Based Web-Server, 2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking(CDAN), 2016.
- [17] Kodali, R., K., Mahesh, K., S., Low Cost Ambient Monitoring using ESP8266, 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, 2016.
- [18] Camkurt, Z., M., İşyeri Çalışma Sistemi ve İşyeri Fiziksel Faktörlerinin İş Kazaları Üzerindeki Etkisi, TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi, 2007.
- [19] Wibowo, S., F.,Pribadi, A., B., Internet Of Things Experiment Using Esp8266 Wifi Module, Thingspeak Channel And Delphi Interface, International Symposium for Modern School Development, Social Science and Applied Technologies (ISMOSAT 2016), Grand Sakinah Mayong Jepara, 19 – 20 March 2016.
- [20] Samsugi, S., Ardiansyah, Kastura, D., Arduino Dan Modul Wifi Esp8266 Sebagai Media Kendali Jarak Jauh Dengan Antarmuka Berbasis Android, Jurnal Teknoinfo, P 23-27,2018.
- [21] Karacı, A., Akıllı Şehir Hava Takip Sistemi ve Astım Hastaları için PM2.5 Konsantrasyonu Ölçüm Aracının geliştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, P 418-425, 2018.
- [22] Kelebekler, E., Nesnelerin İnterneti Tabanlı Meteorolojik Veri Takip Sistemi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, P 650-663, 2019.
- [23] Kürkçü, E., A., Çakar, İ., Zeyrek, S., İşyerinde Aydınlatma, İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi Müdürlüğü.(İSGEM), Date of Access:11.10.2019.
- [24] Srivastava, P., Bajaj, M., Rana, A., S., IoT Based Controlling of Hybrid Energy System using ESP8266, IEEMA Engineer Infinite Conference, 2018.
- [25] Ç.Ersin, M.Yaz, M.Karhan ‘An Example IoT Application for the Defense Industry’, Elec Lett Sci Eng, vol. 15(3) , (2019), 66-73.



Nötrozofik Küme Temelli Difüzyon Metodu Kullanılarak Görüntülerdeki Örtüşme Problemini Azaltma

Kazım Hanbay^{1*}

¹ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1374-1417)

(İlk Geliş Tarihi 26 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 9 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.695191)

ATIF/REFERENCE: Hanbay, K. (2020). Nötrozofik Küme Temelli Difüzyon Metodu Kullanılarak Görüntülerdeki Örtüşme Problemini Azaltma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 505-514.

Öz

Görüntü iyileştirme bilgisayar görmesi ve görüntü işleme uygulamalarında önemli bir konudur. Bu çalışmada kenar bölgelerindeki örtüşmeyi azaltmak için nötrozofik küme temelli yeni bir difüzyon metodu önerilmiştir. Ziou ve Horé'nin difüzyon denklemi temel alınarak, difüzyon denklemindeki gradyan ve eğrilik için yeni bir hesaplama metodolojisi önerilmiştir. Önerilen metotta örtüşme içeren görüntü nötrozofik kümeye dönüştürülür ve üç üyelik kümesi tarafından tanımlanır: doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık. Daha sonra önerilen metot nötrozofik kümenin doğruluk ve yanlışlık üyeliklerini aktif olarak kullanır ve örtüşme etkilerini azaltır. Gradyan hesaplamasında önerilen metot orijinal giriş görüntüsü yerine nötrozofik doğruluk kümesini kullanır. Ayrıca eğrilik hesaplaması için nötrozofik yanlışlık kümesi kullanılmıştır. Nötrozofik üyelik kümeleri gürültüye karşı daha dayanıklı oldukları için, geleneksel difüzyon denklemlerinin dezavantajları gürültü açısından giderilmiştir. Nötrozofik kümeler gürültü bileşenlerini baskılayabilir ve böylece yumuşak gradyan ve eğrilik modelleri hesaplanabilir. Bu gradyan ve eğrilik bilgileri örtüşme içeren görüntüdeki hem kenar değişimlerini hem de örtüşme kalıntılarını yansıtır. Böylece Ziou ve Horé'nin denklemindeki ters yayınım işlemi etkili bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Önerilen metot örtüşme kalıntılarını azaltırken nötrozofik küme vasıtasıyla kenar bölgelerinin detaylarını korumuştur. Deneysel sonuçlar önerilen metodun kenar bölgelerinde örtüşme problemlerini tespit edebildiğini göstermiştir. Yine önerilen difüzyon metodunun performansını değerlendirmek için Ortalama Karesel Hata (OKH) metriği kullanılmıştır. Sonuçlar aynı görüntüler üzerinde diğer metotların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu yeni metot görüntü işlemedeki uygulamalar için ön işlem adımı olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü iyileştirme, Nötrozofik küme, Difüzyon denklemi.

Reducing Aliasing Problem in Images using Neutrosophic Set-Based Diffusion Method

Abstract

Image enhancement is a significant topic in computer vision and image processing applications. In this paper, a new neutrosophic set based diffusion method is proposed to reduce aliasing on edge regions. Based on the diffusion equation of Ziou ve Horé, the new calculation methodology for gradient and curvature in the diffusion equation is presented. In the proposed method, aliased image is converted into the neutrosophic set and defined by three membership sets: truth, indeterminacy, and falsity. Then the proposed method actively uses the truth and falsity memberships of the neutrosophic set, and reduces aliasing artifacts. In the gradient calculation, the proposed method uses the neutrosophic truth instead of the original input image. Also, the neutrosophic falsity has been used to calculate the curvature calculation. Since the neutrosophic membership sets are more immune to noise, the disadvantage of traditional diffusion

* Sorumlu Yazar: Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1374-1417), khanbay@bingol.edu.tr

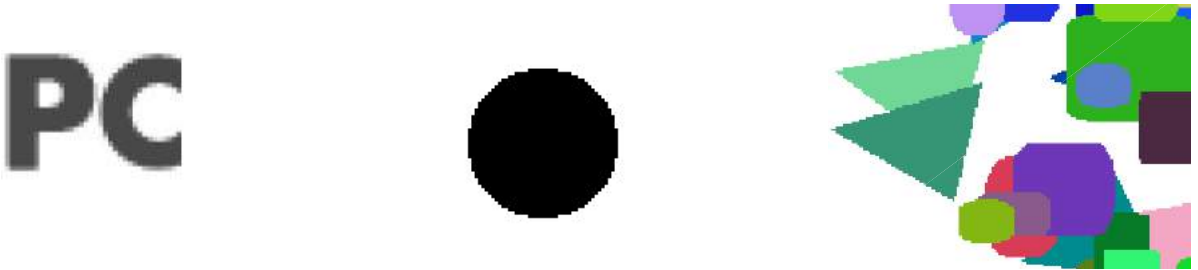
equations has been resolved in terms of noise. The neutrosophic sets can suppress the noise components, and thus the smooth gradient and curvature models can be calculated. These gradient and curvature informations reflect both the edge changes and aliasing artifacts in aliased image. Thus inverse diffusivity process in the equation of Ziou ve Horé is performed efficiently. The proposed method reduces aliasing artifacts while preserving the details of edge regions through neutrosophic set. The experiment results show that the proposed method can detect the aliasing problems on edge regions. Also, Mean Square Error (MSE) metric is used to evaluate the proposed diffusion method's performance. The results are compared with results of other methods on the same images. This new method can be used as a pre-processing step for applications in image processing.

Keywords: Image enhancement, Neutrosophic set, Diffusion equation.

1. Giriş

Görüntü işlemede yüksek çözünürlüklü görüntüleme tekniklerinin ortaya çıkması görüntülerde var olan çözünürlük kaynaklı problemleri azaltmıştır. Görüntüleme cihazı kaynaklı özellikle bulanıklık, kontrast düzensizliği ve düşük çözünürlük gibi istenmeyen durumlar yüksek çözünürlüklü görüntüleme sayesinde herhangi bir iyileştirme işlemine gerek duyulmaksızın ortadan kaldırılabilir. Ancak bazı durumlarda görüntüleme cihazından bağımsız olarak, elde edilen görüntüde bulanıklık, bilgi kaybı ve örtüşme gibi istenmeyen etkiler meydana gelebilmektedir. Bu durumlar görüntünün uygun görüntüleme sistemi ile kaydedilmemesinden, ortamın elverişsizliğinden veya görüntü üzerinde yapılan bazı ön işlemlerden kaynaklanmaktadır. Örneğin çok hızlı hareket eden bir nesne görüntülenirken çizgi tarama kamerası daha iyi görüntü alabilmektedir. Bunun yerine alan tarama kamerası kullanmak elde edilen görüntünün oldukça bulanık ve neredeyse hiçbir detayın görülemediği bir görüntü elde edilmesine yol açmaktadır. Bu gibi istenmeyen durumların önüne geçmek için uygun kamera seçimi ile birlikte aydınlatma tekniğine ve kamerada kullanılacak lens seçimine dikkat edilmelidir.

Görüntülerde bulunan ve görüntünün işlenip yorumlanmasına olumsuz etki eden birçok istenmeyen durum farklı iyileştirme yöntemleri ile kaldırılmaktadır (Yang vd., 2007; Ziou ve Horé, 2011). Ancak görüntülerde sıklıkla bulunabilen örtüşme (aliasing) problemi ile alakalı yapılan çalışma sayısı sınırlıdır. Örtüşme, görüntülerde daha çok kenar bölgelerinde basamak gibi görünen ve genellikle piksel sayısının az olmasından kaynaklanan bir durumdur. Basamak gibi görünen bu bölgelere örtüşme olarak adlandırılır. Dolayısıyla bu basamak gibi görünüşler yumuşatılarak görüntünün kalitesi artırılmalıdır. Şekil 1'de örtüşme içeren bazı görüntüler görülmektedir. Literatür incelendiğinde, özellikle medikal görüntülerdeki örtüşme problemi ile ilgili birçok çalışma yapıldığı görülmektedir (Yang vd., 2015; Zhao vd., 2019). Çünkü tıbbi görüntüleme kullanılan cihazların kapasitesi, görüntüleme alanının zorluğu, gürültü varlığı ve kontrast eksikliği nedenlerinden ötürü tıbbi görüntüler sıklıkla iyileştirme işlemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte gri seviye ve renkli görüntülerde de örtüşme problemini gidermek için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerdeki temel amaç görüntüdeki istenmeyen bileşenleri kaldırmak ve görüntüyü daha iyi analiz etmeye olanak sağlamaktır. Görüntülerdeki bulanıklık ve örtüşme problemlerini gidermek için yapılan bir çalışmada süper çözünürlük yapılanması metodu kullanılmıştır (Wang ve Qi, 2005). Örtüşme matrisi tanımlanarak bu matris ile düşük çözünürlüklü piksel bölgeleri tanımlanmış ve bu bölgelere yönelik iyileştirme işlemleri uygulanmıştır. Görüntülerdeki gürültüleri kaldırmak ve örtüşme problemini azaltmak için difüzyon işlemi kullanılmıştır (Perona ve Malik 1990). Böylece görüntüdeki farklı nesnelerin bölge sınırları korunurken, bölge içinde yumuşatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Standart difüzyon denkleminde türetilen yeni bir algoritma ile kenar bölgelerindeki basamaklanma problemi azaltılmıştır (Ziou ve Horé, 2012). Kenar piksellerinin gradyan yönü boyunca bu piksellere difüzyon işlemi uygulanmıştır. Oldukça başarılı olan bu yöntem ile örtüşme problemi üzerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Ziou ve Horé, 2012).



Şekil 1. Örtüşme içeren görüntüler

Geleneksel örtüşme problemi giderme yaklaşımları genellikle tüm görüntü üzerinde basit bir alçak geçiren filtre kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem örtüşme problemi ile birlikte aynı zamanda görüntüdeki kenar bilgilerini de zayıflatmaktadır. Bu durumu engellemek için dalgacık dönüşümü ve Fourier dönüşümü birlikte kullanılarak uyarlamalı bir görüntü iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir (Chae vd., 2013). Geliştirilen yöntem ayrık dalgacık dönüşümü yönteminin LL alt bandını analiz ederek etkili sonuçlar elde etmiştir. Dalgacık dönüşümü temelli bir diğer yöntemde ise dalgacık dönüşümünün LH alt bandının HL alt bandına göre daha fazla örtüşme problemi içerdiği kabul edilerek LH bandı ele alınmış ve bu bant üzerinde örtüşme problemi giderilmeye çalışılmıştır (Gan ve Taubman, 2007). Diğer bir çalışmada bölgesel olmayan ortalama filtre kullanılarak tüm görüntü üzerinde filtreleme işlemi yapılmış ve yüksek frekans bileşeni olarak kabul edilen örtüşme bileşenleri ortadan kaldırılmıştır (Yang vd., 2011). Dalgacık dönüşümünde BC 52/60 ve BC 28/36 dalgacık filtre çiftleri kullanılarak filtre bankası oluşturulmuş ve böylece yüksek çözünürlüklü ve örtüşme içermeyen görüntüler elde edilmiştir (Winger, 1999). Fourier dönüşümü temelli bir başka yöntemde spektral filtre dizisi geliştirilerek örtüşme problemlerinde kullanılmıştır (Jia vd., 2016). Geliştirilen filtre dizisi sinüsoidal geniş bant spektral filtreler içermekte olup, örtüşme

problemine karşı etkili sonuçlar vermektedir. Güncel bir çalışmada ise mevcut Fourier temelli spektral filtre dizisi geliştirilerek multispektral filtre dizi geliştirilmiştir (Kawase vd., 2019). RGB görüntüleme kullanılan bu filtreler spektral filtrelerin farklı tiplerini içermektedir.

Örtüşme probleminin görüldüğü bir diğer uygulama ise sanal gerçeklik uygulamalarıdır. Sanal gerçeklik görüntüsü tek bir doku görüntüsü haline getirilerek görüntünün çıkıntısı (saliency) haritası oluşturulur (Sung ve Choi, 2017). Gauss filtreleme kullanılarak bir gauss görüntü piramidi inşa edilir. Piramit üzerinde her seviye üzerinde merkez piksel farklılıkları hesaplanarak elde edilen değerler yorumlanır ve örtüşme düzeyi hakkında bilgi sahibi olunur. Yönlü ağırlıklandırılmış interpolasyon yöntemi ile örtüşme bölgelerinin olmadığı görüntü bölgelerinden faydalanılarak görüntülerde iyileştirmeler yapılmıştır (Jiang vd., 2015). Yine görüntünün kırmızı ve mavi renk kanalları üzerinde interpolasyon yöntemi ile iyileştirmeler yapılarak iyileştirilmiş görüntü elde edilmiştir. İzotropik çekirdek fonksiyonlar kullanılarak geliştirilen iki boyutlu interpolasyon çekirdekleri ile görüntülerde kalite kaybına neden olan istenmeyen eklentiler zayıflatılmıştır (Kulberg ve Yakovleva, 2012). Radyal tabanlı fonksiyonlar yardımıyla geliştirilen yeni bir interpolasyon yöntemi ile görüntülerdeki kenar bilgileri korunarak iyileştirme işlemi yapılmıştır (Casciola vd., 2010). Bu yöntemde kenar bölgelerinin bilgileri interpolasyon işlemine dahil edilerek kenar yönelimleri korunmuştur. Kenar bilgisi difüzyonu yöntemi ile geliştirilen bir yöntemde endüstriyel uygulamalarda kullanılan bilgisayarlı laminografi görüntüleri üzerinde kenar bilgileri daha anlaşılır bir hale getirilmiştir (Zhao et al., 2018).

Görüntülerde başta örtüşme olmak üzere var olan problemleri gidermek için geliştirilen yöntemler incelendiğinde difüzyon ve interpolasyon temelli birçok yöntemin geliştirildiği görülmektedir (Ziou ve Horé, 2012). Yapılan çalışmalarda difüzyon denklemlerinin zayıf yönleri ve diğer uygulamalardaki eksiklikleri yorumlanarak denklemdaki eksikliği giderici çalışmalar önerilmiştir. Ayrıca yöntemler birlikte kullanılarak farklı yöntemlerin güçlü yönleri birleştirilmiştir. Böylece gri seviye, renkli ve çok bantlı farklı görüntüler üzerinde başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Yöntemlerin başarısı arttırılırken yöntemlerin zaman maliyeti, genelliği ve güvenilirliği gibi parametrelerde zaman zaman analiz edilmiştir.

Bu çalışmada görüntülerde bulunan örtüşme problemini azaltmak için nötrozofik küme teorisi ve difüzyon denklemini birlikte kullanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Kullanılan difüzyon denklemi Perona ve Malik'in önermiş olduğu difüzyon denkleminin iyileştirilmiş hali olup, (Ziou ve Horé, 2012) tarafından örtüşme problemini azaltmak için geliştirilip kullanılmıştır. Yapılan kapsamlı literatür araştırmasından görüldüğü kadarıyla, nötrozofik yöntemi difüzyon işlemine ilk defa ve etkin bir şekilde entegre edilmiştir. Böylece iteratif difüzyon işleminin başarısı arttırılmış ve örtüşme problemine karşı iyi sonuçlar üretilmiştir. Ziou ve Horé, (2012), geliştirdikleri difüzyon denklemine doğrudan örtüşme içeren giriş görüntüsünü parametre olarak vermektedir. Yine eğrilik hesaplaması bu giriş görüntüsü üzerinde hesaplanarak iteratif bir şekilde difüzyon işlemi devam etmektedir. Ancak geliştirilen yöntemde giriş görüntüsünün nötrozofik küme bileşenlerinden doğruluk kümesi bilgisi difüzyon denklemine giriş parametresi olarak verilmiştir. Gradyan işlemi nötrozofik doğruluk kümesi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca giriş görüntüsü yerine nötrozofik yanlışlık kümesi kullanılarak piksellerin normal eğrilik bilgisi iteratif olarak hesaplanmıştır. Bu iki önemli fark önerilen yöntemin en temel yeniliği olarak görülmektedir. Nötrozofik doğruluk kümesinin difüzyon denkleminde yer alması sayesinde difüzyon denkleminin daha kararlı ve görüntü içeriğini kaybetmeden örtüşme bölgeleri iyileştirilmiştir. Bölüm 2'de nötrozofik küme teorisi ve kullanılan difüzyon denklemi kısaca incelenmiştir. Bölüm 3'te örtüşme problemini azaltmak için önerilen nötrozofik terimli difüzyon modelinin gradyan ve normal eğrilik hesaplamaları tanıtılmıştır. Bölüm 4'te bazı deneysel sonuçlara ve bu sonuçlara ilişkin yorumlara yer verilmiştir. Bölüm 5'te ise bazı öneri ve sonuçlara değinilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Nötrozofik Küme ve Nötrozofik Görüntü

Florentin Smarandache tarafından geliştirilen nötrozofik küme (NS), felsefenin bir dalı ve mantığın bir genellemesi olup kökeni, doğayı ve nötralitenin kapsamını inceleyen bir alandır (Smarandache ve Florentin, 2003). Nötrozofik teorisine göre her olay sadece doğruluk derecesi ile değil, aynı zamanda yanlışlık derecesi ile birlikte bir değerinden bağımsız şekilde değerlendirilerek belirsizlik derecesine de sahiptir. Nötrozofik teorisi, herhangi bir (A) önermesini, olayını, veya niceliğini onun karşısı (Anti-A) ve onu nötralize eden (Neut-A) ile birlikte inceler. Burada (Neut-A), ne (A) ne de (Anti-A)'dır. Bu teoreme göre doğadaki her (A) olayı, (Anti-A) ve (Neut-A) ile dengelenir. Nötrozofik dizide belirsizlik doğruluk derecesi, belirsizlik derecesi ve yanlışlık derecesi ile ölçülebilir. Bu kabul birçok uygulamada çok önemlidir. Çünkü herhangi bir önerme veya olayın sadece doğru veya yanlış olarak sınıflandırılmayacağı bazı uygulamalarda bu teori esnek karar imkanı sunmaktadır (Smarandache vd., 2019).

Eğer U evrensel kümesi NS A kümesini içerirse, A kümesi içerisindeki bir x elemanı, t 'nin T içinde, i 'nin I içinde ve f 'nin F içinde değişkenlik gösterdiği $x(t, i, f)$ olarak gösterilebilir. Bu $x(t, i, f)$ elemanı, şu şekilde A kümesine ait olur: Bu eleman %t doğru, %i belirsiz, %f yanlıştır (t elemanı T kümesi içinde, i elemanı I kümesi içinde ve f elemanı F kümesi içinde çeşitlilik gösterir). Sonuç olarak bir önermenin veya olayın üyelik fonksiyonu T, I ve F üyelik kümelerinde değerlendirilir (Mohan vd., 2013).

Bir görüntü P_{NS} T, I ve F olmak üzere üç nötrozofik üyelik kümesi tarafından karakterize edilir. Görüntüdeki bir $P(i, j)$ pikseli nötrozofik alanda $P(T, I, F)$ olarak tanımlanır. $P(T, I, F)$ pikseli nötrozofik piksel parlaklığı kümesi içerisinde %t doğru, %i belirsiz ve %f yanlıştır. Görüntü pikseli $P(i, j)$ nötrozofik bölgeye dönüştürülerek $P_{NS}(i, j) = \{T(i, j), I(i, j), F(i, j)\}$ şeklinde ifade edilir. Burada $T(i, j)$, $I(i, j)$ ve $F(i, j)$ nötrozofik üyelik fonksiyonları olup sırasıyla doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık kümelerini ifade etmektedirler. Bu fonksiyonlar aşağıdaki gibi tanımlanırlar (Smarandache ve Florentin, 2003):

$$T(i, j) = \frac{\bar{g}(i, j) - \bar{g}_{\min}}{\bar{g}_{\max} - \bar{g}_{\min}} \quad (1)$$

$$\bar{g}(i, j) = \frac{1}{W \times W} \sum_{m=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{n=j-w/2}^{j+w/2} g(m, n) \quad (2)$$

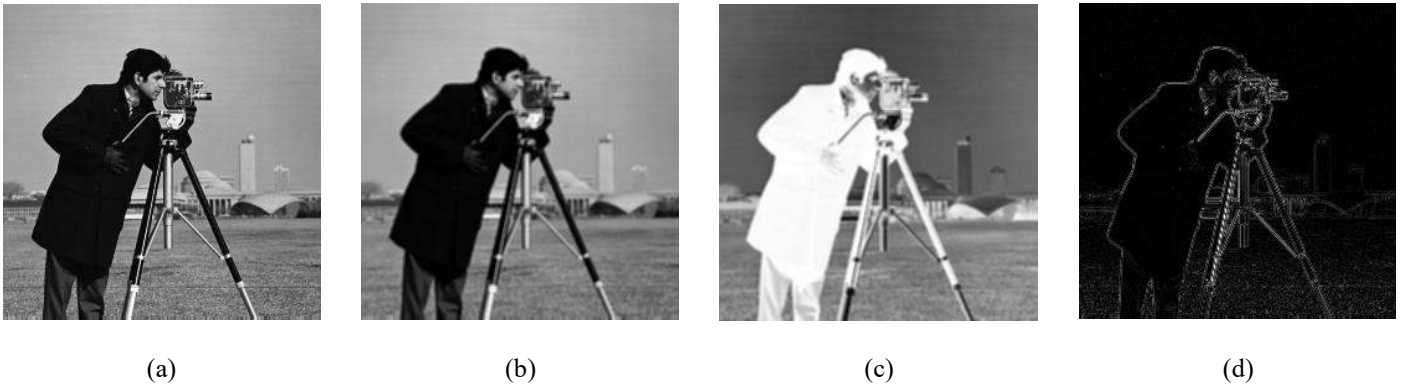
$$I(i, j) = \frac{\delta(i, j) - \delta_{\min}}{\delta_{\max} - \delta_{\min}} \quad (3)$$

$$\delta(i, j) = \text{abs}(g(i, j) - \bar{g}(i, j)) \quad (4)$$

$$F(i, j) = 1 - T(i, j) \quad (5)$$

$g(i, j)$ sembolü (i, j) pikselinin yoğunluk değerini gösterirken, $\bar{g}(i, j)$ sembolü $g(i, j)$ değerinin bölgesel ortalama değerini göstermektedir. $\delta(i, j)$ sembolü ise, $g(i, j)$ ve onun bölgesel ortalama değerini gösteren $\bar{g}(i, j)$ arasındaki farkın mutlak değeridir.

Bu çalışmada nötrozofik küme teorisi görüntü bölütleme veya kümeleme gibi işlemlerde kullanılmayacağı için, nötrozofik küme temelli bazı çalışmalarda kullanılan α -ortalama, β -iyileştirme ve nötrozofik görüntü entropi hesaplaması gibi işlemlerin yapılmasına gerek duyulmamıştır. Yapılan bu işlemler belirsizlik kümesindeki elemanlarının dağılımı daha düzenli hale getirmek için kullanılır. Ayrıca bu işlemler ile T ve F kümesindeki elemanlarının I kümesi ile olan ilişkileri düzenlenir. Önerilen örtüşme problemi azaltma yönteminde görüntü nötrozofik alana dönüştürülerek sadece T ve F kümeleri iteratif difüzyon işleminde gradyan ve normal eğrilik hesaplamak için kullanılmıştır. Bir görüntünün nötrozofik alana dönüştürülmesi ile elde edilen T , F ve I kümesi görüntüleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Gri seviye bir görüntünün nötrozofik kümeye dönüştürülmesi ile elde edilen alt küme görüntüleri. (a) Orijinal gri seviye görüntü, (b) T doğruluk kümesi görüntüsü, (c) F yanlışlık kümesi görüntüsü, (d) I belirsizlik kümesi görüntüsü

2.2. Kısmi Diferansiyel Denklem Temelli Difüzyon

Görüntülerde bulunan özellikle bulanıklık gibi problemlerin giderilmesinde difüzyon işlemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Khan vd., 2014; Li ve Meng, 2012; Nadernejad, vd., 2008). Yine gürültü giderme, kenar iyileştirme gibi uygulamalarda kullanılarak görüntünün bölütlenmesi ve kümelenmesi gibi işlemlerde kolaylık sağlar. Difüzyon işlemi genel olarak lineer ve lineer olmayan difüzyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Görüntü işleme uygulamalarında genellikle lineer olmayan difüzyon modelleri kullanılmaktadır (Khan vd., 2014). Lineer olmayan difüzyon modelleri de skaler ve tensör difüzyon modelleri olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Özellikle tensör difüzyon modeli görüntü iyileştirmede kullanılarak istenmeyen bileşenler görüntülerden kaldırılmıştır. Görüntü işleme uygulamaları için ilk defa Perona ve Malik tarafından lineer olmayan difüzyon yöntemi önerilmiştir (Perona ve Malik, 1990). Difüzyon işlemi analitik olarak difüzyon denklemi olarak bilinen aşağıdaki kısmi diferansiyel denklem kullanılarak tanımlanır (Khan vd., 2014; Ziou ve Horé, 2012):

$$\begin{cases} \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial t} = \text{div}[\lambda(x, y, t) \nabla f(x, y, t)] \\ f(x, y, 0) = f_0(x, y) \end{cases} \quad (6)$$

Burada $f(x, y, t)$ ve $\lambda(x, y, t)$ sırasıyla (x, y) piksel konumunda ve t zamanında difüzyon yoğunluğunu ve difüzyon katsayısını ifade etmektedirler. ∇ gradyan operatörünü, div ise difüzyon operatörünü ifade etmektedir (Perona ve Malik, 1990). Denklem (6)'da λ katsayısı sabit olmayıp x , y ve t değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Bazı çalışmalarda λ katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Ziou ve Horé, 2012):

$$\lambda(x, y, t) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\|\nabla f(x, y, t)\|}{\beta} \right)^2} \quad (7)$$

Burada β katsayısı difüzyon faktörünü kontrol etmektedir. λ değeri gradyan değerine göre artıp azalmaktadır. Özellikle görüntünün kenar bölgelerinde λ değeri azalırken, değişim içermeyen arka plan veya kenar olmayan bölgelerde λ değeri artmaktadır. Böylece difüzyon işleminin iteratif olarak görüntünün gradyan değerine göre görüntü üzerinde işlem yaptığı anlaşılabilir.

Difüzyon denkleminin etkinliğini arttırmak için, literatürde yapılan bazı çalışmalar ile farklı yapılar difüzyon denklemleri geliştirilmiştir (Abdallah ve Zineb, 2019; Jidesh ve George, 2012; Ziou ve Horé, 2012). Yapılan çalışmalar ile geleneksel difüzyon denkleminin güçlü gürültü varlığında kenar bölgelerinde sebep olduğu bilgi kaybı önlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca difüzyon eşikleme parametresini belirlenmesi ve kontrol edilmesi yeni yöntemler ile daha kolay hale getirilmeye çalışılmıştır. Özellikle Gaussian gradyan modeli kullanılarak geliştirilen difüzyon yöntemleri bahsedilen zorluklara karşı etkin sonuçlar üretmiştir (Liu vd., 2018).

Ziou ve Horé tarafından geliştirilen ve Denklem 8'de görülen güçlü difüzyon denklemi kullanılarak gri seviye ve renkli görüntülerdeki örtüşme problemi azaltılmıştır (Ziou ve Horé, 2012). Onlar Perona ve Malik tarafından geliştirilen difüzyon denkleminin kenar çevrelerindeki örtüşme giderici etkinliğini güçlendirmek için yeni bir difüzyon denklemi geliştirmişlerdir. Burada not edilmesi gereken önemli bir husus şudur: Onlar geliştirdikleri yöntemde renkli görüntüleri öncelikle YUV renk uzayına dönüştürerek sadece Y bandı üzerinde difüzyon işlemi yapmışlardır. Bu noktada λ katsayısının Y bandı üzerinde ve özellikle gradyan değişiminin yüksek olduğu bölgelerde etkinliğini kontrol etmek için aşağıdaki denklem geliştirilmiştir:

$$\begin{cases} \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial t} = [1 - \lambda(x, y, t)] \kappa \|\nabla f(x, y, t)\| \\ f(x, y, 0) = f_0(x, y) \end{cases} \quad (8)$$

Burada κ kenar boyunca normal eğriliği, ∇ ise gradyan operatörünü göstermektedir. $t = 0$ başlangıç zamanında $f = f_0$ dır. Denklem 8'de verilen λ yayını işlemi Denklem 7'de verilen ifade kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklem 8'de görüldüğü gibi, yayını işlemi $1 - \lambda(x, y, t)$ şeklinde kullanılarak ters yayını yapılmıştır. Buradaki amaç örtüşme içeren kenarlarda daha küçük yayını değerleri elde edilmesini sağlamaktır. Böylece daha yüksek $\|\nabla f\|$ değeri elde edilerek kenar bölgelerinde daha fazla difüzyon etkisi oluşturulması amaçlanmıştır. Homojen görüntü bölgelerinde $1 - \lambda(x, y, t)$ değeri 0'a yaklaşır (Ziou ve Horé, 2012). Bunun sonucu olarak Denklem 8'de görüldüğü gibi κ eğriliğinin etkisi azaltılır. Bu durumda örtüşme içermeyen homojen görüntü bölgelerinde difüzyon işleminin etkisi azaltılarak bilgi kaybının ve aşırı filtrelemenin önüne geçilebilir.

Örtüşme problemini gidermek için geliştirilen difüzyon denklemi gri seviye ve renkli görüntülerde başarılı sonuçlar vermekle birlikte bazı kısıtlılıklara sahiptir. Denklemde kullanılan eğrilik bilgisi geleneksel komşu piksel farkına dayalı gradyan hesaplaması ile elde edildiği için hesaplanan eğrilik bilgisinin ayırt ediciliği diğer türev hesaplama yöntemlerine göre daha zayıftır. Ayrıca eğrilik bilgisi doğrudan giriş görüntüsü kullanılarak hesaplanmaktadır. Giriş görüntüleri gürültü, bulanıklık ve kontrast eksikliği gibi problemler içerdiğinde, hesaplanan eğrilik bilgisinin ayırt ediciliği beklenen düzeyde olmamaktadır. Hâlbuki bu eğrilik bilgisi Denklem 8 ile birlikte difüzyon işleminde iteratif bir yaklaşım ile tüm görüntü pikselleri için hesaplanmaktadır. Tüm pikseller için ayrı ayrı hesaplanan eğrilik bilgisi κ gradyan bilgisi $\|\nabla f\|$ ile her iterasyonda etkileşerek denklemin tümü üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Bu noktada Denklem 8 üzerinde aktif bir şekilde kullanılan eğrilik bilgisinin ayırt ediciliğini ve belirleyici rolünü arttıracak çalışmalar ile örtüşme problemine farklı çözümler getirilebilir.

2.3. Önerilen Nötrozofik Küme Temelli Difüzyon Yöntemi

Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi, difüzyon işleminde giriş görüntüsünün λ , gradyan, laplace ve eğrilik gibi hesaplamaların içinde aktif olarak kullanılması difüzyon işlemi üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Giriş görüntüsünde bulunabilen gürültü ve kontrast eksikliği gibi bazı istenmeyen bileşenler özellikle kenar ve köşe gibi bölgelerde aşırı veya eksik difüzyon işlemine yol açmaktadır. Ayrıca bir nesnenin iç bölgelerinde homojen bölgeler olabilmekle beraber, bu bölgelerde difüzyon yapılması ile aşırı yumuşatılmış bir görüntü oluşabilmektedir. Bunun sonucunda bilgi kaybı meydana gelip, sınıflandırma veya bölütleme gibi ileri işlemlerde başarı oranı düşmektedir. Bu noktada görüntüdeki örtüşme problemi kaldırılırken, görüntünün farklı bölgelerindeki ayırt edici öznelik bilgilerinin korunması sağlanmalıdır. Aksi halde görüntüden anlamlı ve ayırt edici öznelik bilgileri elde edilemeyerek sınıflandırıcının performansı zayıflatılacaktır.

Bu çalışmada Denklem 8’de verilen difüzyon denkleminde yola çıkılarak, bu denklemin örtüşme azaltıcı etkisini arttırmak için nötrozofik doğruluk ve yanlışlık kümelerini aktif olarak kullanan yeni bir difüzyon yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen yeni yöntemde nötrozofik kümeler şu şekilde kullanılmıştır:

İlk olarak $[1-\lambda(x, y, t)]$ şeklinde tanımlanan ters yayılım işleminde $\lambda(x, y, t)$ katsayısının hesaplanmasında giriş görüntüsü yerine nötrozofik doğruluk kümesi T kullanılarak yatay ve dikey yönde gradyan bilgisi hesaplanır. Gri seviye görüntülerde, görüntü ilk olarak nötrozofik alana dönüştürülür. Daha sonra elde edilen nötrozofik doğruluk T kümesi (görüntüsü) kullanılarak gradyan hesaplaması yapılır. Gradyan hesaplamasında Gaussian türev filtrelerinden faydalanılmıştır. Nötrozofik doğruluk kümesi T kullanılarak yatay ve dikey yönde gradyan bilgisi aşağıdaki şekilde matematiksel olarak ifade edilir:

$$gradX = T * G_x \quad (9)$$

$$gradY = T * G_y \quad (10)$$

Burada G_x ve G_y Gaussian fonksiyonunun birinci türevleri kullanılarak inşa edilen sırasıyla birinci merteye yatay ve dikey türev filtrelerini göstermektedir. Gri görüntü üzerinde hesaplanan Nötrozofik T kümesi ile bu filtreler evrişim işlemine tabi tutularak T kümesinin yatay ve dikey gradyan bilgileri hesaplanmıştır. $gradX$ ve $gradY$ kullanılarak gradyan büyüklüğü hesaplanmıştır. Elde edilen gradyan bilgisi Denklem 7 içerisinde kullanılarak λ hesaplanır. Nötrozofik küme temelinde hesaplanan λ bilgisi Denklem 8’de görüldüğü gibi iteratif olarak difüzyon işleminde aktif olarak kullanılır. Renkli görüntülerde ise, renkli görüntü nötrozofik alana dönüştürüldükten sonra elde edilen renkli nötrozofik doğruluk kümesi T YUV renk uzayına dönüştürülür. Daha sonra sadece Y bandı kullanılarak λ bilgisi Denklem 7’de ki gibi hesaplanır. T kümesi kullanılarak yapılan difüzyon işlemi sonrasında elde edilen iyileştirilmiş görüntü tekrar RGB uzayına dönüştürülür. Gri seviye ve renkli görüntüler için ters yayılım işleminde giriş görüntüsü yerine nötrozofik doğruluk kümesi T kullanımı önerilen yeni yöntemin önemli farklılıklarından biridir.

Ziou ve Horé tarafından önerilen yöntemin difüzyon denkleminde (Denklem 8) kullanılan bir diğer önemli terim eğrilik bilgisi κ hesaplamasıdır (Ziou ve Horé, 2012). Eğrilik bilgisi her iterasyonda gri seviye giriş görüntüsünün tüm pikselleri üzerinde hesaplanmaktadır. Renkli görüntülerde ise görüntü YUV renk uzayına dönüştürülerek sadece Y bandı üzerinde eğrilik hesaplanmaktadır. Elde edilen Y bandında giriş görüntüsünde bulunabilen gürültü gibi bileşenler hesaplanan eğrilik bilgisinde bazı istenmeyen değişim bilgilerinin örtüşme problemi olarak algılanmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte özellikle bazı görüntülerin homojen bölgelerinde bilgi kaybına ve aşırı yumuşatma işlemine neden olmaktadır. Bu nedenle önerilen yeni yöntemde Denklem 8’de kullanılan eğrilik bilgisinin κ hesaplanmasında giriş görüntüsü yerine nötrozofik yanlışlık kümesi F kullanılmıştır. Gri seviye görüntüler için nötrozofik kümede tanımlanan F görüntüsü ile eğrilik hesaplaması yapılmıştır. Renkli görüntülerde ise görüntü nötrozofik kümede tanımlanarak elde edilen RGB renk uzayındaki F görüntüsü YUV uzayına dönüştürülür. Sadece Y bandı üzerinde eğrilik hesaplaması yapılır. Bu bilgiler doğrultusunda eğrilik bilgisi κ matematiksel olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$d_x = ((F(x+1, y) - F(x-1, y)) / 2) \quad (11)$$

$$d_y = ((F(x, y+1) - F(x, y-1)) / 2) \quad (12)$$

$$d_{xx} = (F(x+1, y) - 2F(x, y) + F(x-1, y)) \quad (13)$$

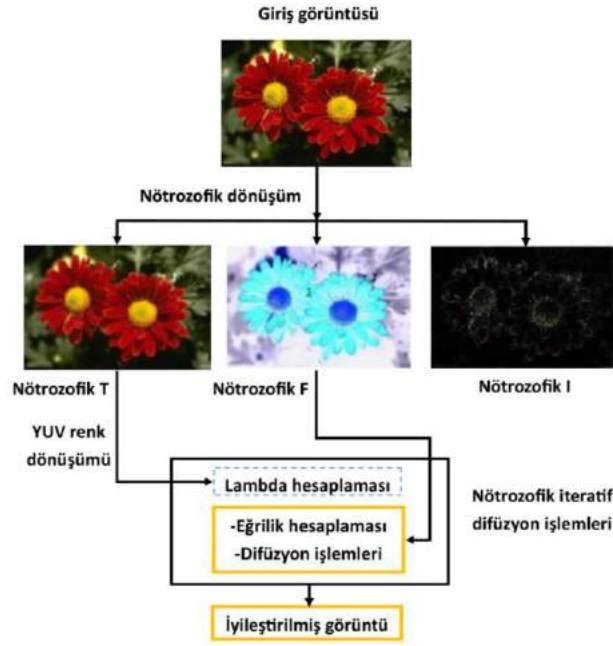
$$d_{yy} = (F(x, y+1) - 2F(x, y) + F(x, y-1)) \quad (14)$$

$$d_{xy} = ((F(x+1, y+1) + F(x-1, y-1) - F(x+1, y-1) - F(x-1, y+1)) / 4) \quad (15)$$

Yukarıdaki denklemlerde F giriş görüntüsünün nötrozofik alana dönüştürülmesi ile elde edilen nötrozofik yanlışlık kümesini göstermektedir. d_x ve d_y nötrozofik yanlışlık kümesi F ’nin yatay ve dikey yönlerdeki birinci türev bilgilerini gösterirken, d_{xx} , d_{yy} ve d_{xy} ise nötrozofik yanlışlık kümesi F ’nin yatay, dikey ve diagonal yönlerdeki ikinci türev bilgilerini göstermektedir. Vurgulanması gereken temel nokta ise eğrilik hesaplamasında kullanılan bu türev bilgilerinin giriş görüntüsü yerine nötrozofik yanlışlık kümesi F ’den elde edilmiş olmasıdır. Böylece nötrozofik yanlışlık kümesi kullanılarak eğrilik bilgisi κ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\kappa = \frac{d_x^2 d_{yy} - 2d_x d_y d_{xy} + d_y^2 d_{xx}}{(d_x^2 + d_y^2)^{3/2}} \quad (16)$$

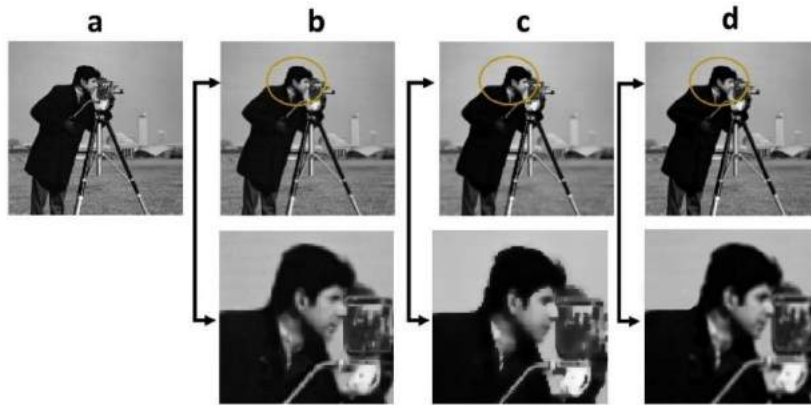
Önerilen nötrozofik küme temelli difüzyon denklemi λ ve κ bilgilerinin Denklem 8’de kullanılmasına dayanmaktadır. Böylece giriş görüntüsünü temel alarak yapılan difüzyon temelli iyileştirme prosedürüne yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır. Nötrozofik küme bileşenlerinin difüzyon işleminde kullanılması ile etkin gradyan ve normal eğrilik bilgisi hesaplamaları yapılmıştır. Böylece değişim bilgisinin yoğun olduğu örtüşme bölgelerinde gradyan ve eğrilik hesaplamalarının ayırt ediciliği artırılırken, homojen bölgelerdeki bilgi kaybı ve aşırı filtreleme azaltılmıştır. Önerilen yöntemin akış diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Renkli görüntü için önerilen yöntemin temel işlem adımları

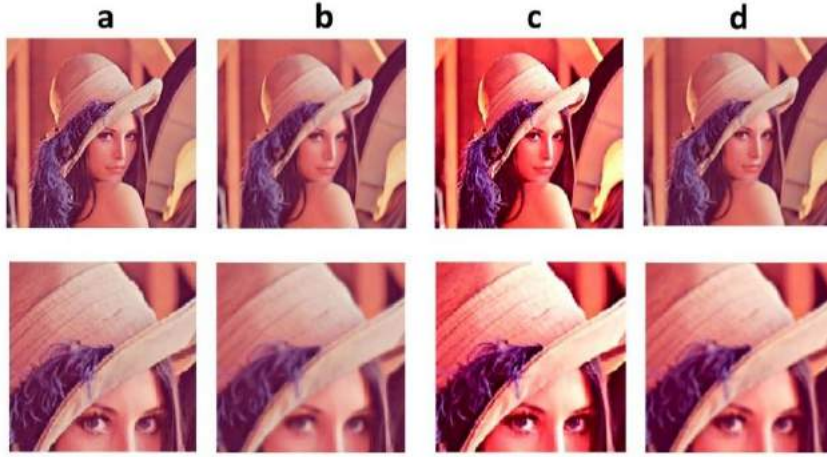
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Geliştirilen nötrozofik küme temelli difüzyon yönteminin etkinliğini göstermek için bir dizi uygulama yapılmıştır. Geliştirilen yöntem literatürdeki iki farklı yöntem ile karşılaştırılmıştır. İlk yöntem Perona ve Malik tarafından geliştirilen ve orijinal difüzyon denklemini kullanan yöntemdir (Perona ve Malik, 1990). Diğer yöntem ise Ziou ve Horé tarafından orijinal difüzyon denkleminin kısmi diferansiyel denklem temelinde geliştirilmesi ile önerilmiş olan difüzyon yöntemidir (Ziou ve Horé, 2012). Kolaylık olması açısından Perona ve Malik tarafından geliştirilen yöntem P-M yöntemi, Ziou ve Horé tarafından yöntem ise Z-H yöntemi olarak anılacaktır. İlk olarak yöntemlerin gri seviye görüntü üzerindeki örtüşme giderici etkinlikleri analiz edilmiştir. Üç yöntem için difüzyon işlemi iterasyon sayısı 5 olarak sabitlenmiştir. P-M yöntemi için integrasyon sabiti $1/7$, ayrık kısmi diferansiyel denklem çözümünde kullanılan katsayı (κ) ise optimal sonucu verecek şekilde seçilmiştir. Z-H ve önerilen yöntem için filtre boyutları yatay ve dikey yön için 5, Gaussian türev için standart sapma değeri 1 olarak alınmıştır. Diğer bazı parametreler ise iki yöntem için aynı kullanılmıştır. Şekil 4'te örtüşme azaltma amaçlı geliştirilen yöntemlerin sonuçları görülmektedir. İlk satır elde edilen iyileştirilmiş görüntüleri, ikinci satır ise iyileştirilmiş görüntünün bir bölümünün büyütülmüş halidir. Böylece sonuçların özellikle görsel açıdan daha iyi yorumlanabilmesi sağlanmıştır. P-M yöntemi yüz ve boyun bölgesinde aşırı filtreleme yaptığı için özellikle ağız, burun ve göz bölgelerini tüm yüz bölgesine benzer bir şekilde üretmiştir. Özellikle bölütleme gibi uygulamalarda bu durum olumsuz sonuçlara yol açacaktır. Ayrıca saç kısımlarında diğer yöntemlere göre daha fazla örtüşme kalıntısı vardır. Z-H yöntemi P-M yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Önerilen nötrozofik küme temelli yöntem ise Z-H yöntemine göre kısmen daha iyi sonuçlar üretmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi, özellikle yüz bölgesindeki detaylar önerilen yöntem ile daha iyi korunmuştur. Ayrıca palto ve saç bitimi gibi alanlarda gürültü sayılabilecek piksel izleri daha azdır.



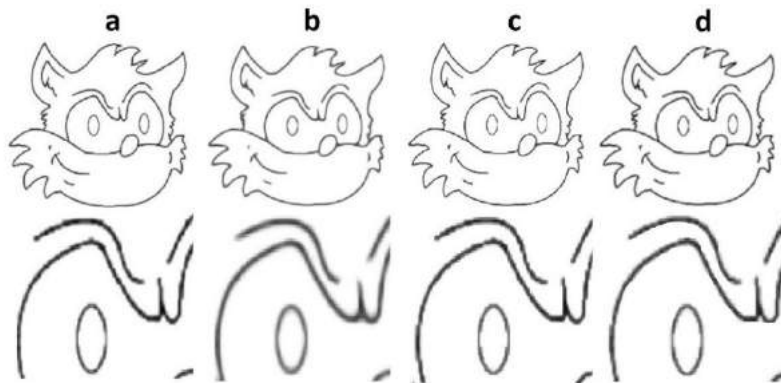
Şekil 4. Bazı örtüşme etkileri eklenen gri seviye görüntü ve yöntemlerin örtüşme giderici işlemleri sonucu elde edilen görüntüler. (a) örtüşme içeren orijinal görüntü, (b) Ziou ve Horé yönteminin sonuçları (c) Perona ve Malik yönteminin sonuçları, (d) önerilen yöntemin sonuçları

İkinci uygulamada renkli görüntü üzerinde önerilen yöntemin etkileri incelenmiştir. Görüntüye örtüşme etkileri eklenmiştir. Şekil 5'te yöntemlerin sonuçları ile bazı bölgelerin sonuçlarının büyültülmüş görüntüleri verilmiştir. Z-H yöntemi görüntüde özellikle kenar bölgelerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Örneğin şapka ve omuz bölgelerinde Z-H yöntemi ile örtüşme etkisi azaltılmıştır. Ancak sonuçlar görsel olarak yorumlandığında ise başka bir problem göze çarpmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi, örtüşme etkileri azaltılırken görüntüdeki önemli bilgiler kaybedilmemelidir. Fakat Z-H yöntemi görüntünün geneli üzerinde aşırı filtreleme yaptığı için fazla yumuşatma yapılmasına neden olmuştur. Şekil 5-b'de görüldüğü gibi bu durum göz ve kaş bölgelerinde sınırların belirginliğinde azalmaya neden olmuştur. P-M yöntemi görüntü üzerinde fazla netlik yaparak keskinliğe yol açmıştır. Örtüşme etkisinin olduğu bölgelere yaptığı gradyan temelli filtrelemede görüntünün orijinal görüntüden farklı olarak histogram dağılımını da etkileyecek şekilde keskinlik belirtileri bırakmıştır. Bu durum görüntünün orijinal görüntü ile olan benzerliğini azaltmıştır. Yine zıtlık eksikliği içeren göz gibi bölgelerde kısmi olarak renk ve piksel kaybına yol açmıştır. Önerilen yöntem diğer iki yöntemle göre görece olarak daha iyi sonuçlar üretmiştir. Özellikle Z-H yöntemi ile karşılaştırıldığında, göz bölgesinde daha iyi ve belirgin farklılıklar içermektedir. Z-H yöntemi iyileştirme yaparken sağ kaşın uzunluğunu ve göz çevresinin sınırlarını koruyamazken, nötrozofik küme temelli yöntem bu bölgeleri koruyabilmiştir. Nötrozofik T kümesi ile hesaplanan gradyan ile görüntünün kenar bölgeleri korunurken, Nötrozofik F kümesi ile de kenar bölgeleri boyunca arka plandan farklı ve görüntüden az etkilenen eğrilik bilgisi hesaplanabilmiştir.



Şekil 5. Bazı örtüşme etkileri eklenen renkli görüntü ve yöntemlerin bu görüntü üzerindeki örtüşme giderici işlemler sonucu elde ettikleri görüntüler. (a) örtüşme içeren orijinal görüntü, (b) Ziou ve Horé yönteminin sonuçları (c) Perona ve Malik yönteminin sonuçları, (d) önerilen yöntemin sonuçları

Yapılan son uygulamada çizgi içeren bir görüntü kullanılmıştır. Şekil 6'da yöntemlerin sonuçları ile bazı bölgelerin sonuçlarının büyültülmüş görüntüleri verilmiştir. Kenar bölgelerdeki örtüşme etkisi Z-H yöntemi ile azaltılmıştır. İyileştirme yapılırken temel bilgilerin korunması açısından Z-H yöntemi bazı problemler içermektedir. Ancak bu yöntem diğer uygulamalarda olduğu gibi, iyileştirme yaparken kenar çizgilerinin özellikle bitiş kısımlarını arka plandan etkilenerek kısaltmıştır. Şekil 6-b'de ilk satırda bu durum görülebilir. Örneğin kaş ve kulak çizgileri orijinal görüntüye göre daha kısadır. Ayrıca tüm görüntü üzerinde bulanıklaşma etkisi bırakmıştır. P-M yöntemi ise kenar bölge sınırlarını korurken örtüşme gidermede yeteri kadar etkili olamamıştır. Kenar bölgelerinin iç kısımları korunurken, arka plana yakın dış sınırlarda örtüşme etkisi devam etmiştir. Önerilen yöntem diğer iki yöntemle göre daha kabul edilebilir bir etkiye sahiptir. Özellikle kenar bölgelerinin sınırları tam olarak korunabilmiştir. Görüntünün örtüşme içermeyen bölgelerinde aşırı filtreleme yapmamıştır. Örtüşme bölgelerinde yumuşatma yaparak problemi diğer yöntemlere göre daha iyi çözmüştür.



Şekil 6. Örtüşme etkileri eklenen görüntü ve yöntemlerin örtüşme giderici işlemler sonucu elde ettikleri görüntüler. (a) örtüşme içeren orijinal görüntü, (b) Ziou ve Horé yönteminin sonuçları (c) Perona ve Malik yönteminin sonuçları, (d) önerilen yöntemin sonuçları

Yöntemlerin örtüşme giderme başarıları görsel sonuçların yanı sıra, ayrıca Ortalama Karesel Hata (OKH) açısından da incelenmiştir. Tablo 1’de kenar noktalarındaki OKH değerleri verilmiştir. Kenar noktalarındaki OKH değerleri örtüşme içeren orijinal görüntü ve yöntemlerin elde ettikleri iyileştirilmiş görüntü ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem diğer yöntemlere göre daha küçük OKH değeri elde etmiştir. Önerilen yöntem hem kenar bilgilerini korumada hem de örtüşmeyi azaltmada etkin olduğu için daha iyi OKH değerlerine sahip olabilmektedir.

Tablo 1. Kenar piksellerde ortalama karesel hata (OKH) değerleri. ÖG:örtüşme içeren görüntü, Z-H: Ziou ve Horé yöntemi, P-M: Perona ve Malik yöntemi, NY: Önerilen nötrozofik yöntem

Görüntü	ÖG	Z-H	P-M	NY
Şekil 4	1493.34	1097.14	1261.57	1027.34
Şekil 5	924.49	586.42	785.24	543.81
Şekil 6	986.82	728.31	824.38	713.27

4. Sonuç

Bu çalışmada görüntülerdeki örtüşme problemini azaltmak için Ziou ve Horé tarafından geliştirilen difüzyon yöntemi nötrozofik küme temelinde yeniden yorumlanmış ve nötrozofik küme bileşenlerini kullanan yeni bir difüzyon yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin gradyan hesaplamasında orijinal giriş görüntüsü yerine görüntünün nötrozofik doğruluk kümesi kullanılmaktadır. Böylece görüntü etkileri azaltılmış bir türev bilgisi elde edilmiştir. Ayrıca difüzyon işleminde kullanılan eğrilik hesaplamasında nötrozofik yanlışlık kümesi kullanılarak özellikle kenar bölgeleri boyunca arka plandan daha az etkilenen bir eğrilik bilgisi elde edilmiştir. Hesaplanan gradyan ve eğrilik bilgisi ters yayılım fonksiyonunun etkinliğini artırarak iteratif difüzyon işleminin iyileştirici etkisini güçlendirmiştir. Renkli görüntülerde iyileştirme yapılırken görüntünün nötrozofik doğruluk kümesi YUV renk uzayına dönüştürülmüştür. Doğruluk kümesinin sadece Y bandı üzerinde difüzyon işlemi yürütülmüştür. Elde edilen iyileştirilmiş Y bandı daha sonra U ve V uzayı ile birleştirilerek tekrar RGB uzayına dönüştürülmüş ve iyileştirilmiş görüntü elde edilmiştir. Özellikle kenar bilgilerini koruma odaklı yapılan iyileştirme sonucunda önerilen yöntem diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar üretmiştir. Farklı gri seviye ve renkli görüntüler üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda hem görsel açıdan hem de ortalama karesel hata açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen yöntem sınıflandırma, bölütleme ve arka plan ayırma gibi ileri işlemler öncesinde görüntülerdeki örtüşme problemini azaltmak için ön işlem olarak kullanılabilir. Bununla birlikte nötrozofik kümedeki filtre parametresi sonuçlar üzerinde etkili olmakla beraber yöntemin parametre bağımlılığını arttırmaktadır. Ayrıca difüzyon işlemi öncesinde görüntü nötrozofik alana dönüştürüldüğü için, Z-H yöntemine göre kısmen zaman maliyeti içermektedir.

Kaynakça

- Abdallah, A., & Zineb, A. (2018). Adaptive Non-linear Diffusion Based Local Binary Pattern for Image Denoising. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Applied Smart Systems, ICASS 2018*, 1–5.
- Casciola, G., Montefusco, L. B., & Morigi, S. (2010). Edge-driven image interpolation using adaptive anisotropic radial basis functions. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 36(2), 125–139.
- Chae, E., Lee, E., Kang, W., Lim, Y., Jung, J., Kim, T., ... Paik, J. (2013). Frequency-domain analysis of discrete wavelet transform coefficients and their adaptive shrinkage for anti-aliasing. In *2013 IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2013 - Proceedings*, 1071–1074.
- Gan, J., & Taubman, D. (2007). Non-separable wavelet-like lifting structure for image and video compression with aliasing suppression. In *IEEE International Conference in Image Processing*, 65-68.
- Jia, J., Barnard, K. J., & Hirakawa, K. (2016). Fourier Spectral Filter Array for Optimal Multispectral Imaging. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25(4), 1530–1543.
- Jiang, X., Chen, X., He, L., & Jeon, G. (2015). Improved directional weighted interpolation method combination with anti-aliasing FIR filter. In *IST 2015 - 2015 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques, Proceedings*, 1–6.
- Jidesh, P., & George, S. (2012). Shock coupled fourth-order diffusion for image enhancement. *Computers and Electrical Engineering*, 38(5), 1262–1277.
- Kawase, M., Shinoda, K., & Hasegawa, M. (2019). Demosaicking using a spatial reference image for an anti-aliasing multispectral filter array. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(10), 4984–4996.
- Khan, T. M., Khan, M. A. U., & Kong, Y. (2014). Fingerprint image enhancement using multi-scale DDFB based diffusion filters and modified Hong filters. *Optik*, 125(16), 4206–4214.
- Kulberg, N. S., & Yakovleva, T. V. (2012). Isotropic kernels for two-dimensional image interpolation. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 44(3), 399–410.
- Li, B., & Meng, M. Q. H. (2012). Wireless capsule endoscopy images enhancement via adaptive contrast diffusion. *Journal of Visual*

Communication and Image Representation, 23(1), 222–228.

- Liu, C., Yan, X., & Yang, B. (2017). An adaptive anisotropic thermal diffusion filter for image smoothing. In *Proceedings - 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics*, 1–5.
- Mohan, J., Krishnaveni, V., & Guo, Y. (2013). MRI denoising using nonlocal neutrosophic set approach of Wiener filtering. *Biomedical Signal Processing and Control*, 8(6), 779–791.
- Nadernejad, E., Koochi, H., & Hassanpour, H. (2008). PDEs-Based Method for Image Enhancement. *Applied Mathematical Sciences*, 2(20), 981–993.
- Perona, P., & Malik, J. (1990). Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12(7), 629–639.
- Smarandache, F., Broumi, S., Singh, P. K., Liu, C., Venkateswara Rao, V., Yang, H.-L., ... Elhassouny, A. (2019). Introduction to neutrosophy and neutrosophic environment. In *Neutrosophic Set in Medical Image Analysis*, 3–29.
- Smarandache, & Florentin. (2003). A Unifying Field in Logics Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability (third). American Research Press.
- Sung, M., & Choi, S. (2017). Selective Anti-Aliasing for Virtual Reality Based on Saliency Map. In *Proceedings - 2017 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality*, 16–19.
- Wang, Z., & Qi, F. (2005). Analysis of multiframe super-resolution reconstruction for image anti-aliasing and deblurring. *Image and Vision Computing*, 23(4), 393–404.
- Winger, L. L. (1999). Low-aliasing wavelets for pyramidal image coding. In *IEEE International Conference on Image Processing Vol. 2*, 255–259.
- Yang, H., Gao, J., & Wu, Z. (2007). An efficient approach for registration and super-resolution of aliased images. In *2007 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems, ISPACS 2007 - Proceedings*, 694–697.
- Yang, L., Pedro V., S., Jason, L., & Hugues, H. (2011). Antialiasing recovery. *ACM Transactions on Graphics*, 30(3), 1–9.
- Yang, Y., Liu, F., Jin, Z., & Crozier, S. (2015). Aliasing Artefact Suppression in Compressed Sensing MRI for Random Phase-Encode Undersampling. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(9), 2215–2223.
- Zhao, C., Shao, M., Carass, A., Li, H., Dewey, B. E., Ellingsen, L. M., ... Prince, J. L. (2019). Applications of a deep learning method for anti-aliasing and super-resolution in MRI. *Magnetic Resonance Imaging*, 64, 132–141.
- Zhao, Y., Xu, J., Li, H., & Zhang, P. (2018). Edge information diffusion-based reconstruction for cone beam computed laminography. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(9), 4663–4675.
- Ziou, D., & Horé, A. (2011). Reducing aliasing in images: A simple diffusion equation based on the inverse diffusivity. In *Proceedings - International Conference on Image Processing*, 3389–3392.
- Ziou, D., & Horé, A. (2012). Reducing aliasing in images: A PDE-based diffusion revisited. *Pattern Recognition*, 45(3), 1180–1194.

Yön-Kesme Yöntemi ve Kare Izgarada Adreslenmiş Temel Arşimet Latislerinde İki-Boyutlu Bağ Perkolasyonu

Alptekin Yıldız¹

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4801-2209)
İstanbul Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4801-2209)

(İlk Geliş Tarihi 3 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 11 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.682106)

ATIF/REFERENCE: Yıldız, A. (2020). Yön Kesme Yöntemi ve Kare Izgarada Adreslenmiş Temel Arşimet Latislerinde İki-Boyutlu Bağ Perkolasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 515-530.

Öz

Perkolasyon teorisi, ağ yapıları üzerinde faz geçişleri sırasında gerçekleşen olayları anlamayı ve tanımlamayı hedefleyen istatistiksel bir yaklaşımdır. Yapılan bu çalışmada, geliştirilen *yön-kesme yöntemi* tanıtılarak, perkolasyon teorisinin en temel ve yaygın uygulaması olan iki-boyutlu izgaralar üzerinde, Monte Carlo temelli bir benzetimde, perkolasyon eşiği ve kritik üstellerin tespit edilebileceği gösterilmiştir. Latis üzerindeki herhangi bir düğüm noktasına ait komşuları gözetererek, bu noktaya ait bağ potansiyelini bir dizi ile tanımlayan yöntem, kurulmuş bağların tekrarlanmaması ve tanımlı olmayan bağların kurulmaması için ilgili yönlerin kesilerek diziden çıkartılmasına dayanmaktadır. Ayrıca, referans numaralarına dayalı kümelenme sistemiyle, küme davranışlarını incelemeye olanak sağlayan algoritma, bu yöntemle evrensel davranışların ve kritik üstellerin de tespit edilmesini sağlamaktadır. Çalışmada, yöntemin sınanması adına, kare izgara üzerine adreslenen üç farklı temel Arşimet latislerinde, perkolasyon benzetimleri yapılmıştır. İki-boyutta bağ perkolasyonu için, üçgen, kare ve bal peteği latislerinde, gerçek değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 0,3473, 0,5 ve 0,6527 olan perkolasyon eşikleri, 1000×1000 boyutlarına sahip bir izgara üzerinde üçgen latis için $0,3469 \pm 0,0016$, kare latis için $0,4992 \pm 0,0022$ ve bal peteği latis için $0,6510 \pm 0,0027$ olarak tespit edilmiştir. Yine değerleri iki-boyutta evrensel olan kritik üsteller β , γ , ν ve fraktal boyut D , gerçek değerleri sırasıyla $5/36$ (~0,1389), $43/18$ (~2,3889), $4/3$ (~1,3333) ve $91/48$ (~1,8958) olmak üzere, üçgen, kare ve bal peteği latislerinde sırasıyla, β değeri 0,1389, 0,1386 ve 0,1390, γ değeri 2,3886, 2,3272 ve 2,3275, ν değeri 1,3326, 1,3392 ve 1,3168 ve son olarak D değeri 1,8801, 1,8729 ve 1,8932 şeklinde tespit edilmiştir. Her üç farklı latis için de oldukça uygun sonuçların elde edildiği benzetimler ışığında gösterilmiştir ki yön-kesme yöntemi farklı latis tiplerinde ve potansiyelde farklı boyutlarda, gerçekleştirilmesi hedeflenen perkolasyon benzetimlerine etkin ve nispeten kolay bir algoritma olmaya aday durumdadır.

Anahtar Kelimeler: Perkolasyon Teorisi, Perkolasyon Eşiği, Kritik Üsteller, Yön-Kesme Yöntemi.

Direction-Cut Method and Two-Dimensional Bond Percolation in Basic Archimedes Lattices Addressed on Square Latis

Abstract

Percolation theory is a statistical approach that aims to understand and identify events that occur during phase transitions on networks. In this study, with the developed *direction-cut method*, it has been shown that percolation threshold and critical exponents can be

¹ Sorumlu Yazar: İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4801-2209, alptekin_yildiz@hotmail.com

determined with Monte Carlo-based simulation on two-dimensional grids that are the most basic and common application of percolation theory. By considering the neighbors of any site on the lattice, the method of defining the bond potential of this site with an array is based on cutting the related directions from the array so that the established bonds are not repeated and the infeasible bonds are not established. In addition, the algorithm, which allows examining the cluster behavior with the cluster system based on reference numbers, enables the detection of universal behaviors and critical exponents. In order to test the method, percolation simulations have been performed in three different Archimedean lattices addressed on square grids. In two-dimensional bond percolation, on a 1000×1000 grid, the percolation thresholds for triangular, square, and honeycomb lattices, exact values of which are approximately 0.3473, 0.5 and 0.6527 respectively, have been found as 0.3469 ± 0.0016 for the triangular lattice, 0.4992 ± 0.0022 for the square lattice, and 0.6510 ± 0.0027 for the honeycomb lattice. Also, critical exponents such as β , γ , ν , and fractal dimension D , values of which are universal in two-dimensions and the exact values are $5/36$ (~ 0.1389), $43/18$ (~ 2.3889), $4/3$ (~ 1.3333), and $91/48$ (~ 1.8958), respectively, have been found as 0.1389, 0.1386, and 0.1390 for β ; 2.3886, 2.3272, and 2.3275 for γ ; 1.3326, 1.3392, and 1.3168 for ν ; and finally 1.8801, 1.8729, and 1.8932 for D in triangular, square and honeycomb lattices, respectively. The results of the simulations which are quite convenient for all three different lattices showed that the direction-cut method is a strong candidate to be an effective and relatively easy algorithm for percolation simulations targeted to different lattice types and potentially in different dimensions.

Keywords: Percolation Theory, Percolation Threshold, Critical Exponents, Direction-Cut Method.

1. Giriş

Staudinger'e ait tezin kabul görmesinin ardından (Feldman, 2008) başlayan polimer çağının en heyecanlı dönemlerinde, Flory'nin meşhur üç makalesiyle filizlenen perkolasyon teorisine ait serüven (Flory, 1941a, 1941b, 1941c), teoremin isim babaları Broadbent ve Hammersley'in gaz maskeleri üzerine yaptıkları çalışma ile gelişimine devam etmiştir (Broadbent ve Hammersley, 1957). Kristaller ve labirentler alt başlıklı matematik temelli bu çalışma, perkolasyon yaklaşımının farklı alanlarda da söz sahibi olup, Araújo ve arkadaşlarının da ifade ettiği şekilde (Araújo vd., 2014), ölmeye niyeti olmayan dokuz canlı bir kedi gibi, 21. yüzyıla kadar hız kaybetmeden gelişeceğini gösteren ilk işaret kabul edilebilir. Özellikle fizikçi ve matematikçilerin ilgisini sıklıkla çeken teori, iletken malzemeler, kıyı şeritlerine ait fraktallar, çok çeşitli ağ yapıları, türbülans, manyetik modeller, koloitler, büyüme modelleri, tutma kapasitesi ve peyzaj havzaları, spin kuantum Hall geçişi, kafes ayar kuramı, örgülerin cebirsel ve topolojik özelliklerine olasılıksal yaklaşımları gibi çok çeşitli alanlarda, farklı problemlere cevap verecek şekilde, büyük çaplı bir uygulama alanı bulmuştur (Saber, 2015).

1960'lı yılların başında, Fisher ve Essam tarafından yapılan çalışmalarla (Fisher, 1961; Fisher ve Essam, 1961), bilim camiasının gündemine giren küme ölçüleri ve perkolasyon eşikleri, bugün de halen farklı örgüler ve yapılar için en önemli konular arasında yer almaktadır. Ele alınan örgü veya yapının sahip olduğu ağ mimarisi ve boyutuna göre değişen perkolasyon eşikleri ve bununla birlikte, sistemin sadece boyutuna bağlı kalan kritik üsteller konusundaki çalışmalar, bilim insanları tarafından, teorik ve hesaplamalı düzlemde paralel şekilde ele alınmıştır. Bu bağlamda, Stauffer ve arkadaşlarının perkolasyon alanındaki katkıları oldukça önemli olup, yıllar içerisinde, meslektaşları için de büyük bir motivasyon kaynağına sebebiyet vermişlerdir (Stauffer, 1979; Stauffer ve Aharony, 1985; Stauffer vd., 1982). Günümüzdeyse, özellikle mühendislik çalışmalarında uygulama alanı bulan perkolasyon teorisi, ağ yapısı içeren ve/veya faz geçişlerinin görüldüğü sistemleri anlamak, yorumlamak ve şekillendirmek için biçilmiş kaftan rolünü devam ettirmektedir. Yüksek isterlere sahip teknolojilerde gereksinimi her geçen gün artan çoklu fonksiyona sahip kompozit malzemelerin geliştirilmesinden (Trompeta vd., 2019), bu malzemelerin en uygun özelliklerde üretimi adına teorik ve deneysel çalışmalara kadar (Kaynan vd., 2020; Li vd., 2007), ve hava trafiği modellemelerinde dahi (Cook vd., 2015) perkolasyon teorisi, bugün de başvurulması gereken yöntemler arasında halen ilk sıralardadır.

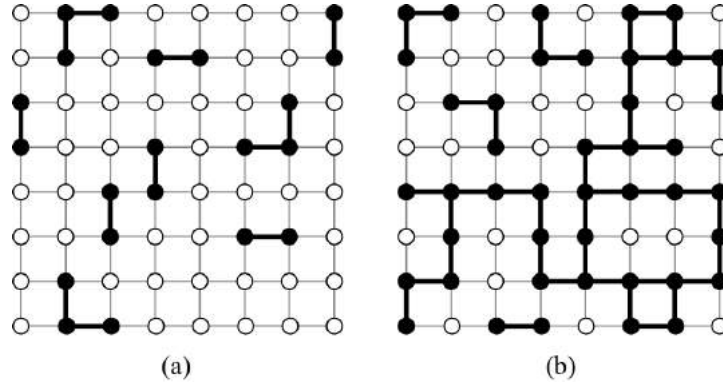
İki-boyutlu perkolasyon çalışmaları, stokastik Loewner evrimi, konformal dönüşüm ve ölçek değişmezliği, mknatıslanma, Ising modeli gibi genel itibarıyla matematiksel modeller ve teorik fizik çalışmaları için tercih edilse de (Saber, 2015), farklı mühendislik alanları (Fernandez-Anez vd., 2017; Winterfeld vd., 1981; Zeng vd., 2019) ve sosyal bilimler (Solomon vd., 2000) için de kullanım alanı sağlamıştır. Teoriye ait gelişimin ilk zamanlarından itibaren oldukça değerli çalışmaların yapıldığı iki-boyutta perkolasyon, kritik perkolasyon eşiklerinin tam değerlerinin bulunduğu ve kritik üstellerin tespit edildiği teorik (Sykes ve Essam, 1963, 1964) ve benzetim (Hoshen ve Kopelman, 1976; Hoshen vd., 1978) çalışmalarına sıklıkla konu olmuş ve halen olmaya da devam etmektedir (Newman ve Ziff, 2001; Vogel vd., 2010; Zerko vd., 2012).

Bu çalışmada, yön-kesme yöntemi olarak isimlendirilen bir algoritma, Monte Carlo temelli benzetim çalışmalarında kullanılmak üzere tanıtılmıştır. Yöntem, iki-boyut özelinde temel Arşimet latisleri üzerinde sınanarak, alınan sonuçlar evrensel davranışlar gözetilerek yorumlanmıştır. Bu yöntemle, iki- ve üç-boyutlu sistemler başta olmak üzere, giriş seviyesinden, daha yüksek derecede karmaşıklık içeren yapılara kadar perkolasyon benzetimleri yapılabilmektedir. Ana yöntem ek olarak, referans numaralarını temel alan kümelenme yapısıyla, oldukça etkili bir çalışma sistemine sahip olan algoritmalar, kümelenme ile ilgili yapılacak çalışmaların da önünü açmakta ve evrensel davranışlarını takip etmeyi kolaylaştırmaktadır. Yöntemi tanıtmak ve perkolasyon benzetimlerine uygun olduğunu göstermek amacıyla, iki-boyutlu Arşimet latisleri üzerinde bağ perkolasyonu seçilmiş olsa da yön-kesme yöntemi, esnek doğası nedeniyle nokta ve bağ perkolasyonu için de kullanılabilir. Latis üzerindeki herhangi bir düğüm noktasına, istenilen sayıda yön veya komşuluk tanımlanabilmesiyle, ihtiyaç olduğu takdirde, yüksek dereceli komşuluklara sahip latislere ve/veya iki-boyut üstündeki sistemlere de cevap verebilmektedir.

2. Perkolasyon Eşiği ve Kritik Üsteller

Perkolasyon teorisi, herhangi bir örgü üzerinde tanımlanmış düğüm noktaları ve bu noktalar arasındaki bağlar üzerinden iki farklı şekilde ele alınabilir. İlgili yaklaşım, eğer düğüm noktalarının dolu olup olmadıkları üzerinden tanımlanıyorsa nokta (site) perkolasyonu, eğer bu düğüm noktaları arasındaki bağlar üzerinden tanımlanıyorsa da bağ (bond) perkolasyonu olarak isimlendirilir. Fakat temel tutum her iki yaklaşım içinde aynıdır. Teoriye göre, herhangi bir anda, işgal edilen noktaların veya kurulan bağların sahip oldukları var olma olasılıkları p ise, boş noktaların veya kurulmamış bağların da olasılığı $1-p$ şeklindedir. p değerinin artmasıyla, yani noktaların dolması veya bağların kurulmasıyla oluşan kümelenmeler sayesinde, öyle bir an gelecektir ki bir küme, diğer oluşan kümelenmeleri de bünyesine katarak, tüm örgüde baskın pozisyona geçecektir. Sonsuz küme (s_∞) olarak isimlendirilen bu küme, sahip olduğu son eleman ile örgünün herhangi karşılıklı iki kenarına dokunacak kadar büyüyecektir. Bir faz geçişinin yaşandığı bu kritik noktadaki olaya perkolasyon, bu özel p değerine ise perkolasyon eşiği (p_c) ismi verilmektedir. Perkolasyonun gerçekleştiği eşik değeri her ne kadar örgüye bağlı olarak değişiklik gösterse de kümelenme ve faz geçişi ile ilgili fenomenler evrensel nitelikte olup, örgünün şeklinden bağımsız olarak sadece örgü boyutuna bağlı olacak şekilde meydana gelmektedirler.

Şekil 1’de, iki-boyutlu bir kare ızgara üzerinde, perkolasyon aşamaları tasvir edilmektedir. Bağ ve nokta perkolasyonu yaklaşımının her ikisi için de örnek olan bu tasvirde, zamanla kurulan bağlar veya işgal edilen noktalar görülmektedir. Başlangıçta küçük p değeri için oluşan kümeler az sayıda ve sahip oldukları eleman sayıları az miktarda iken (Şekil 1a), kritik eşik sonrası sonsuz küme oluşmuş ve sahip olduğu eleman sayısı tüm ızgarayı bir uçtan diğerine kapsayacak şekilde çoğalmıştır (Şekil 1b).



Şekil 1. Kare ızgara üzerinde kümelenme aşamaları; p (a) eşik değerinden küçük bir değere ve (b) eşik değerinin üstünde bir değere sahipken.

ızgara üzerindeki düğüm noktalarının, zamanla birbirleriyle bağ kurmaları, Şekil 1a’da görüldüğü gibi küçük kümelenmelerin başlaması anlamına gelmektedir. Matematiksel olarak bu kümeler ifade edilmek istenirse, s büyüklüğündeki kümelerin dağılım fonksiyonu n_s olmak üzere, kümelerin ortalama büyüklüğü,

$$S(p) = \frac{\sum_s s^2 n_s(p)}{\sum_s s n_s(p)} \quad (1)$$

değerine eşittir. Bu büyüklük, perkolasyon eşiğine yaklaştıkça sonsuza doğru yaklaşırken, davranışı ise,

$$S(p) \propto (p_c - p)^{-\gamma}, \quad p \rightarrow p_c^- \quad (2)$$

şeklinde orantılıdır. Rastgele bir bağın sonsuz kümeye ait olma olasılığı olarak tanımlanan sonsuz kümenin gücü ise,

$$P(p) \propto (p - p_c)^\beta, \quad p \rightarrow p_c^+ \quad (3)$$

olarak verilir. Verilen β ve γ , perkolasyon teorisinde tanımlanan kümelenme dinamikleri ile ilgili kritik üstellerdir. (Stauffer ve Aharony, 1985).

Buraya kadar tartışılan ifadeler için herhangi bir sınırlama konulmamıştır ve verilen denklemler herhangi bir yapı için genel geçer olacak şekilde düzenlenmiştir. Her ne kadar Denk. 2 ve Denk. 3, ızgaranın büyüklüğünden bağımsız olsa da ele alınan ızgaraya ait kenar uzunluğu L olmak üzere, yapılan kabuller $L=\infty$ değerine sahip olduğu durumlar için tanımlanmıştır. $L<\infty$ olduğu durumlar içinse farklı evrensel davranışlar tanımlanabilmektedir.

Korelasyon uzunluğu ζ , aynı kümeye ait iki noktanın ortalama mesafesini temsil eder. Bu ifade, bir mikroskobik değişkenin dalgalanmalarının diğerinin dalgalanmaları ile ilişkili olduğu tipik uzunluk ölçeğinin bir ölçüsünü verir. Sınırlı bir ızgara yapı için ($L<\infty$), korelasyon uzunluğu L 'ye yaklaştığında,

$$|p_c(L) - p_c| \propto L^{-1/\nu} \quad (4)$$

eğilimi geçerlidir (Vogel vd., 2010). Aynı şekilde, $s_\infty(L)$ perkolasyona uğrayan sonsuz kümenin kütlesi olmak üzere,

$$s_{\infty}(L) \propto L^D \quad (5)$$

şeklindedir. Burada da v ve D kritik üsteller olup, D sistemin fraktal boyutudur ve

$$D = \frac{1}{\sigma v} \quad (6)$$

değerine sahiptir. Eşitlikteki σ ise, korelasyon uzunluğu ζ ile ilgili kritik üsteldir (Stauffer ve Aharony, 1985). Son olarak, kritik üstel α 'nın değeri, kümelenme ile ilgili kritik üsteller olan β ve γ ile tespit edilebilir. Aralarındaki ilişki,

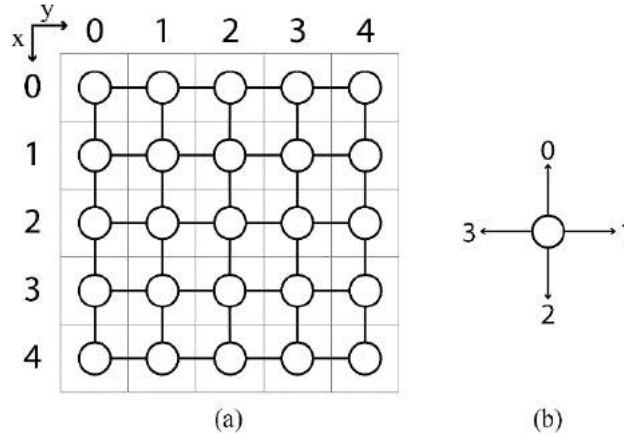
$$2 - \alpha = \gamma + 2\beta \quad (7)$$

eşitliği ile verilebilir (Stauffer, 1979).

3. Temel Yöntem ve Algoritmalar

3.1. Yön-Kesme Yöntemi

Bir düzlemde tanımlanan kare ızgara iki temel elemana sahiptir. Bunlardan ilki, ızgara üzerindeki düğüm noktaları iken, ikincisi ise bu düğüm noktaları arasındaki bağlardır (Şekil 2a). Kare ızgaranın basit tanımı gereği, her bir düğüm noktası kendisine yakın komşu olan diğer dört düğüm noktası ile bağ yapabilmektedir. Herhangi bir düğüm noktasına ait bağlanma yönleri Şekil 2b'de görülebilir. Bu yakın komşularla tanımlanan bağlar birinci dereceden bağlar olup, iki üstü yüksek dereceli, başka bir deyişle uzak komşulara tanımlanan bağlar, kare latis üzerinde tanımlanmamıştır. Fakat ileride de görüleceği üzere, farklı latis yapıları için, kullanılan yöntem ile bir düğüm noktasına dört bağdan fazlası veya daha azı tanımlanabilmektedir.



Şekil 2. (a) Kare ızgara üzerindeki düğüm noktaları ve noktalar arasında tanımlı bağlar. (b) Bir düğüm noktasının komşuları ile arasında tanımlı bağlanma yönleri.

Sınırlı büyüklükte iki-boyutlu bir dizi ile tanımlanmış bir kare ızgara için (ki eğer sayısal bir hesaplamadan bahsediyorsak bilgisayarın sonlu hafızası böyle bir engel teşkil etmektedir), izin verilen birinci dereceden bağ sayıları, her düğüm noktası için artık eşit değildir. Periyodik sınır koşullarıyla tanımlanmamış, dört farklı kenarda konumlanan düğüm noktaları, sınırlarda olmaları nedeniyle artık bir bağdan yoksun kalmışlardır. Üst kenardakiler 0-yönünde, sağ kenardakiler 1-yönünde, alt kenardakiler 2-yönünde ve sol kenardakiler 3-yönünde bir bağa sahip değildir (Şekil 2). Bunlara ilaveten, tam köşelerde bulunan düğüm noktaları, iki kenara denk geldiklerinden, bir komşu daha kaybederek sadece 2 izinli bağa sahip olmaktadır.

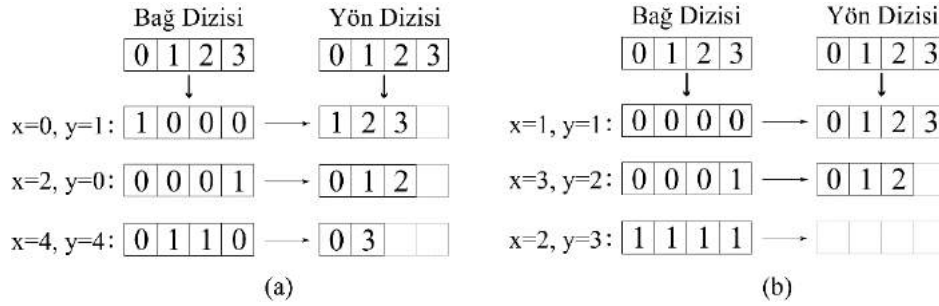
Bu şartlarda tanımlanmış kare ızgara üzerinde, Monte Carlo yöntemi esas alınarak yapılan perkolasyon benzetimi kısaca şu döngüsel aşamaları içermektedir: (1) İki boyutlu bir dizide tanımlanan kare ızgara üzerinde rastgele bir düğüm noktası seç, (2) bu düğüm noktası ile rastgele bir komşusu arasında bağ kur, (3) sistemin herhangi iki kenar arasında perkolasyona uğrayıp uğramadığını kontrol et, (4) eğer perkolasyon gerçekleşmemişse tekrar yeni bir bağ kur. Benzetim bu adımları izlerken dikkat etmesi gereken durumlar mevcuttur. Bunlardan ilki, rastgele seçilen düğüm noktasının ızgaranın sınırlarında konumlanmış olmasıdır. Böyle bir nokta için mevcut olmayan komşuların ve bağların yok sayılması gerekmektedir. İkincisi, kümelerde yapılmış aynı bağların tekrar kurulmaması ve son olarak da kurulan bağlar sonucu oluşmakta olan sonsuz kümeyi takip edecek, kümenin perkolasyona uğradığı anı tespit edecek bir mekanizmanın kurulması gerekmektedir.

Geliştirilen yön-kesme yöntemi ile, herhangi bir düğüm noktasına ait mevcut komşu bağ yönleri bir dizi ile saklanmaktadır. Kare ızgara için (Şekil 2b) bu dizinin dört elemanı $\{0, 1, 2, 3\}$ şeklindedir. Fakat bu dizinin boyutu istenildiği kadar büyütülerek, yüksek dereceli komşuluklar da tanımlanabilir. Sınırlardaki noktalarında mevcut olmayan bağların ve daha önceden yapılmış olan bağların, kısacası artık izinli olmayan yönlerin, diziden çıkartılması bu algoritmanın en temel yaklaşımıdır. İlgili yönler kesilerek diziden

çıkartılmış, bu sayede izinli ve/veya tanımlı olmayan bağların ve daha önce yapılmış olan bağların tekrar kurulmaya çalışılması engellenmiştir.

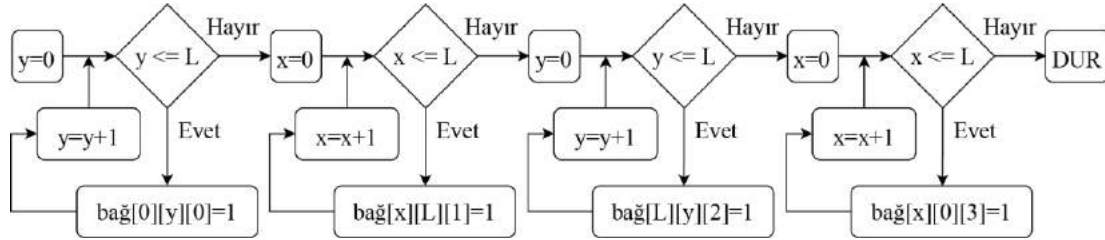
Bu yöntemin uygulanabilmesi için ızgara üzerindeki noktaların her birine ait bir bağ dizisi tanımlanmalıdır. Bu dizide, dört farklı yön içinde yasaklı olan bir yön var ise işaretlenir. Hafıza gözetilerek ilgili dizi sadece dört bit kullanılarak tanımlanabilir. 0 değeri bağlanma izni verirken, 1 değeri ilgili yöndeki bağın yasaklandığını simgeler. Sınırlarda konuşlanmış noktalara ve ızgaranın farklı konumlarındaki noktalara ait örnek dizi düzenlemeleri Şekil 3'te görülebilir. Şekil 3a, kenarlarda bulunan noktaların, izinli olmayan yönlerinin kesilmesine örnek olarak verilmektedir. Sınırlardaki bu işlemler, benzetim başlatılmadan önce gerçekleştirilmelidir.

Benzetim boyunca kurulan bağlar karşılıklı olarak bağın sahipleri iki düğüm noktasınca da işaretlenmelidir. Aralarından bağ kurulmuş düğüm noktalarından ilk seçilen, yön-kesme sonucu seçilen yöndeki bağı işaretlerken, bağ kurmak için seçilen düğüm noktası ise bu yönün zıddına tekabül eden yönü işaretlemelidir. Bu işaretleme kolaylık açısından bir ters yön fonksiyonu tanımlanarak basitçe gerçekleştirilebilir. Şekil 3b ise benzetim sırasında karşılaşılabilecek olan, bu şekilde farklı yönlerden bağlar kurmuş ve henüz hiç bağ yapmamış olan düğüm noktalarından örnekler içermektedir. Her iki örnekte de bağ dizilerine karşılık kesilen yönler sonucu yeniden kurgulanan yön dizileri açıkça görülmektedir. Eğer kesilen yönler sonucu yön dizisi tamamen boşaltılmışsa (Şekil 3b, son örnek), bu ilgili nokta için tüm bağların yapıldığı anlamına gelmekte olup, yeni bir bağ kurulması için rastgele yeni bir nokta seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 3. 5×5 boyutlarına sahip kare ızgaranın (a) kenarlarında tanımlı düğüm noktalarına ait bağ dizileri ve yön kesme sonucu tanımlanan yön dizileri. (b) Aynı ızgara üzerinde bulunan benzetim sırasında oluşan bağlar sonucu şekillenmiş bağ dizine karşılık gelen yön dizileri.

Bağ dizisi temel alınarak yönlerin kesildiği bu yöntemde, $L \times L$ büyüklüğünde kare ızgara üzerindeki düğüm noktalarına ait dört elemanlı bağ dizilerini şekillendiren algoritma Şekil 4'te görülebilir. Bu işlemlerin sadece sınırlardaki düğüm noktaları için yapıldığına dikkat edilmelidir.

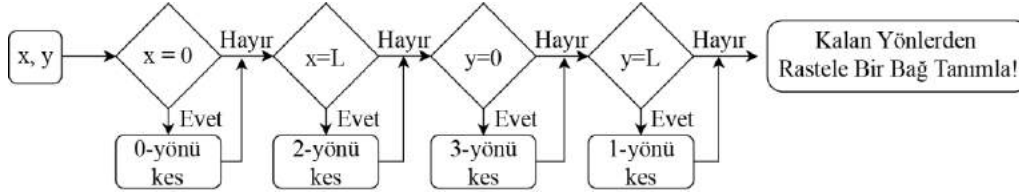


Şekil 4. $L \times L$ büyüklüğünde tanımlanmış kare ızgara üzerinde, toplamda dört döngü ile bağ dizisini şekillendiren algoritma.

Şekil 4'te verilen yöntem ile hazırlanmış bağ dizisi kullanılarak tanımlanacak olan bağ için aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

- (1) Yön dizisi $\leftarrow \{0, 1, 2, 3\}$ olarak tanımla.
- (2) Rastgele bir x ve y değeri üret.
- (3) Seçilen adresteki noktaya ait bağ dizisine göre yönleri kes.
- (4) Yeni yön dizisinden rastgele bir komşu seçerek bağ tanımla.
- (5) Yeni kurulan bağı, bağ dizisinde işaretle

Kare ızgara için tanımlanan bu yöntemde, bağ dizilerini oluşturmak, sadece sınırlarda konuşlanmış düğüm noktaları için bu tanımlamayı yapmak anlamına gelmektedir. Sınırlar dışında geriye kalan düğüm noktaları, Şekil 3b'de tanımlanan tüm bağları içereceği için ek bir kontrole ihtiyaç duymamaktadırlar. Sayısal olarak ifade etmek gerekirse, $L \times L$ büyüklüğünde bir kare ızgarada, $4L$ kez bağ dizisini şekillendirmek gerekmektedir. Fakat, içerilerde kalan düğüm noktaları, farklı dereceden bağlar içeren ve/veya eksik bağları olan latisler için bu şekillendirmenin her noktayı kapsayacak şekilde $L \times L$ kez yapılması gerekir. Böyle bir yükün benzetim sırasında ortadan kaldırılması için, kare latisin aksine diğer Arşimet latislerinde, bağ dizisini şekillendirmek için kullanılan yön-kesme algoritması, doğrudan bağ kurmak için kullanılabilir. Bu durumda bağ dizileri, kenar işaretleme dışı, benzetimin başında tanımlanmamışken, benzetim sırasında yön-kesme algoritması ile kalan bağlar, bağ dizisine işaretlenecektir. Sırası bu şekilde tanımlanan yöntem ile yön-kesme yöntemi doğrudan bağ kurmak için kullanılırken, benzetim sırasında sürekli şekillenen bağ dizileri ise önceden yapılmış bağların tekrar kurulmasını engelleme kontrolünde kullanılacaktır. Eğer kare ızgarada böyle bir yöntem kullanılmak istenirse, yön-kesme algoritması Şekil 5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 5. $L \times L$ büyüklüğünde kare ızgara için yön-kesme algoritması.

3.2. Kümeler ve Perkolasyon Takibi

Izgara yapısı üzerinde iki düğüm noktası arasında bağ kurulması demek, esasen bir kümelenme oluşması anlamına gelmektedir. Benzetim boyunca, her seferinde yeni bir düğüm noktasının bu kümeye eklenmesi ve farklı konumlarda oluşan kümelerin birbirleriyle birleşmesi sonucu, nihayetinde sonsuz kümenin oluşarak perkolasyona uğraması gerçekleşecektir (Stauffer ve Aharony, 1985). Monte Carlo benzetimi yapılırken, bu oluşan bu kümelerin tanımlanması için, ızgara yapıya ait iki-boyutlu dizinin elemanları kullanılabilir. Bu yöntemde, birden başlayarak artan küme numaraları, düğüm noktalarını temsil eden dizi değerleri olarak atanır (Hoshen ve Kopelman, 1976). Böylelikle rastgele seçilen bir düğüm noktasının herhangi bir kümeye ait olup olmadığı, eğer dahil ise hangi kümenin üyesi olduğu tespit edilebilir.

Benzetimin başlangıç koşulunda kare ızgara tanımlanırken, düğüm noktalarını temsil eden diziyeye ait her bir değer sıfır olarak atanır. Bu işlem, başlangıçta kümelemenin olmadığını veya tüm noktalarının serbest ve hiçbir bağa sahip olmadığını temsil eder. İlk noktanın seçilip, ilk bağın yapılmasının ardından kümeleme işlemi başlamış ve 1 numaralı küme kurulmuştur. Böylelikle rastgele seçilmiş olan düğüm noktasının ve yine rastgele seçilmiş olan bağ yaptığı düğüm noktasının, iki-boyutlu dizideki yeni değerleri 1 değerine eşitlenir. Bir sonraki kurulacak olan bağ, eğer bu kümeden uzak bir noktada ise yeni 2 numaralı kümenin doğması, aynı kümenin elemanlarından birinin yapacağı bir bağ ise de 1 numaraları kümeye yeni bir üye katılacağı anlamına gelmektedir (Şekil 6).

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(a)

0	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(b)

0	0	0	2	0
0	1	0	2	0
0	1	0	0	0
0	0	3	3	0
0	0	0	3	0

(c)

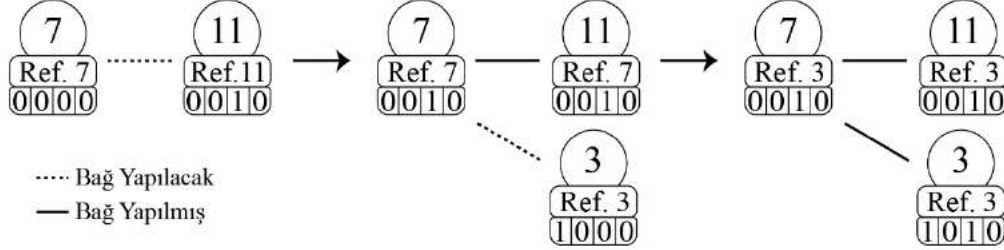
Şekil 6. 5×5 boyutlarına sahip kare ızgaranın (a) başlangıç koşulundaki, (b) ilk yapılan bağ sonrası ve (c) birden çok kümelenmenin olduğu sıradaki iki-boyutlu dizi değerleri.

Yapılan bağlar sonucu perkolasyona uğrayacak sonsuz kümenin takibi ve perkolasyona uğradığı anı tespit edebilmek için bir yöntem daha ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek ihtimalle burada uygulanabilecek en verimsiz yol, her yeni bağ sırasında, ızgarayı temsil eden dizinin baştan sona taranarak tüm kümelere ait bilgilerin çıkarılmasıdır. Özellikle iki farklı kümenin birleşmesi sırasında, kümeleri temsil eden iki farklı numaranın tek bir değere çevrilmesi için, tüm dizideki elemanların tek tek elden geçirilmesi, benzetimin süresi konusunda oldukça ciddi gecikmelere sebep olacaktır. Böyle bir yaklaşım, benzetimde ızgara boyutuyla orantılı şekilde yavaşlamalara neden oluşturacaktır.

Bir küme için, bu olumsuz etkileri bertaraf edebilmek adına, kümenin sahip olduğu bağ sayısı, kare ızgaranın kenarlarına değme bilgisi ve referans numarasını içeren bir sınıf tanımlanabilir. Bu sınıf kullanılarak, tanımlanacak dizinin her bir elemanı ızgara üzerinde oluşacak kümelere ait tüm bu bilgileri içerecektir.

Kenar değme bilgileri, bir kümenin ızgaranın dört farklı kenarlarından hangisine komşu olduğunu veren bilgidir. Bağ dizisinde olduğu gibi, sadece dört bitlik bir dizi ile saklanabilir olan bu değerler, ilgili kümenin perkolasyona uğrama durumu konusunda karar verilmesini sağlamaktadır. Kenar değme verileri, kare ızgarayı temsil eden iki-boyutlu dizinin de bir sınıf olarak tanımlanması ile elde edilebilir. Bu durumda, kare ızgaranın dört sınırında yer alan düğüm noktalarına ait kenar değme bilgileri, benzetimin başında tanımlanarak, tüm işlemler boyunca saklanır. Bu düğüm noktaları herhangi bir kümenin elemanı oldukları andan itibaren kenar değme bilgilerini kendi kümelerine aktararak küme sınıfında tanımlı değme dizisini yeniden şekillendirirler. Sadece sınırlardaki düğüm noktalarına konulması gereken bu işaretlemeler, Şekil 4'te verilen bağ dizilerinin tanımlanması sırasında gerçekleştirilebilir. Her bir düğümde bağ dizisine ek olarak aynı şekilde kenar işaretlemelerini içeren değme dizisi de işaretlenir.

Küme sınıfında referans numarası tanımlanmasının sebebi ise kümelerin birleşmeleri sırasında sağlatılmak istenilen kolaylıktır. İki farklı kümenin birleşmesi durumunda, tüm ızgaranın taramasını yapmak yerine, kümeleri referans numarasıyla temsil etmek, birleşim sırasında kümeler arasında sadece referans numarası alışverişini yapılabilmesini mümkün kılar. Böylelikle düğüm noktasına kaydedilen küme numarası hiç değiştirilmeden sadece referans numarası üzerinden kontrol sağlanacaktır. Düğüm noktası farklı bir küme numarası ile işaretlemiş olsa da mensubu olduğu kümenin özellikleri esasen referans numarasında saklı olan gerçek kümenin özelliklerini taşıyabilecektir. İki küme arasında gerçekleşen bağ sonucu referans numaralarının taşınmasına dair bir örnek Şekil 7’de görülebilir. Şekilde aynı zamanda kenar değme bilgilerinin aktarılışı da betimlenmiştir. Tercih edilen yöntem, iki farklı numaradan küçük olanın büyük olana referans olması ve referans numarasını teslim etmesidir. Nasıl ki bir küme, yeni bir düğüm noktasını üye olarak kabul ederken kenar değme bilgilerini de alıyorsa, iki küme birleşirken de birbirlerine kenar değme bilgilerini miras bırakırlar.



Şekil 7. Farklı küme ve referans numaralarına sahip kümelerin bağlanması. Şekilde 7 numaralı küme, önce 11 sonra 3 numaralı küme ile bağ kurmaktadır. Kurulan bağlar sonucu tüm kümeler en küçük numara olan 3 referans numarasına sahip olurlar. Yapılan tüm bağlarda alttaki kenar değme dizisine ait bilgileri de aktarırlar.

Benzetim sırasında karşılaşılabilecek bağlanma türleri üç şekildedir: (1) Hiçbir kümeye ait olmayan iki düğüm noktasının bağlanması (yeni bir küme tanımlanır), (2) bir küme ile herhangi bir küme elemanı olmayan bir düğüm noktasının (veya tam tersi) bağ kurması ve (3) iki farklı kümenin aralarında bağ kurarak tek bir kümeye dönüşmesi. Bir önceki başlıkta tanıtılan yön-kesme yöntemi ile rastgele seçilen komşu düğüm noktasının ardından burada sayılan üç durumdan birine hazırlıklı olmak gerekmekte olup, algoritma kurulurken bu ihtimaller değerlendirilerek hazırlanmalıdır. Ayrıca, bağ dizisinin önceden şekillendirilemediği, yani yön-kesme algoritmasının doğrudan bağ kurma için kullanıldığı durumda, bu ihtimallere bir yenisi daha eklenecektir. Önceden yapılmış bağın tekrar kurulmak istendiği bu durum, aynı küme içerisinde iki düğüm noktasının tekrar bağ yapmaları anlamına gelir. Bu olasılıkta ise bağ dizisinde işaretli olan bu bağın tekrar yapılması engellenerek yeni bir düğüm noktası bağ kurması için seçilmelidir.

Yapılan her bağ sonucu sistemin perkolasyona uğrayıp uğramadığı kontrol edilebilir. Fakat, özellikle büyük sayıda düğüm noktası içeren ızgaralar üzerinde, hiçbir kümeye ait olmayan iki düğüm noktasının bağ kurarak sistemi perkolasyona uğratma ihtimali yoktur. Bu nedenle böyle bağlar kurulduktan sonra perkolasyon sorgusunun yapılmasına gerek yoktur. Fakat diğer iki ihtimalde mutlaka sorgulamanın yapılması gerekmektedir. Zira sistem mutlaka bir kümenin yeni bir düğüm noktasına sahip olması veya daha yüksek bir ihtimalle de iki farklı kümenin bağlanması sonucu perkolasyona uğrayacaktır.

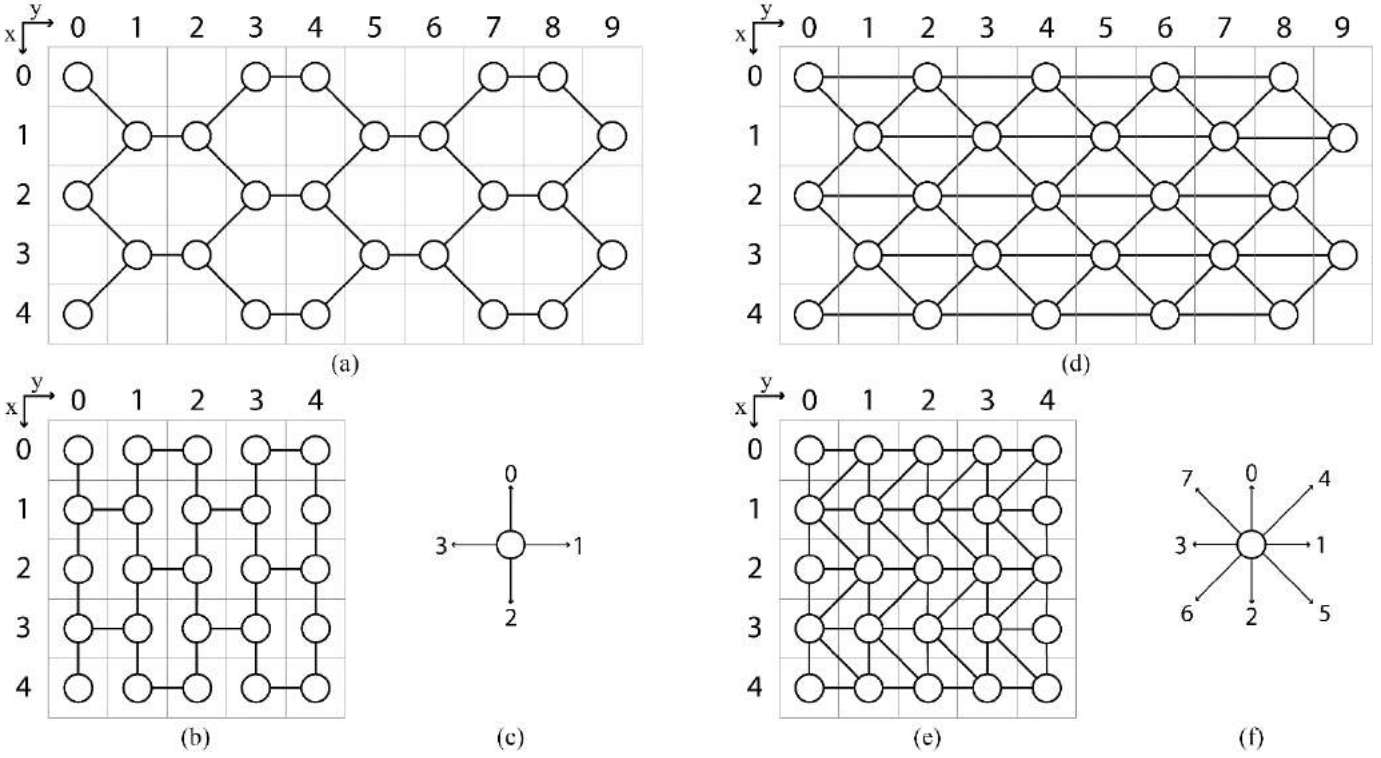
3.3. Kare Iızgarada Adresleme

Arşimet latisleri, her yüzün düzenli bir çokgen olacağı şekilde, düzlem üzerinde tanımlanabilen tepe (düğüm) noktaları geçişli (vertex-transitive) grafiklerdir. Gündelik hayatta en çok karşılaşılan, kare, üçgen ve bal peteği latisler aslen en temel ve bilinen Arşimet latisleridirler. Bu latisler, bir düğüm noktasına denk gelen yüzlerin boyutuna göre, yani ilgili çokgenin kenar sayısına göre isimlendirilirler. Yüz boyutları, alfabetik sırasına göre en küçük olacak şekilde bir yüzle başlayarak listelenir (Parviainen, 2007). Buna göre kare latis (4, 4, 4, 4), üçgen latis (3, 3, 3, 3, 3, 3) ve bal peteği latis ise (6, 6, 6) şeklinde isimlendirilirler. Fakat oldukça uzun olan bu gösterimler yerine genellikle üstel kısaltmalar kullanılmaktadır. Nihayetinde yaygın kullanımda, kare latis (4⁴), üçgen latis (3⁶) ve bal peteği latis (6³) gösterimleri ile temsil edilmektedirler.

Arşimet latisleri üzerinde perkolasyon benzetimleri yapmak adına, bu latislerin kare ızgara üzerinde adreslenmesi literatürde de yaygın bir yöntemdir (Parviainen, 2007; Suding ve Ziff, 1999). İlgili latis üzerinden bulunan düğüm noktalarının bir kare ızgara üzerine kaydırılmasıyla adresleme gerçekleştirilir. Kaydırma sonucu yüksek dereceli komşuluklar arası bağlar tanımlanabilir ve/veya tanımlı bağlar iptal edilebilir.

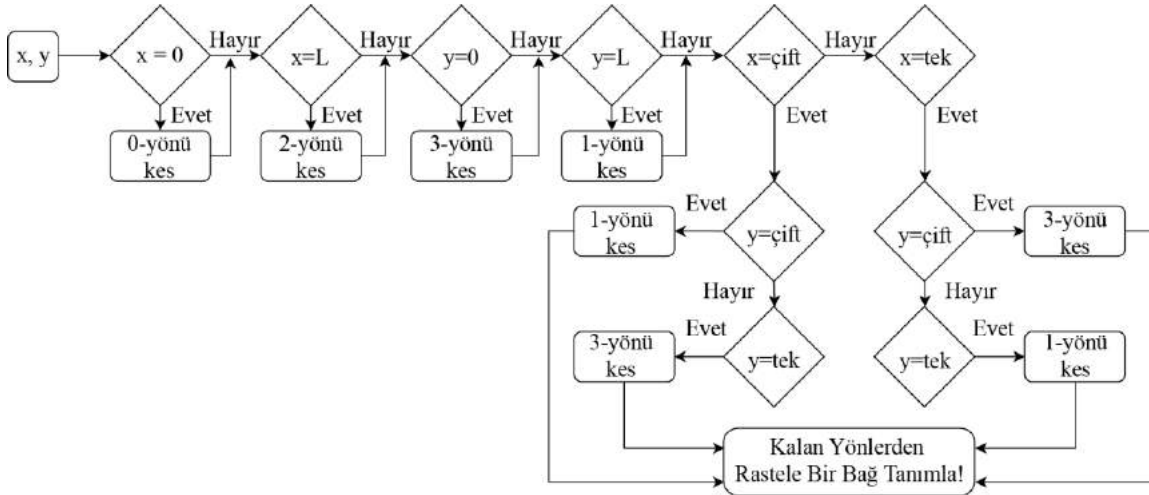
Şekil 8, bal peteği ve üçgen latis için kare ızgara üzerinde yapılan adresleme işlemini sergilemektedir. Kare ızgara üzerine Şekil 8a ve Şekil 8d’de görüldüğü gibi konumlanan latisler, ilgili düğüm noktalarının aralarında herhangi bir boşluk kalmayacak şekilde, sağdan sola doğru taşınması ile yeniden tanımlanmışlardır (Şekil 8b ve Şekil 8e). Düğüm noktalarıyla birlikte taşınan bağlar sayesinde ilgili latisin kare ızgara üzerinde yapılabilir bağları ortaya çıkmıştır. Bal peteği latis için bazı bağlar iptal olurken, üçgen latisde doğası gereği kare latisine ait bağlar korunup, bunlara ek olarak bazı düğüm noktaları arasında ikinci dereceden bağlar tanımlanmıştır.

Her ne kadar bal peteği için kare ızgaraya ait yön dizisi kullanılsa da (Şekil 2b ve Şekil 8c), üçgen latis için dört elemanlı yön dizisi yetersiz kalacağından artık sekiz elemanlı bir yön dizisi kullanılmalıdır. Buna göre, üçgen latis için tanımlanacak olan bağ dizinde Şekil 8f ile gösterilen yönler kullanılabilir.



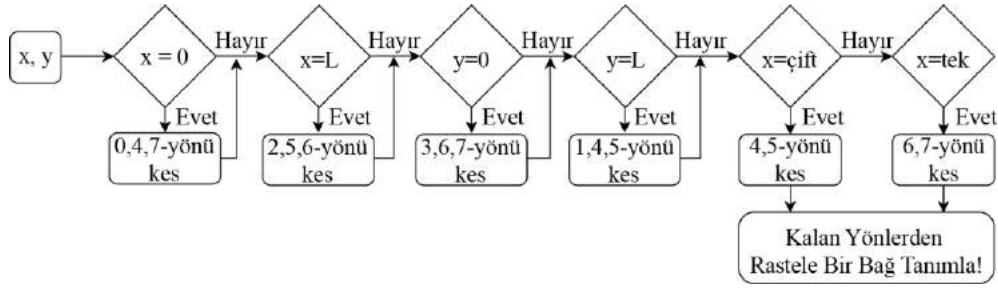
Şekil 8. Bal peteği (a) ve üçgen (d) latislerin kare ızgara üzerinde adreslenmesi. Kare ızgara üzerinde (b) bal peteğine ait, (e) üçgen latis için düğüm noktalarıdır. Adresleme sonrası bağ yönleri ise bal peteği için (c) ve üçgen latis için (f) şeklindedir.

Şekil 8b’de görüldüğü gibi, bir kare ızgara üzerinde tanımlanmış olan bal peteği latisi için yön-kesme algoritması, şekildeki yönüne göre, 90° açıyla döndürülerek adreslenmiş bir bal peteği latis için farklılık gösterecektir. Bu nedenle tanımlanan yöntemler Şekil 8’deki adreslenmiş bir latis için geçerli olacaktır ve iki farklı olasılıktan hangisi seçilirse seçilsin, alınan sonuçlar seçimden etkilenmeyecektir. Buna göre, Şekil 8b’de gösterildiği gibi bir kare ızgarada adreslenmiş, dört elemanlı yön dizisine sahip bir bal peteği latisi için, yön-kesme algoritması Şekil 9’da görüldüğü gibidir. Rastgele üretilen x ve y noktalarının ardından bağ yapılması için izinli olmayan yönleri keserek, izinli yönlerden biriyle bağ kurulmasını sağlayan bu algoritma, benzetim sırasında rastgele seçilen x ve y değerine göre şekillenmektedir.



Şekil 9. $L \times L$ büyüklüğünde kare ızgara üzerinde adreslenmiş bal peteği latisine ait yön-kesme algoritması. Bu algoritma Şekil 8b’de görüldüğü üzere, bir kare latis üzerinde adreslenen bal peteği latisi için geçerlidir.

Şekil 10 ise, Şekil 8e’de gösterildiği gibi bir kare ızgarada adreslenmiş bir üçgen latis için yön-kesme algoritması görülmektedir. Burada sekiz elemana sahip bir yön dizisi temel alınmıştır ve yöntem, kare ızgara üzerinde Şekil 8e’de görüldüğü gibi adreslenen bir üçgen latis için geçerlidir.



Şekil 10. $L \times L$ büyüklüğünde kare ızgara üzerinde adreslenmiş üçgen latis için yön-kesme algoritması. Bu algoritma Şekil 8'e'de görüldüğü üzere, bir kare latis üzerinde adreslenen bal peteği latis için geçerlidir.

Tanımlanan üç farklı latisin sahip oldukları toplam bağ sayıları ise, doğaları gereği birbirinden farklıdır. Toplam bağ (TB) sayıları büyükten küçüğe sırasıyla üçgen, kare ve bal peteği şeklindedir. Şekil 2'de görülen kare latis ve Şekil 8'da görülen kare ızgarada adreslenmiş bal peteği ve kare latis için, bir kenarlarındaki düğüm nokta sayısı L olmak üzere,

$$TB_{\text{Kare}} = 2 \times L \times (L - 1) \quad (8a)$$

$$TB_{\text{Petek}} = L \times (L - 1) + \left(\frac{L - 1}{2} \times L\right) = \frac{3}{2}(L^2 - L) \quad (8b)$$

$$TB_{\text{Üçgen}} = L \times (L - 1) \times 2 + (L - 1)^2 = (3L - 1) \times (L - 1) \quad (8c)$$

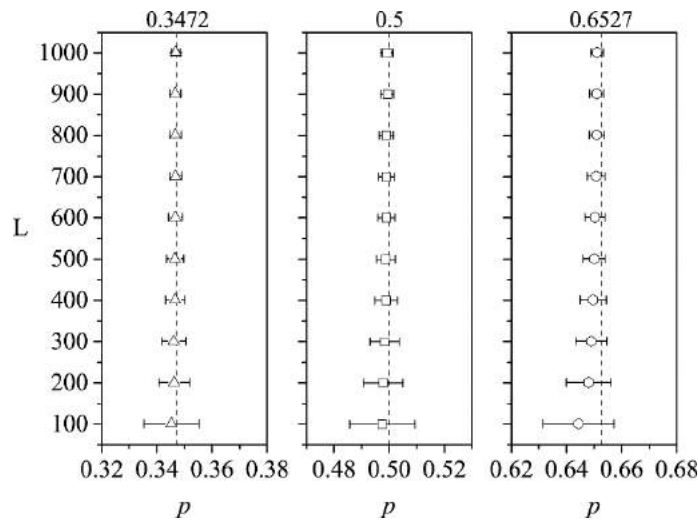
şeklinde ifade edilebilir.

4. Benzetim Sonuçları ve Tartışma

4.1. Perkolasyon Eşikleri

İki-boyutta gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında, üçgen, kare ve bal peteği latisler için, her birine ait L değeri 100'den başlamak üzere, 100'er miktarda artırılarak, en son 1000 değerine varacak şekilde farklı ızgaralar kullanılmıştır. 100×100 ve 1000×1000 düğüm noktasına sahip ızgaralar arasında toplamda 10 farklı ölçüde latislerden sonuçlar alınmıştır. Bu farklı ölçülere sahip latisler üzerinde, her benzetim en az 100 (küçük latisleri için en az 1000) kez tekrarlanarak, bulunan sonuçların ortalama değerleri hesaplanmıştır. Kare latis için, perkolasyon eşikini tespit eden örnek bir kod, çalışmanın ekinde görülebilir.

p değerleri, her bir latisin kendisine ait toplam bağ sayıları göz önünde bulundurularak (Denk. 8), kurulan bağ sayılarının, toplam bağ sayılarına oranı şeklinde hesaplanmıştır. Yapılan benzetimlerde, bal peteği ve üçgen latis, kare ızgara üzerinde adreslenerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 11'de üç farklı Arşimet latisi için ortalama perkolasyon eşikleri ve standart sapmaları görülebilir.



Şekil 11. Üçgen, kare ve bal peteği latisler için tespit edilen perkolasyon eşikleri ve standart sapma değerleri. Farklı büyüklükteki her latis için en az 100 benzetim yapılmış olup, grafikte bulunan ortalama değerler ve bu değerlere ait standart sapma çizgilerine yer verilmiştir.

Açıkça görüldüğü üzere, her latis türü için, düşük boyutlara sahip ızgaralar üzerinde yapılan benzetim sonuçları, nispeten yüksek sapma ile tespit edilse de ızgara yapı büyüdükçe bu sapmalar giderek azalmaktadır. Benzer şekilde, ölçkleme yasalarına uygun olarak,

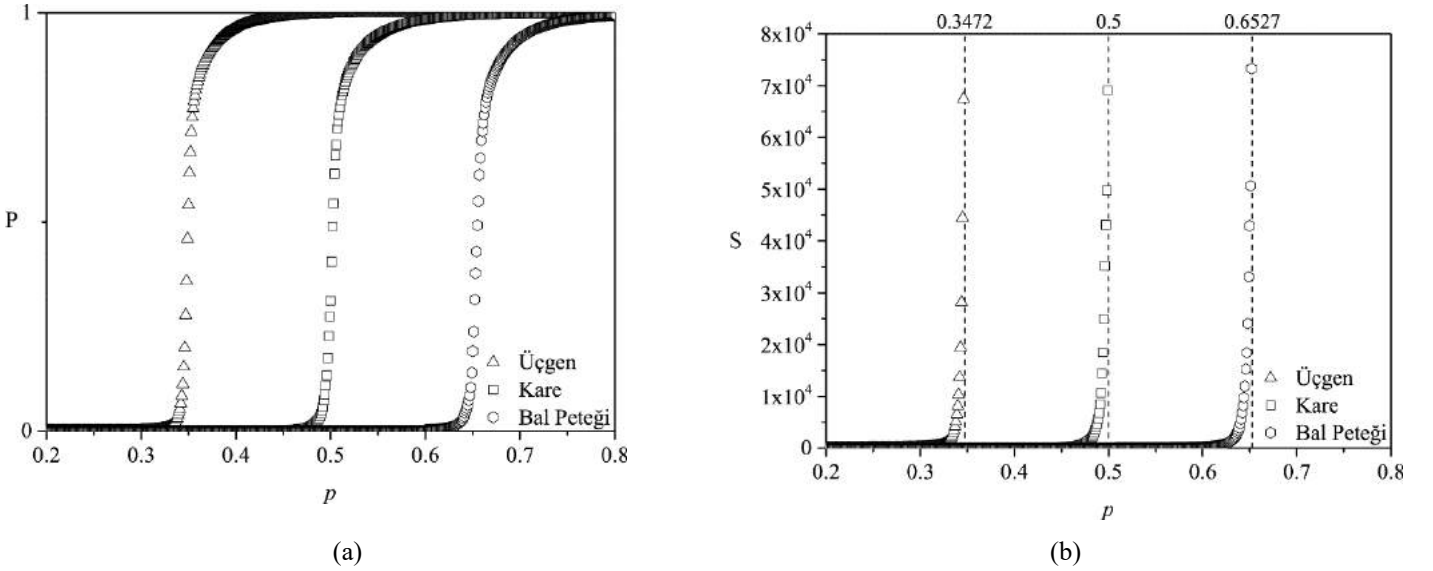
ortalama değerler de bilinen tam değerlere giderek yaklaşmaktadır. Tablo 1, üç farklı latis için, 1000×1000 büyüklüğündeki ızgaralar üzerinde, elde edilen perkolasyon eşiklerine ait değerleri içermektedir.

Tablo 1. Arşimet latisleri için tespit edilen perkolasyon eşikleri. Bu değerler 1000×1000 büyüklüğündeki ızgaralar üzerinde elde edilmiştir.

	p_c (Benzetim Sonucu)	Tam Değer (Stauffer ve Aharony, 1985)
Üçgen	0,3469	$2\sin(\pi/18) \approx 0,3473$
Kare	0,4992	$1/2 = 0,5$
Bal Peteği	0,6510	$1 - 2\sin(\pi/18) \approx 0,6527$

4.2. Evrensel Davranışlar ve Kritik Üsteller

Tamamlanan benzetimlerde latisler üzerindeki kümelenmelere ait dinamikler de incelenmiştir. Benzetim sırasında, latisler üzerinde oluşan sonsuz kümelerin güçleri (P) ve kümelerin ortalama büyüklüğü (S), kurgulanan küme sınıfına ait bağ sayılarını tutan değişkenler sayesinde takip edilebilmiştir. Şekil 12’de, 1000×1000 büyüklüğündeki ızgaralar üzerinde P ve S değerlerinin, her yeni kurulan bağa göre (p 'ye karşılık) değişimleri verilmektedir.



Şekil 12. 1000×1000 büyüklüğündeki ızgaralar üzerinde, üçgen, kare ve bal peteği latisler için, (a) oluşan sonsuz kümelerin güçleri (P) ve (b) kümelerin ortalama büyüklüğü (S).

Tüm latisler için, benzetimler sırasında şekillenen kümelenmelerle ilgili her iki eğilim $P(p)$ ve $S(p)$, perkolasyon teorisinde öngörüldüğü gibi gerçekleşmektedir. Perkolasyon anında oluşan sonsuz kümenin gücü, latislere ait perkolasyon eşiklerinden itibaren hız kazanarak, zamanla tüm kümeyi kapsayacak değere ilerlemektedir. Bununla birlikte, kümelerin ortalama büyüklükleri ise, perkolasyon değerine kadar hızla artarak sonsuza doğru gitmektedir.

$P(p)$ ve $S(p)$ eğrileri beklendiği gibi değişse de davranışlarına ait doğru kriter, kritik üstellerin eğriler üzerindeki değerlerinin tespit edilmesidir. Bu eğrilerden, ilgili kritik üstellerin ölçülebilmesi için Denk. 2 ve Denk. 3 kullanılmalıdır. İki ifade arasındaki orantısal ilişkiyi içeren bu denklemler kullanılarak kritik üstellerin elde edilebilmesi adına, her iki taraftaki ifadelerin logaritması alınabilir. Bu işlem sonucu denklemler, $y = mx + a$ şeklinde bir lineer eşitliğe dönecektir ve buradaki eğim değeri ilgili kritik üstele eşit olacaktır. Aşağıda Denk. 2 ve Denk. 5 arasındaki ifadeler için elde edilen eşitlikler görülebilir.

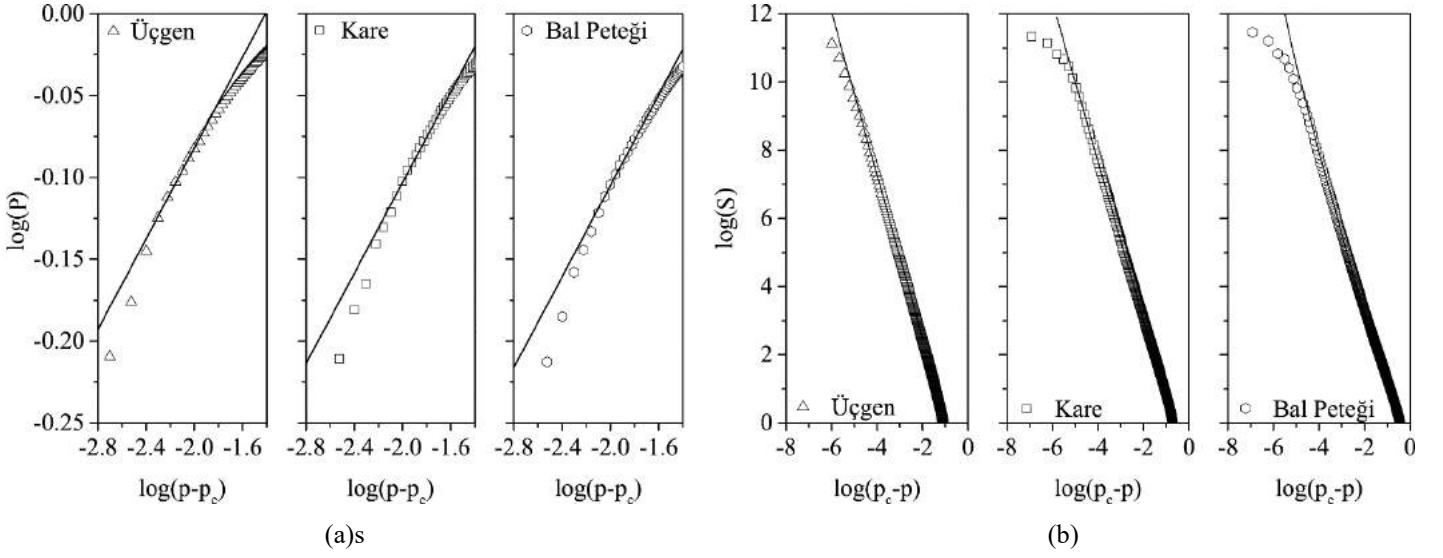
$$\log S \sim \log A_1 + \beta \cdot \log(p - p_c) \quad (9a)$$

$$\log P \sim \log A_2 - \gamma \cdot \log(p_c - p) \quad (9b)$$

$$\log \Delta p_c \sim \log A_3 - \frac{1}{\nu} \cdot \log L \quad (9c)$$

$$\log s_\infty \sim \log A_4 + D \cdot \log L \quad (9d)$$

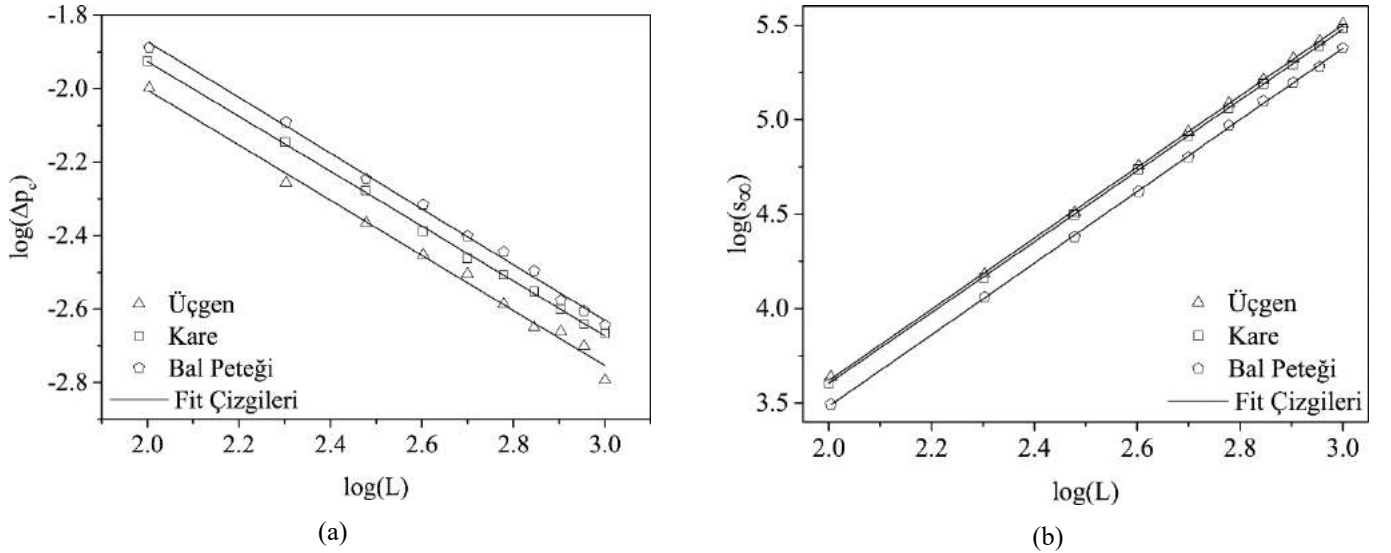
Buna göre, Denk. 9a ve Denk. 9b özelinde, logaritmik değerler ile çizdirilen $P(p)$ ve $S(p)$ değerleri ve uydurulan fit eğrileri Şekil 13'te görülebilir. Bu eğrilerde kullanılan p_c değerleri, literatürde belirtildiği gibi, sonsuz kümenin gücüne ait birinci türevin tepe noktasına karşılık gelen p_m değeri alınarak çizilmiştir (Tüzel vd., 2000).



Şekil 13. 1000×1000 büyüklüğündeki ızgaralar üzerinde, üçgen, kare ve bal peteği latisler için, (a) P ve (b) S değerlerine ait log-log grafikleri. Kritik üstellerin tespit edilebilmesi için yapılan fitler de grafikler üzerinde gösterilmektedir.

Kritik üstelleri bulmak için yapılan eğri uydurma işlemleri sonucu elde edilen β ve γ değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Bulunan bu değerler, iki-boyutta tam değerleri bilinen kritik üstel değerleri ile büyük bir oranda uyum içerisindedir.

Ölçeklendirme ile ilgili diğer üsteller için Denk. 4 ve Denk. 5'ten faydalanılmıştır. İlk iki üstelde olduğu gibi, logaritmik yaklaşım bu üstelerde de uygulanmıştır. Latislerde, korelasyon uzunluğu ile ilgili kritik üstellerin tespit edilebilmesi adına, bulunan perkolasyon eşiklerine ait sapma değerleri, latis büyüklüklerine karşı kullanılmıştır (Denk. 9c). Fraktal boyutun tespiti içinse, perkolasyon anında oluşan sonsuz kümelerine ait eleman sayıları, latis büyüklüklerine karşı çizdirilmiştir (Denk. 9d). Şekil 14'te çizdirilen log-log grafikleri ve fit eğrileri görülebilir.



Şekil 14. Üçgen, kare ve bal peteği latisler için, farklı ızgara boyutlarında elde edilen (a) eşik değerlerinin sapma değerleri ve (b) sonsuz kümelerin eleman sayıları kullanılarak çizdirilen log-log grafikleri.

Yapılan fit eğrilerine ait eğimler ile tespit edilen kritik üsteller ve fraktal büyüklükleri, her bir latis için Tablo 2'de verilmiştir. Ek olarak, benzetimler sonucu elde edilen değerler Denk. 6 ve Denk. 7'de kullanılarak diğer üsteller de hesaplanmıştır. Bu sonuçlar da aynı tablo üzerinde verilmektedir. Görüldüğü üzere, ölçeklendirme ile ilgili bu kritik üsteller de tam değerlere oldukça yakın olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2. Arşimet latisleri için tespit edilen kritik üstel değerleri. Bu değerler 1000×1000 büyüklüğündeki ızgaralar üzerinde elde edilmiştir.

	Üçgen	Kare	Bal Peteği	Tam Değer (Stauffer vd., 1982)
β	0,1389	0,1386	0,1390	5/36 (0,1389)
γ	2,3886	2,3272	2,3275	43/18 (2,3889)
ν	1,3326	1,3392	1,3168	4/3 (1,3333)
D	1,8801	1,8729	1,8932	91/48 (1,8958)
α	-0,6664	-0,6044	-0,6055	-2/3 (-0,6667)
σ	0,3991	0,3987	0,4011	36/91 (0,3956)

5. Sonuç

Gerçekleştirilen çalışmada, yön-kesme olarak isimlendirilen yöntem tanıtılmış ve iki-boyutlu Arşimet latisleri üzerinde sınınanarak, alınan sonuçlar ile, yöntemin perkolasyon benzetimleri üzerindeki başarısı kanıtlanmıştır. Latis üzerindeki düğüm noktalarına ait potansiyel bağları bir dizi üzerinde tutan yöntem, esnek yapıyla ihtiyaç duyulduğu kadar bağ veya komşuluk tanımlanmasına izin vermektedir. Çalışılan latis yapısına uygun doğru algoritmalar yardımıyla, ilgili yönlerin kesilerek dizinin şekillendirilmesi sayesinde, kullanım senaryolarına ait ihtimaller giderek artmaktadır. Bu bağlamda, her ne kadar çalışmada ele alınan latis türü 3 ile sınırlandırılrsa da diğer Arşimet latisleri de kare ızgara üzerinde adreslenerek, perkolasyon benzetimleri için kullanılabilir. Burada, literatürde yapılan çalışmalarda, diğer Arşimet latislerinin kare ızgara üzerinde adreslenmesi ile ilgili örnekler bakılabilir (Parviainen, 2007; Suding ve Ziff, 1999).

Nokta perkolasyonu, özellikle perkolasyon eşiği açısından tamamen farklı sonuçlar içerse de esasen aynı örgünün sadece farklı bir şekilde ele alınması durumudur. Kare latis için örneğin, bağ perkolasyonunda, bir düğüm noktasında toplamda dört potansiyel bağ mevcuttur ve her bir bağ kurulabilme iznine sahiptir. Fakat nokta perkolasyonunda, göz önüne alınan durum, ilgili noktanın işgal edilmediği olduğu için, bir düğüm noktası sadece bir bağ kurabilecektir. Böylelikle, dört farklı yönden herhangi biri kullanılarak gerçekleştirilen bağ ile diğer bağ ihtimalleri ortadan kalkacaktır. Bu nedenle, L kenar uzunluğuna sahip bir ızgarada, nokta perkolasyonu için L^2 (toplam nokta sayısı) kadar bağ kurulabilirken, bağ perkolasyonu için $2L^2-2L$ kadar bağ kurulabilecektir (Denk. 8a). Görüldüğü üzere, bu şartları sağlayacak şekilde kurgulanmış bir kodlama ile yön-kesme yöntemi rahatlıkla nokta perkolasyonu için de kullanılabilir.

İki-boyutun üzerindeki benzetimler adına, ilgili ızgaraya özgü olarak, yön dizisinin eleman sayısı artırılarak ve yön tanımları değiştirilerek perkolasyon benzetimleri gerçekleştirilebilir. Üç boyutta kare latislerle bezenmiş bir küp için, Şekil 2’de verilen ızgaraya bir z eksen ve bu eksen üzerinde tanımlanan iki yeni yön sisteme dahil edilmelidir. Sonradan sisteme eklenen eksen nedeniyle yeni gelen sınır koşullarının (kübün altı yüzeyi) kodlamaya dahil edilmesiyle, yön-kesme yöntemi, iki-boyutta olduğu gibi, üç-boyutta da rahatlıkla işlevini yerine getirmeye devam edecektir.

Yön-kesme yönteminde, bağların kurulması için kullanılan yön dizisinin, bağ dizilerine göre şekillendirmesi, üzerinde perkolasyon ve/veya kümelenme benzetimleri yapılmak istenilen latis ağını özgürce şekillendirme imkânı da sunmaktadır. Her bir düğüm noktasına ait bağ sayısı ve komşuluk derecesi, ilgili noktaya özel olmak üzere, bağ dizisine işlenebilir ve bu yolla tanımlanmış bir dizi düğüm noktasıyla, özgün ağ yapısına sahip bir latis tanımlanabilir. Ardından her bir düğüm noktasına göre kesilen yönler sayesinde, benzetim çalışmaları rahatlıkla tamamlanabilir. Bu tür özelleştirilmiş ağ yapıları, özellikle mühendislik alanlarında yön-kesme yönteminin kullanılmasının önünü açık hale getirmektedir.

Ek. Kaynak Kod

Aşağıdaki kaynak kod, iki sütun şekilde olmak üzere Python 3 dilinde yazılmış olup, 1000×1000 ölçeğinde bir kare latis için perkolasyon eşiğini tespit etmektedir. L değeri (LatisBoy) değiştirilerek, istenilen büyüklükteki ızgara üzerinde perkolasyon eşiği tespiti yapılabilir.

```
import numpy as np

import time

#-----Global Degiskenler-----

class GlbDeg:

    LatisBoy = 1000 # L degeri

    LatisXY = LatisBoy * LatisBoy

    toplamBag = LatisBoy * (LatisBoy - 1) * 2

    kume_say = 1

    bag_say = 0.

#-----

#-----Latis Sinifi-----

class Latis:

    m = None

    degme = None

    bagYon = None

#-----

#-----Kume Sinifi-----

class Kumeler:

    bag = None

    ref = None

    degme = None

#-----

#-----Değer Sifirlama-----

def sifirSet():

    glb.kume_say = 1

    glb.bag_say = 0.

    glb.m = np.zeros((glb.LatisBoy, glb.LatisBoy), dtype=int)

    glb.degme = np.zeros((glb.LatisBoy, glb.LatisBoy, 4),
dtype=bool)

    glb.bagYon = np.zeros((glb.LatisBoy, glb.LatisBoy, 4),
dtype=bool)

    kume.bag = np.zeros(glb.LatisXY, dtype=int)

    kume.degme = np.zeros((glb.LatisXY, 4), dtype=bool)

    kume.ref = np.arange(glb.LatisXY, dtype=int)

# Kenar degme ve bag dizisi isaretleme

for y0 in range(glb.LatisBoy):

    g.degme[0][y0][0] = True

    g.bagYon[0][y0][0] = True

for y0 in range(glb.LatisBoy):

    g.degme[glb.LatisBoy - 1][y0][2] = True

    g.bagYon[glb.LatisBoy - 1][y0][2] = True

for x0 in range(glb.LatisBoy):

    g.degme[x0][0][3] = True

    g.bagYon[x0][0][3] = True

for x0 in range(glb.LatisBoy):

    g.degme[x0][glb.LatisBoy - 1][1] = True

    g.bagYon[x0][glb.LatisBoy - 1][1] = True

#-----

#-----Ters Yon Fonksiyonu-----

def tersYon(y):

    yonler = np.array([2, 3, 0, 1])

    return yonler[y]

#-----

#-----Rastgele Bag Kurma-----

def randAdim():

    x0 = np.random.randint(glb.LatisBoy)

    y0 = np.random.randint(glb.LatisBoy)
```

```
x, y = x0, y0
yon = np.array([0, 1, 2, 3]) # yon dizisi
git = -1
yon_kont = 0

for i in yon: # Yonler kesiliyor
    if g.bagYon[x0][y0][i]:
        yon = np.delete(yon, np.argmax(np.where(yon == i)), 0)
        yon_kont += 1

if yon_kont == 4: # Tum baglar yapilmis
    return 0 # Kenara degme kontrolu yapilmiyor.

adim = np.random.choice(yon)

if adim == 0: # 0 yonu secildi
    x, git = x - 1, adim
if adim == 1: # 1 yonu secildi
    y, git = y + 1, adim
if adim == 2: # 2 yonu secildi
    x, git = x + 1, adim
if adim == 3: # 3 yonu secildi
    y, git = y - 1, adim

# Hicbir kumeye ait olmayan iki nokta
if g.m[x0][y0] == 0 and g.m[x][y] == 0:
    g.m[x0][y0] = glb.kume_say
    g.m[x][y] = glb.kume_say
    g.bagYon[x0][y0][git] = True
    g.bagYon[x][y][tersYon(git)] = True

# Kenar degme isaretleri kaydediliyor
```

```
for i in range(4):
    if g.degme[x][y][i] or g.degme[x0][y0][i]:
        kume.degme[kume.ref[glb.kume_say]][i] = True

glb.kume_say += 1
glb.bag_say += 1
kume.bag[kume.ref[g.m[x0][y0]]] += 1
return 0 # Kenara degme kontrolu yapilmiyor.

# Herhangi bir kumeye veya farkli kumelere ait iki nokta
if g.m[x0][y0] != 0 and g.m[x][y] != 0:
    # Ayni kumeye ait iki nokta
    if kume.ref[g.m[x0][y0]] == kume.ref[g.m[x][y]]:
        g.bagYon[x0][y0][git] = True
        g.bagYon[x][y][tersYon(git)] = True
        glb.bag_say += 1
        kume.bag[kume.ref[g.m[x0][y0]]] += 1
        return kume.ref[g.m[x0][y0]]

# Iki farkli kumeye ait noktalar, kumeler birlesecek!!!
else:
    if kume.ref[g.m[x0][y0]] > kume.ref[g.m[x][y]]:
        buyuk_kume = kume.ref[g.m[x0][y0]]
        kucuk_kume = kume.ref[g.m[x][y]]
    else:
        buyuk_kume = kume.ref[g.m[x][y]]
        kucuk_kume = kume.ref[g.m[x0][y0]]

# Yon isaretleri tasiniyor
for i in range(4):
    if kume.degme[buyuk_kume][i]:
        kume.degme[kucuk_kume][i] = True
```

```
# Buyuk kume numarasi kucuk olana cevriyor
kume.ref[kume.ref == buyuk_kume] = kucuk_kume

g.bagYon[x0][y0][git] = True
g.bagYon[x][y][tersYon(git)] = True
glb.bag_say += 1
kume.bag[kucuk_kume] += 1
kume.bag[kucuk_kume] += kume.bag[buyuk_kume]
return kucuk_kume

# Kume ve bos nokta karsilasiyor
if g.m[x0][y0] == 0 and g.m[x][y] != 0:
    g.m[x0][y0] = g.m[x][y]
    g.bagYon[x0][y0][git] = True
    g.bagYon[x][y][tersYon(git)] = True
for i in range(4):
    if g.degme[x0][y0][i]:
        kume.degme[kume.ref[g.m[x][y]]][i] = True
glb.bag_say += 1
kume.bag[kume.ref[g.m[x][y]]] += 1
return kume.ref[g.m[x][y]]

# Kume ve bos nokta karsilasiyor
if g.m[x][y] == 0 and g.m[x0][y0] != 0:
    g.m[x][y] = g.m[x0][y0]
    g.bagYon[x0][y0][git] = g.bagYon[x][y][tersYon(git)] =
True
for i in range(4):
    if g.degme[x][y][i]:
        kume.degme[kume.ref[g.m[x0][y0]]][i] = True
```

```
glb.bag_say += 1
kume.bag[kume.ref[g.m[x0][y0]]] += 1
return kume.ref[g.m[x0][y0]]

#-----
#-----Ana Islemler-----
def main():
    sifirSet()
    pc = 0.
    siz = False
while siz is False:
    i = randAdim()
if i is not 0:
    if kume.degme[i][0] and kume.degme[i][2]:
        siz = 1
        pc = glb.bag_say / glb.toplamBag
    if kume.degme[i][1] and kume.degme[i][3]:
        siz = 1
        pc = glb.bag_say / glb.toplamBag
    print("pc =", pc)
    print("--- %s saniye ---" % (time.time() - start_time))
#-----
#-----Benzetim Kosturma-----
if __name__ == "__main__":
    glb = GlbDeg()
    g = Latis()
    kume = Kumeler()
    start_time = time.time()
    main()
#-----
```

Kaynakça

- Araújo, N., Grassberger, P., Kahng, B., Schrenk, K. J. ve Ziff, R. M. (2014). Recent advances and open challenges in percolation. *European Physical Journal: Special Topics*, C, 223, ss. 2307–2321. Springer Verlag.
- Broadbent, S. R. ve Hammersley, J. M. (1957). Percolation processes. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 53(3), 629–641.
- Cook, A., Blom, H. A. P., Lillo, F., Mantegna, R. N., Micciché, S., Rivas, D., Vazquez, R. ve Zanin, M. (2015). Applying complexity science to air traffic management. *Journal of Air Transport Management*, 42, 149–158.
- Feldman, D. (2008). Polymer history. *Designed Monomers and Polymers*, 11(1), 1–15.
- Fernandez-Anez, N., Christensen, K. ve Rein, G. (2017). Two-dimensional model of smouldering combustion using multi-layer cellular automaton: The role of ignition location and direction of airflow. *Fire Safety Journal*, 91, 243–251.
- Fisher, M. E. (1961). Critical Probabilities for Cluster Size and Percolation Problems. *Journal of Mathematical Physics*, 2(4), 620–627.
- Fisher, M. E. ve Essam, J. W. (1961). Some Cluster Size and Percolation Problems. *Journal of Mathematical Physics*, 2(4), 609–619.
- Flory, P. J. (1941a). Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers. I. Gelation. *Journal of the American Chemical Society*, 63(11), 3083–3090.
- Flory, P. J. (1941b). Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers. II. Trifunctional Branching Units. *Journal of the American Chemical Society*, 63(11), 3091–3096.
- Flory, P. J. (1941c). Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers. III. Tetrafunctional Branching Units. *Journal of the American Chemical Society*, 63(11), 3096–3100.
- Hoshen, J. ve Kopelman, R. (1976). Percolation and cluster distribution. I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm. *Physical Review B*, 14(8), 3438–3445.
- Hoshen, J., Kopelman, R. ve Monberg, E. M. (1978). Percolation and cluster distribution. II. layers, variable-range interactions, and exciton cluster model. *Journal of Statistical Physics*, 19(3), 219–242.
- Kaynan, O., Yıldız, A., Bozkurt, Y. E., Yenigun, E. O. ve Cebeci, H. (2020). Electrically Conductive High-Performance Thermoplastic Filaments for Fused Filament Fabrication. *Composite Structures*, 237, 111930.
- Li, J., Ma, P. C., Chow, W. S., To, C. K., Tang, B. Z. ve Kim, J.-K. (2007). Correlations between Percolation Threshold, Dispersion State, and Aspect Ratio of Carbon Nanotubes. *Advanced Functional Materials*, 17(16), 3207–3215.
- Newman, M. E. J. ve Ziff, R. M. (2001). Fast Monte Carlo algorithm for site or bond percolation. *Physical Review E*, 64(1), 016706.
- Parviainen, R. (2007). Estimation of bond percolation thresholds on the Archimedean lattices. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 40(31), 9253–9258.
- Saberi, A. A. (2015). Recent advances in percolation theory and its applications. *Physics Reports*, 578, 1–32.
- Solomon, S., Weisbuch, G., de Arcangelis, L., Jan, N. ve Stauffer, D. (2000). Social percolation models. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 277(1–2), 239–247.
- Stauffer, D. (1979). Scaling theory of percolation clusters. *Physics Reports*, 54(1), 1–74.
- Stauffer, D. ve Aharony, A. (1985). Introduction to Percolation Theory. *Introduction to Percolation Theory*. Abingdon, UK: Taylor & Francis.
- Stauffer, D., Coniglio, A. ve Adam, M. (1982). Gelation and critical phenomena. *Polymer Networks* (C. 44, ss. 103–158). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Suding, P. N. ve Ziff, R. M. (1999). Site percolation thresholds for Archimedean lattices. *Physical Review E*, 60(1), 275–283.
- Sykes, M. F. ve Essam, J. W. (1963). Some Exact Critical Percolation Probabilities for Bond and Site Problems in Two Dimensions. *Physical Review Letters*, 10(1), 3–4.
- Sykes, M. F. ve Essam, J. W. (1964). Exact Critical Percolation Probabilities for Site and Bond Problems in Two Dimensions. *Journal of Mathematical Physics*, 5(8), 1117–1127.
- Trompeta, A.-F., Koumoulos, E., Stavropoulos, S., Velmachos, T., Psarras, G. ve Charitidis, C. (2019). Assessing the Critical Multifunctionality Threshold for Optimal Electrical, Thermal, and Nanomechanical Properties of Carbon Nanotubes/Epoxy Nanocomposites for Aerospace Applications. *Aerospace*, 6(1), 7.
- Tüzel, E., Özmetin, M. S., Yılmaz, Y. ve Pekcan, Ö. (2000). A new critical point and time dependence of bond formation probability in sol–gel transition: a Monte Carlo study in two dimension. *European Polymer Journal*, 36(4), 727–733.
- Vogel, E. E., Lebrecht, W. ve Valdés, J. F. (2010). Bond percolation for homogeneous two-dimensional lattices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(8), 1512–1520.
- Winterfeld, P. H., Scriven, L. E. ve Davis, H. T. (1981). Percolation and conductivity of random two-dimensional composites. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 14(17), 2361–2376.
- Zeng, G., Li, D., Guo, S., Gao, L., Gao, Z., Stanley, H. E. ve Havlin, S. (2019). Switch between critical percolation modes in city traffic dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(1), 23–28.
- Zerko, S., Polanowski, P. ve Sikorski, A. (2012). Percolation in two-dimensional systems containing cyclic chains. *Soft Matter*, 8(4), 973–979.



Lithium-boro-tellurite glasses with ZnO additive: Exposure Buildup Factors (EBF) and Nuclear Shielding Properties

Gülfem Süsoy^{1*}

¹ Istanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, 34134, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-3760-1999)

(First received 3 February 2020 and in final form 12 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.697254)

ATIF/REFERENCE: Süsoy, G. (2020). Lithium-boro-tellurite glasses with ZnO additive: Exposure Buildup Factors (EBF) and Nuclear Shielding Properties. *European Journal of Science and Technology*, (18), 531-544.

Abstract

The effect of ZnO increment on lithium boro tellurite ($\text{Li}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$) glass structure was investigated with the study of gamma and neutron attenuation properties. The gamma-ray shielding effectiveness of materials can be understood with the help of several different shielding parameters that play an important role in understanding the shielding capacities of the material. The mass attenuation coefficients (μ/ρ) for $\text{Li}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$ glass samples were calculated by using the XCOM program based on the DOS-based compilation XCOM. To compare the theoretical and simulation results of the mass attenuation coefficients of the samples, MCNPX (Monte Carlo N-Particle) simulation code was handled with the XCOM program in the energy range of 0.02 MeV - 20 MeV. In addition, effective atomic numbers (Z_{eff}), electron densities (N_{e}), effective removal cross-section (Σ_{R}) and the transmission factor (TF) for sample glasses, have also been examined in that energy range. In addition to these parameters the Half-value layer (HVL), tenth value layer (TVL) and also mean free path (MFP) values were calculated by using the μ/ρ . Moreover, exposure buildup factors (EBF) was calculated at 0.015–15 MeV up to 15 mfp by utilizing the G-P fitting approach. The glass having 20 mol% ZnO was found to has better gamma-ray shielding properties among the investigated glass samples. As a result, sample ZL5 among studied glasses has marvelous attenuation effectiveness whereas sample ZL1 has the best neutron radiation shielding performance. The outcomes of the present extended research can provide significant information for the comparison of new generation shielding materials with conventional shielding materials used in ionizing radiation facilities.

Keywords: ZnO; gamma shielding; EBF; neutron shielding; MCNPX;

ZnO Katkılı Lityum-Boro Tellürit Camlar: Maruz Kalma Faktörü (EBF) ve Nükleer Zırhlama Özellikleri

Özet

Lityum boro tellürit ($\text{Li}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$) cam yapısı üzerinde ZnO katkısının etkisi, gama ve nötron zayıflatma özelliklerinin incelenmesi ile araştırılmıştır. Malzemelerin gama ışını zırhlama etkinliği, malzemenin zırhlama kapasitelerinin anlaşılmasında önemli bir rol oynayan birkaç farklı zırhlama parametrenin yardımıyla anlaşılabilir. $\text{Li}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$ cam örnekleri için kütle zayıflatma katsayıları (μ/ρ), DOS-tabanlı XCOM'u temel alan XCOM programı kullanılarak hesaplanmıştır. Numunelerin kütle zayıflatma katsayılarının teorik ve simülasyon sonuçlarını karşılaştırmak için, 0.02 MeV - 20 MeV enerji aralığında XCOM programı ile MCNPX (Monte Carlo N-Parçacık) simülasyon kodu kullanıldı. Ek olarak, etkili atom numarası (Z_{eff}), elektron yoğunluğu (N_{e}), etkili çıkarma tesir kesiti (Σ_{R}) ve numune camları için iletim faktörü (TF) değerleri de bu enerji aralığında incelenmiştir. Bu parametrelere ek olarak Yarı-değer kalınlığı (HVL), onuncu değer kalınlığı (TVL) ve ayrıca ortalama serbest yol (MFP) değerleri μ/ρ kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca G-P fitleme yaklaşımı kullanılarak maruz kalma faktörü (EBF) değerleri de 0.015–15 MeV'de 15 mfp'ye kadar hesaplanmıştır. İncelenen cam örnekleri arasında % 20 mol ZnO katkısına sahip cam örneğinin daha iyi gama ışını koruyucu özelliklerine sahip olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, incelenen cam örnekleri arasında ZL5, en iyi zayıflatma etkinliğine sahipken ZL1 cam örneği, en iyi nötron radyasyon zırhlama performansına sahiptir. Mevcut araştırmanın bu yeni sonuçları, yeni nesil zırhlama

* Corresponding Author: Istanbul University, Faculty of Science, Department of Physics, 34134, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0002-3760-1999, gulfmsusoy972@gmail.com

malzemeleri ile iyonlaştırıcı radyasyon tesislerinde kullanılan geleneksel zırhlama malzemelerinin karşılaştırılması için önemli bilgiler sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: ZnO; gamma zırhlama; EBF; nötron zırhlama; MCNPX.

1. Introduction

In recent years, an increase has been observed in nuclear research laboratories and nuclear power plants. On the other hand, with the spread of radiation diagnosis-treatment methods, the number of personnel exposed to high energy radiation is increasing, especially in the field of medicine. Glasses, one of the radiation shielding materials, is a new groundbreaking application. These glasses have a wide range of applications such as nuclear medicine, radiology, imaging units, radiation oncology and nuclear physics research laboratories etc. They are produced especially because they absorb the photon radiation well. A familiar inorganic glass-composing oxide, B_2O_3 has a low melting point and well thermal stability. Between heavy-metal oxide based glasses, tellurite-glasses become prominent with the possibility of modifying the glass composition with a large number of components, which can contain rare-earth elements (REE), highly polarized ions (Pb^{2+} , Bi^{3+} , Tl^{4+}) and transition-metal oxides with a high proportion. And thus offers better non-linear optical properties [1-2]. Tellurite glasses; thanks to the high refractive index (>2), high insulating constants, high electrical conductivity, superior mechanical properties, high chemical and thermal stabilization, low glass-transition and defrost temperatures are suitable for optoelectronic applications, for example, optical fibers, microlens, data storing devices, lasers, sensors, optical imager, optic modulators and spectroscopic devices [3-6]. These important features promote the research specialist and engineers for using tellurite-glasses in several applications. TeO_2 is a conditional glassmaker; does not have the ability to make glass alone. Therefore, it makes the glass by adding a small amount of a second constituent (modifier) for example heavy metal oxide, alkali oxide or halide to modify the network structure [1]. Adding a small amount of TeO_2 to the borate glass system increases the stabilization and the capability to form a glass. Lithium oxide (Li_2O) plays a role in modifying the glass network structure. By adding Li_2O to the boro telluride glass system, mechanical, physical, transport and structural features are varied. Oxide glasses with Li_2O are commonly used in solar cell applications, solid-state batteries, and superionic conductors. Studies on boro-telluride glass samples having ZnO are quite exotic owing to their eminent refractive point and optical ethereality [7]. As a promising material for fiber optic technology, lasers, solar-cells and sensor studies, boro tellurite zinc glasses are largely used in the application of gas sensors, optoelectronic memory changing tools and optical waveguide practices [8-10]. Previous studies in literature on the Tellurite glass samples are TeO_2 -ZnO Dutta et al. [11], TeO_2 - Li_2O -ZnO Mohammed et al. [12], TeO_2 - Li_2O - B_2O_3 Saddeek et al. [13], ZnO - B_2O_3 - P_2O_5 - TeO_2 Mosner et al. [14]. Ghada E. El Falaky et al. [15] examined the impact of ZnO on the mechanical and physical features of borate glass systems. Y.B. Saddeek et al. [16] examined mechanical, thermal and structural features of B_2O_3 - TeO_2 - Bi_2O_3 and Li_2O - TeO_2 - B_2O_3 [17] glasses. G.Lakshminarayana et al. [18] worked on the TeO_2 - B_2O_3 -BaO-ZnO- Na_2O - Er_2O_3 - Pr_6O_{11} glass samples for gamma ray shielding features by using the thermal and vibrational spectroscopic studies. N. Elkhoshkhany et al. [19] examined the constitutive and optical behavior of TeO_2 - Li_2O -ZnO- Nb_2O_5 - Er_2O_3 glass system. S. Rani et al. [20] examined the role of Li_2O on the physical, optical and constitutive features of zinc boro-tellurite glasses. M. G. Dong et al. [21] examined the role of Li_2O on the gamma radiation shielding properties of lithium-zinc-bismuth-borate glass system using the XCOM program and MCNPX code. The purpose of this study is to estimate the role of ZnO on the gamma shielding parameters in lithium boro-tellurite glasses. Molar fractions and the densities of the glass samples mentioned in this work are listed in **Table 1** [22]. We estimate the mass attenuation coefficients (μ/ρ), total electronic ($\sigma_{t,el}$), atomic ($\sigma_{t,a}$) and molecular ($\sigma_{t,m}$) cross sections, effective atomic numbers (Z_{eff}), electron densities (N_{el}) of the stated glass samples. The estimated values have been likened with the theoretical ones computed with the XCOM program. Some concerning parameters effective removal cross-section (Σ_R) and the transmission factor (TF) for sample glasses have also been examined in the energy range from 0.02 MeV to 20 MeV. The outcomes of the present extended research can provide significant information for the comparison of new generation shielding materials with conventional shielding materials used in ionizing radiation facilities.

Table 1. Chemical Properties of the Investigated Glasses

Sample Code	B_2O_3	ZnO	TeO_2	Li_2O	Density (g/cm^3)
ZL1	60	0	10	30	3.32
ZL2	60	5	10	25	3.08
ZL3	60	10	10	20	3.14
ZL4	60	15	10	15	3.07
ZL5	60	20	10	10	3.44

2. Material and Method

2.1. MCNPX and WinXCom Program

The issue of radiation absorption in the fields of nuclear energy and medicine remains important. There are various equations and studies in the literature for the absorption of α , β radiations and n (neutron), p (proton) particles. MCNPX is a very useful program and has a general object Monte Carlo N-Particle code and used for the transmission of model radiation such as Gamma-ray, X-ray, neutron or electron radiations via matter [23]. In this study, NaI (Tl) detector was used to detect gamma rays and the verification with the MCNPX code was done by Tekin [24]. The simulation setup used in the study is shown in **Figure 1**. This setup consists of five different elements. These are isotropic radioactive spot source, Pb collimator for original radiation rays, glass sample, Pb blocks for protection against scattered photons, and NaI (Tl) detector. In order to calculate the μ/ρ of the sample glasses in this study, the XCOM program [25, 26] together with the MCNP program was also used by using the fractions stated in **Table 1**.

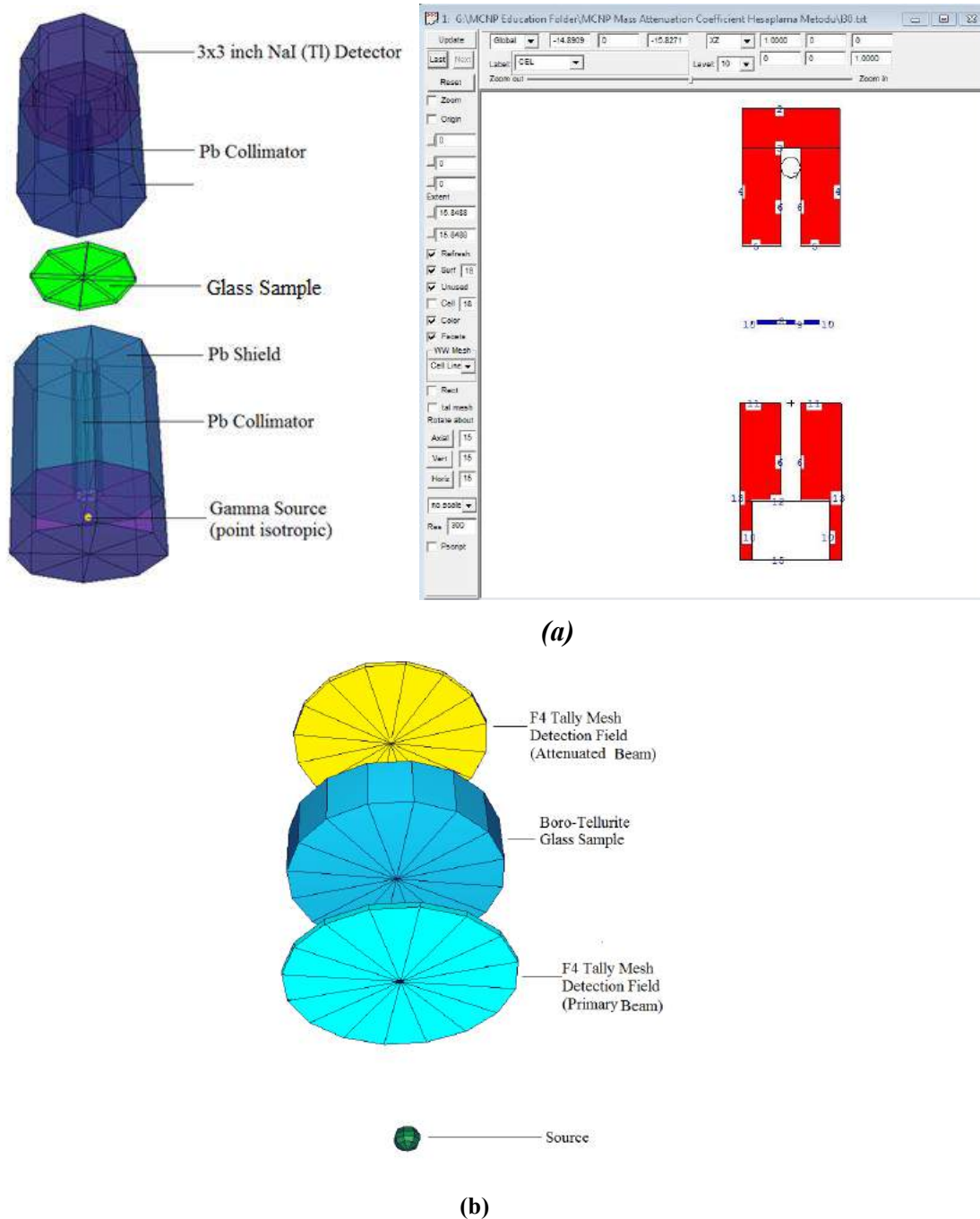


Figure 1. (a) MCNPX simulation setup obtained MCNPX Visual Editor (VE X_22S) for mass attenuation coefficients studies (b) MCNPX simulation setup obtained from MCNPX Visual Editor (VE X_22S) for photon transmission factor (TF) studies

2.2. Calculation method of shielding parameters

As a high-energy photon passes through a substance of x thickness, its energy is absorbed and passes to the other side as its intensity is weakened exponentially. This reduction in radiation intensity is directly proportional to the x -thickness and linear reduction coefficient of the absorber in reference to the Lambert-Beer law Eq. 1 [27]:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

where I and I_0 are specifying the transmitted and primary intensity of gamma radiation, μ specify the linear attenuation coefficient and x is the thickness (cm) of the shielding material. The linear attenuation coefficient is defined as the energy reduction fraction per unit thickness on the unit surface. Although the linear attenuation coefficient is only associated with thickness, this coefficient is attached to the energy of the photons and on the structure of the absorbent. The proportion of the linear attenuation coefficient to the material density is the reduction per unit mass on the unit time and is expressed as the coefficient of mass reduction.

The experimental mass attenuation coefficient μ/ρ of elements is expressed by:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

The theoretical mass attenuation coefficient μ/ρ (cm^2/g) of lithium boro-tellurite glasses containing ZnO can be specified as Eq.3:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{glass}} = \sum_i w_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i \quad (3)$$

where w_i and $(\mu/\rho)_i$ are the fraction by weight and mass attenuation coefficient of the examined element in the sequence. To calculate the (μ/ρ) value of the examined glasses for a determined energy region XCOM and MCNP code should be used [28]. Additionally, the fraction by weight w_i should be calculated by considering the number of element n_i and atomic weight of the i th element A_i in a chemical compound as;

$$w_i = \frac{n_i A_i}{\sum_i n_i A_i} \quad (4)$$

The μ/ρ values of the examined glasses were examined by using the XCOM program based on the DOS-based compilation XCOM [28].

In nuclear physics, the possibility of radiation interacting with matter is considered a cross-section. The cross-section is considered to be the total cross-section of the whole material, rather than the interaction with a single atom. According to the experimental studies and the results obtained, the area of the total cross-section can be calculated. In line with these experimental data, the area of the total cross-section has been determined theoretically and formulated and approximate results have been obtained. Total cross-sections can be specified as the following equations[29];

$$\sigma_{t,m} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \frac{M}{N_A} \quad (5)$$

$$\sigma_{t,a} = \frac{1}{N_A} \sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i = \frac{\sigma_{t,m}}{\sum_i n_i} \quad (6)$$

$$\sigma_{t,el} = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i = \frac{\sigma_{t,a}}{Z_{eff}} \quad (7)$$

$\sigma_{t,m}$: Total molecular cross-section:

$\sigma_{t,a}$: Total atomic cross-section

$\sigma_{t,el}$: Total electronic cross-section of the individual elements

$M = \sum_i (n_i A_i)$: Molecular weight

N_A : Avogadro constant

f_i : Fractional abundance of i th element

n_i : Number of element

A_i : Atomic weight of the i th element of samples

Z_i : Atomic number of the i th element

The effective atomic number (Z_{eff}) is a significant parameter for radiation absorptions of compounds, mixtures and alloys. Based on the variation of photon interaction cross section of the composite material element does not display the characteristic energy of the atomic number of the elements in all energies. Therefore, it has used the term atomic number for composite materials and it is stated that this value changes depending on the energy. The effective atomic number is theoretically the proportion of the total $\sigma_{t,a}$ (atomic cross-section) to the $\sigma_{t,el}$ (total electronic cross-section) given in Eq. 8 [30].

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (8)$$

The Z_{eff} is a commonly used parameter for diagnosis and treatment, especially in nuclear medicine, for dose calculations and for radiation protection. The effective electron number, such as the electron density, is used for similar purposes [31]. The effective electron number indicates the number of electrons interacting with the substance in the unit mass.

$$N_e = \frac{(\mu/\rho)}{\sigma_{t,el}} = \frac{N_A}{M} Z_{eff} \sum_i n_i = \frac{N_A Z_{eff}}{\langle A \rangle} \quad (9)$$

The average atomic mass in other words average atomic weight $\langle A \rangle$ [32,33] can be specified as;

$$\langle A \rangle = \frac{M}{\sum_i n_i} \quad (10)$$

Half-value layer (HVL) is the thickness of the material required to reduce the beam intensity to the half value of the principal intensity. The HVL shows that as the photon energy increases, energetic photons have the ability to permeate the sample. For the sample glasses, HVL can be examined by using the equation below,

$$HVL = x_{1/2} = \frac{0.693}{\mu} \quad (11)$$

The tenth value layer TVL is the thickness of material required to reduce the beam intensity to one-tenth of the initial intensity.

$$TVL = x_{1/10} = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (12)$$

HVL, TVL and also (Mean free path) MFP are the most widely used theoretical parameters for radiation shielding efficiency for glass samples [34,35] and there is a correlation between them: ($1 \text{ HVL} \cong 0,3 \text{ TVL}$). The average free path is the average distance the sample passes through before the single-particle interacts with the material and is calculated by the following equation.

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (13)$$

The transmission factor of gamma-ray (TF), defined as (I/I_0) can be determined using the attenuation coefficient and density of the material. In this case, certain thicknesses are selected for the shielding material or the thickness is selected to achieve a certain degree of attenuation at the source energies to use in the MCNP simulation program. Permeability based on material thickness and initial photon energy.

The probability of reaction by neutrons diminishes quickly as the neutron energy increases. However, scattering is very significant in a collision since it can pass on pretty much energy to the neutron. That's why it is of great importance to investigate the neutron blocking capacity of the shielding materials. The status of fast neutron attenuation is defined by a parameter named the "removal cross-section", unitized by (cm^{-1}). The effective removal cross-section, Σ_R (cm^2/g) is used to qualify the fast neutrons attenuation in glass samples and obtained by adding the individual mass removal cross-section of its components [33]:

$$\Sigma_R = \sum_i W_i (\Sigma_R/\rho)_i \quad (14)$$

where W_i is the partial density and equal to $W_i = w_i \rho_s$

Σ_R/ρ : Mass removal cross-section of the i th constituent

w_i : Weight fraction of the i th component

ρ_s : Density of the sample.

The exposure buildup factor (EBF) is a central parameter in determining the quality of radiation shielding features of glasses. To compute the EBF values we used G-P fitting method developed by Harima [36-38]. In the calculation processes, the Z_{eq} values are derived by matching the $(\mu_m)_{Compton} / (\mu_m)_{Total}$ ratio of the specific energy with the appropriate ratio of the element with the help of the following equation.

$$Z_{eq} = \frac{Z_1(\log R_2 - \log R) + Z_2(\log R - \log R_1)}{\log R_2 - \log R_1} \quad (17)$$

where Z_1 and Z_2 indicates the atomic numbers of the samples.

At the later stage, using the ANSI / ANS-6.4.3 [39] standard reference database, the values of G-P fitting parameters in the 0.015-15 MeV energy region for the selected samples were then calculated. Finally, all these parameters obtained in the previous steps are utilized in order to calculate EBF values. Detailed information about calculations can be accessed from previous studies [40–44].

3. Results and Discussion

For studying the shielding features of glass samples having the compound $x\text{ZnO}(30-x) \text{Li}_2\text{O}-10\text{TeO}_2-60\text{B}_2\text{O}_3$ ($x=0, 5, 10, 15$ and $20\text{mol}\%$), the mass attenuation coefficient (MAC) ($\mu_m = \mu/\rho$) in the energy range from 0.02 MeV to 20 MeV were calculated applying XCOM program and the outcomes are drawn according to the photon energy (see **Figure 2**). As can be easily understood from **Figure 2**, μ/ρ values are dropped rapidly to 0.06 MeV as the photon energy increased since the photoelectric effect is dominant at low lying photon energy region and become constant after the energy range of 0.06 MeV mid-level energies where the Compton effect is dominant. Additionally, it is easy to see that the reduction of the Li_2O contribution and the increment of the ZnO contribution in sample glasses leads to the increment of μ/ρ values. In this case, it is clear that the ZL5 has the largest value of μ/ρ among the glass samples.

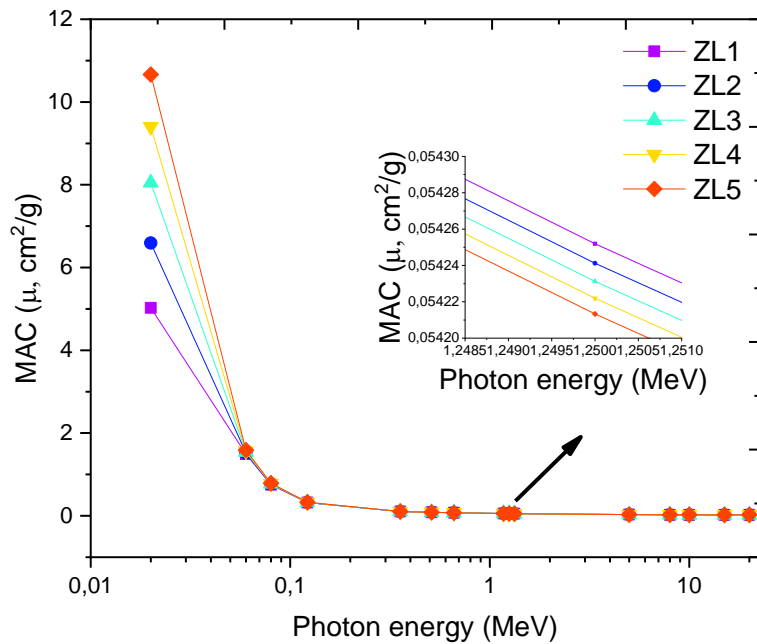


Figure 2. Mass attenuation coefficients (μ/ρ) of the sample glasses with photon energy from 0.02 to 20 MeV.

The MCNPX simulation code and XCOM program were used to compare the simulation and theoretical results of the mass attenuation coefficients of the samples. The values compared between 0.02 MeV - 20 MeV energy range are shown in **Table 2**. As is evident from **Table 2**, when gamma energies increase for glass samples it was determined that the mass attenuation coefficients go down and run up with the rise of ZnO contribution. This demonstrates that an increase in photon interactions in low photon energies with the increase of ZnO contribution in samples varies by $\sim Z^4/E^3$. **Table 2** also shows that the results obtained by the XCOM program and MCNPX code are consistent with each other.

Table 2. Mass Attenuation Coefficients (μ_m) for the Glass Samples Estimated by WinXCom Program

Energy (MeV)	ZL1		ZL2		ZL3		ZL4		ZL5	
	MCNPX	XCOM	MCNPX	XCOM	MCNPX	XCOM	MCNPX	XCOM	MCNPX	XCOM
0.020	5,156985	5.026482	6,612855	6.593171	8,125587	8.047543	9,546630	9.401257	11,253304	10.664414
0.060	1,515247	1.491934	1,523680	1.518109	1,552310	1.542408	1,572561	1.565025	1,596341	1.586129
0.080	0,763354	0.752418	0,772564	0.762566	0,785130	0.771985	0,795564	0.780757	0,800504	0.788939
0.122	0,325504	0.319874	0,332007	0.322427	0,338521	0.324798	0,342235	0.327005	0,345216	0.329064
0.356	0,105054	0.104144	0,105214	0.104229	0,107877	0.104307	0,110042	0.104381	0,112581	0.104449
0.511	0,087622	0.085436	0,087714	0.085455	0,088021	0.085473	0,088521	0.085490	0,088624	0.085505
0.662	0,075320	0.074942	0,075412	0.074943	0,075996	0.074943	0,076120	0.074944	0,076216	0.074945
1.173	0,057004	0.056076	0,057116	0.056063	0,057598	0.056052	0,057419	0.056041	0,057516	0.056031
1.250	0,054627	0.054252	0,054712	0.054241	0,054991	0.054231	0,055114	0.054222	0,055201	0.054213
1.330	0,052722	0.052530	0,052789	0.052522	0,052901	0.052514	0,052991	0.052507	0,052824	0.052500
5.000	0,028831	0.028228	0,028851	0.028475	0,028755	0.028704	0,028854	0.028917	0,029459	0.029115
8.000	0,025335	0.024392	0,025651	0.024793	0,025810	0.025166	0,026115	0.025512	0,026710	0.025836
10.000	0,023530	0.023279	0,023945	0.023759	0,024511	0.024205	0,024901	0.024619	0,025698	0.025006
15.000	0,022846	0.022192	0,023004	0.022815	0,023759	0.023394	0,024511	0.023933	0,025204	0.024436
20.000	0,022914	0.022003	0,022988	0.022730	0,023810	0.023405	0,024357	0.024033	0,025881	0.024620

The HVL, TVL and MFP values of the sample glasses are shown in **Figures 3 and 4 (a, b)**. These values are very small in the low energy region of photon and these values are reduced by the increasing concentration of ZnO. HVL and TVL values were almost constant up to 0.1 MeV energy for all glass samples, after which a quick increase occurred in these values and reached the peak value of 15 MeV. The differences in these values for existing glass samples can be specified as the domination of varied photon interaction types in varied energy zone. In addition, these values decrease with the increasing densities of the subject glass samples. It is important to note that the low MFP, HVL and TVL values are necessary for a preferable gamma ray protection material since the possibility of photon interaction by the material is higher. According to this result, when we compare glass samples, it is understood that the ZL5 glass sample with minimum HVL, TVL, MFP and maximum density and mass attenuation coefficient has the best protection features among the glass samples.

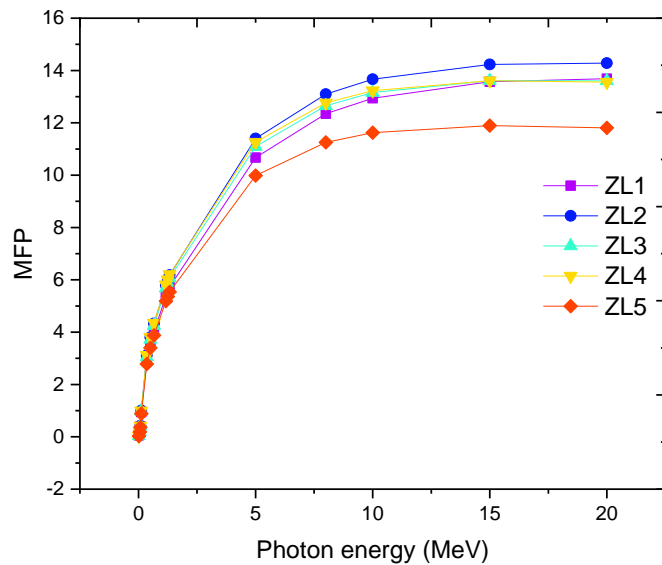


Figure 3. Mean free path (MFP) of investigated glass samples.

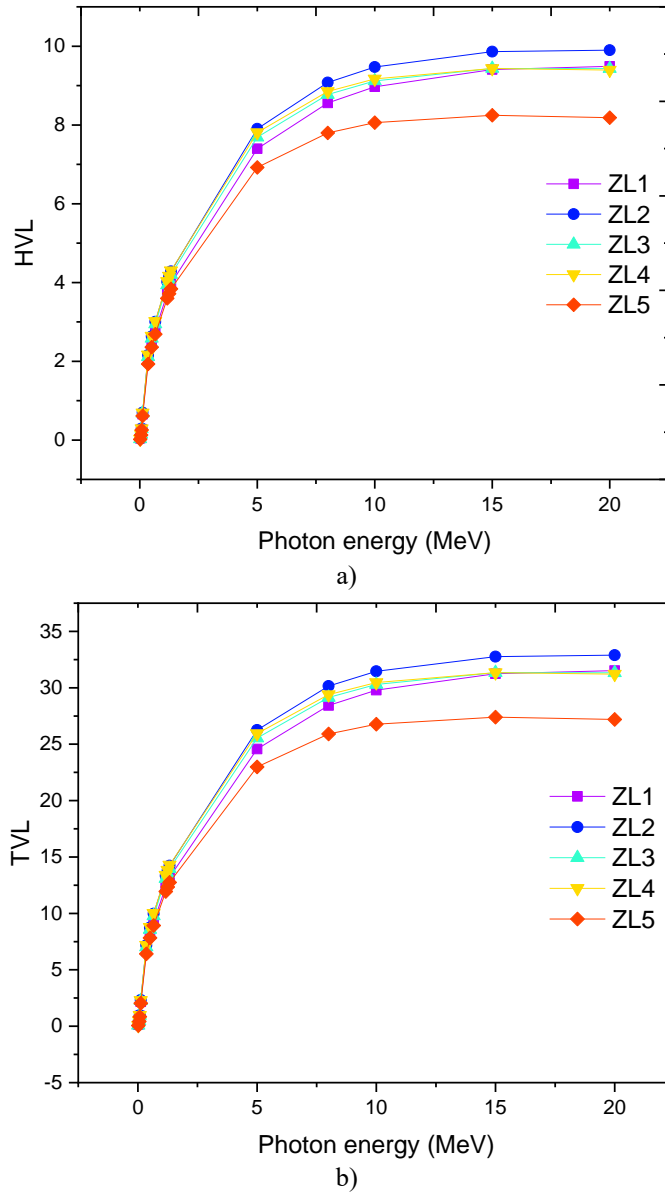


Figure 4. a) Half (HVL) and b) tenth value layer (TVL) of investigated glass samples.

Figure 5 indicates the changes in the effective atomic number (Z_{eff}) of the ZnO doped lithium boro-tellurite glasses according to the gamma-ray energies in the region of 0.02 MeV to 20 MeV. As shown in **Figure 5**, a quick jump occurred at the 0.06 MeV energy range with the increment of the Zn contribution in glass structures except for the glass sample ZL1. The reason is photoelectric cross-section dependence on the Z^{4-5} . Moreover, a remarkable decrease of Z_{eff} values in the region of 0.04 MeV - 0.1 MeV takes place with the increment of the photon energy for the glass samples. When the photon energy rises further, the Z_{eff} becoming virtually stand-alone from photon energy. The prevailing of the Compton scattering case can be one of the main reasons. When the value is higher than 2.0 MeV, the Z_{eff} demonstrates a slow increment and this indicates that pair production is dominant. As can be understood from **Figure 5**, the Z_{eff} is highest for sample ZL5. The alteration of electron density for examined sample glasses with photon energy indicates the same action as in Z_{eff} , can be seen in **Figure 6**.

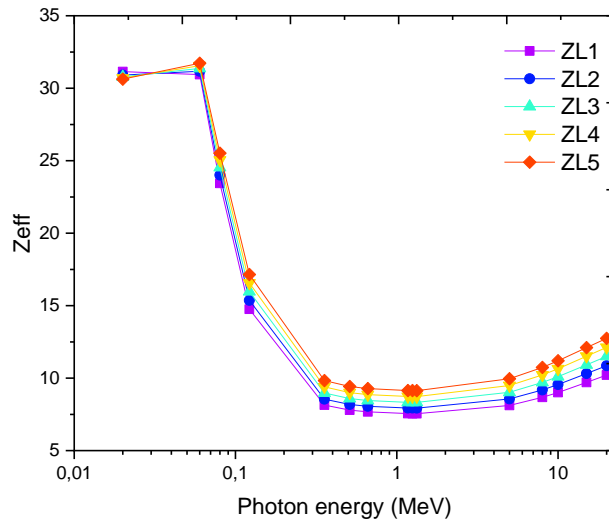


Figure 5. Effective atomic numbers (Z_{eff}) of the glass samples with photon energy.

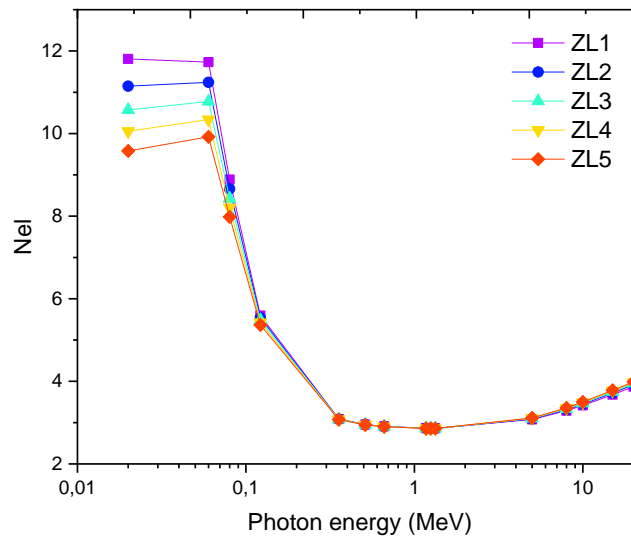


Figure 6. Effective electron density (N_{ei}) of the glass samples with photon energy

The calculated gamma-ray transmission factors (TFs) depending on thickness (x) are shown in **Figure 7**, calculated by the MCNPX program for specific energies. As one can see from the figure the TF values drop rapidly with the increase of mass thickness and better attenuation (minimum values of TFs) is achieved in high energy regions. The difference between the TF values of the samples changes from 0.87% to 0.11%. ZL5 is the best absorber between the glass samples for both neutron and gamma radiation. **Figure 7** shows that the transmission factor for the glass samples aligns considering the following order: $ZL1 > ZL2 > ZL3 > ZL4 > ZL5$. Effective removal cross-section (Σ_R), Mass removal cross-section of the i th compound ($\Sigma R/\rho$), the weight fraction of the i th component and partial densities of the samples are listed in **Table 3** for examined glass samples. According to **Table 3**, a slight increase in Σ_R values was determined as the amount of Zn increased in glass samples. On the other hand, there was no significant difference between the Σ_R values of the examined glass samples. Changes in values are owing to the density differences of the glass samples, so it is deduced that density plays an important role in fast neutron protection.

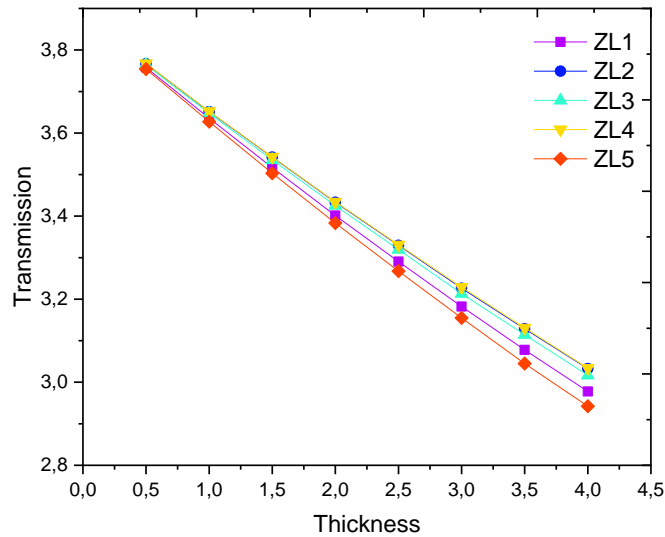


Figure 7. Transmission factors (TFs) as a function of shielding thickness.

Table 3. Effective removal cross sections for the glass samples

ZL1 (density = 3.32 g/cm ³)										
Element	$\Sigma R/\rho$ (cm ² /g)	Fraction by weight (%)	Partial Density (g cm ⁻³)	ΣR (cm ⁻¹)	Fraction by weight (%)	Partial Density (g cm ⁻³)	ΣR (cm ⁻¹)	Fraction by weight (%)	Partial Density (g cm ⁻³)	ΣR (cm ⁻¹)
B	0.0575	0.194511	0.645777	0.037132	0.187280	0.576821	0.033167	0.180566	0.566979	0.032601
Zn	0.0183	0.000000	0.000000	0.000000	0.047198	0.145370	0.002660	0.091013	0.285779	0.005230
O	0.0405	0.551733	1.831754	0.074186	0.531221	1.636160	0.066264	0.512179	1.608241	0.065134
Te	0.0134	0.191315	0.635165	0.008511	0.184202	0.567342	0.007602	0.177599	0.557661	0.007473
Li	0.0840	0.062441	0.207305	0.017414	0.050100	0.154307	0.012962	0.038643	0.121339	0.010193
TOTAL				0.137243			0.122656			0.120630

ZL4 (density = 3.07 g/cm ³)								ZL5 (density = 3.44 g/cm ³)		
Element	$\Sigma R/\rho$ (cm ² /g)	Fraction by weight (%)	Partial Density (g cm ⁻³)	ΣR (cm ⁻¹)	Fraction by weight (%)	Partial Density (g cm ⁻³)	ΣR (cm ⁻¹)	Fraction by weight (%)	Partial Density (g cm ⁻³)	ΣR (cm ⁻¹)
B	0.0575	0.174318	0.535156	0.030771	0.168487	0.579597	0.033327			
Zn	0.0183	0.131795	0.404609	0.007404	0.169849	0.584279	0.010692			
O	0.0405	0.494455	1.517976	0.061478	0.477916	1.644033	0.066583			
Te	0.0134	0.171453	0.526361	0.007053	0.165719	0.570072	0.007639			
Li	0.0840	0.027979	0.085897	0.007215	0.018029	0.062020	0.005210			
TOTAL				0.113922			0.123451			

The Σ_R value of Sample ZL1 has been shown to have a maximum value between the other glass samples (Figure 8). This can be explained by its higher Li₂O content among the glass samples since Li's effective removal cross-section is bigger than Zn. In this study, we have calculated the EBF values of the selected glasses in 0.015–15MeV up to 15 MFP by utilizing the G-P fitting approach. The EBF values are plotted in Figure 9.

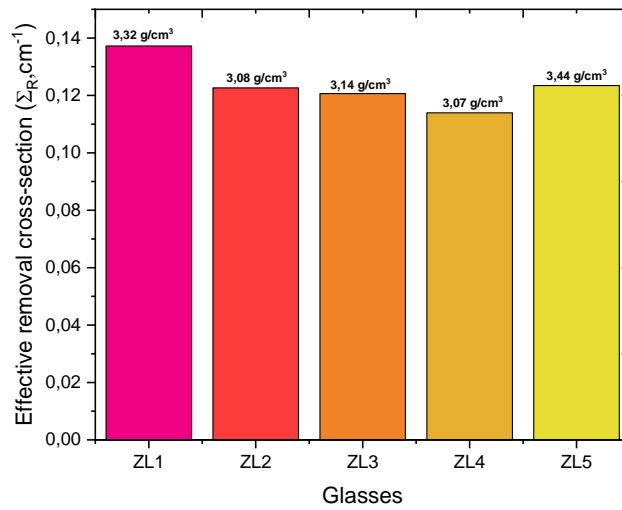


Figure 8. Effective removal cross-section values of the glasses with density

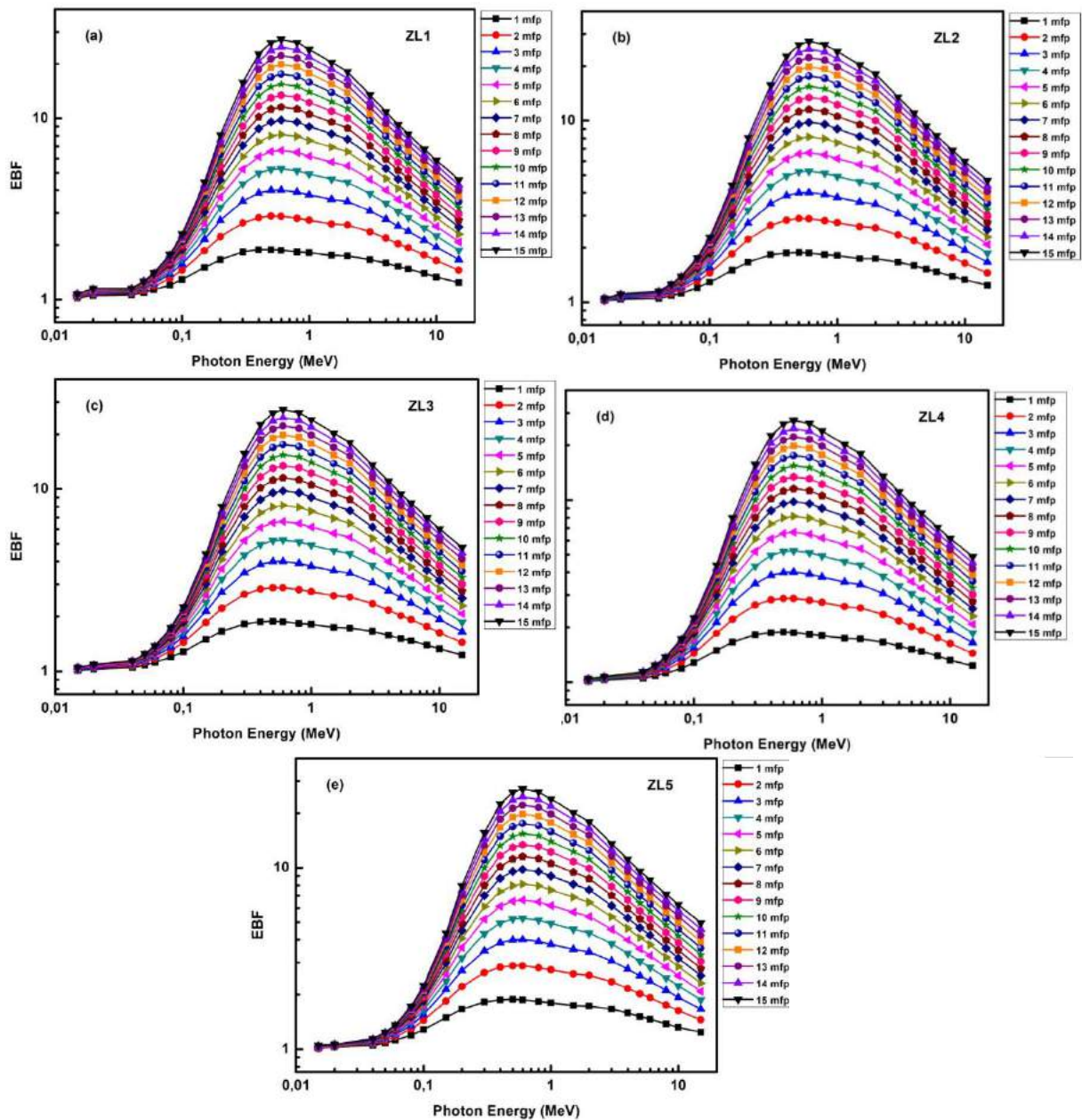


Figure 9. (a-e) The exposure buildup factors in the energy region 0.015-15 MeV at the 1-15 mfp for glass samples

The figure shows us that EBF values remain very low at first, and start rising fast as the energy level rises [40,41]. That indicates an inverse relationship between energy and EBF. Yet, at 0.6 MeV, the EBF values extended to its maximum and after that peak, it keeps decreasing even if the energy level rises. That is simply because we have different processes derived from the energy and matter interaction at different (low, mid and high) levels. Photoelectric effect grows into dominance at the low energy levels yielding an inverse effect with $E^{3.5}$. The sample of glasses absorbs the maximum level of low energy photons as the build-up for the photons are constricted at this energy region. Compton scattering is the process that becomes a dominant incident at the intermediate energies yielding high EBF. The high EBF is because of the multiple scattering processes rather than MFP. Pair production becomes dominant when it comes to high energies yielding lower EBF as the photon energy rises [42,44]. With the highest Z_{eq} value, ZL5 yields the minimum EBF values (**Figure 10**).

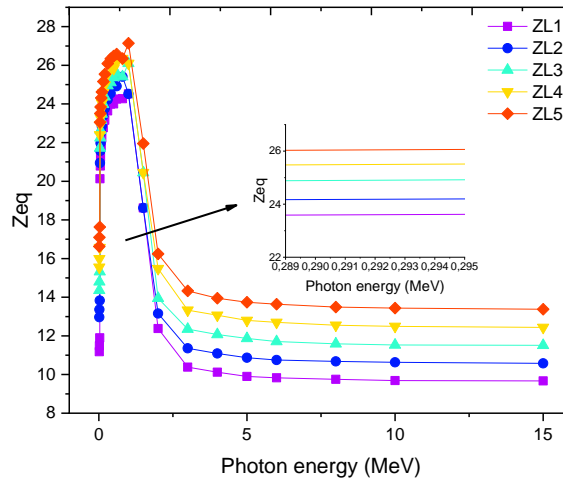


Figure 10. Equivalent atomic numbers of the glass samples with photon energy

4. Conclusions

In summary, the modifier role of ZnO in for lithium boro-tellurite glass samples was determined by calculating mass attenuation coefficient (μ/ρ) by XCOM software and MCNPX code. Comparing the values of XCOM and MCNPX, it can be easily seen that μ/ρ values are in compliance with each other. In addition to the mass attenuation coefficient, Z_{eff} , N_{el} , HVL, TVL, MFP, TF, Σ_R , Z_{eq} , EBF shielding parameters were also calculated. According to the results of this study, μ/ρ and Z_{eff} values are go up with increasing ZnO contribution. ZL1 glass sample has the minimum Z_{eff} . Also, HVL, TVL and MFP values of the worked glass samples are increased as the photon energy goes up and decreased as the amount of ZnO additive increases. Sample ZL5 has the smallest value among the other glass samples. Σ_R values together with transmission factors were also examined for the glass samples. Sample ZL5 has the smallest TF values, whereas Sample ZL1 has the biggest Σ_R values among the glass samples. Moreover, among the selected glasses (i.e. ZL1), the one with the lowest Z_{eq} has the maximum EBF, as the one (i.e. ZL5) with the highest Z_{eq} provide the minimum EBF. In this sense, ZL5 is better than ZL1 as a radiation attenuator in terms of EBF values. The hypothesis of this study is to observe an improvement in the radiation attenuation properties of glass samples with increasing ZnO ratio. The results of this study prove the accuracy of the proposed hypothesis. The amount of increase in the ZnO additive is not very high in glass samples. Therefore, the presented results of the samples can be shed light on radiation physics medical applications and shielding research for future studies.

References

1. R. A. H. El-Mallawany, Tellurite Glasses Handbook Physical Properties and Data. Boca Raton: CRC Press, (2002).
2. P. Kostka, J. Zavadil, J. Pedlikoval, M. Poulain, Preparation and Optical Characterization of PbCl₂-Sb₂O₃-TeO₂ Glasses Doped with Rare Earth Elements, Phys. Status Solidi A, 208, 821-1826, (2011).
3. I. M. Ashraf, S. Almoed, E. Yousef, Enhanced thermal stability and optical properties in Tm³⁺/Dy³⁺ ions codoped TNbZ glasses. Optik, 131, 221-230, (2017).
4. M. Çelikbilek, A. E. Ersundu E. O. Zayim, and S. Aydın, Thermochromic behavior of tellurite glasses. Journal of Alloys and Compounds, 637, 162-170, (2015).
5. R. A. H. El-Mallawany, Tellurite Glasses Handbook Physical Properties and Data. Boca Raton: CRC Press, (2002).
6. S. Terny, M. A. De la Rubia, J. De Frutos, M. A. Frecheroa, A new transition metal-tellurite glass family: Electrical and structural properties. Journal of Non-Crystalline Solids, 433, 68-74, (2016).

7. P. Gayathri Pavani, K. Sadhana, V. Chandra Mouli, Optical, physical and structural studies of boro-zinc tellurite glasses, *Physica B* 406, 1242–1247, doi: 10.1016/j.physb.2011.01.006 (2011).
8. S. L. Meena, B. Bhatia, Polarizability and Optical Basicity of Er³⁺ Ions Doped Zinc Lithium Bismuth Borate Glasses *J. Pure Appl. Ind. Phys.* 6 (10), 75–83, (2016).
9. S. Thirumaran, K. Sathish, Spectroscopic investigations on structural characterization of borate glass specimen doped with transition metal ions, *Res. J. Chem. Environ.* 18 (10), 77–82, (2015).
10. K.A. Matori, M. Hafiz, M. Zaid, H.J. Quah, S. Hj, A. Aziz, Studying the Effect of ZnO on Physical and Elastic Properties of (ZnO)_x(P₂O₅)_{1-x} Glasses Using Nondestructive Ultrasonic Method, *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 596361, , <https://doi.org/10.1155/2015/596361>, (2015).
11. D. Dutta, M. P. F. Graca, M. A. Valente and S. K. Mendiratta, Structural characteristics and dielectric response of some zinc tellurite glasses and glass ceramics, *Solid State Ionics* 230 66, (2013).
12. E. A. Mohamed, F. Ahmad and K. A. Aly, Effect of lithium addition on thermal and optical properties of zinc–tellurite glass, *J. Alloys Compd.* 538 230, doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.05.044. (2012).
13. Y. B. Saddeek, H. A. Afifi and N. S. A. El-Aal, Interpretation of mechanical properties and structure of TeO₂–Li₂O–B₂O₃ glasses, *Phys. B* 398 1, doi.:10.1016/j.physb.2007.04.011 (2007).
14. P. Mosner, K. Vosejkova, L. Koudelka, L. Montagne and B. Revel, Structure and properties of ZnO–B₂O₃–P₂O₅–TeO₂ glasses, *Mater. Chem. Phys.* 124 732, doi:10.1016/j.matchemphys.2010.07.048. (2010).
15. Ghada El. Falaky, W. Guirguis Osiris, Effect of zinc on the physical properties of borate glasses, *J. Non-Cryst. Solids* 358,1746–1752, DOI: 10.1016/j.jnoncrsol.2012.05.009.(2012).
16. Y.B. Saddeek, K.A. Aly, K.S. Shaaban, Atif Mossad Ali, Moteb M. Alqhtani, Ali M. Alshehri, M.A. Sayed, E.A. Abdel Wahab, Physical properties of B₂O₃–TeO₂–Bi₂O₃ glass system, *J. Non-Cryst. Solids* 498, 82–88, (2018).
17. Y. Saddeek, H. Mohamed, M. Azzoz, Structural study of some divalent aluminoborate glasses using ultrasonic and positron annihilation techniques, *Phys. Status Solidi A* 201 (9), 2053, (2004).
18. G. Lakshminarayana, S.O. Baki, M.I. Sayyed, M.G. Dong, A. Lira, A.S.M. Noor, I.V. Kityk, M.A. Mahdi, Vibrational, thermal features, and photon attenuation coefficients evaluation for TeO₂-B₂O₃-BaO-ZnO-Na₂O-Er₂O₃-Pr₆O₁₁ glasses as gamma-rays shielding materials, *J. Non-Cryst. Solids* 481, 568–578, (2018).
19. N. Elkoshkhany, Samir Y. Marzouk, Nourhan Moataz, Sherif H. Kandil, Structural and optical properties of TeO₂-Li₂O-ZnO-Nb₂O₅-Er₂O₃ glass system, *J. Non-Cryst. Solids* 500, 289–301, (2018).
20. S. Rani, N. Ahlawat, R. Parmar, S. Dhankhar, R.S. Kundu, Role of lithium ions on the physical, structural and optical properties of zinc boro tellurite glasses, *Indian J. Phy.* 92 (7), 901–909, (2018).
21. M.G. Donga, M.I. Sayyed, G. Lakshminarayanan, M. Çelikbilek Ersundud, A.E. Ersundud, Priyanka Nayare, M.A. Mahdic, Investigation of gamma radiation shielding properties of lithium zinc bismuth borate glasses using XCOM program and MCNP5 code, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 468, 12–16, (2017).
22. P. Naresh, B. Kavitha, Hajeebaba K. Inamdar, D. Sreenivasu, N. Narsimlu, Ch. Srinivas, Vasant Sathe, K. Siva Kumar, Modifier role of ZnO on the structural and transport properties of lithium boro tellurite glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids* 514, 35–45, (2019).
23. Team, X.-5 M.C.: MCNP, A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5 Volume I: Overview and Theory. (2003) p.
24. H.O. Tekin., MCNP-X Monte Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3 × 3 inch NaI(Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data, *Science and Technology of Nuclear Installations*, Article ID 6547318, 7 pages. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/6547318>, (2016)
25. M. J. Berger, J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, J. Chang, J. S. Coursey, R. Sukumar, D. S. Zucker, K. Olsen, XCOM: Photon Cross Sections Database, NIST Standard Reference Database 8 (XGAM).
26. O. Agar, M.I. Sayyed, F. Akman, H.O. Tekin, M.R. Kacal. An extensive investigation on gamma ray shielding features of Pd/Ag-based alloys. *Nuclear Engineering and Technology*, 51(3), 853-859. doi.:10.1016/j.net.2018.12.014. (2018).
27. M.I. Sayyed, Bismuth modified shielding properties of zinc boro-tellurite glasses, *J. Alloy. Compd.* 688, 111–117. doi:/10.1016/j.jallcom.2016.07.153.(2016).
28. F. Akman, M. I. Sayyed, M. R. Kaçal, H. O. Tekin, Investigation of photon shielding performances of some selected alloys by experimental data, theoretical and MCNPX code in the energy range of 81 keV–1333 keV. *J. Alloys Compd.* DOI: 10.1016/j.jallcom.2018.09.177. (2019).
29. H. O. Tekin, O. Kilicoglu, E. Kavaz, E. E. Altunsoy, M. Almatari, O. Agar, M. I. Sayyed, The investigation of gamma-ray and neutron shielding parameters of Na₂O-CaO-P₂O₅-SiO₂ bioactive glasses using MCNPX code. *Results Phys.* 12, 1797, 1797-1804 doi.:10.1016/j.rinp.2019.02.017. (2019).
30. F. Akman, I. H. Geçibesler, I. Demirkol, A. Çetin, Determination of effective atomic numbers and electron densities for some synthesized triazoles from the measured total mass attenuation coefficients at different energies. *Can. J. Phys.* 97(1): 86-92, doi.:10.1139/cjp-2017-0923 (2018).
31. G. J. Hine, The effective atomic numbers of materials for various gamma ray interactions, *Phys. Rev.* 1952, 85, 725.
32. F. Akman, R. Durak, M. F. Turhan, M. R. Kaçal, Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. *Appl. Radiat. Isot.* doi.:10.1016/j.apradiso.2015.04.001. (2015).
33. H. O. Tekin, E. E. Altunsoy, E. Kavaz, M. I. Sayyed, O. Agar, M. Kamislioglu, Photon and neutron shielding performance of boron phosphate glasses for diagnostic radiology facilities. *Results Phys.* 12, 1457, doi.:/10.1016/j.rinp.2019.01.060. (2019).
34. S. R. Manohara, S.M. Hanagodimath, and L. Gerward, Energy dependence of effective atomic numbers for photon energy absorption and photon interaction: studies of some biological molecules in the energy range 1 keV-20 MeV, *Medical Physics*, vol. 35, no. 1,

- pp. 388–402, DOI: 10.1118/1.2815936. (2008).
35. J. F. Ziegler, M. Ziegler, J. Biersack, SRIM – The stopping and range of ions in matter (2010), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 268 (11–12), 1818–1823. doi:10.1016/j.nimb.2010.02.091. (2010).
 36. Y. Harima, An approximation of gamma-ray buildup factors by modified geometrical progression, Nucl. Sci. Eng., 83, pp. 299–309, doi.org/10.13182/NSE83-A18222 (1983).
 37. M. I. Sayyed, M. G. Dong, H. O. Tekin, G. Lakshminarayana, M. A. Mahdi, Comparative investigations of gamma and neutron radiation shielding parameters for different borate and tellurite glass systems using WinXCom program and MCNPX code, Mater. Chem. Phys., 215, pp. 183–202, doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.04.106 (2018).
 38. S. R. Manohara, S. M. Hanagodimath, L. Gerward, Energy absorption buildup factors for thermoluminescent dosimetric materials and their tissue equivalence, Radiat. Phys. Chem., 79, pp. 575–582, doi.org/10.1016/j.radphyschem.2010.01.002 (2010).
 39. ANSI/ANS-6.4.3, Gamma Ray Attenuation Coefficient and Buildup Factors for Engineering Materials, Am. Nucl. Soc. La Grange (1991).
 40. O. Kilicoglu, Characterization of copper oxide and cobalt oxide substituted bioactive glasses for gamma and neutron shielding applications, Ceramics International, 45 (17), 23619–23631, doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.073. (2019).
 41. S.A. Issa, H.O. Tekin, R. Elsaman, O. Kilicoglu, Y.B. Saddeek, M.I. Sayyed, Radiation shielding and mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ glasses using MCNPX Monte Carlo code, Materials Chemistry and Physics. 223, 209–219. doi.:10.1016/j.matchemphys.2018.10.064, (2019).
 42. I.S. Mahmoud, S.A. Issa, Y.B. Saddeek, H.O. Tekin, O. Kilicoglu, T. Alharbi, M.I. Sayyed, T.T. Erguzel, R. Elsaman, Gamma, neutron shielding and mechanical parameters for lead vanadate glasses, Ceramics International. 45, 14058–14072. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.04.105. (2019).
 43. H.O. Tekin, E. Kavaz, E.E. Altunsoy, O. Kilicoglu, O. Agar, T.T. Erguzel, M.I. Sayyed, An extensive investigation on gamma-ray and neutron attenuation parameters of cobalt oxide and nickel oxide substituted bioactive glasses, Ceramics International. 45, 9934–9949. doi:10.1016/j.ceramint.2019.02.036. (2019).
 44. G. Susoy, Effect of TeO_2 additions on nuclear radiation shielding behavior of $\text{Li}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-TeO}_2$ glass-system, Ceramics International, 46 (3), 3844–3854, doi:10.1016/j.ceramint.2019.10.108. (2019).



Van Gölü'nden Toplanan Su ve Sediment Numunelerinden İzole Edilen Bakterilerin Lakkaz ve Mannanaz Enzimlerini Üretme Kabiliyetleri

Nevroz Aslan Ertaş^{1*}, Erdal Ögün²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3590-5961)

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van, Türkiye (ORCID: 000-0001-8280-4245)

(İlk Geliş Tarihi 10 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 14 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.692425)

ATIF/REFERENCE: Aslan Ertaş, N. & Ögün, E. (2020). Van Gölü'nden Toplanan Su ve Sediment Numunelerinden İzole Edilen Bakterilerin Lakkaz ve Mannanaz Enzimlerini Üretme Kabiliyetleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 545-551.

Öz

Bu çalışmanın amacı, Van Gölü'nden toplanan su ve sediment numunelerinden lakkaz ve mannanaz enzimi üretme kabiliyetlerine sahip bakterilerin karakterizasyonudur. Bu araştırmanın materyalini Van Gölü'nden toplanan su ve sediment numuneleri oluşturmuştur. İzolasyon çalışması dilüsyon plak yöntemi ile alkali besiyerinde gerçekleştirilmiştir. İki farklı koloni morfolojisine sahip izolat gözlemlenmiştir. İzolatlar koloni çapı, pigmentasyon, hücre şekli, gram reaksiyonu, indol testi, sitrat testi, voges-proskauer (vp), arabinoz, mannitol, sükröz, adonitol, metil_d-glikozit, selobiyoz, mannoz, salicin, traheloz, galaktoz, inositol, rafinoz, inulin, sorbitol, ksiloz, melesitoz, glikoz, arjinin, nitrat redüksiyonu, beta galaktosidaz, oksidaz, lakkaz enzim aktivitesi, mannanaz enzim aktivitesi, nişasta hidrolizi, tween 80 hidrolizi, skim milk hidrolizi ve ksilan hidrolizi testleri uygulanmıştır. İzolatların lakkaz enzimini üretme kabiliyetlerine %0.2 mM ABTS ve %0.1 mM CuSO₄ ile bakılmıştır. Mannanaz enzimi üretme kabiliyetleri %1 mannoz ve fenol içeren alkali besiyeri kullanılarak belirlenmiştir. Genomik DNA'sı izole edilen 2 izolatın 16S rRNA gen bölgesi 27F ve 1492R evrensel primerleri ile amplifiye edilip sekans analizi yapılmıştır. Mega 7.0.18 paket programı ile Maksimum Olabilirlik algoritması seçilerek Jukes ve Cantor'un uzaklık matrisi ile filogenik ağaçlar oluşturulmuştur. İzolatların tümünün lakkaz enzimi yönünden negatif olduğu, mannanaz enzimi yönünden N1 ve N2 izolatlarının pozitif olduğu görülmüştür. N1 izolatı için oluşturulan filogenetik ağaçta *Halomonas* bakterileri kendi aralarında güçlü bir homoloji ile kümelennmiştir. N2 izolatı için oluşturulan filogenetik ağaçta *Bacillus* bakterileri genel olarak güçlü bir homoloji ile kümelennmiştir. N1 ve N2 izolatları, morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal özelliklerine ve 16S rRNA gen bölgesi analizine göre N1 *Halomonas stevensii* ve N2 *Bacillus agaradhaerens* olarak teşhis edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 16S rRNA, lakkaz, mannanaz.

The Production Capabilities of Laccase and Mannanase Enzymes of The Bacteria Isolated from Water and Sediment Samples Collected from The Van Lake

Abstract

The aim of this study is the characterization and diagnosis of bacteria that have the ability to produce laccase and mannanase enzymes from water and sediment samples collected from Lake Van. The material of this research were form water and sediment samples collected from Van Lake. The isolation study was carried out on the alkali medium by dilution plate method. Isolate with two different colony morphologies were observed. Colony diameter, pigmentation, cell shape, gram reaction, indole test, citrate test, voges-proskauer (vp), arabinose, mannitol, sucrose, adonitol, methyl_d-glycoside, cellobiosis, mannose, salicin, trahelosis, galactose, inositol, rafinose, inulin, sorbitol, xylose, melesitose, glucose, arginine, nitrate reduction, beta galactosidase, oxidase, laccase enzyme activity, mannanase enzyme activity, starch hydrolysis, tween 80 hydrolysis, skim milk hydrolysis and xylan hydrolysis tests have made. The ability of isolates to produce laccase enzyme was evaluated with 0.2% mM ABTS and 0.1% mM CuSO₄. Their ability to produce mannanase enzyme was determined using an alkaline medium containing 1% mannose and phenol. 16S rRNA gene region of 2 isolates whose

genomic DNA was isolated were amplified with universal primers of 27F and 1492R and sequence analysis was performed. Phylogenetic trees were created with the distance matrix of Jukes and Cantor by selecting the Maximum Likelihood algorithm with the Mega 7.0.18 package program. It was observed that all of the isolates were negative in terms of laccase enzyme and N1 and N2 isolates were positive in terms of mannanase enzyme. In the phylogenetic tree created for N1 isolate, *Halomonas* bacteria was clustered with a strong homology among themselves. Bacillus bacteria were generally clustered with a strong homology in the phylogenetic tree created for N2 isolate. N1 and N2 isolates were diagnosed as N1 *Halomonas stevensii* and N2 *Bacillus agaradhaerens* according to their morphological, physiological, biochemical properties and 16S rRNA gene region analysis.

Keywords: 16S rRNA, laccase, mannanase.

1. Giriş

Van Gölü, Dünya üzerindeki dördüncü en büyük su kütesidir (hacim 607 km³, alan 3570 km², maksimum derinlik 450 m, göl seviyesi deniz seviyesinden 1648 m yüksekliktedir). pH oranı 9.7-9.8 ve tuzluluk oranı %0 21.7 olan yeryüzündeki en büyük soda gölü olarak da bilinir (Berber ve Yenidünya, 2005). Van Gölü, dünyadaki bilinen en büyük mikrobiyalitleri barındırır (Kepme ve ark., 1991). Kış konveksiyonundan dolayı, göl suyunun kimyasal bileşimi gölde homojendir. Farklı kompozisyonlardaki suları getirmelerine rağmen, nehirler alkalın toprak metallere daha büyük miktarda bikarbonat tüketirler. Bu soda kimyası postvolkanik CO₂ aktivitesine atfedilebilir (Degen ve ark.,1984). Van Gölü ile yapılan bu tür çalışmalar neredeyse yok denecek kadar azdır.

Enzim kaynağı olarak mikroorganizmaların tercih edilmesinin nedenleri; yan ürün oluşturmalarının az olması, aktivitelerinin yüksek olması, daha ekonomik olması, stabiliteye sahip olması, yüksek oranlarda ve saflıkta üretilebilmeleridir (Wiseman, 1987; Horikoshi, 1999; Khalikova ve ark., 2019). Mikroorganizmalardan elde edilen enzimlerin tüm dünya genelinde yıllık kullanım oranlarına bakıldığında %25 alkalın proteaz, %21 diğer proteazlar, %18 amilaz, %10 renin, %3 tripsin, %3 lipaz ve %10 diğer karbonhidrat parçalayan enzimler (selülaz ve ksilanaz gibi), %10 kadar ise analitik ve farmasötik enzimlerin olduğu şekilde bir dağılım belirlenmiştir (Rao ve ark., 1998). Enzimatik oksidasyon teknikleri hamur ve kağıt, tekstil ve gıda endüstrileri gibi çok çeşitli endüstriyel alanlarda potansiyele sahiptir.

Lakkaz enzimi, gıda, kozmetik, kağıt, tekstil ve tekstil atıklarının azo boya içeren sularının biyolojik arıtılması yaygın bir şekilde kullanılır (Arık ve ark., 2008; Chandra ve Chowdhary, 2015; Demiralp ve ark., 2015). Lakkaz birçok canlı tarafından kullanılan bir enzimdir. Yüksek bitkilerde ve mantarlarda yaygın olarak bulunur. Fungusların Ascomycetes, Deuteromycetes ve Basidiomycetes sınıflarında ve ligninolitik beyaz-çürükçül mantarlarda bu enzim, bol miktarda bulunur (Shekher ve ark., 2011). Lakkaz enzimi, funguslara ilave olarak birçok gram negatif, gram pozitif bakteriler ve aktinomycetler tarafından da üretilmektedir (Singh ve ark., 2011).

β -mannanazlar (EC 3.2.1.78), mannanlar, galaktomannanlar, glukomannanlar ve galaktoglukanetnamelerde 1,4-beta-D-mannozidik bağları hidroliz eden hücre dışı enzimlerdir. Mannanlar ve heteromannanlar, sert ağaçlar ve yumuşak ağaçlar, baklagil bitkilerinin tohumları ve fasulyelerde hemiselüloz fraksiyonunun bir parçası olarak doğada yaygın olarak bulunurlar. Mikroorganizmalar mannanazların en güçlü üreticileri olup hızlı büyümeleri, yetiştirme için sınırlı alan ve genetik manipülasyona hazır erişim açısından tercih edilen enzim kaynaklarını temsil etmektedir. (Dhawan ve Kaur, 2007). Beta-Mannanazlar, gıda, yem ve kağıt endüstrisinde ve kağıt endüstrisinde çok sayıda uygulamaya sahiptir. Mannanazlar, çeşitli mantar, maya, bakteri ve deniz yosunları ile karasal bitkilerin çimlenmekte olan tohumlarından ve çeşitli omurgasızlardan üretilebilir. Bu seçenekler arasında, düşük maliyet, yüksek üretim hızı ve kolayca kontrol edilen koşullar nedeniyle beta-mannanazların mikroorganizmalar tarafından üretilmesi daha umut vericidir (Feng ve ark., 2003). Beta-mannanaz, sanayinin birçok alanında kullanılan çok umut verici bir enzim olduğu için, işlemlerden daha yüksek verim elde etmek ve süreçlerin süresini azaltmak için mannanaz üretiminin artırılması gerekir; böylece, enzimi optimize etmek için ekonomik bir üretim sağlanabilir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Su ve Sediment örneklerinin toplanması

Van Gölü'den alınan sediment örnekleri 1000ml'lik steril polietilen torbalar içerisinde, su örnekleri ise steril 300 ml'lik cam şişelere bırakılarak toplandı ve 12 saat içerisinde laboratuvara ulaştırıldı.

2.2. Su ve sediment örneklerinden alkalifilik bakterilerin izolasyonu

Sediment örneklerinden Ringer Solusyonu içerisinde 1/10'lük çözelti hazırlandı. Hazırlanan sediment çözeltisinden dilüsyon yöntemi ile seyreltmeler yapıldı. 10⁻⁴'lük seyreltmeden 100µl, alkali besiyeri (Horikoshi, 1999) (Glikoz 10 g, Yeast Ekstrakt 5 g, Pepton 5 g, KH₂PO₄ 1 g, MgSO₄ x 7H₂O 0.2 g, Na₂CO₃ 10 g, Agar 15 g, ddH₂O 1000 ml) içeren petri plaklarının yüzeyine eğri cam çubuk yardımıyla yayıldı. Petri kapları 30°C'de 48 saat inkübasyona bırakıldı. İnkübasyonu müteakip elde edilen karışık kültürlerden, saf kültürler elde edildi. Saf kültürlerden stok kültürler hazırlandı ve daha sonraki aşamalarda kullanılmak üzere içerisinde %5 oranında gliserol bulunan kriyojenik tüpler içerisinde -20°C'de muhafaza edildi.

2.2.1. Lakkaz enzimi üreten izolatların belirlenmesi

İzolatlar, içerisinde %0.2 mM ABTS ve %0.1 mM CuSO₄ bulunan alkali besiyeri plaklarına yoğun bir şekilde ekildi. Petri plakları 30°C'de 48 saat inkübasyona bırakıldı. İnkübasyonu müteakip ABTS'yi oksitleyen izolatların çevresinde yeşil renkli halelerin varlığı, lakkaz enzimi üretimi yönünden, pozitif olarak değerlendirildi (Soden ve ark., 2002; Ögün ve ark., 2018).

2.2.2. Mannanaz enzimi üreten izolatların belirlenmesi

Mannanaz aktivitesi için, alkali besiyeri içerisine %1 mannoz ve fenol red ilave edildi. İzolatlar öze yardımı ile besiyerine yoğun şekilde ekildi. Petri kapları 30°C'de 72 saat inkübasyona bırakıldıktan sonra incelendi. Üreme bölgelerinin etrafındaki sarı zonlar mannanaz aktivitesi yönünden pozitif olarak değerlendirildi.

2.2.3. Lakkaz ve Mannanaz enzimi üreten izolatların identifikasyonu

Mikroorganizma veya mikroorganizma gruplarının kendilerine has bir biyokimyasal özelliği vardır. Bakteriler için örnek verecek olursak; her bakteri kendine özgü enzimlere sahip olup, belirli maddeleri yine kendine özgü bir biçimde metabolize ederek, çeşitli yıkım ve yapım ürünleri meydana getirmektedir. Bakterilerin bu özelliklerinin tek tek veya listeler halinde çeşitli kaynaklarda (kitap, araştırma makalesi, derleme vb.) bulmak mümkündür. Ancak bu konu başvurulacak temel kaynak Bergey's Manual of Systematic Bacteriology dir. Bergey's Manual, doğadaki bilinen bakterilerinin tümünü, belli taksinomik gruplar halinde inceleyerek, biyokimyasal özellikleri de dahil olmak üzere, pek çok özelliğini tek tek ve liste halinde açıklamaktadır.

Bakteriyel izolatların morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde Bergey's Manual of Systematic Bacteriology eserinin ikinci cildi referans alındı (George ve ark., 2005; Ögün ve ark., 2018a).

2.3. Moleküler karakterizasyon

2.3.1. Genomik DNA izolasyonu

Genomik DNA izolasyonu için, alkali besiyeri içerisinde 30°C'de 48 saat inkübe edilen kültürler 2dk santrifüj edildi. Bakterilerden genomik DNA izolasyonu için Ausubel ve ark. (1994), metodu modifiye edilerek kullanıldı (Awla ve ark., 2017).

2.3.2. Polimeraz zincir reaksiyonu uygulaması

16S rRNA gen bölgesinin yaklaşık 1450 bazlık bölgesi uygun üniversal primerler kullanılarak polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile amplifiye edildi. Bu amaçla bakteria domaini için spesifik 27F ve 1492R universal primerleri kullanıldı. PCR karışımı, 50 µl polimeraz tampon içerisinde her tampondan 30 pikomol, kromozomal DNA'dan 10 ng ve 200 µM dNTPs ve 2.5 ünite Taq polimeraz içerecek şekilde hazırlandı. Tüm amplifikasyon koşulları 94 °C'de 5 dakikalık ön denatürasyon, 94 °C'de 30 sn denatürasyon, 50 °C'de 30 sn bağlanma ve 72 °C'de 10 sn uzamadan oluşan 30 döngü lükamplifikasyon ve 72 °C'de 15 dakikalık final uzamadan oluşacak şekilde programlandı. PCR işlemi tamamlandıktan sonra, PCR karışımının bir kısmı, agaroz jel elektroforezi kullanılarak görüntülendi (Nikiforov ve Howles, 2001; Ögün ve ark., 2018b).

2.3.4. 16S rRNA gen bölgesinin dizi ve filogenetik analizi

16S rRNA gen bölgesi dizileme sonuçları Codon Code Aligner V.6.0.2 programı ile her suş için kromatogramlar tek tek incelenmiş ve zayıf nitelikli baz dizilerinin (belirsiz yani 'N' kodlu birkaç baz) genellikle sekans başları ve sonlarındaki bölgelerinde kesilerek uzaklaştırılmış ve contıqler oluşturulmuştur. NCBI'da blast yapılarak her suşa yakın türlerin access kodları alınarak, hem veri tabanındaki yakın türlerle hem de kendi aralarında analiz edilmiştir. Daha sonra ClustalW programı ile korunmuş bölgeler kıyaslanarak, Mega7 programında Maximum Likelihood algoritmasında Jukes-Cantor metodu seçilmiş, Maksimum Likelihood filogenetik ağacı oluşturulmuş ve izolatların evrimsel açıdan filogenetik pozisyonları belirlenmiştir (Sharef ve ark., 2018).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Su ve sediment örneklerinden alkalifilik bakterilerin izolasyonu

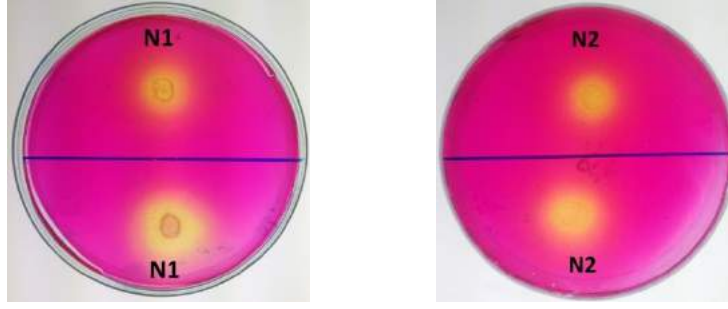
Van Gölü'den toplanan su ve sediment örneklerinden, yapılan izolasyon çalışmalarında iki farklı koloni morfolojisine sahip izolat gözlemlendi. Seçilen bu izolatlardan biri gram negatif, diğerinin ise gram pozitif bakteri olduğu belirlendi.

3.1.1. Lakkaz ve Mannanaz enzimi üreten izolatların belirlenmesi

Mezofilik organizmalardan izole edilen enzimler, esasen dar bir pH, sıcaklık ve iyonik güç aralığında işlev görür ve bu da endüstriyel koşulları zorlayan teknolojik uygulamalarını zorlaştırır. Bu nedenle, asidite, alkalinite, tuzluluk, sıcaklık veya basınç aşırılıkları gibi zorlu çevresel koşullarda başarılı olabilen mikroorganizma aramak için kayda değer çabalar sarf edilmiştir. Ekstremofiller olarak adlandırılan bu mikroorganizmalar, aşırı koşullar altında işlev gören ve bu nedenle de büyük bir biyoteknolojik vaatte bulunan yeni enzimlerin değerli bir kaynağıdır (Van den Burg, 2003).

Enzimler, endüstride hemen her alanda kullanılabilen ve bu alanların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle birçok bilim adamı doğal kaynaklardan bakteri izolasyonuna gitmekte, böylelikle yeni türlerin ortaya çıkması sağlanmaktadır (Awla ve ark., 2017).

İzole edilen iki izolat mannanaz enzimi yönünden pozitif bulundu. *Halomonas* N1 ve *Bacillus* N2 izolatı olarak adlandırıldı (Şekil1). İzolatların ikisinde lakkaz enzimi üretme yönünden negatif sonuç vermiştir.



Şekil 1. N1 ve N2 izolatının mannanaz aktivitesi

3.1.3. Lakkaz ve Mannanaz enzimi üreten izolatların identifikasyonu

Bu izolatların morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal ve moleküler özellikleri belirlendi. İndol, oksidaz, katalaz ,skim milk hidrolizi (Proteaz), tween80 hidrolizi (lipaz), nişasta hidrolizi (amilaz), ksilan hidrolizi (Ksilanaz), nitrat redüksiyonu, sitrat kullanımı, Voges Proskauer (VP), beta galaktosidaz, lakkaz aktivitesi, mannanaz aktivitesi ve bazı şekerlerin kullanımı ile ilgili biyokimyasal özellikleri tespit edildi (Tablo 1). Çalışmamızda izolatların ikisi de mannanaz enzimi üretme kabiliyeti gösterdiğinden endüstriyel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir. Yine N1 ve N2 izolatının nitrat indirgemesi pozitif olması yönüyle önemli bulundu. Bu durum alkali habitatlarda azot döngüsünün gerçekleştiğinin göstergesidir.

Tablo 1. N1 ve N2 izolatlarına uygulanan biyokimyasal testler

No	Testler	N1	N2
1	Koloni çapı	2 mm	2mm
2	Pigmentasyon	Krem	Krem
3	Hücre şekli	Basil	Basil
4	Gram reaksiyonu	-	+
5	İndol testi	-	-
6	Sitrat testi	+	+
7	Voges-Proskauer (VP)	-	-
8	Arabinoz	-	-
9	Mannitol	-	-
10	Sükroz	+	-
11	Adonitol	-	-
12	Metil_D-Glikozit	-	-
13	Selobiyoz	-	-
14	Mannoz	+	+
15	Salicin	-	-
16	Trahelez	+	-
17	Galaktoz	-	-
18	İnositol	-	-
19	Rafinoz	-	-
20	İnulin	-	-
21	Sorbitol	-	-
22	Ksiloz	-	-
23	Melesitoz	-	-
24	Glikoz	+	+
25	Arjinin	+	+
26	Nitrat Redüksiyonu	+	+
27	Beta galaktosidaz	+	+
28	Oksidaz	+	+
29	Lakkaz enzim aktivitesi	-	-
30	Mannanaz enzim aktivitesi	+	+
31	Nişasta hidrolizi	-	-
32	Tween 80 hidrolizi	-	-
33	Skim milk hidrolizi	-	-
34	Ksilan Hidrolizi	-	-

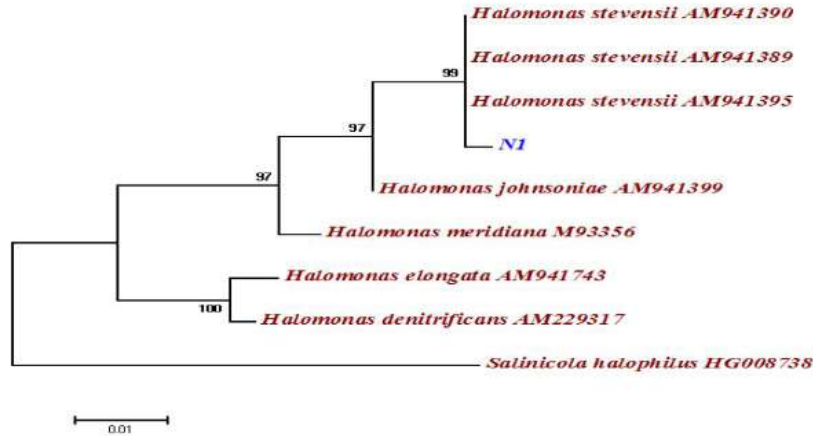
2.3.4. 16S rRNA gen bölgesinin dizi ve filogenetik analizi

Moleküler yöntemlerden biri olan 16S rRNA gen dizileme bakteriler arasındaki filogenetik ilişkilerin açıklanmasında, herhangi bir ortamdan izole edilen bakterilerin tanımlanmasında kullanılan güçlü bir tekniktir (Busse ve ark., 1996). 2000’li yıllardan itibaren PCR kullanımının ve DNA dizilemenin yaygınlaşmasının sonucu olarak 16S rRNA gen bölgesinin dizilenmesi bakteriyal izolatların doğru şekilde tanımlanmasında ve yeni bakteriyal izolatların literatüre kazandırılmasında büyük öneme sahip olmuştur. 16S rRNA gen bölgesi tüm türlerin tanımlanmasında oldukça faydalı ve korunmuş bölgelerin ise tür için spesifik bilgi verici özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir (Brown-Elliott, 2006; Chen ve ark., 2019).

Test organizmaları ve ilgili cinslerin tip türlerinin dizi analizine bağlı filogenetik dendrogramları Maximum Likelihood algoritması kullanılarak oluşturuldu. Maximum Likelihood algoritması için filogenetik uzaklık matrisi Jukes-Cantor metodu izlenerek gerçekleştirildi (Jukes ve Cantor, 1969). Filogenetik analizler için oluşturulan filogenetik ağaçların bootstrap analizleri 1000 tekrarlı olarak MEGA 7 (Kumar ve ark., 2008) paket programında gerçekleştirildi. Evrimsel açıdan korunmuş nükleotid baz dizilerinde ki polimorfizm oranları yardımı ile türler arası uzaklık-yakınlık analizlerinin yapılabilmesi için bootstrap değeri hesaplanmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3’de 16S rDNA dizi verileri kullanılarak gerçekleştirilen ML analizinde her iki izolat için oluşturulan filogenetik ağaçta dış gruplar tamamen farklı bir dal oluşturarak kümelenmiştir.

N1 izolatını filogenetik dendrogramında Halomonadaceae familyasının bir üyesi olan *Salinicola halophilus* suşu dış grup olarak kullanıldı. *Halomonas* grubunu temsil eden çalışma izolatu ve ilgili tip türlerinin 16S rRNA nükleotid dizileme analizleri sonucu Maximum Likelihood matrisiyle oluşturulan filogenetik ağaç Şekil 2’de verilmiştir. Oluşturulan filogenetik ağaçta *Halomonas* cinsi üyeleri ve N1 izolatu kendi aralarında güçlü bir homoloji ile kümelenmiştir. N1 izolatu, Gen Bankası’nda kayıtlı *Halomonas stevensii* türleri ile sıkı bir şekilde kümelenme göstermiştir.

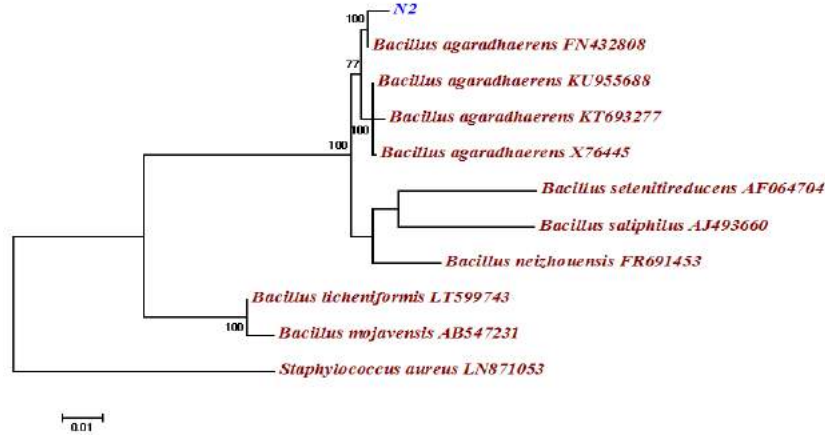
N1 izolatının BLAST sonucu %99 *Halomonas stevensii* olması ve bu türün yeni olması nedeniyle daha önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu suş için Kim ve arkadaşlarının (2010) yapmış olduğu çalışmadaki sonuçlar ile bizim çalışmamızdaki sonuçlar büyük oranda paralellik göstermiştir. Ancak çalışmamızdaki Tween 80 hidroliz testi ve inositol testi Kim ve arkadaşlarının (2010) yaptığı çalışmanın aksine negatif sonuç göstermiştir.



Şekil 2. Maksimum Likelihood (ML) yöntemine göre N1 izolatu için 16S rRNA gen dizilerine dayanan filogenetik ağaç.

N2 izolatını filogenetik dendrogramında *Staphylococcus aureus* suşu dış grup olarak kullanıldı. *Bacillus* grubunu temsil eden çalışma izolatu ve ilgili tip türlerinin 16S rRNA nükleotid dizileme analizleri sonucu Maximum Likelihood matrisiyle oluşturulan filogenetik ağaç Şekil 3’de verilmiştir. Oluşturulan filogenetik ağaçta *Bacillus* cinsi üyeleri ve N2 izolatu kendi aralarında güçlü bir homoloji ile kümelenmiştir. N1 izolatu, Gen Bankası’nda kayıtlı *Bacillus agaradhaerens* türleri ile güçlü bir homoloji kümelenmiştir. *Bacillus*’ların oluşturduğu kümelenmede izolatlar kendi aralarında 2 farklı alt gruba ayrılmıştır. Bu alt grupların birincisinde *Bacillus agaradhaerens* üyeleri ve N2 izolatu kendi aralarında kümelenirken *Bacillus selenitireducens*, *Bacillus saliphilus* ve *Bacillus neizhouensis* suşları kendi aralarında kümelenmiştir.

N2 izolatının BLAST sonucu %99 *Bacillus agaradhaerens* olması nedeniyle daha önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu suş için İbrahim ve arkadaşlarının (2016) yapmış olduğu çalışmada bu suş proteaz aktivitesi yönünden pozitif sonuç gösterirken çalışmamızda ise sonuç negatif olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Maksimum Likelihood (ML) yöntemine göre N2 izolatu için 16S rRNA gen dizilerine dayanan filogenetik ağaç.

4. Sonuç

Bu araştırmada; Lakkaz enzimi yönünden pozitif ve mannanaz enzimi yönünden negatif olan N1 ve N2 izolatlarının, morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerine ve 16S rRNA diziliş analizine göre *Halomonas stevensii* N1 ve *Bacillus agaradhaerens* N2 türüne ait olduğu belirlendi.

Bu çalışmada, N1 izolatu *Halomonas stevensii*, N2 izolatu ise *Bacillus agaradhaerens* olarak teşhis edilip ekstraselüler hidrolitik enzim aktivitelerine bakılmıştır. Bu tezde elde edilen ilk sonuçlar ile bakterilerden endüstriyel kullanım potansiyeli olan enzimler elde edilmiştir. N1 ve N2 izolatu mannanaz ve katalaz aktivitesi göstermiştir. Gelecekteki çalışmalar, bu enzimlerin bir diğer karakterizasyonu, termostabilite, raf ömrü ve bu özelliklerin iyileştirilmesi konularında araştırmalar yapılarak, endüstriyel ölçekte önemli enzimlerin daha büyük ölçeklerde üretilmesinde kullanılabilir. Buna ek olarak, bu çalışmada izole edilen bakteri türlerinde (varsayılan genler) bazı enzim genleri bulunmamaktadır. Dolayısıyla, bu varsayılan enzimler için yapılabilen klonlama çalışmaları ile yeni enzimleri keşfetmek ve ülkemiz için patent almak için bir fırsat vardır. Bu tür çalışmalar ülkemizin enzime olan dışa bağımlılığından kurtaracak ve ekonomimize ciddi bir değer katacaktır.

Kaynakça

- Arık, B., Körlü, A. E., & Duran, K. (2008). Lakkaz Enzimlerinin Tekstilde Kullanım Alanları. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2).
- Awla, F., Özdemir, K., Ertaş, M. (2017). Irak-Erbil'den Alınan Bazı Toprak Numunelerinden *Streptomyces* Bakterilerinin İzolasyonu, Ekstraselüler Hidrolitik Enzim Kabiliyetlerinin Belirlenmesi ve 16S rDNA Analizi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 132-138.
- Busse, H. J., Denner, E. B. M., and Lubitz, W. (1996). Classification and identification of bacteria: current approaches to an old problem. Overview of methods used in bacterial systematics. *J. Biotechnol.* 47, 3–38. doi: 10.1016/0168-1656(96)01379-X.
- Chandra, R., Chowdhary, P. (2015). Properties of bacterial laccases and their application in bioremediation of industrial wastes. *Environ Sci Process Impacts*, 17(2), 326-42. doi: 10.1039/c4em00627e.
- Chen, F., Sun, J., Han, Z., Yang, X., Xian, J., Lv, A., Hu, X., Shi, H. (2019). Isolation, Identification and Characteristics of *Aeromonas veronii* From Diseased Crucian Carp (*Carassius auratus gibelio*). *Front. Microbiol.* 10, 2742. doi: 10.3389/fmicb.2019.02742.
- Demiralp, B., Büyük, İ., Aras, S., Cansaran-Duman, D. (2015). Lakkaz enziminin endüstriyel ve biyoteknoloji alanında kullanımı. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi. Turk Hij. Den. Biyol. Derg.*, 72(4), 351-68.
- Dhawan, S., Kaur, J., 2007. Microbial mannanases: an overview of production and applications. *Crit. Rev. Biotechnol.* 27(4): 197–216
- Feng, Y., He, Z., Ong, S.L., Hu, J., Zhang, Z., Ng, W.J., 2003. Optimization of agitation, aeration, and temperature conditions for maximum beta-mannanase production. *Enzyme and Microbial Technology.* 32: 282–289.
- George, M.G., Julia, A.B., Timothy, G.L., 2005. Bergey's manual of systematic bacteriology. In Volume 2: The Proteobacteria (pp. 552-556). Springer-Verlag, Berlin.
- Horikoshi, K. (1999). Alkaliphiles: some applications of their products for biotechnology. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 63, 735–750.
- Ibrahim, A. S. S., Al-Salamah, A. A., Elbadawi, Y. B., El-Tayeb, M. A., Almaary, K. S., & Elagib, A. A. (2016). Alkaline protease from a new halotolerant alkaliphilic *Bacillus agaradhaerens* strain ak-r isolated from egyptian soda lakes . *Bioscience Journal*, 32(6). <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n1a2016-33251>.
- Jukes, T. H., Cantor, C. R. (1969) Evolution of protein molecules. In Munro HN, editor, *Mammalian Protein Metabolism*, pp. 21-132, Academic Press, New York.
- Khalikova E., Somersalo S., Korpela T. (2019) Metabolites Produced by Alkaliphiles with Potential Biotechnological Applications. In: *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/10_2019_96.

- Kim, K. K., Lee, K. C., Oh, H. M., Lee, J. S. (2010). *Halomonas stevensii* sp. nov., *Halomonas hamiltonii* sp. nov. and *Halomonas johnsoniae* sp. nov., isolated from a renal care centre. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 60(Pt 2):369–77. Epub 2009/08/05. 10.1099/ijs.0.021105-0.
- Kumar, S., Nei, M., Dudley, J., Tamura, K. (2008). MEGA: a biologist-centric software for evolutionary analysis of DNA and protein sequences. *Briefings in bioinformatics*, 9(4), 299–306. <https://doi.org/10.1093/bib/bbn017>.
- Lane, D. J., Pace, B., Olsen, G. J., Stahl, D. A., Sogin, M. L., & Pace, N. R. (1985). Rapid determination of 16S ribosomal RNA sequences for phylogenetic analyses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 82(20), 6955-6959.
- Nikiforov, Y. E., & Howles, P. N. (2001). Polymerase chain reaction. In *Morphology Methods* (pp. 181-207). Humana Press.
- Öğün, E., Özdemir, K., Özok, N., Ertaş, M., Öztürk, F. (2018b). Sarıkamış(KARS) Yöresinde *Pinus sylvestris* L. Orman Topraklarından İzole Edilen Ekstraselüler Lakkaz Üreten *Bacillus megaterium* S1 İzolatının Karakterizasyonu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 79-86.
- Özdemir, K., Öğün, E., Ertaş, M., Özok, N. (2018a). Kozluk (Batman) Tuzla Gözü Tuzlasından İzole Edilen Ekstraselüler İnulinaz Enzimi Üreten *Salinivibrio* T1 İzolatının Karakterizasyonu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 60-68.
- Sharef, G., Özdemir, K., Ertaş, M. (2018). Awa Sppi Nehri'nden (Süleymaniye-Irak) İzole Edilen *Acidithiobacillus* Cinsi Bakterilerin Ekstraselüler Hidrolitik Enzim Üretme Kabiliyetlerinin Belirlenmesi ve 16S rDNA Analizi. *Commagene Journal of Biology*, 2(1), 17-20. DOI: 10.31594/commagene.392847.
- Shekher, R., Sehgal, S., Kamthania, M., & Kumar, A. (2011). Laccase: microbial sources, production, purification, and potential biotechnological applications. *Enzyme research*. Volume 2011, Article ID 217861, 11 pages doi:10.4061/2011/217861.
- Singh, G., Bhalla, A., Kaur, P., Capalash, N., Sharma, P. (2011). Laccase from prokaryotes: a new source for an old enzyme. *Reviews in Environmental Science and Bio/technology*, 10(4), 309-326.
- Van den Burg, B. (2003). Extremophiles as a source for novel enzymes. *Curr. Opin. Microbiol.* 6(3), 213-8. DOI: 10.1016/s1369-5274(03)00060-2.
- Wiseman, A. (ed.) (1987). *Handbook of Enzyme Biotechnology*. (2nd ed.) Ellis Horwood Ltd., UK.



Manyetik Aktif Karbon/ZnO Kompozitinin Sentezlenmesi ve Boyar Madde Giderimi Üzerine Denge ve Kinetik Uygulaması

Eda Çiv¹, Atakan Toprak^{2*}, Kadriye Bozgeyik³

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4704-1769)

² Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal Proses Teknolojisi Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0008-1456)

³ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Kimya Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1958-2974)

(İlk Geliş Tarihi 20 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 16 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.673884)

ATIF/REFERENCE: Çiv, E, Toprak, A. & Bozgeyik, K. (2020). Manyetik Aktif Karbon/ZnO Kompozitinin Sentezlenmesi ve Boyar Madde Giderimi Üzerine Denge ve Kinetik Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 552-561.

Öz

Bu çalışmamızda, atık kauçuktan kimyasal aktivasyonu ile aktif karbon, ardından da tek basamakta termal yöntem ile manyetik aktif karbon/ZnO nanokompozitleri sentezlenmiştir. Sentezlenen kompozitlerin sulu çözeltide boyar madde adsorpsiyon denge ve kinetik çalışmaları incelenmiştir. Nanokompozitlerin fizikokimyasal özellikleri ve karakterizasyonu azot adsorpsiyonu, SEM-EDX ve XRD ile belirlenmiştir. Beş farklı manyetik aktif karbon/ZnO nanokompozitlerinin sulu çözeltide Malahit yeşili (MG) için Langmuir ve Freundlich izoterm modelinde uygulanarak adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek adsorpsiyon kapasitesi heksametilen tetramin (HMTA) ve ZnCl₂ ile üretilen manyetik nanokompozitte 502.5 mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon kinetiği için birinci ve ikinci mertebe kinetik modeller kullanılmıştır. Yapılan kinetik çalışmalarda beş nanokompozitin de birinci dereceden hız sabitine uyduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aktif Karbon, ZnO, Manyetik kompozit, Boya giderimi, Kinetik.

Synthesis of Magnetic Activated Carbon / ZnO Composite and Equilibrium and Kinetics Application on the Removal of Dyestuff

Abstract

In this study, activated carbon was prepared by chemical activation from waste rubber, and then magnetic activated carbon/ZnO nanocomposites were synthesized by single step thermal method. The equilibrium and kinetic study of dye adsorption in aqueous solution of synthesized composites was investigated. Physicochemical properties and characterization of nanocomposites were determined by nitrogen adsorption, SEM-EDX and XRD. Adsorption capacities of five different magnetic activated carbon / ZnO nanocomposites were calculated by applying Langmuir and Freundlich isotherm models for Malachite green (MG) in aqueous solution. According to the results, the highest adsorption capacity was found to be 502.5 mg/g in the magnetic nanocomposite produced by hexamethylene tetramine (HMTA) and ZnCl₂. First and second order kinetic models were used for adsorption kinetics. Accordingly, five nanocomposites were found to match the pseudo-first-order kinetics.

Keywords: Activated carbon, Magnetic composite, ZnO, Dye removal, Kinetic.

* Sorumlu Yazar: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal Proses Teknolojisi Bölümü, Zonguldak, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0008-1456, atakantoprak2@hotmail.com

1. Giriş

Dünyada yıllık 700.000 ton boyar madde üretilirken bu boyar maddelerin 100.000'den fazla farklı çeşidi bulunmaktadır. Yani her yıl 700.000 ton boyar madde su kaynaklarını kirletmektedir (Erdoğan, 2017). Atık suların doğal su kaynaklarına karışması ya da yer altı sularına ulaşması sonucu bu kirlilik çığ gibi büyümektedir. Günümüzde verimli su kullanımı ve geri dönüşüm gibi konular her geçen gün önem kazanmaktadır. Atık su geri dönüşümünde boyar maddelerin giderimi önemli bir yer tutmaktadır. Boyar maddelerin kullanımı sanayinin çok çeşitli alanlarından sağlık endüstrisine kadar çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu geniş kapsamlı kullanımın bir sonucu olarak da geride kalan boyar madde atıkları doğa ve canlı hayatı için büyük tehlike arz etmektedir. Boyaların kanserojen etkisi yanında sulu ortamda artan azo boyar maddeler güneş ışığının deniz tabanına erişimini engelleyerek suda yaşayan bitki ve canlı dengesinde olumsuz yönde etkilemektedir (Aluigi ve ark., 2014). Sulu ortamlardan boyar maddelerin uzaklaştırılması için literatürde birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Adsorpsiyon en çok ilgi gören yöntemlerin başından gelmektedir. Adsorpsiyonda yaygın olarak kullanılan adsorbentlerin başında aktif karbonlar, polimerik malzemeler ve zeolit gibi ürünler gelmektedir (Kopaç ve ark., 2016; Toprak ve Bozgeyik, 2017; Yener ve ark., 2006). Adsorpsiyonda, diğer adsorbentlere göre aktif karbonun ilgi çekici olmasının nedenleri arasında üretiminin kolay olması, üretim maliyetinin düşük ve geleneksel yöntemler ile üretilebilmesi büyük rol oynamaktadır. Adsorbentlerin, adsorpsiyon işlemi tamamlandıktan sonra sulu sistemden uzaklaştırılması ayrılması ve yenilenmesi gerekmektedir. Ayrılan adsorbentin içerisindeki boyar maddenin uzaklaştırılarak tekrar sisteme dahil edilmesi birim üründen daha fazla verim alınmasını sağlamaktadır. Ancak, ayırma prosesi normalde santrifüjleme veya filtrasyon gibi karmaşık sistemleri içermektedir (Do ve ark., 2011; Fuertes ve Tartaj, 2006). Buna ek olarak, kirleticilerin sudan adsorpsiyon oranını arttırmak için, aktif karbon ve toz halindeki aktif karbon (PAC) gibi küçük toz parçacıklarının mikro-nano boyutları genellikle kullanılmaktadır. Bu durumun ne yazık ki, filtrelerin tıkanmasına, proseste aksaklıklara veya malzeme kaybına neden olmaktadır. Adsorbentlerin sistemden uzaklaştırma problemini çözmek adına son zamanlarda araştırmalar manyetik olarak ayrılabilir malzemeler üretilmesine odaklanmıştır. Bu sayede ayırma işlemi, manyetik bir alan uygulanarak büyük ölçüde basitleştirilmektedir (Wang ve ark., 2008; Yang ve ark., 2008).

Katyonik boyar madde olan malahit yeşili, kumaş yüzeyi ve plastik yüzeylerin renklendirilmesinde de kullanılan dispers boyar maddeler kategorisinde yer almaktadır. Dispers boyar maddeler boyamada meydana getirdikleri özellikler ile bu adı alırlar. Dispers boyar maddeler içerdikleri fonksiyonel gruplara göre kinaftalon, antrakınon, noftakinon ve azo boyar madde olarak isimlendirilir (Akkurt ve ark., 2005).

Bu çalışmada, atık kauçuktan kimyasal aktivasyon ve devamında termal yöntem ile gözenekli yapıya sahip manyetik özellikte kompozitler üretilmiştir. Üretilen farklı özellikteki manyetik aktif karbon/ZnO kompozitlerinin, sulu ortamda MG gideriminin kinetik ve denge uygulamaları yapılarak kapasiteleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Aktif Karbon Üretimi

Aktif karbon üretmek amacıyla, Zonguldak bölgesinde faaliyet gösteren kauçuk fabrikasının atık departmanından temin edilen kauçuk, saf su ile yıkama işlemi yapılarak yüzeydeki kirleticiler uzaklaştırılmıştır. Ardından 300-500 µm aralığında öğütülen kauçuk fırında 25 °C/dak artış hızında 800 °C'de 1 saat tutularak karbonizasyon işlemi uygulanarak karbonize kauçuk (KK) elde edilmiştir (Kopac ve Toprak, 2007). KK numunesindeki inorganik ve kirletici maddelerin yapıdan uzaklaştırılması amacıyla, % 7'lik H₂O₂ ile 50 °C'de geri soğutucu altında 750 rpm'de 5 saat karıştırılarak KK-H₂O₂ üretilmiştir. KOH'in KK-H₂O₂ ile ağırlıkça 4:1 oranında sulu çözeltisi 70 °C'de 1 saat karıştırılmıştır (750 rpm) ve 60 °C'de 1 saat sonikasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Etüvde 90 °C'de kurutma işlemleri uygulanarak sulu kısım uzaklaştırılmıştır. Son aşamada, kimyasal aktivasyon işlemi için karışım kapaklı kroze içerisine alınarak fırında 20 °C/dak artış hızında 800 °C'de 1 saat tutularak aktif karbon (AK) elde edilmiştir

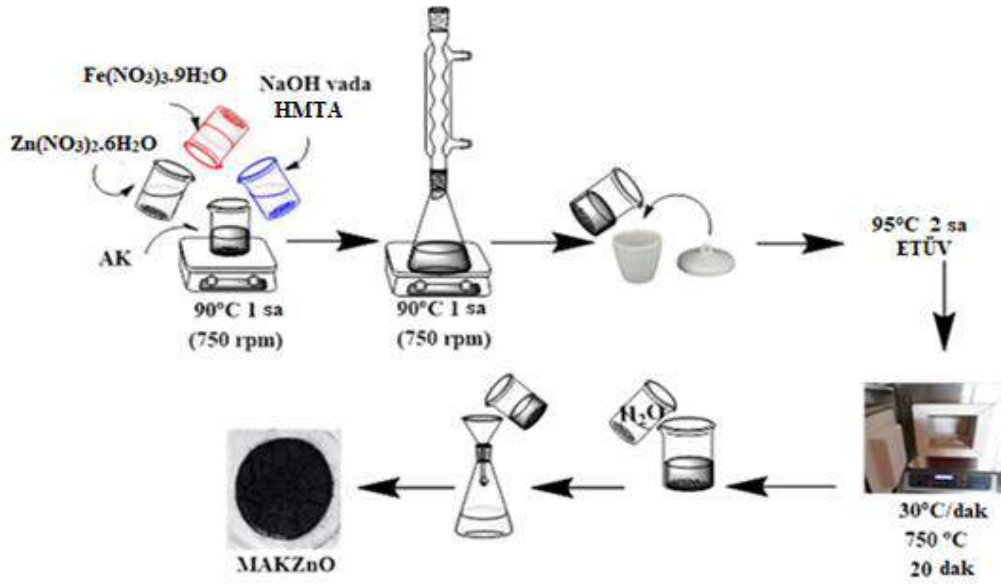
2.2. Manyetik AKZnO (MAKZnO) Sentezi

Tablo 1'de manyetik özelliğe sahip AKZnO kompozitinin kullanılan ağırlıkça oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. MAKZnO Sentezinde Kullanılan Kimyasallar ve Oranları

Kompozit	AK	ZnCl ₂	Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Fe(NO ₃) ₃ .9H ₂ O	NaOH	HDTMA
MAKZnO 1	1	1		1	1/3	
MAKZnO 2	1	1		2	1/3	
MAKZnO 3	1	1		2		1/3
MAKZnO 4	1		1	2		1/3
MAKZnO 5	1	2		2		1/3

Tablo 1’de belirtilen oranlar alınarak nanokompozit üretimi için AK, Zn(NO₃)₂.6H₂O, Fe(NO₃)₃.9H₂O ve NaOH ya da Hekzametilen tetramin (HMTA) tartılarak etanolde çözüldü. AK ve Zn(NO₃)₂.6H₂O çözeltisi manyetik karıştırıcıda 10 dakika (dak) karıştırıldıktan sonra içerisine Fe(NO₃)₃.9H₂O çözeltisi yavaşça eklendi ve 10 dak daha karıştırıldı. Son olarak hazırlanmış olan NaOH ya da HMTA çözeltisi damla damla karışıma eklendi. NaOH ya da HMTA ilavesiyle karışımda çökelti oluşmaya başladı. Karışım 90 °C’de 1 saat (sa) geri soğutucuda karıştırıldı ve 95°C’deki etüvde çözücü tamamen uçana kadar bırakıldı. Etüvden alınan kuru haldeki çökelek kapaklı krozeyle alınarak fırında 30 °C/dak artış hızında 750 °C’ye çıkarıldı ve burada 20 dak tutuldu. Elde edilen ürün sıcak saf su ile defalarca yıkama işlemlerinden geçirildikten sonra etüvde kurutuldu. Bu şekilde manyetik (M) özelliğe sahip AKZnO kompoziti (MAKZnO) elde edildi. Şekil 1’de MAK/ZnO nanokompozit’in üretim şeması gösterilmektedir.



Şekil 1. MAKZnO nanokompozit üretim şeması.

2.3. Adsorpsiyon Kinetiği Deney Prosedürü

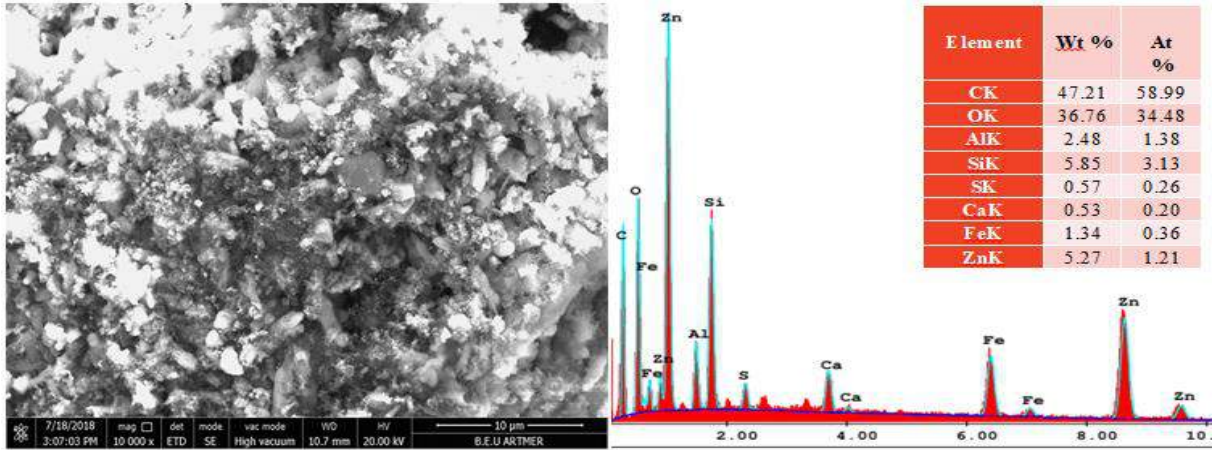
MAKZnO nanokompozitlerin adsorpsiyon kinetiğinin ve kapasitesinin incelenmesi için, MG'nin sulu ortamdaki adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 20 mg/L'lik MG'den 50 ml alınarak farklı miktarlardaki (2-10 mg) adsorbentler ile oda sıcaklığında karıştırılmıştır. MG adsorbent karışımından belirli zaman aralıklarında örnek alınarak UV-Vis cihazında 615 nm dalga boyunda adsorbans değişimleri incelenmiştir. MAKZnO 1-5 örneklerindeki elde edilen zamana karşı derişim değerleri Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanarak adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

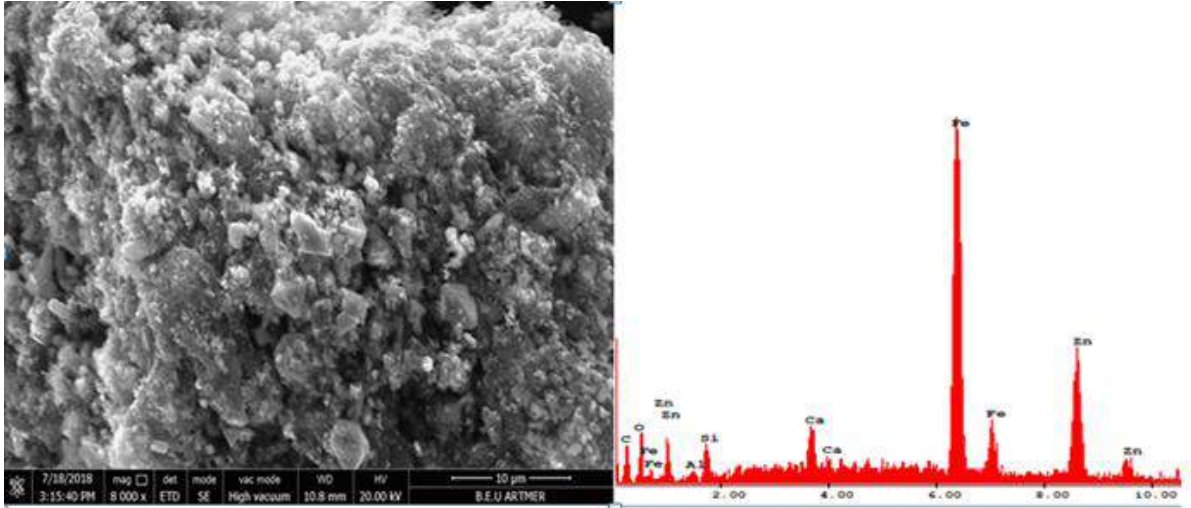
3.1. MAKZnO Karakterizasyonu

Şekil 2-6'da MAK/ZnO 1-5'lerin Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji yayımlı X-Işını Analizi (SEM-EDX) ile yüzey morfolojisi ve elementlerin ağırlıkça yüzdeleri verilmiştir. Şekil 2-6'daki SEM resimlerinin hepsinde AK'nun yüzeyinde Fe ve

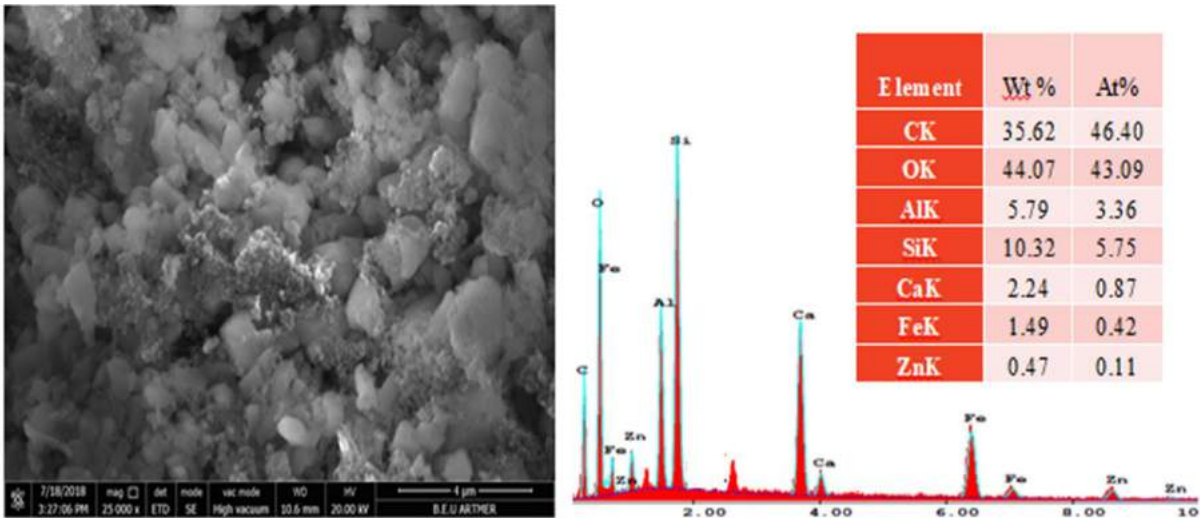
Zn'nun oksitleri şeklinde biriktiği gözlenmiştir. Bu kümelenmeler düzensiz ve yüzeyde farklı boyutlarda gözenekler ve oyuklar oluşturmuştur.



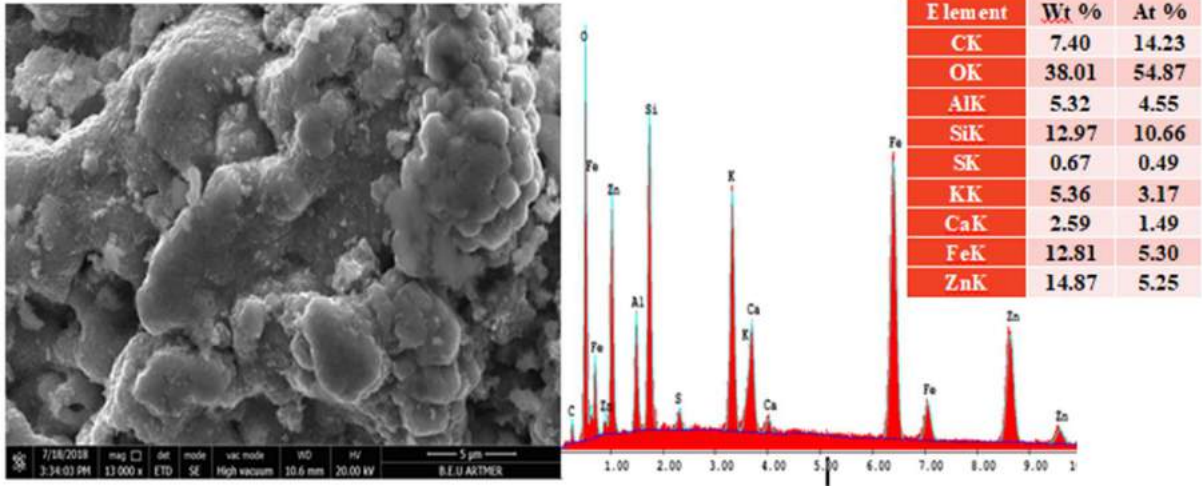
Şekil 2. MAKZnO 1'in SEM görüntüsü ve EDX analizi



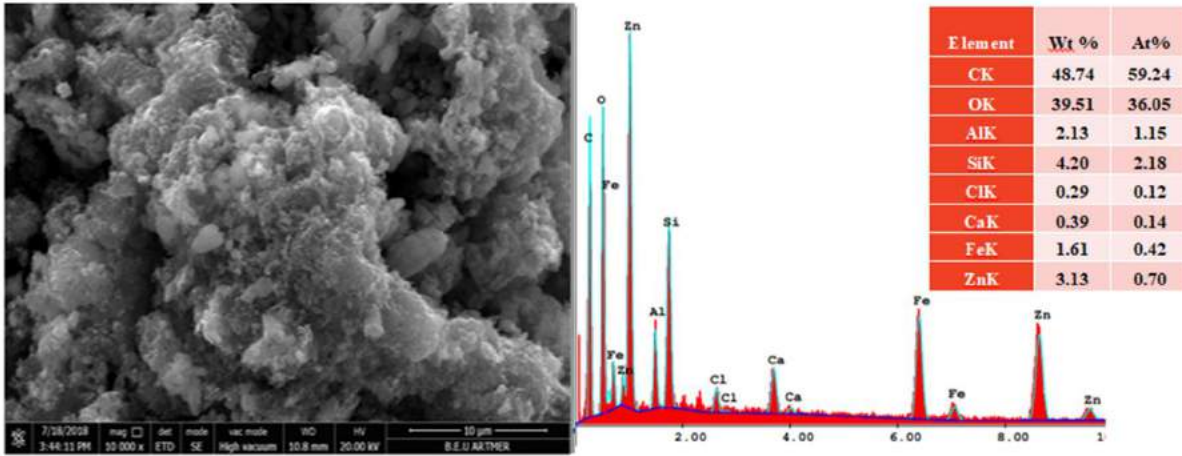
Şekil 3. MAKZnO2'nin SEM görüntüsü ve EDX analizi



Şekil 4. MAKZnO 3'ün SEM görüntüsü ve EDX analizi

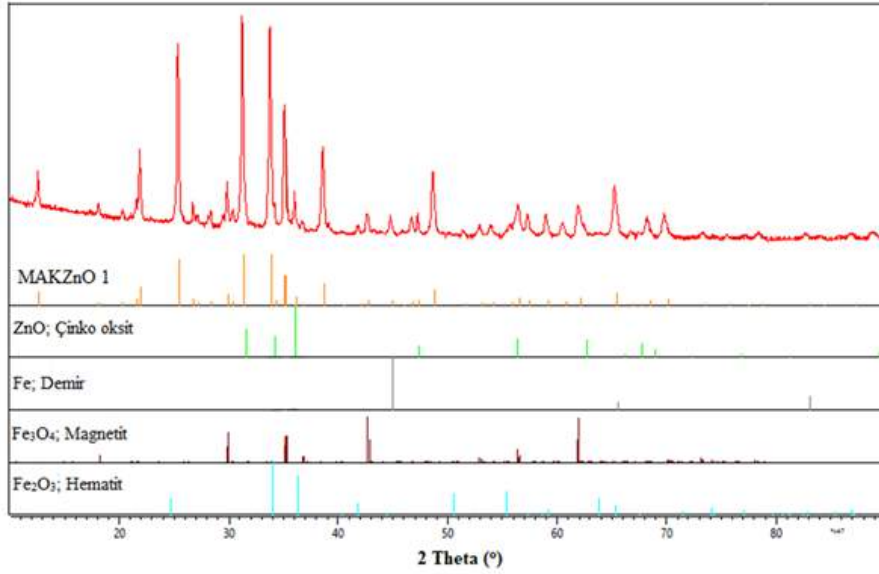


Şekil 5. MAKZnO 4'ün SEM görüntüsü ve EDX analizi



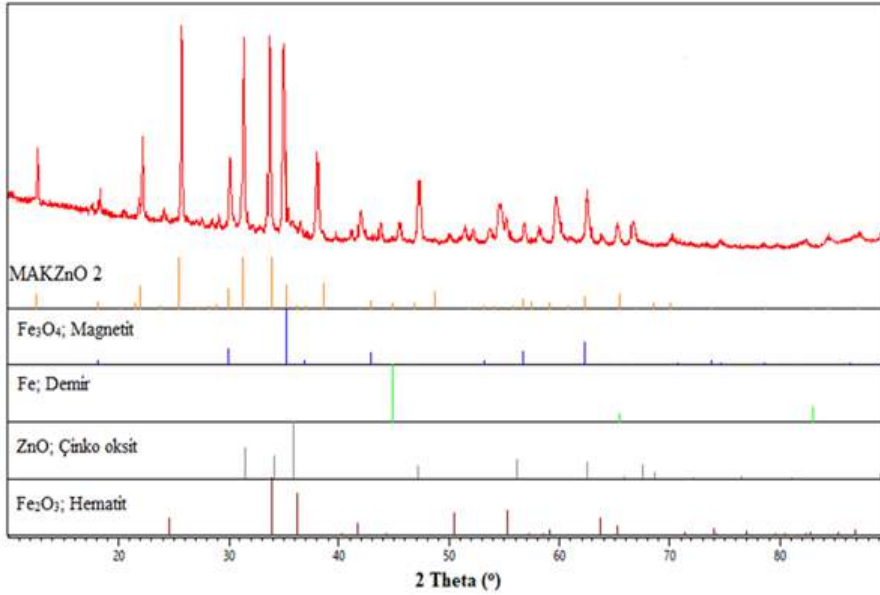
Şekil 6. MAKZnO 5'in SEM görüntüsü ve EDX analizi

Şekil 7'de AK'nun $ZnCl_2$ ve $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ile eşit oranlarda ve bazik ortam sağlanması için NaOH kullanılarak üretilen MAKZnO 1'in X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) pikleri görülmektedir. MAKZnO 1 kompozitinde XRD piklerinden yararlanılarak; Fe_3O_4 (Magnetit), Fe_2O_3 (Hematit), ZnO kristalleri ve metalik Fe olduğu belirlenmiştir. Fe_3O_4 'ün $2\theta = 35,5^\circ$ 'deki pikinin (311) yönelimli kübik yapıda olduğunu göstermektedir. $25,5^\circ$ ve 34° 'deki pikler ise Fe_2O_3 'ün karakteristik (012) ve (104) düzelmelerinin indeksidir. ZnO'nun $2\theta = 31,5^\circ$ 'deki karakteristik (100) düzlemleri piki kompozitte ZnO kristallerinin oluşumunu ispatlamaktadır. Ayrıca MAKZnO 1'in Debye-Scherrer eşitliği (Chaki ve ark., 2015), yukarıda belirlenen karakteristik XRD piklerine uygulayarak Fe_3O_4 , Fe_2O_3 ve ZnO'nun ortalama kristal boyutları hesaplanmıştır. Buna göre; ZnO, Fe_3O_4 ve Fe_2O_3 'ün ortalama kristal boyutları sırasıyla, 48.16, 42.56 ve 55.45 nm olarak bulunmuştur.



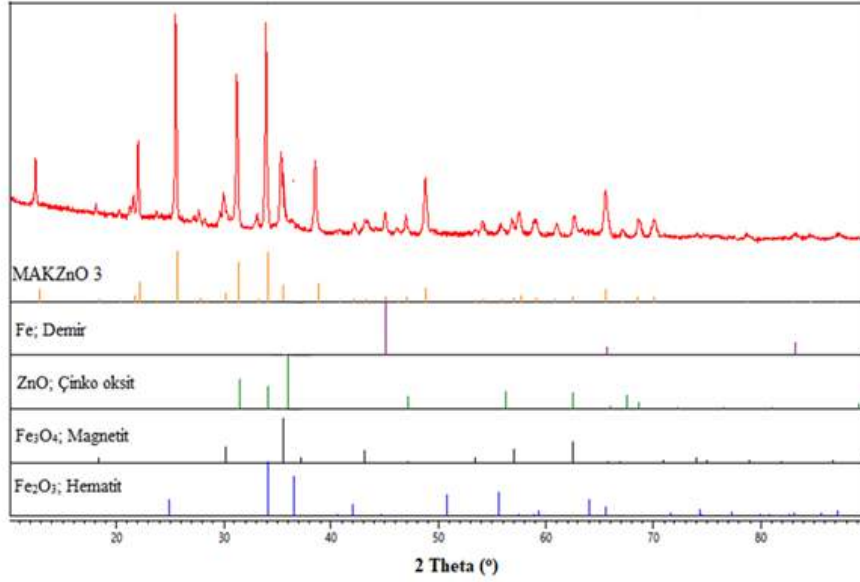
Şekil 7. MAKZnO 1 XRD spektrumu

Şekil 8’de MAKZnO 2’in XRD pikleri görülmektedir. MAKZnO 2, MAKZnO 1’e göre sadece Fe(NO₃)₃.9H₂O oranın 2 katına çıkartılarak üretilmiştir. MAKZnO 2’nin XRD piklerinden de Fe₃O₄ (Magnetit), Fe₂O₃ (Hematit), ZnO kristalleri ve metalik Fe olduğu belirlenmiştir. MAK/ZnO 2’nin Debye-Scherrer eşitliğinden yararlanılarak ortalama gözenek boyutları; Fe₃O₄’ün 2θ = 35,5°’deki pikinden (311) bulunan ortalama kristal boyutu 37.83 nm’dir. Fe₂O₃’ün karakteristik 25.5°’deki (012) yönelimli pikinden hesaplanan ortalama kristal boyutu 66.54 nm ve ZnO’nun 2θ = 31.5°’deki karakteristik (100) düzlemlilikten hesaplanan ortalama kristal boyutu ise 56.18 nm olarak bulunmuştur.



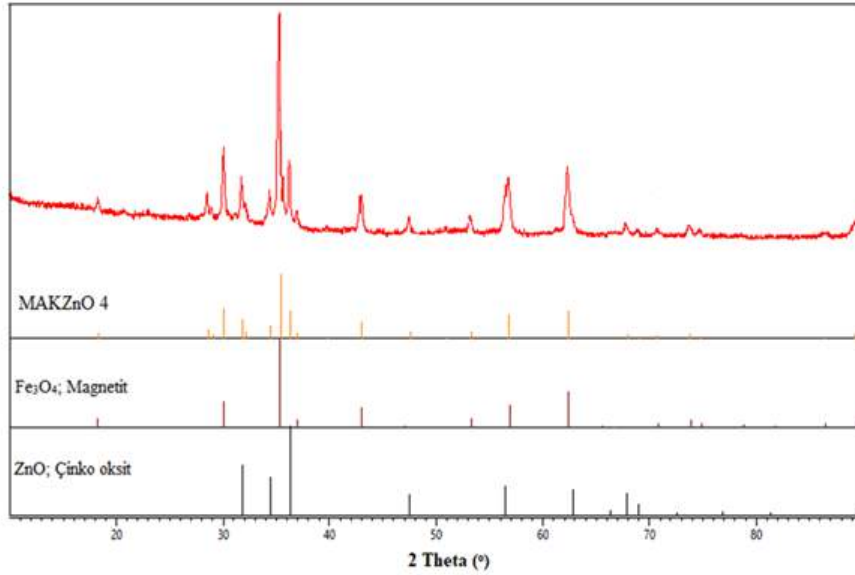
Şekil 8. MAKZnO 2 XRD spektrumu

Şekil 9’da MAKZnO 3’ün XRD pikleri görülmektedir. MAKZnO 3, MAKZnO 2’ye göre sadece bazik ortam sağlayıcısı olarak NaOH yerine HMTA kullanılarak üretilmiştir. MAKZnO 3’de de Fe₃O₄ (Magnetit), Fe₂O₃ (Hematit), ZnO kristalleri ve metalik Fe olduğu XRD piklerinde görülmüştür. MAKZnO 3’deki ZnO (100), Fe₃O₄ (311) ve Fe₂O₃’ün (012) hesaplanan ortalama kristal boyutları sırasıyla, 48.14, 48.65 ve 66.55 nm olarak bulunmuştur.



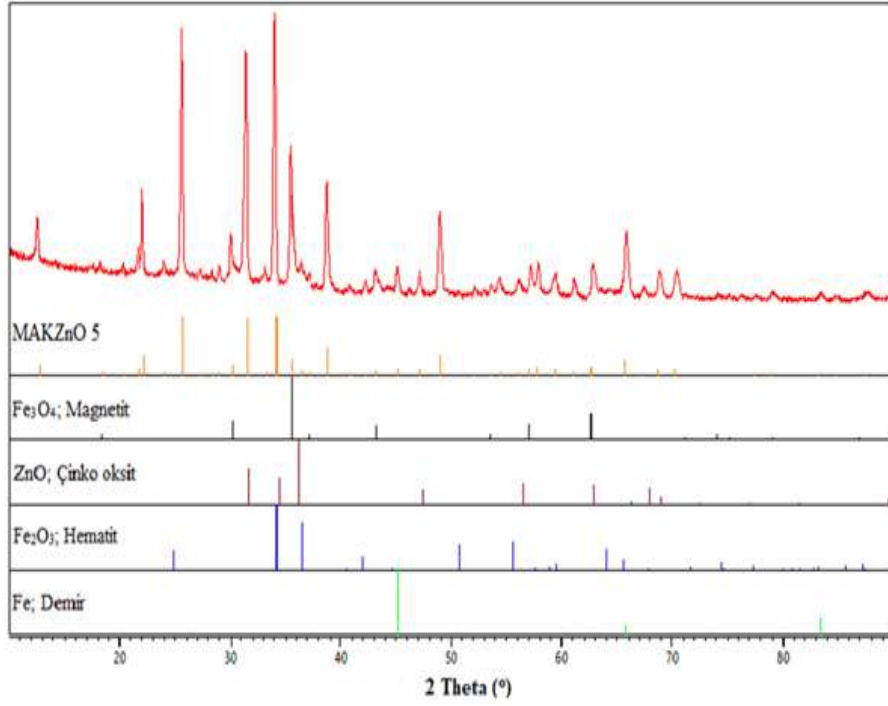
Şekil 9. MAKZnO 3 XRD spektrumu

MAKZnO 4, ZnCl₂ yerine Zn(NO₃)₂.6H₂O kullanılarak üretilen kompozitin XRD spektrumu Şekil 10'da verilmiştir. ZnCl₂ ile üretilen kompozitlerin hepsinde Fe₂O₃ (Hematit) elde edilmiştir. Ancak Zn(NO₃)₂.6H₂O ile üretilen MAKZnO 4'de Fe₂O₃ oluşmamıştır. MAKZnO 4 kompozitinde; 2θ = 35.5°'deki Fe₃O₄ pikinin hesaplanan ortalama kristal boyutu 37.83 nm'dir. 2θ = 31.5°'deki ZnO pikinin ise ortalama kristal boyutu 56.23 nm olarak bulunmuştur.



Şekil 10. MAKZnO 4 XRD spektrumu

Şekil 11'de MAKZnO 3'e göre; ZnCl₂'nin iki katı kullanılarak üretilen MAKZnO 5'in XRD spektrumu görülmektedir. MAKZnO 5'de de Fe₃O₄ (Magnetit), Fe₂O₃ (Hematit), ZnO kristalleri ve metalik Fe olduğu XRD piklerinde görülmüştür. MAKZnO 5'deki ZnO (100), Fe₃O₄ (311) ve Fe₂O₃'ün (012) hesaplanan ortalama kristal boyutları sırasıyla, 42.13, 42.58 ve 55.46 nm olarak bulunmuştur.



Şekil 11. MAKZnO 5 XRD spektrumu

3.2 Adsorpsiyon Dengesi

Üretilen MAKZnO 1-5 numunelerinin farklı miktarlarda (2-10 mg) ve 50 ml MG boya çözeltisinde adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde zamana karşı (t) adsorplanan boya (q) miktarlarından elde edilen denge verileri Langmuir (Langmuir, 1916) ve Freundlich (Freundlich, 1926) modellerine uygulanmıştır ve Ek-1 (Şekil 12-21)'de grafikleri verilmiştir. Elde edilen grafiklerin verilerinden hesaplanan Q_0 değerleri sırası ile 173 mg/g, 448 mg/g, 502.5 mg/g, 427.4 mg/g, 458.7 mg/g olarak bulunmuştur. MAKZnO 3'ün en yüksek Q_0 değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Tablo 2'de verilen model parametreleri ve R^2 değerleri incelendiğinde hem Freundlich hem Langmuir için uyumlu olduğunu göstermiştir.

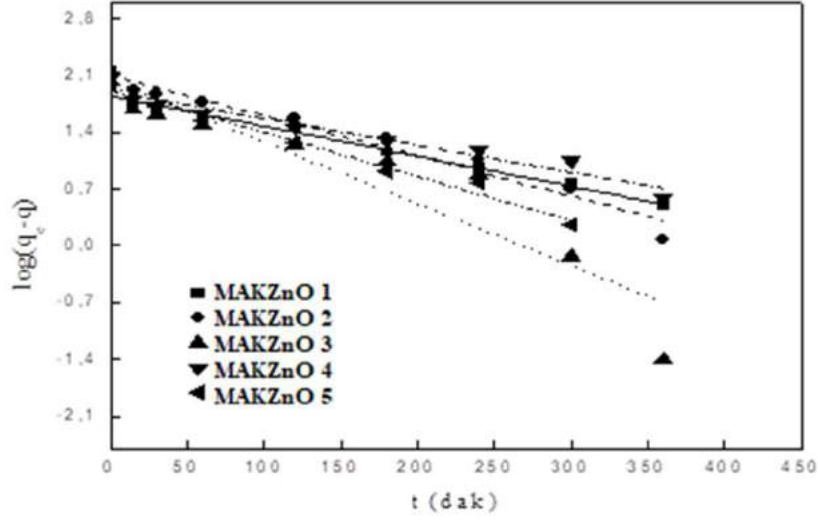
Tablo 2. Langmuir ve Freundlich model parametreleri.

Modeller	MAKZnO 1	MAKZnO 2	MAKZnO 3	MAKZnO 4	MAKZnO 5
Langmuir	Q_0 : 173 mg/g b: 0.33 R^2 : 0.81	Q_0 : 448 mg/g b: 0.011 R^2 : 0.90	Q_0 : 502.5mg/g b: 0.096 R^2 : 0.80	Q_0 : 427.4 mg/g b: 0.11 R^2 : 0.90	Q_0 : 458.7 mg/g b: 0.12 R^2 : 0.92
Freundlich	K_f : 47.8 1/n: 0.50 R^2 : 0.86	K_f : 47.8 1/n: 0.76 R^2 : 0.90	K_f : 45.2 1/n: 0.82 R^2 : 0.65	K_f : 47.3 1/n: 0.75 R^2 : 0.93	K_f : 56.4 1/n: 0.68 R^2 : 0.94

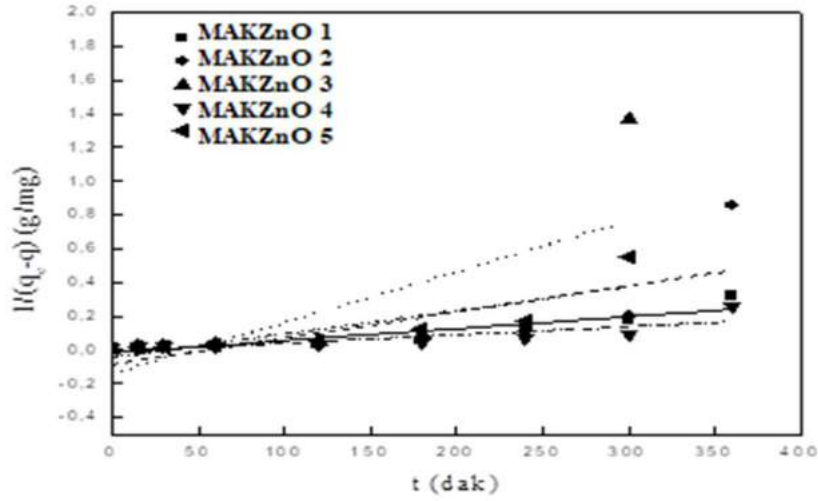
3.3 Adsorpsiyon Kinetiği

Şekil 22 ve Şekil 23'de MAK/ZnO – MG adsorpsiyon sistemlerinin Lagergren yalancı-birinci ve ikinci derece hız sabitlerinin elde edilmesi için zamana karşı $\log(q_e - q)$ ve $1/(q_e - q)$ değerlerinin değişimleri verilmiştir (Ho ve McKay, 1999; Lagergren, 1898).

Bu grafiklerdeki doğruların eğiminden ve kesim noktasından yararlanarak k_1 , k_2 ve korelasyon katsayıları karesi (R^2) değerleri bulunmuştur. Tablo 3’de verilmiştir. k_1 , k_2 hız sabitlerinin R^2 değerleri karşılaştırıldığında, birinci derece için R^2 değerlerinin tüm ortamlar için daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlara göre boyar maddenin MAK/ZnO üzerine adsorpsiyonu üzerine tutunmanın fiziksel adsorpsiyon ile gerçekleştiğini desteklemektedir (Zheng ve ark., 2019).



Şekil 22. Birinci derece kinetik eğrileri (m_{ads} : 0.12 g/L).



Şekil 23. İkinci derece kinetik eğrileri (m_{ads} : 0.12 g/L).

Tablo 3. Birinci ve ikinci derece kinetik parametreleri (m_{ads} : 0.12 g/L)

Adsorbentler	MAKZnO 1	MAKZnO 2	MAKZnO 3	MAKZnO 4	MAKZnO 5
k_1 (dak ⁻¹)	0.009	0.011	0.018	0.008	0.012
R^2	0.97	0.92	0.72	0.88	0.94
k_2 (g/mg.dak)	7×10^{-4}	0.0015	0.003	5×10^{-4}	0.014
R^2	0.66	0.25	0.19	0.45	0.47

4. Sonuç

Bu çalışmada, MAKZnO nanokompozitleri, tek basamakta kimyasal aktivasyon ve termal yöntemler kullanılarak atık kauçuktan üretilmiştir. MAKZnO 1-5 nanokompozitlerin yüzey özellikleri ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. MAKZnO nanokompozitleri MG adsorpsiyonu için elde edilen deneysel denge verileri Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanmıştır. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi 502.5 mg/g ile MAKZnO 3 nanokompozitinde bulunmuştur. Ayrıca MAKZnO 1-5 nanokompozitlerine Lagergren'in birinci ve sözde ikinci dereceli kinetik modelleri uygulanmıştır. Birinci ve ikinci derece kinetik modellerine ait R^2 değerleri incelendiğinde, 25 °C için MG'nin MAKZnO nanokompozit yüzeyler üzerine adsorpsiyon hızının birinci derece kinetik modeli ile daha iyi uyum sağladığı bulunmuştur. Bu durum MG moleküllerinin MAKZnO üzerine tutunmasının fiziksel adsorpsiyon ile gerçekleştiğini desteklemektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (proje no: 2018-52349806-01) tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- Akkurt, F., Benli, S., Alicilar, A. (2005). Dispers Kırmızı 1 Tekstil Boyasının Karakterizasyonu Ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4).
- Aluigi, A., Rombaldoni, F., Tonetti, C., Jannoke, L. (2014). Study of Methylene Blue adsorption on keratin nanofibrous membranes. *Journal of hazardous materials*, 268, 156-165.
- Chaki, S., Malek, T. J., Chaudhary, M., Tailor, J., Deshpande, M. (2015). Magnetite Fe₃O₄ nanoparticles synthesis by wet chemical reduction and their characterization. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 6(3), 035009.
- Do, M. H., Phan, N. H., Nguyen, T. D., Pham, T. T. S., Nguyen, V. K., Vu, T. T. T., Nguyen, T. K. P. (2011). Activated carbon/Fe₃O₄ nanoparticle composite: Fabrication, methyl orange removal and regeneration by hydrogen peroxide. *Chemosphere*, 85(8), 1269-1276.
- Erdoğan, F. O. (2017) Düşük Maliyetli Adsorbentler Üzerine Dispers Sarı 211 Tekstil Boyasının Adsorpsiyonu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3), 889-898.
- Freundlich, H. (1926). *Colloid & capillary chemistry*: Methuen & co. Ltd.
- Fuertes, A. B., Tartaj, P. (2006). A facile route for the preparation of superparamagnetic porous carbons. *Chemistry of Materials*, 18(6), 1675-1679.
- Ho, Y.-S., McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process biochemistry*, 34(5), 451-465.
- Kopac, T., Sulu, E., Toprak, A. (2016). Effect of KOH treatment on bituminous coal for the effective removal of Basic Blue 41 dye from aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*, 57(59), 29007-29018.
- Kopac, T., Toprak, A. (2007). Preparation of activated carbons from Zonguldak region coals by physical and chemical activations for hydrogen sorption. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(18), 5005-5014.
- Lagergren, S. (1898). Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe. *Kungliga svenska vetenskapsakademiens. Handlingar*, 24, 1-39.
- Langmuir, I. (1916). The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. *Journal of the American chemical society*, 38(11), 2221-2295.
- Toprak, A., Bozgeyik, K. Examination of the Effects of Activated Carbon Produced from Coal Using Single-Step H₃PO₄/N₂+ H₂O Vapor Activation on the Adsorption of Bovine Serum Albumin at Different Temperatures and pH Values. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 5(1), 219-236.
- Wang, D.-W., Li, F., Lu, G. Q., Cheng, H.-M. (2008). Synthesis and dye separation performance of ferromagnetic hierarchical porous carbon. *Carbon*, 46(12), 1593-1599.
- Yang, N., Zhu, S., Zhang, D., Xu, S. (2008). Synthesis and properties of magnetic Fe₃O₄-activated carbon nanocomposite particles for dye removal. *Materials Letters*, 62(4-5), 645-647.
- Yener, J., Kopac, T., Dogu, G., Dogu, T. (2006). Adsorption of Basic Yellow 28 from aqueous solutions with clinoptilolite and amberlite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 294(2), 255-264.
- Zheng, X., Feng, S., Wang, X., Shi, Z., Mao, Y., Zhao, Q., Wang, S. (2019). MSNCs and MgO-MSNCs as drug delivery systems to control the adsorption kinetics and release rate of indometacin. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(3), 275-286.



Erciş (Van) Ekolojik Koşullarında Bazı Fasulye (*Phaseolus Vulgaris* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi*

Muhammed Said Yolci^{1†}

¹ Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van/ Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5304-73420000)

(İlk Geliş Tarihi 25 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 16 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.693862)

ATIF/REFERENCE: Yolci, M. (2020). Erciş (Van) Ekolojik Koşullarında Bazı Fasulye (*Phaseolus Vulgaris* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 562-567.

Öz

Araştırma, ticari anlamda tescilli yapılmış dört fasulye çeşidi (Zirve, Gina, Ekselans ve Cino) ile bölgede tarımı yapılan bir yerel genotipin Erciş (Van) ekolojik şartlarında verim ve verim unsurlarını belirlemek amacıyla 2015 yılında yapıldı. Deneme, Tesadüf Blokları Deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütüldü. Çalışmada çeşitlerin bitki boyu, ana dal sayısı, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, bitkide tane sayısı, yüz tane ağırlığı, tane verimi, ham protein oranı parametrelerine bakıldı. Araştırma bulgularına göre çeşitlerin bitki boyu 43.10-99.55 cm (Ekselans-Yerel genotip), ana dal sayısı 3.20-3.70 adet/bitki (Gina-Cino), bakla sayısı 21.0-28.70 adet/bitki (Yerel genotip- Ekselans), baklada tane sayısı 3.42-4.08 adet/bakla (Ekselans-Gina), bitkide toplam tane sayısı 72.10-101.70 adet/bitki (Zirve-Ekselans), yüz tane ağırlığı 40.58-46.76 g (Yerel genotip-Cino), tane verimi 239.59-359.39 kg/da (Yerel genotip-Gina), ham protein oranı % 18.59-25.22 (Ekselans-Yerel genotip) aralıklarında belirlendi. Bulgularımıza göre tane verimi yönünden en yüksek değere sahip olan Gina çeşidi bölgede kültürü yapılması için tavsiye edilebilir. Ancak daha sağlıklı karar verebilmek için birçok çevresel ve zirai uygulamalara dayalı ayrıntılı çalışmalarla desteklenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Fasulye, Verim, Verim öğeleri

Conditions Determination of Yield and Yield Components of Some Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Varieties in Ercis (Van) Ecological

Abstract

The research has been carried out in 2015 to determine the yield and yield components of a local genotype cultivated in the region with four commercial bean varieties (Zirve, Gina, Ekselans and Cino) in the Erciş (Van) ecological conditions. The trial has been carried out in three replications according to the randomized blocks trial design. In the study, plant sizes, main branch number, broad bean number, seed number in each broad bean, total seed number of plant, one hundred seed yield, grain yield, the percent of unrefined protein were examined. In the study to research findings plants sizes 43.10-99.55 cm (Ekselans- Local genotype), main branch number 3.20-3.70 number/plant (Gina-Cino), broad bean number 21.0-28.70 number/plant (Local genotype-Ekselans), seed number in each broad bean 3.42-4.08 number/broad bean (Ekselans-Gina), total seed number of plant 72.10-101.70 number/plant (Zirve-Ekselans), one hundred seed weight 40.58-46.76 g (Local genotype-Cino), seed yield 239.59-359.39 kg (Local genotype-Gina), the percent of unrefined protein 18.59-25.22 (Ekselans-Local genotype) were determined. According to our findings, Gina variety, which has the highest value in terms of grain yield, can be recommended for cultivation in the region. However, in order to make a healthier decision, it should be supported with detailed studies based on many environmental and agricultural practices.

Keywords: Bean, Yield, Yield components

* Bu çalışma Muhammed Said Yolci'nin yüksek lisans tezinden alıntı yapılarak hazırlanmıştır.

† Sorumlu yazar: Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van/ Türkiye, ORCID: 0000-0002-5304-7342, musayol65@gmail.com
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

1.Giriş

Ülkemiz bitkisel genetik kaynak ve çeşitlilik bakımından önde gelen ülkeler arasındadır (Işık, 2012). Besin kaynaklarının başında gelen baklagiller insan ve hayvan beslemesinde özellikle protein ihtiyacının karşılanmasında önem arz eden bir familyadır. Baklagillerin bu önemli nüfusun artışına bağlı olarak daha da artmıştır. Fabaceae (Baklagiller) familyası dünya genelinde 245 cinsle bağlı 2694 takson içermektedir (Anonim, 2016). Baklagiller içeriğinde A, B ve D vitaminlerini, fosfor, demir, kalsiyum ve potasyum minerallerini bulundurmaktadır. Baklagiller % 18-36 oranında protein, kuru ağırlıklarının ise % 50 civarı karbonhidrat bulundurmaktadır.

Dünya genelinde insanların bitki kaynaklı besinlerden elde ettikleri proteinin % 20'si, karbonhidratların ise % 7'si yemeklik tane baklagillerden sağlanmaktadır. Hayvanların bitkisel kaynaklı besin ihtiyaçlarının karşılanmasında ise proteinlerin % 38'i, karbonhidratların ise % 5'i yemeklik tane baklagillerden karşılanmaktadır. Baklagiller; köklerinde *Rhizobium* türü bakteriler ile simbiyotik yaşama girerek havanın serbest azotunu toprağa bağlayabilmektedir. Bu sayede bitkilerin ihtiyaç duyduğu azot; baklagillerin doğal yaşam süreçleri ile elde edilebilmektedir (Çiftçi ve Adak, 2011). Baklagillerin sap ve tanelerinin hayvanlarca hazmedilebilme seviyeleri tahıllara göre oldukça yüksek (Azkan ve ark., 1999) oluşu sebebiyle hayvan beslemesinde, saman ve diğer atıklarının kullanımı açısından oldukça önemlidir.

Fasulyenin kökeninin Amerika ile Güney Asya olduğu bilinmektedir. *Phaseolus* cinsi yaklaşık 230 takson barındırmakta ve bunların çoğu yabancı formda bulunmaktadır (Çiftçi ve Adak, 2011). Fasulye türlerinin ülkemize girmesiyle birlikte hemen hemen her yörede tarımı yapılmaya başlamıştır. Fakat tarımı yapılan fasulye türleri yöre halkının seleksiyonları sonucunda farklı adlarla anılmaya başlamıştır (Ergün 2005).

2015 yılında Kuru fasulye üretiminin en fazla olduğu il 72.869 ton ile Konya olmuştur (Anonim, 2015). Van merkez ve ilçelerinde kuru fasulye üretilen alan 584 dekar olarak ölçülmüştür. Elde edilen toplam miktar ise 85 tondur. Erciş'te ise ekilen 291 dekar alandan 34.80 ton kuru fasulye elde edilmiştir (Anonim, 2016). Van ilçe ve köyleri verimli toprak ve iklim şartları vesilesiyle fasulyenin birçok çeşidinin yetiştirildiği illerimizdendir. Ancak bu yöredeki fasulye yetiştiriciliği yeterli seviyeye ulaşamamıştır. Bunun sebeplerinden en önemlisi fasulye ekiminde farklı populasyonlara ait olan (tek tip olmayan) tohumlukların ekiliyor olmasıdır (Güneş, 2011). Bu çalışmada fasulye yetiştiriciliğinde, yöre halkı tarafından tek tip tohumlukların kullanılarak daha yüksek verim elde edilmesi amaçlanmıştır. Bazı fasulye çeşitlerinin Van-Erciş ekolojik koşullarında verim ve verim unsurları üzerine yapmış olduğumuz bu çalışmada yörede tarımının daha uygun olacağı düşünülen fasulye çeşitlerinin belirlenmesine ve yöre halkına tavsiye edilebileceklerin belirlenmesine çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma materyali; ticari anlamda tescilli yapılmış dört fasulye çeşidi (Zirve, Gina, Ekselans ve Cino) tohumluk firmasından, bölgede ekimi yapılan bir yerel genotip ise yöre çiftçisinden temin edilmiştir. Erciş (Van) ekolojik koşullarında bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi amacıyla yürüttüğümüz bu çalışma 2015 yılında Van ilinin Erciş ilçesine bağlı Çubuklu köyünde yapılmıştır. Araştırma alanına ait iklim verileri Meteoroloji 14. Bölge Müdürlüğünden alınmıştır. Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi uzun yıllar (2005-2014) ve 2015 yılına ait verilerdeki ortalama sıcaklık bakımından en soğuk ay Ekim, en sıcak ay ise Temmuz'dur. Uzun yıllar (2005-2014) ve 2015 yılına ait ortalama nispi nem değeri en düşüğü Temmuz, en yükseği ise Ekim ayıdır. Uzun yıllara ait toplam yağış miktarı en düşük olan aylar Haziran ve Ağustos, en fazla yağış alan ay ise Mayıs'tır. 2015 yılına ait en az yağış alan ay Eylül ayı, en fazla yağış alan ay ise Ekim'dir.

Deneme 2015 yılında tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü kurulmuş olup, toplamda 15 parselden oluşmuştur. Tüm parsellerde ekim alanı $5.0 \times 2.5 = 12.5 \text{ m}^2$ 'dir. Her parsel beşer sıra ekim yapılmıştır. Deneme parsellerinde sıra üzeri mesafe 15 cm, ekim derinliği 5-6 cm, sıra arası mesafe ise 50 cm şeklinde olmuştur. Bloklar arası mesafe ise 2 m, parseller arası mesafe ise 1 m uzunluğunda olmuştur. 1 m^2 alana 27 adet tohum atılmıştır. Hasatta her parselin kenarlarındaki birer sıra ve parselin baş kısımlarından da 50 cm atılarak kenar tesiri olacak şekilde gözlem dışı bırakılmıştır (Ceylan ve Sepetoğlu, 1979). Değerlendirme ve hesaplamalar kenar tesiri dışında kalan 6 m^2 'lik alan esas alınarak yapılmıştır. Dekara 3 kg saf azot (Amonyum Sülfat) ve 6 kg saf fosfor (Triple Süper Fosfat) gelecek şekilde gübreleme yapılmıştır. Ekim, hasat ve harman işleri elle yapılmıştır. Deneme alanı toprak hazırlığında yabancı otlar biçilmiş ve traktörle derin sürüm yapıldıktan sonra kültüvatör yardımıyla ikileme işlemi yapılmıştır. Ekim markörle açılan çizilere 4 Haziran 2015 tarihinde elle yapılmıştır. Toprakta oluşan kaymak tabakasının parçalanması için bir defa, daha sonraki süreçte de toprağın yabancı otlardan uzaklaştırılması amacıyla iki defa çapa işlemi yapılmıştır. Ara ara yabancı otları yok etme amacıyla yolma işlemi de yapılmıştır. Fasulyeler dört defa sulanmıştır. Hasat işlemi 12-20 Eylül 2015 tarihleri arasında elle yapılmıştır. Hasat edilen bitkilerde ölçüm, sayım ve harmanlama işlemleri yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Çeşitler arasındaki farklılıkların belirlenmesi; tesadüf blokları deneme deseni metoduna göre SPSS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılmasında Tukey testi kullanılmıştır. (Yıldız ve Bircan, 1994)

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi
Çizelge 2.1. Erciş ilçesinin uzun yıllara (2005-2014) ve 2015 yılına dair ortalama sıcaklık, nispi nem ve yağış değerleri

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)		Ort. Nispi Nem (%)		Yağış (mm)	
	UYO	2015	UYO	2015	UYO	2015
Mayıs	12.16	12.30	53.2	64.4	49.7	71.2
Haziran	17.53	19.60	46.9	44.2	9.6	25.6
Temmuz	21.17	23.00	45.7	38.5	5.6	0.6
Ağustos	20.90	21.90	48.6	40.5	9.6	7.6
Eylül	15.34	17.60	54.9	46.3	20.0	0
Ekim	9.47	10.60	63.1	75	34.5	111.4
Ortalama	16.09	17.5	52.06	51.48	21,5	36,06

UYO: Uzun Yıllar Ortalaması

Toprağın 0-30 cm derinliğinden alınan örneklerin analizi Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi toprak bölümü laboratuvarında yürütülmüştür. Çizelge 2.2'deki sonuçlara bakıldığında; toprak pH değeri yönüyle nötr, organik madde yönüyle zayıf, fosfor bakımından düşük seviyeye sahiptir. Ayrıca kireç bakımından orta, bünye bakımından tınlı ve tuzsuzdur.

Çizelge 2.2. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Özellik	Sonuç	Değerlendirme
Fosfor (P ₂ O ₄) kg/da	5.75	Düşük
Bünye (%)	31.9	Tınlı
EC (µS/cm)	138.5	Tuzsuz
CaCO ₃ (%)	14.65	Orta kireçli
Organik madde (%)	1.19	Düşük
pH	6.93	Nötr
Toprak derinliği (cm)	0-30	

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bitki Boyu

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait bitki boyu özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki bitki boyu değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi bitki boyları 43.10-99.55 cm arasında değişmekte olup; en düşük değer Ekselans, en yüksek değer ise Yerel Genotipte ölçülmüştür. Çeşitler ve genotipin bitki boyu ortalaması 65,036 cm olarak belirlenmiştir. Yapmış oldukları çalışmalarda bitki boy aralığını; 37.47- 43.91 cm (Palabıyık 2006), 56.9-75.2 cm (Baydaş 2009), 25.44-68.89 cm (Varankaya 2011), 28.40-197.77 cm (Özbekmez 2015), 182-210 cm (Kuyucuoğlu 2016), olarak tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada bitki boyu parametresi önceki çalışmaların bazıları ile uyum gösterirken bazıları ile uyum göstermemektedir. Bu farklılığın başlıca sebepleri ise iklim koşulları, toprak yapısı, yükselti farklılığı ve kalıtsal yatkınlıklar olabilmektedir.

3.2. Ana Dal Sayısı

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait ana dal sayısı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki bitki başına ana dal sayısı değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmamıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi bitkide ana dal sayısı 3.20-3.70 adet/bitki arasında değişmekte olup en düşük değer Gina, en yüksek değer ise Cino çeşidinde gözlenmiştir. Çeşitler ve genotipin bitki başına ana dal sayısı ortalaması 3,52 adet/bitki olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda bitkide ana dal sayısı aralığını Palabıyık (2006), 2.70- 2.85 adet/bitki, Baydaş (2009), 2.88-3.33 adet/bitki, Varankaya (2011), 1.44-4.89 adet/bitki, Özbekmez (2015), 3.03-5.33 adet/bitki, Kuyucuoğlu (2016), 4.0-4.89 adet/bitki olarak tespit etmişlerdir. Çalışma sonuçlarımızın önceki çalışmaların bir kısmı ile uyumsuzmasının sebebi çeşitli çevre şartlarıdır. Çevre şartlarının optimum olduğu durumlarda ana dal sayısında artış olduğu bilinmektedir.

3.3. Bitkide Bakla Sayısı

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait bitkide bakla sayısı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki bakla sayısı değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi bitki başına düşen bakla sayısı 21.0-28.70 adet/bitki arasında yer almıştır. 21.0 adet/bitki ile en düşük değer Yerel Genotipte, 28.70 adet/bitki ile en yüksek değer Ekselans çeşidinde bulunmuştur. Çeşitler ve genotipin bitki başına düşen bakla sayısı ortalaması 23,96 adet/bitki olmuştur. Fasulye üzerine yapılmış çalışmalarda bitki başına düşen bakla sayısı aralığını Fırtına (2006), 18-37 adet/bitki, Deniz (2008), 8.7-108.9 adet/bitki, Atıcı (2013), 10.47-22.37 adet/bitki, Örkütgil (2015), 27.16-34.88 adet/bitki, Şentürk (2016), 20.28-28.88 adet/bitki olarak tespit etmişlerdir. Çalışmamızdaki bitkide bakla sayıları aralığının yapılmış çalışmaların bir kısmı ile uyum gösterirken bir kısmı ile uyum göstermemektedir. Bunun başlıca sebepleri; kullanılan çeşit veya genotipin farklı oluşu, toprak farklılığı, topraktaki su miktarı gibi çevresel faktörler olarak görülmektedir.

Tablo 1. Farklı fasulye çeşitleri ve yerel genotipe ait bitki boyu (BB), bitkide ana dal sayısı (ADS), bitkide bakla sayısı (BBS), baklada tane sayısı (BTS), bitkide tane sayısı (BİTS), yüz tane ağırlığı (YTA), bitkide tane verimi (BTV), ham protein oranı (HPO) ortalamaları

Çeşit-Genotip	BB (cm)	ADS (adet/bitki)	BBS (adet/bitki)	BTS (adet/bakla)	BİTS (adet/bitki)	YTA (g)	BTV (kg/da)	HPO (%)
Cino	58,5 b	3,7	24,50 ab	3.73 ab	91.10 ab	46.76 a	340.73 a	19.92 c
Ekselans	43,1 c	3,6	28,70 a	3.41 b	101.70 a	41.60 c	337.40ab	18.59 c
Gina	63,83b	3,2	24,30 ab	4.08 a	99.10 a	45.43ab	359.39 a	21.17bc
Yerel Genotip	99,55a	3,5	21,00 b	3.59 ab	73.86 b	40.58 c	239.59 c	25.22 a
Zirve	60,2 b	3,6	21,30 b	3.48 ab	72.10 b	42.71 bc	246.27bc	23.40ab
Ortalama	65,036	3,52	23,96	3,658	87,572	43,416	304,676	21,66

* Aynı harf grubuna ait değerler Tukey % 5'e göre farklı değildir.

3.4. Baklada Tane Sayısı

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait baklada tane sayısı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki baklada tane sayısı değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi baklada ortalama tane sayıları 3.41- 4.08 adet/bakla arasında değişiklik göstermiştir. Baklada en az tane bulunduran çeşit Ekselans, en fazla tane bulunduran ise Gina çeşidi olmuştur. Çeşitler ve genotipin bakla başına düşen bakla sayısı ortalaması 23,96 adet/bitki olmuştur. Fasulyede verim ve verim öğeleri üzerine yapılan çalışmalarda baklada tane sayısı aralığını Tam (2008), 2.94-3.06 adet/bakla, Demir (2011), 4.05-7.98 adet/bakla, Zirek (2015), 2.66-4.73 adet/bakla, Özbekmez (2015), 4.30-9.60 adet/bakla, Şentürk (2016), 4.05-5.40 adet/bakla olarak bulmuşlardır. Baklada tane sayısı aralığı sonucumuz üstte verilen çalışma sonuçlarının bir kısmı ile uyum içerisinde olmamasının başlıca sebebi kullandığımız materyallerin genetik yapılarının farklı oluşu olabilir.

3.5. Bitkide Tane Sayısı

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait bitkide tane sayısı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki bitkide tane sayısı değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi bitki başına düşen ortalama tane sayıları; 70.33-101.70 adet/bitki arasında değişim göstermiştir. Tane sayısı en az Zirve çeşidinde, en fazla ise Ekselans çeşidinde bulunmuştur. Çeşitler ve genotipin bitki başına düşen tane sayısı ortalaması 87.57 adet/bitki olarak bulunmuştur. Fasulyede verim ve verim komponentleri üzerine yapılmış çalışmalarda bitkide tane sayısı aralığını Fırtına (2006), 57-213 tane/bitki, Tam (2008), 24.02-42.90 tane/bitki, Varankaya (2011), 21.78-64.44 tane/bitki, Zirek (2015), 32.10- 96.86, Örkütgil (2015), 64.40-161.58 tane/bitki olarak hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda elde ettiğimiz bitkide tane sayısı verilerimiz literatürün bir kısmı ile uyurken bir kısmı ile uyum sağlamamasının nedeni çeşitli çevresel ve genetik faktörlerin olabileceği kanaatindeyiz.

3.6. Yüz Tane Ağırlığı

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait yüz tane ağırlığı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki yüz tane ağırlığı değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi çeşitler yüz tane ağırlığı bakımından; 40.58-46.76 g arasında değişim göstermiştir. Yüz tane ağırlığı en az olan Yerel Genotip, yüz tane ağırlığı en fazla olan ise Cino çeşidi olmuştur. Çeşitler ve genotipin yüz tane ağırlığı ortalaması 43,41 g olarak bulunmuştur. Yapmış oldukları çalışmalarda yüz tane ağırlığını Çevik (2006), 27.88-28.95 g, Dalkılıç (2010), 35.29-54.65 g, Atıcı (2013), 20.5-56.6 g, Özbekmez (2015), 18.23-77.9 g, Şentürk (2016), 30.62-44.0 g olarak tespit etmişlerdir. Yüz tane ağırlığı çeşit özelliği olduğu için farklılık gösterebilir. Bu nedenle çalışmamızda elde ettiğimiz yüz tane ağırlığı değerlerinin daha önce yapılan çalışmalarla kısmen uygunluk göstermesi kullanılan çeşitlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

3.7. Bitkide Tane Verimi

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait bitkide tane verimi özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki bitkide tane verimi değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi tane verimi değerleri; 239.59-359.39 kg/da arasında değişmiştir. En az tane verimi Yerel Genotipte, en yüksek tane verimi ise Gina çeşidinden elde edilmiştir. Çeşitler ve genotipin tane verimi ortalaması 304.67 kg/da olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda tane verimi aralığını Ülker (2008), 162.92-476.85 kg/da, Yaramancı (2009), 249.88-312.46 kg/da, Fırtına (2006), 285-472 kg/da, Palabıyık (2006), 143.60-213.94 kg/da, Kahraman (2014), 254.44-338.11 kg/da olarak tespit etmişlerdir. Çalışmamızda elde ettiğimiz tane verimi sonuçlarımız üstteki çalışmaların bir kısmı ile uyum gösterirken bir kısmı ile de uyumsuz olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebepleri; çevresel şartlar, farklı kültürel uygulamalar ve kalıtsal farklılıkların olabileceğini tahmin etmekteyiz.

3.8. Ham Protein Oranı

Çalışmada elde edilen fasulye çeşitlerine ait ham protein oranı özellikleri tablo 1'de verilmiştir. Fasulye çeşitleri ve yerel genotipteki ham protein oranı değerleri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi ham protein oranları % 18.59-25.22 arasında değişim göstermiştir. En az protein oranına ekselans çeşidinde, en yüksek protein oranına ise yerel genotipte ulaşılmıştır. Çeşitler ve genotipin ham protein oranı ortalaması % 21.66 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda ham protein oranı aralığını Deniz (2008), % 18.02-24.8, Dalkılıç (2010), % 25.56-28.55, Varankaya (2011), % 18.57-26.80, Güneş (2011), % 18.5-30.0, Kahraman (2014), % 28.64-30.89 olarak bildirmişlerdir. Protein oranındaki farklılıklar kullanılan çeşitlerin farklı olmasından ve ekolojik faktörlerden kaynaklanmaktadır.

4. Sonuç

Araştırma, ticari anlamda tescilli yapılmış dört fasulye çeşidi (Zirve, Gina, Ekselans ve Cino) ile bölgede tarımı yapılan bir yerel genotipin Erciş (Van) ekolojik şartlarında verim ve verim unsurlarını belirlemek amacıyla 2015 yılında yapıldı. Bu çalışmada fasulye yetiştiriciliğinde, yöre halkı tarafından tek tip tohumlukların kullanılarak daha yüksek verim elde edilmesi amaçlanmıştır. Bazı fasulye çeşitlerinin Van-Erciş ekolojik koşullarında verim ve verim unsurları üzerine yapmış olduğumuz bu çalışmada yörede tarımının daha uygun olacağı düşünülen fasulye çeşitlerinin belirlenmesine ve yöre halkına tavsiye edilebileceklerin belirlenmesine çalışılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre bitki boyu (99.55 cm) ve ham protein oranı (% 25.22) yönünden en yüksek değer Yerel Genotipte, ana dal sayısı (3.70 adet/bitki) ve yüz tane ağırlığı (46.76 g) yönünden en yüksek değer Cino çeşidinde, bakla sayısı (28.70 adet/bitki) ve bitkide tane sayısı (123.933 adet/bitki) yönünden Ekselans çeşidinde, baklada tane sayısı (4.08 adet/bakla) ve tane verimi (359.39 kg/da) yönünden Gina çeşidi en yüksek değeri almıştır. Bulgularımıza göre tane verimi yönünden en yüksek değere sahip olan Gina çeşidi bölgede kültürü yapılması için tavsiye edilebilir. Ancak daha sağlıklı karar verebilmek için birçok çevresel ve zirai uygulamalara dayalı ayrıntılı çalışmalarla desteklenmelidir.

Kaynakça

- Anonim, 2016 www.fao.org. 04.11.2016
Anonim, 2016a. www.tuik.gov.tr. 04.11.2016
Atıcı, F., 2013. *Giresun İlinde Toplanan Yerel Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genotiplerinin Bazı Bitkisel Özellikleri İle Verim ve Verim Öğelerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Azkan, N., Kaçar, O., Doğangüzel, E., Sincik M., Çöplü, N., 1999. Bursa Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanlarının Nohut Hat ve Çeşitlerinde Verim ve Verim Öğeleri Üzerine Etkisi, *Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi*, 318- 323, Adana.
Baydaş, Y.M., 2009. *Van Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanı Uygulamalarının Bazı Soya Fasulyesi (Glycine max (L.) Merrill) Çeşitlerinde Verim ve Verim Öğelerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Ceylan, A., Sepetoğlu, H., 1979. Mercimekte (Lens culinaris Medic.) ekim sıklığı araştırması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2), 117-123.
Çevik, M., 2006. *Kuru Fasulye Çeşitlerinde Farklı Ekim Derinliklerinin Verim Ve Bazı Verim Unsurları İle Kalite Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Çiftçi, C.Y., Adak, M.S., 2011. Yemelik Tane Baklagiller. *Tarla Bitkileri*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, 257-303.
Dalkılıç, M., 2010. *Konya Ekolojik Şartlarında Farklı Zamanlarda Ekilen Maş Fasulyesi [Vigna radiata (L.) Wilczek] Genotiplerinin Verim ve Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Demir, C., 2011. *Ordu İlinde Yetişen Taze Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Tiplerinde Karakterizasyonun Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Deniz, Ş., 2008. *Gevaş Yöresinde Toplanan Bazı Kuru Fasulye Hatlarında (Phaseolus vulgaris L.) Verim ve Bazı Verim Öğelerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Ergün, A., 2005. *Samsun İlindeki Barbunya Fasulye Gen Kaynaklarının Karakterizasyonu ve Morfolojik Varyabilitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Fırtına, D., 2006. *Türkiye'de Tescil Edilmiş Bazı Kuru Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Çeşitlerinin Van-Gevaş Koşullarında Verim ve Bazı Verim Öğelerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Güneş, Z., 2011. *Van-Gevaş'da Ümitvar Bulunan Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Hatlarında Verim ve Bazı Verim Ögelerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Işık, R., 2012. *Bazı Taze Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genotiplerinin Morfolojik ve Moleküler Karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Örkütgil, S., 2015. *Bitlis - Ahlat Koşullarında Farklı Ekim Zamanı Uygulamalarının Bazı Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim Ögeleri Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özbekmez, Y., 2015. *Ordu Ekolojik Koşullarında Bazı Kuru Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Çeşit ve Genotiplerinin Verim, Verim Ögeleri İle Tohum ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kahraman, A., 2014. *Ekim Zamanlarının Kuru Fasulye Genotiplerinde (Phaseolus vulgaris L.) Verim, Verim Unsurları ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuyucuoğlu, S., 2016. *Farklı Ekim Zamanlarının Bazı Şeker Tipi Fasulye Genotiplerinde Agronomik Özellikler Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Palabıyık, B., 2006. *Depolama Süresinin Bazı Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Çeşitlerinde Tohum Canlılığı, Tane Verimi ve Verimle İlgili Özellikler Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şentürk, M.A., 2016. *Çankırı Koşullarında Bazı Kuru Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genotiplerinin Verim ve Bitkisel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tam, A., 2008. *Van Koşullarında Farklı Ekim Zamanı Uygulamalarının Fasulye'de (Phaseolus vulgaris L.) Verim ve Verim Ögelerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ülker, M., 2008. *Orta Anadolu Ekolojik Şartlarında Yetiştirilen Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genotiplerinin Bazı Tarımsal ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Varankaya, S., 2011. *Yozgat Ekolojik Şartlarında Yetiştirilen Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genotiplerinin Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yaramancı, H., 2009. *Farklı Sıra Üzeri Ekim Mesafelerinin Soya Fasulyesinde (Glycine max L. Merril) Verim ve Verim Unsurları Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldız, N., Bircan, H. 1994. Araştırma ve Deneme Metotları. II Baskı. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 697. Erzurum.
- Zirek, İ., 2015. *Türkiye'de Tescil Edilmiş Bazı Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Çeşitlerinin Verim ve Bazı Verim Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.



Investigation of Outdoor Gamma Dose Rates in Yalova, Turkey

Kübra Bayrak¹, Zeki Ünal Yümün^{2*}, Merve Çakar³

¹Akdeniz University, Faculty of Science, Physics Department, Antalya, Turkey

²Namik Kemal University, Corlu Engineering Faculty, Environmental Engineering Dep., Tekirdag, Turkey

³yildiz Technical University, Faculty of Arts And Sciences, Physics Department, Davutpasa Campus, 34220 Esenler, Istanbul, Turkey

(First received 8 February 2020 and in final form 17 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.686668)

ATIF/REFERENCE: Bayrak, K., Yümün, Z. Ü. & Çakar, M. (2020). Investigation of Outdoor Gamma Dose Rates in Yalova, Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (18), 568-573.

Abstract

Radioactivity measurements were performed, at the Yalova (Turkey), part of the Marmara Sea, for natural radiation using a scintillation detector SP6 (via using portable counter ESP2, Eberline). Based on the measurement results, the lowest outdoor gamma concentration was calculated to 27.70 nGy/h while the highest one calculated to 66.00 nGy/h. And, the average of the measured gamma dose rates calculated to 48.13 nGy/h while the annual effective dose equivalent was calculated to 59.02 µSv/y. Mean value of excess lifetime cancer risk also obtained $2.07 \cdot 10^{-4}$ from using measurement area. The results checked against the world average determined by UNSCEAR. It was concluded that the calculated gamma dose values in Yalova are below the world average.

Keywords: Gamma dose rates, Scintillation detector, Yalova, Turkey

1. Introduction

The world is in interaction with radiation since its existence. Mankind lives with background radiation originate from radioactive atoms. For this reason, people are always exposed to radioactive substances from air, water, soil and cosmic rays. In addition, with the rapid development of the nuclear industry, the usage of radioactive materials has become widespread [1]. Natural background radiation levels may vary greatly from one location to another as well as may change over the same location over time.

Today, environmental radiation measurements are made in order to survey the radioactivity of a region. By measuring natural background radiation, it is possible to show how much radiation people are exposed to. The level of background radiation of a region varies depending on the geological and geographical structure of the region, the altitude from sea level (proportional to cosmic rays), and the mineralogical structure of the soil and rocks. Nuclear weapons tests, leaks of nuclear power plant accidents and radioactive materials used in the industry and medicine increase the level of natural background radiation of a zone [2].

Kam et.al (2016) conducted the study "Gamma dose rate values in the Kulakçayırı natural lake and the vicinity (Arnavutköy, Istanbul)". In the study, he performed gamma dose measurements at twenty locations in Kulakçayırı and its surroundings. As a result of this measurement, the average gamma dose rate was calculated as 37.5 nGy / h (19). Yümün et.al (2019) conducted the study "Gamma dose values of stratigraphic units surfaced in Behramkale (Çanakkale) - Zeytinli (Edremit-Balıkesir) section of Kaz Mountains". In the study, gamma dose rate was measured in twenty-five locations around Edremit and Behramkale. The calculated average gamma dose rate was 111.2 nGy / y, and the effective gamma dose value was determined as 0.14 mSV (20). Karataşlı M. (2018), "Environmental Gamma Radiation Measurement in Hatay and Its Surroundings" study, measurements were taken at 183 different points. As a result of the measurements, the mean value of gamma dose measurements was calculated as 61.9 nGy / h, while the average value of the annual effective dose equivalent was calculated as 75.91 MSv / y (21).

In this study, the natural background radiation level of Yalova region has been revealed. Many points of the study area were evaluated by measuring gamma doses with a scintillation detector.

* Corresponding Author: Namik Kemal University, Corlu Engineering Faculty, Environmental Engineering Dep., Tekirdag, Turkey, zyumun@nku.edu.tr
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

2. Material Method

2.1 Measuring Area

Yalova province is located at the entrance of Izmit bay in the Marmara Sea. As seen in Figure 1, Yalova territory is bordered by the province of Marmara Sea, the province of Kocaeli to the east and the province of Bursa to the southwest [3]. The working area is divided into 6 districts: Altinova, Armutlu, Çiftlikköy, Çınarcık, Termal and Yalova [4]. Based on TÜİK datas, the city's population has been rising continuously for years. Yalova, a tourism city, has been invested in industry, transportation, agriculture and many other areas and these investments are continuing consistently [5,6].



Figure 1: Map of investigation area ()

2.2 Process

The device used in the study is a scintillation detector. Scintillation detectors are highly efficient for gamma ray detection. A portable gamma-ray spectrometer is a crucial tool for radionuclide identification in environmental surveying and many other scientific and industrial applications. In environmental measurements, detectors collect radioactive data from the air and analyze simultaneously. The ability to take quick measurements, compact size and low cost are the most precious features of portable devices [7]. In this study, outdoor gamma dose rates were measured by a high resolution Eberline smart portable device (ESP-2). All measurements were taken 1 m above ground level. And, the measurement duration was roughly one minute for each station. After gamma dose rates were measured, the equivalent dose rate expected to be taken annually by a person was calculated. In this way, the average annual effective dose equivalent (AEDE) was calculated by using the following equation:

$$AEDE = ADRA \times DCF \times OF \times T \quad (1)$$

where ADRA is absorbed dose rate in air ($nGy h^{-1}$), DCF is dose conversion factor ($0.7 Sv y^{-1}$), occupancy factor is outdoor of (0.2), and T is the time ($8760 hy^{-1}$) [8,16,17]. Excess Lifetime cancer Risk was calculated by using following equation [9]:

$$ELCR = AEDE * DL * RF \quad (2)$$

where AEDE is the annual effective dose equivalent (μSv), DL is duration of life (accepted 70 years) and RF is risk factor (Sv^{-1}) [9].

3. Results

3.1. Gamma Dose Measurements

Within the scope of the study, 36 gamma dose measurements from different stations were taken from the districts of Yalova province. The measured absorbed dose rates and calculated AEDE and ELCR values are given in Table I.

Table I: Gamma dose rates of Yalova districts

Stations	Coordinates		Absorbed Dose Rate (nGy/h)	Annual Effective Dose Equivalent ($\mu\text{Sv/y}$)	Excess Lifetime Cancer Risk ($*10^{-4}$)
Kaytazdere	40°41'49.7"N	29°30'58.6"E	52.20	64.02	2.24
Hersek	40°43'26.4"N	29°30'17.2"E	64.00	78.49	2.75
Karadere	40°38'12.3"N	29°28'23.5"E	59.40	72.85	2.55
Örencik	40°35'34.2"N	29°26'38.8"E	37.80	46.36	1.62
Sermayecik	40°33'42.8"N	29°26'37.3"E	40.80	50.04	1.75
Burhaniye	40°34'07.3"N	29°24'11.2"E	43.40	53.23	1.86
Kılıçköy	40°38'03.6"N	29°23'36.7"E	66.00	80.94	2.83
Taşköprü	40°40'28.1"N	29°23'21.1"E	56.20	68.92	2.41
Çiftlikköy	40°39'45.2"N	29°18'47.7"E	51.40	63.04	2.21
Yalova Merkez	40°39'27.4"N	29°16'06.5"E	40.80	50.04	1.75
Yalova Merkez	40°39'31.1"N	29°16'31.1"E	27.70	33.97	1.19
Safran Köyü	40°36'33.4"N	29°14'54.7"E	40.80	50.04	1.75
Güneyköy	40°33'13.9"N	29°16'41.1"E	47.00	57.64	2.02
Kurtköy	40°34'35.1"N	29°13'25.1"E	44.40	54.45	1.91
Kadıköy	40°37'09.6"N	29°13'32.1"E	60.40	74.07	2.59
Termal	40°36'23.1"N	29°10'22.9"E	50.80	62.30	2.18
Akköy	40°37'43.0"N	29°11'44.9"E	46.52	57.05	2.00
Koru	40°39'18.9"N	29°09'26.6"E	38.20	46.85	1.64
Çınarcık	40°38'36.7"N	29°06'24.6"E	44.60	54.70	1.91
Şenköy	40°37'39.1"N	29°00'06.7"E	64.00	78.49	2.75
Teşvikiye	40°36'42.1"N	29°04'54.7"E	43.60	53.47	1.87
Teşvikiye Şelale	40°35'17.6"N	29°01'34.9"E	57.00	69.90	2.45
Esenköy	40°36'49.1"N	28°57'10.9"E	47.00	57.64	2.02
Armutlu	40°31'09.1"N	28°49'41.6"E	35.40	43.41	1.52
Fıstıklı	40°29'27.6"N	28°53'34.0"E	56.20	68.92	2.41
Kapaklı	40°27'38.0"N	28°58'12.2"E	46.80	57.40	2.01
Hayriye	40°30'05.3"N	28°58'04.6"E	41.10	50.40	1.76
Selimiye	40°31'03.1"N	28°58'57.6"E	47.01	57.61	2.02
Delmece Yaylası	40°33'25.8"N	29°00'22.9"E	52.40	64.30	2.25
Altınova Merkez	40°41'19.5"N	29°29'49.7"E	59.01	72.40	2.53
Tavşanlı	40°41'42.2"N	29°27'14.1"E	40.80	50.03	1.75
Tavşanlı	40°41'32.2"N	29°26'46.1"E	43.60	53.50	1.87
Tavşanlı	40°41'14.3"N	29°26'36.3"E	54.40	66.71	2.34
Altınova Tersaneler	40°43'15.4"N	29°29'16.0"E	55.80	68.40	2.40
Altınova Tersaneler	40°42'53.0"N	29°28'42.2"E	38.20	46.81	1.64
Altınova Tersaneler	40°42'05.0"N	29°28'04.1"E	37.80	46.40	1.62
AVERAGE			48.13	59.02	2.07

As a result of the measurements, outdoor gamma dose rates in air are ranging from 27.70 nGy/h to 66.00 nGy/h. The mean value of gamma dose rate was obtained to 48.13 nGy/h. Next, the average annual effective dose equivalent of 36 stations was calculated to 59.02 μSv . Using this data, the lifetime cancer risk was calculated to 2.07 ($*10^{-4}$). In the light of the data in Table 1, AEDE values of six districts of Yalova are shown in Figure 2.

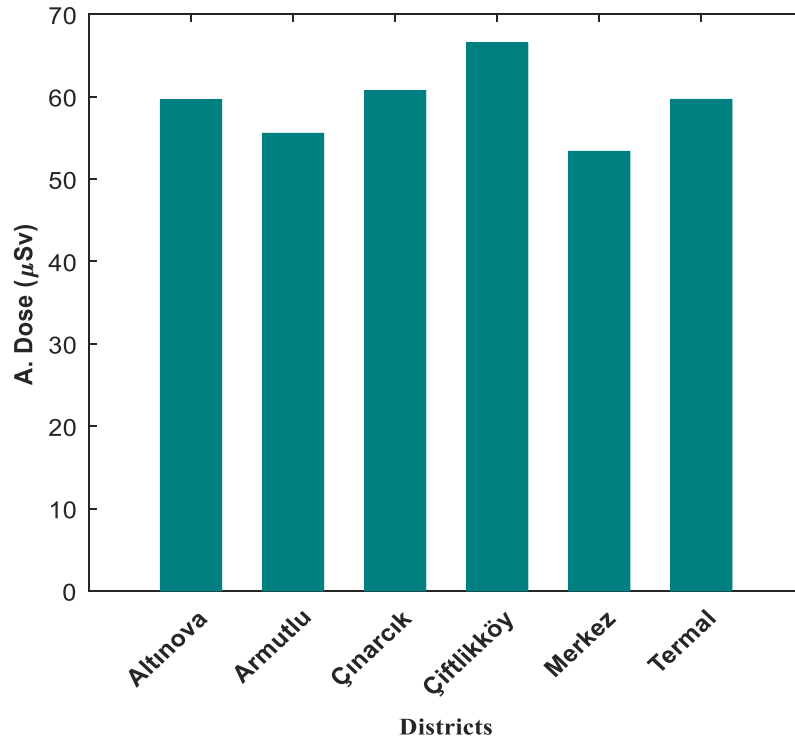


Figure 2. Bar chart of annual doses

The gamma dose distribution map of the districts of Yalova province has been prepared (Figure 3)

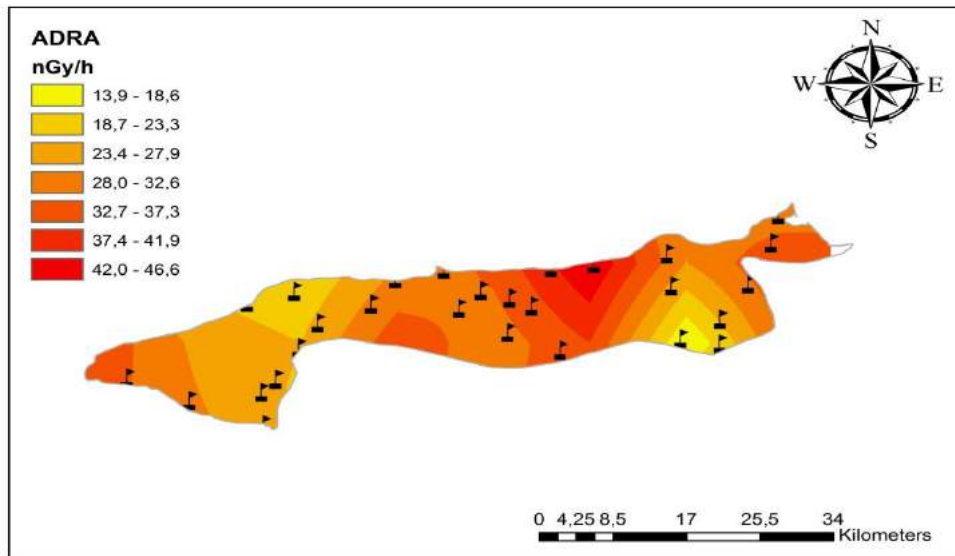


Figure 3: Distribution map of ADRA values by region

As seen in Figure 2 and Figure 3, it is understood that the region with the highest radioactive contamination is Çiftlikköy. However, there is not a crucial difference between other districts about average doses. This study was compared with studies conducted on different regions in Turkey (Table II). the number of references should be increased.

Table II: Gamma dose values of different stations in Turkey

Stations	Average Dose Rates (nGy/h)	Average AEDE ($\mu\text{Sv/y}$)	References
Istanbul (2000)	65	80	[10]
Kirklareli (2009)	118	144	[8]
Kastamonu (2007)	48	58.9	[11]
Tekirdag (2005)	43	52.7	[12]
Hatay (2015)	52.13	63.93	[13]
IDA villages (2019)	162.04	198.66	[14]
World average	59	73.6	[15]
Present Study	48.13	59.02	-

3.2. Relationship Between Geology and Gamma Dose

Geological formations of Yalova have been obtained from Turkey's 1/500000 scale geological maps . This map was prepared by the General Directorate of Mineral Research and Exploration (Figure 4).

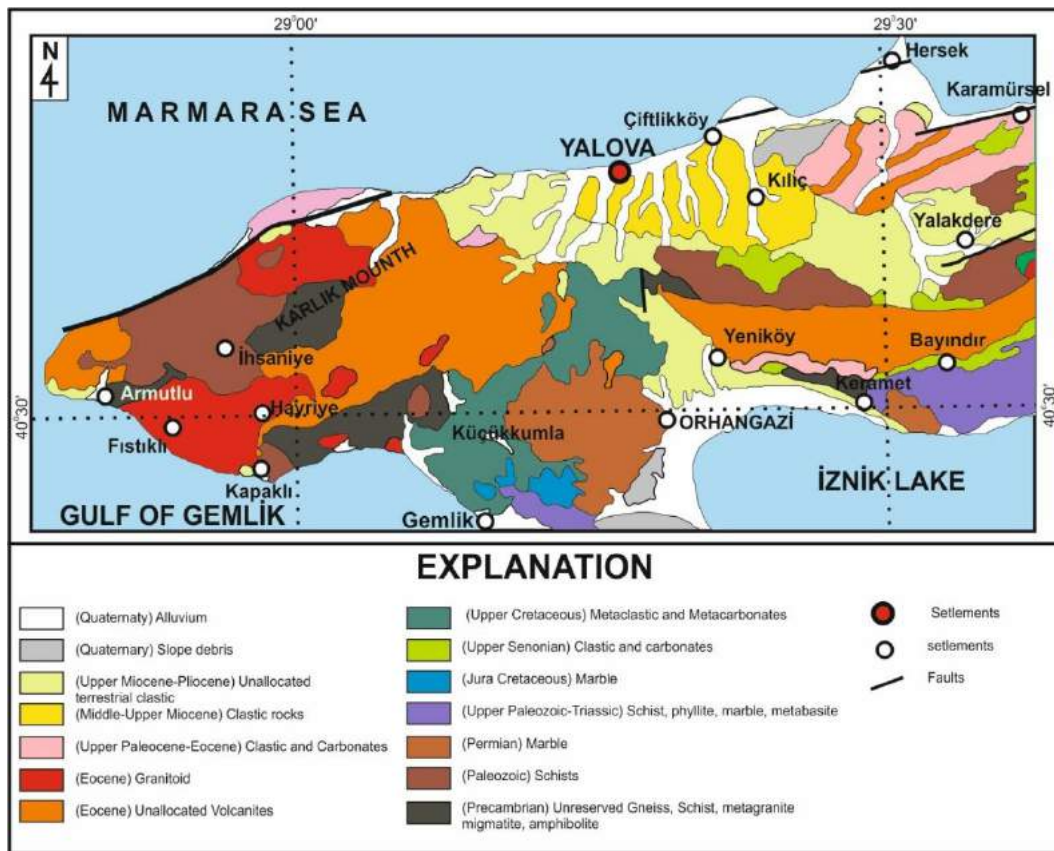


Figure 4: Geology map of Yalova and Surroundings (18)

In the study area, there are Precambrian, Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic units from bottom to top. Precambrian units are unallocated gneiss, schist, metagranite, migmatite and amphibolites. Paleozoic units are Schists, marbles and Upper Permian-Triassic schist, phyllite, marble and metabasites. Mesozoic Units are Jurassic marbles, Upper Senonian Clastic rocks and carbonates, and Upper Cretaceous metaclastic and metacarbonates. Cenozoic units consists of Eocene and Paleocene rocks. Eocene consists of undivided volcanites and granitoid. Upper Paleocene-Eocene Unites are clastic rocks and carbonates, and Upper Miocene-Pliocene unites also consist of undivided continental sediments. All units are unconformably covered from quaternary alluvium and slope debris.

4. Conclusion

In this study, gamma dose rates of the Yalova were determined. A total of 36 measurements were taken with a scintillation detector. As a result of the measurements, average gamma dose rate and average AEDE value was calculated to 48.13 nGy/h and 59.02 $\mu\text{Sv/y}$, respectively. And, average excess lifetime cancer risk was calculated to $2.07 \cdot 10^{-4}$. These values are low compared to many other

regions. Also, it was observed that the measured gamma dose values were below the world average. In conclusion, there is no health risk related to outdoor gamma radiation of living beings in the region.

In Section 3.2, geological formations of yalova and its surroundings are evaluated. There are rocks of all periods from the oldest to the youngest in the field. Both magmatic, metamorphic and sedimentary rocks can be seen in the region. It is seen that gamma dose values in the region are independent from geological formations. Contrary to the knowledge that gamma dose values may be high in granitoids, gamma dose values do not differ much between lithologies.

References

- [1] UNSCEAR. (2008). Sources and effects of Ionising Radiation, pp 5-6
- [2] IAEA (2011). Radioactive Particles in the Environment: Sources, Particle Characterization and Analytical Techniques. pp. 8-10
- [3] <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>
- [4] Kazel E. (2014). Yalova City Geography. Master Thesis.
- [5] <http://www.yalova.bel.tr/kent-rehberi/yalova-hakkinda>
- [6] <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- [7] Nguyen Duc Tuan et all. (2012). Design and construction of the portable gamma-ray spectrometer for environmental dose rate measurement and radioisotope identification
- [8] Taskin H. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. 100 (2009) 49–53
- [9] ICRP., ICRP Publication 103 recommendations of the ICRP: annals of the ICRP volume 37/2-4. International Commission on Radiological Protection. Pergamon Pres, 2007.
- [10] Karahan G. (2000). Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). 47 (2000) 213-221
- [11] Kam E. (2007). Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. 65 (2007) 440–444
- [12] Yazar Y. (2005). Environmental radioactivity concentrations of Tekirdag. 1276 (2005) 387-389
- [13] Turgay M.E. (2015). Assessment of the Environmental Radioactivity in Hatay Region. University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences. Ph.D. Thesis
- [14] Turgay, M. E. (2019). Cancer Risk Determination for IDA villages by using Annual Gamma Doses in Air, around Edremit & Ayvacık Districts; Balıkesir & Çanakkale, TURKEY. *European Journal of Science and Technology*, (15), 433-439.
- [15] UNSCEAR report. (2000). Sources and Effects of Ionising Radiation pp. 90
- [16] Yümün Z.Ü., Kam E., Önce M. (2019). Gamma Dose Values of Stratigraphic Units Surfaced in Behramkale (Çanakkale)-Zeytinli (Edremit – Balıkesir) Section of Kaz Mountains. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*. 7(1). 207-214.
- [17] Kam E., Yümün Z.Ü., Önce M., Açıkgöz G. (2016). Gamma Dose Rate Values in the Kulakçayırı Natural Lake and the Vicinity (Aravutköy, İstanbul). *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 1(1). 29-33.
- [18] Türkecan, A. and Yurtsever, A., 2002, 1:500.000 Scale Geological Maps of Turkey (İstanbul Map), General Directorate of Mieral Research and Explanation, No.1.
- [19] Kam E., Yümün Z.Ü., Önce M. Ve Açıkgöz G. (2016). Gamma dose rate values in the Kulakçayırı natural lake and the vicinity (Arnavutköy, İstanbul). *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*. 1(1). 29-33.
- [20] Yümün Z.Ü., Kam E. ve Önce M.(2019). Gamma dose values of stratigraphic units surfaced in Behramkale (Çanakkale) – Zeytinli (Edremit-Balıkesir) section of Kaz Mountains. *Journal of Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*. 7(1). 207-214.
- [21] Karataşlı M.(2018); Hatay ve Çevresinde Çevresel Gama Radyasyon Ölçümü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 780-785.



2-Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metilfenol Bileşiminin Sentezi ve Kuantum Kimyasal Hesaplamaları

Yeliz Ulaş*

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2038-1851)

(İlk Geliş Tarihi 31 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 17 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.682673)

ATIF/REFERENCE: Ulaş, Y. (2020). 2-Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metilfenol Bileşiminin Sentezi ve Kuantum Kimyasal Hesaplamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 574-582.

Öz

2-(Azepan-1-il(naftalen-1-il)metil)fenol bileşiği bir alkilaminofenol bileşiğidir ve petasis reaksiyonu ile deneysel olarak sentezlenmiştir. Bu çalışmada yapısal analizler FT-IR, NMR, UV-Vis spektroskopisi ile yapılmıştır. Deneysel verilerin, teorik veriler ile desteklenmesi için bileşiğe ait birçok fizikokimyasal parametre 6-311G ++ (d,p) seti ve DFT (B3LYP) yöntemi ile araştırılmıştır. Bileşiğin elektronik ve yapısal özellikleri (bağ uzunlukları, bağ açıları ve dihedral açıları), HOMO (en yüksek dolu moleküler orbital) ve LUMO (en düşük boş moleküler orbital) enerjileri, elektrostatik potansiyel (MEP), titreşim frekansları, Mulliken atom yükleri, uyarım enerjileri ve osilatör kuvvetleri gibi özellikleri hesaplanmıştır. Teorik değerler ve deneysel değerler uyumlu olduğu görülmüş, mevcut sapmaların kaynağı ve nedenleri hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alkilaminofenol, HOMO-LUMO, DFT

Synthesis of 2-(Azepan-1-yl(naphthalen-1-yl)methyl)phenol Compound and Quantum Chemical Calculations

Abstract

The 2-(Azepan-1-yl(naphthalen-1-yl)methyl)phenol compound is an alkylaminophenol compound and has been experimentally synthesized by the petasis reaction. In this study, structural analysis was done by FT-IR, NMR, UV-Vis spectroscopy. In order to support experimental data with theoretical data, many physicochemical parameters of the compound were investigated with 6-311G ++ (d, p) set and DFT (B3LYP) method. Electronic and structural properties of the compound (bond lengths, bond angles and dihedral angles), HOMO (highest occupied molecular orbital) and LUMO (lowest empty molecular orbital) energies, electrostatic potential (MEP), vibration frequencies, Mulliken atomic charges, excitation energies and oscillator strengths were calculated. Theoretical values and experimental values were found to be compatible, and information was given about the source and causes of existing deviations.

Keywords: Alkylaminophenol, HOMO-LUMO, DFT

* Sorumlu Yazar: Sorumlu yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye, yelizulas@uludag.edu.tr

1. Giriş

Alkilaminofenol bileşikler antitanser ve antioksidan aktiviteleri nedeniyle kemoterapide sıklıkla kullanılır(Cicerale, Lucas, & Keast, 2012; Doan vd., 2017; Gomes vd., 2003). Kanseri türlerinin çeşitliliği, tedavide kullanılacak yeni ilaçların varlığına ihtiyaç duymaktadır. Genellikle kemik kanserinin tedavisinde kullanılan alkilaminofenoller, Petasis reaksiyonu (Boronik Mannich Reaksiyonu) ile sentezlenir(Beisel & Manolikakes, 2015; Candeias, Montalbano, Cal, & Gois, 2010; Chouguiat, Bouleina, Carboni, Demonceau, & Debache, 2014; Hosseinzadeh, Lasemi, Oloub, & Pooryousef, 2017; Klopfenstein vd., 2000; Neogi, Roy, & Naskar, 2010; Prasad Reddy, Govardhana Reddy, Kumar, Reddy, & Shankar, 2016; Shi vd., 2012; Tremblay-Morin, Raeppe, & Gaudette, 2004; Ulaş, 2019; Ulaş, Özkan, & Tolan, 2019; Wang, Li, Shen, & Song, 2014; Wu, Givskov, & Nielsen, 2019; Yu, Wu, Cheng, Wei, & Li, 2009). İlk kez 1993 yılında bir antifungal ajan olan naftifinin sentezi için Nicos Petasis tarafından pratik bir yöntem olarak kullanılmıştır(Petasis & Akritopoulou, 1993). Reaksiyon, amin ve karbonil bileşiklerinin iminyum iyonu oluşturması ve ilave edilen boronik asit tarafından oluşturulan boronat kompleksinden borik asidin çıkarılmasıyla gerçekleşir(Liu, Wang, Sui, & Yu, 2010). Literatürde alkilaminofenollerin sentezi konusunda birçok çalışma olmasına rağmen, bu bileşiklerin kuantum kimyasal hesaplamaları üzerine çalışmalar sınırlıdır. Bu durumdan yola çıkılarak çalışmalar iki bölümde gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde yeni bir alkilaminofenol bileşiği sentezlenmiş, ikinci bölümde; bileşiğin kuantum kimyasal hesaplamaları DFT (B3LYP) yöntemiyle 6-311 ++ G (d, p) temel setinde gerçekleştirilmiştir(Becke, 1988). UV-Vis hesaplamalarında ise TD-SCF yöntemi tercih edilmiştir(Kucuk, Kaya, & Kaya, 2017).

2. Materyal ve Metot

2.1 Deneyel Kısım

Sentez için kullanılan kimyasallar, ekstra bir saflaştırma işlemi olmadan doğrudan kullanılmıştır. Sentezlenen bileşiğin yapı analizleri; UV-1700 PharmaSpect UV/vis spektrofotometre; PerkinElmer 100 FT-IR spektrometre ve Agilent 600 MHz NMR spektrometreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Sentez

Sentez Literatürdeki prosedüre göre gerçekleştirilmiştir(Ulaş vd., 2019)

2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol:

Verim 0.275 (83%), Turuncu katı, mp 114-115 °C. ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃): δ(ppm) = 1.67 (s, 9H, CH₂); 2.81 (s, 3H, CH₂); 5.84 (s, 1H, CH); 6.64 (t, J=7.2, 1H, Ar-H); 6.82 (d, J=7.2, 1H, Ar-H); 6.95 (d, J=7.2, 1H, Ar-H); 7.14 (t, J=7.2, 1H, Ar-H); 7.47-7.57 (m, 3H, Ar-H); 7.81 (d, J=8.4, 1H, Ar-H); 7.85 (s, 1H, Ar-H); 7.90 (d, J=7.8, 1H, Ar-H); 8.25 (d, J=8.4, 1H, Ar-H); 12.63 (s, 1H, Ar-OH). ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz): δ, ppm: 24.6(azepan) 26.5 (azepan); 28.4(azepan); 67.1(kiral karbon); 116.9(Ar-C); 118.9(Ar-C); 123.0(Ar-C); 125.5(Ar-C); 125.8(Ar-C); 126.4(Ar-C); 128.2(Ar-C); 128.4(Ar-C); 128.8(Ar-C); 129.2(Ar-C); 132.2(Ar-C); 134.0(Ar-C); 135.8(Ar-C); 157.5(C-OH). FT-IR: ν(cm⁻¹): 3050(Ar-OH), 2923 ve 2851(Ar-H), 2700 ve 2650(C-H), 1598 ve 1582 (C=C), 1509 (C-O), 1487, 1459 ve 1409(CH₂), 1275, 1263 ve 1244 (C-N), 1148(=C-H), 919 (OH), 773 ve 754(Ar-H).

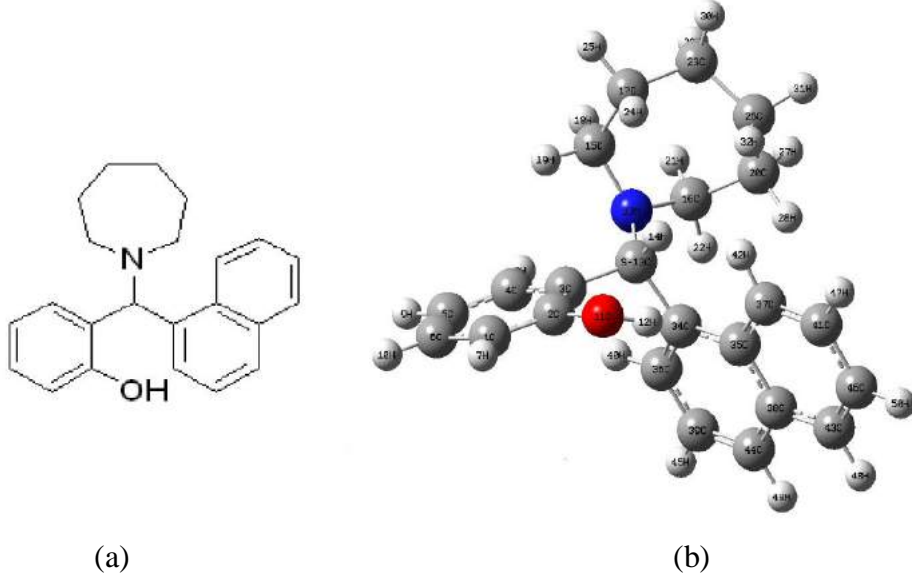
2.2. Hesaplamalı Kısım

2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol bileşiğine ait tüm hesaplamalar uygun metot ve temel set seçeneğine sahip olan Gaussian 09W paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Molekülün görselleştirilmesinde ise GaussView 5.0.9 paket programı kullanılmıştır(Kotan, Albayrak, & Yüksek, 2018; Kotan & Yüksek, 2019; Wolinski, Hinton, & Pulay, 1990). Tüm hesaplamalar, Yoğunluk Fonksiyoneli kuramı (DFT) düzeyinde Becke'nin üç parametreliliği değişim fonksiyonu(B3) ile Lee-Yang-Parr korelasyon fonksiyonundan (LYP) oluşan B3LYP (Becke, 1988) metodu ve 6-311++G(d,p) temel seti kullanılmıştır. Molekülün geometrik, elektronik, spektroskopik parametreleri hesaplanmıştır(Borisov & Akhrem, 2019; Cuenú vd., 2019; Nageswari, George, Ramalingam, & Govindarajan, 2019a; Naseem vd., 2017). ¹³C-NMR ve ¹H-NMR kimyasal kayma değerleri, deneysel veriler ile karşılaştırılarak regrasyon analizleri yapılmıştır(Kotan, Medetalibeyoğlu, Beytur, Akyıldırım, & Yüksek, 2019). Yine yapı aydınlatılmasında yaygın bir analiz yöntemi olan IR harmonik titreşim frekans değerleri saptanmıştır ve skala faktörleri ile çarpılarak skalalı değerlere ulaşılmıştır(Jesus vd., 2006; Sundaraganesan, Ilakiamani, Saleem, Wojciechowski, & Michalska, 2005). Titreşim frekans değerleri kullanılarak teorik IR spektrumları oluşturulmuştur ve deneysel spektrumlar ile karşılaştırılmıştır. Molekülün geometrik özellikleri (bağ uzunluğu, bağ açısı, dihedral açılar), elektronegativite (χ), dipol moment (μ), atomik yükler, kimyasal sertlik (η) ve yumuşaklık (S), toplam enerji, iyonlaşma potansiyeli (I), enerji farkı (ΔE_g) gibi özellikleri hesaplanmıştır. Ayrıca moleküler elektron potansiyel (MEP) ve Frontier Moleküler orbitalleri belirlenmiştir. Bileşik için UV-vis hesaplamaları, zamana bağlı yoğunluk fonksiyonel teorisi TD-DFT kullanılarak gerçekleştirilmiştir(Nageswari, George, Ramalingam, & Govindarajan, 2019b; Raja, Muhamed, Muthu, & Suresh, 2017a, 2017b).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Moleküler Geometri

Bileşiğin moleküler geometrisi gaz fazında taban durumunda DFT / B3LYP / 6-311++G(d,p) temel seti kullanılarak hesaplanmıştır. Bileşiğin optimize edilmiş şekli Şekil-1 de verilmiştir. Bileşiğe ait, bağ uzunluğu, bağ açıları ve dihedral açılar ise karşılaştırmalı olarak Tablo-2’de verilmiştir.



Şekil 1. 2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol’ün molekül yapısı (a), 2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol’ün DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) ile optimize edilmiş molekül yapısı (b)

Tablo 1. 2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol’ün seçilen bazı geometrik parametreleri

Bağ Uzunluğu(A ⁰)	B3LYP	Bağ Açıları(°)	B3LYP
C13-C3	1.539	C13-C3-C4	121.6
C13-H14	1.097	C13-C3-C2	120.7
C3-C2	1.405	C2-C3-C4	117.7
C3-C4	1.399	C3-C4-C5	121.8
C4-C5	1.391	C4-C5-C6	119.6
C5-C6	1.394	C5-C6-C1	119.8
C6-C1	1.389	C6-C1-C2	120.3
C4-H8	1.084	C1-C6-H10	119.7
C5-H9	1.083	C2-O11-H12	111.2
C6-H10	1.084	C13-C34-C36	118.5
C1-H7	1.084	C36-C34-C35	118.9
C2-O11	1.375	C34-C35-C38	118.7
O11-H12	0.963	C35-C38-C44	119.7
C13-N33	1.474	C38-C44-C39	120.4
N33-C15	1.469	C36-C39-H45	119.5
C15-C17	1.541	C38-C43-C45	121.4
C17-C23	1.535	C43-C45-C41	119.6
C23-C26	1.535	C41-C37-C35	121.7
C26-C20	1.541	C41-C37-H42	118.2
C20-C16	1.549	H28-C20-C16	109.6
C15-H18	1.097	H40-C36-C34	118.8
C15-H19	1.092	C39-C44-H49	120.7
C17-H24	1.097	C38-C43-H48	118.3
C17-H25	1.097	C43-C46-H50	120.5
C23-H29	1.098	N33-C16-C20	120.3
C23-H30	1.096	C16-C20-C26	117.8
C26-H31	1.095	C20-C26-C23	116.5

C26-32H	1.096	C26-C23-C17	113.4
C20-H27	1.097	C17-C15-N33	118.6
C20-H28	1.094	H18-C15-H19	106.3
C16-H21	1.094	H25-C17-H24	105.6
C16-H22	1.093	C16-C20-H28	109.5
C34-C36	1.380	C20-C26-H31	107.8
C36-H40	1.083	C26-C23-H30	108.4
C36-C39	1.408	H31-C26-H32	105.2
C39-C44	1.372	Dihedral Açılar	
C39-H45	1.084	N33-C13-C3-C2	-154.6
C44-C38	1.416	N33-C13-C34-C36	-61.8
C44-H49	1.084	C34-C35-C38-C43	-179.0
C38-C35	1.439	C43-C46-C41-H47	-179.1
C38-C43	1.420	H50-C46-C41-C37	-179.9
C43-H48	1.085	H47-C41-C37-C35	-179.9
C43-C46	1.372	C2-C3-C4-H8	-179.8
C46-H50	1.084	H25-C17-C15-N33	179.8
C46-C41	1.412	N33-C16-C20-H27	-161.8
C41-H47	1.084	C16-C20-C26-H31	-157.2
C41-C37	1.375	C20-C26-C23-H30	-160.8
C37-H42	1.082	H24-C17-C15-H18	172.4

Hidroksil grubu için O-H bağ uzunluğu deneysel olarak 0.96 Å iken, B3LYP metodu ile 0.963 Å olarak hesaplanmıştır. N33-C15 bağ uzunlukları deneysel olarak 1.47 bulunmuşken, B3LYP metodu ile 1.469 Å olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, 1.37 Å olan C=C bağ uzunluğu C38=C35 atomları için de 1.439 Å(B3LYP) olarak hesaplanmıştır. Bunun yanısıra, 109.5° açığına sahip olduğu bilinen C-O-H bağ açısı C2-O11-H12 için B3LYP metodu ile 111.2° hesaplanmıştır. Sonuç olarak; deneysel bağ uzunluğu ve bağ açısı değerleri ile hesaplanan değerler arasında iyi bir uyum olduğu söylenebilir.

3.2. IR Çalışmaları

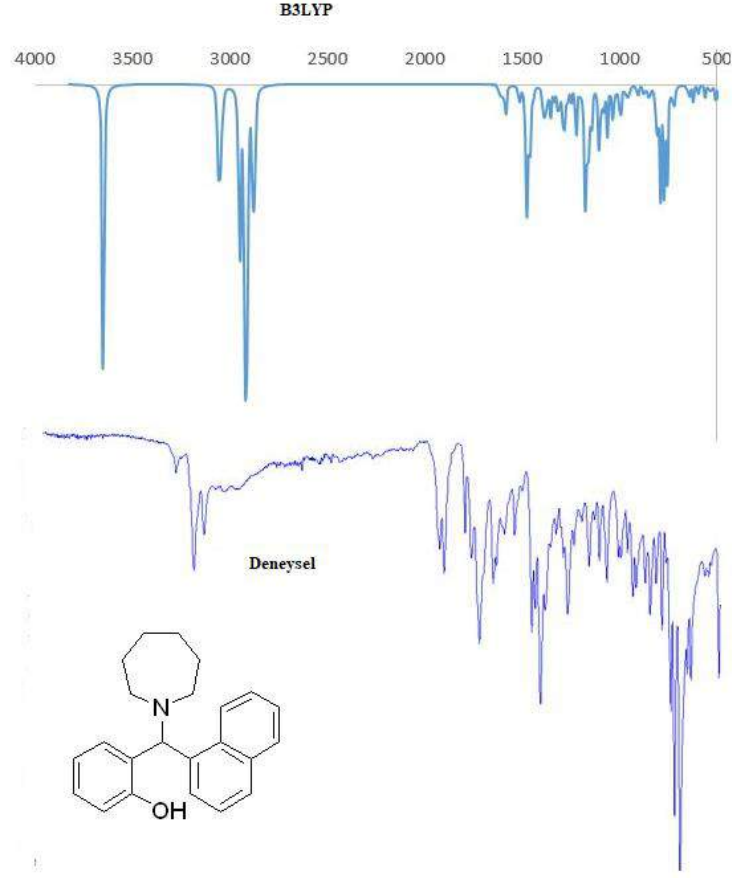
Titreşim spektroskopisi (FT-IR); bileşiklerin fonksiyonel gruplarının ve bağ yapılarının belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. Bununla birlikte bileşiğin IR spektrumları elde edilirken deneysel ve teorik hesaplamalar arasında bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu fark, bir ölçeklendirme çarpanı kullanılması ile giderilir. Molekülün 6-311++G(d,p) baz setinde yapılan titreşim frekansı hesaplamaları için 4000-1700 cm⁻¹ bölgesi 0.958 ve 1700-0 cm⁻¹ bölgesi 0.978 çarpanı ile ölçeklendirilmiştir(Jesus vd., 2006; Sundaraganesan vd., 2005). Bileşiğin deneysel ve kuantum mekaniksel hesaplamalarla elde edilmiş olan IR spektrumları Şekil 2'de verilmiştir. Molekülün hesaplanan frekans değerleri ve de seçilen IR şiddetleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Molekülün Deneysel ve B3LYP metodu ile seçilmiş titreşim frekans değeri ve türleri

Titreşim Türleri (ν)	Deneysel	B3LYP (skalasız)	B3LYP * (skalalı)
Ar-OH	3050	3807	3647
CH (aromatik)	2923	3178	3044
	2851	3164	3031
CH (alifatik)	2700	3083	2953
	2650	3074	2944
C=C (aromatik)	1598	1658	1621
	1582	1654	1617
C-O (aromatik)	1509	1618	1582
CH ₂ (alifatik)	1487	1510	1476
	1459	1501	1468
	1409	1494	1461
C-N	1275	1423	1391
	1263	1360	1330
	1244	1338	1308
=C-H (aromatik)	1148	1320	1290
OH(eğilmesi)	919	1198	1171
Ar-H (düzlem dışı)	773	991	969

*Skala faktörleri: 4000-1700 cm⁻¹ için 0,958 ; 1700-400 cm⁻¹ için 0,978

Tablo 2’de görüldüğü gibi OH asimetrik ve simetrik gerilme titreşim bandı deneysel IR spektrumunda sırasıyla 3050 cm^{-1} ’de gözlemlenirken, DFT/B3LYP metodu için 3647 cm^{-1} olarak hesaplanmıştır. Benzer biçimde, deneysel aromatik C-H titreşimleri 2923, 2851 cm^{-1} ’de gözlemlenirken, DFT/B3LYP metodu için bu değerler 3044, 3031 cm^{-1} ’dir. Alifatik C-H titreşimleri deneysel 2700, 2650 cm^{-1} iken teorik olarak 2953 ve 2944 cm^{-1} olarak hesaplanmıştır. C=C aromatic gerilme titreşim bandları deneysel olarak sırasıyla 1598, 1582 cm^{-1} ’de gözlemlenirken, teorik olarak DFT metodunun B3LYP fonksiyonu için 1621, 1617 cm^{-1} olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Alkilaminofenol bileşiğinin Teorik ve deneysel IR spektrumu

3.3. NMR Çalışmaları

$^1\text{H-NMR}$ ve $^{13}\text{C-NMR}$ değerlerini hesaplamak için öncelikle 2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol bileşiğinin DFT/ B3LYP/ 6-311G++(d,p) temel seti ile optimize olmuş yapısını elde etmek gerekmektedir. Yapı elde edildikten sonra GIAO- NMR yaklaşımı ile CHCl_3 çözücülü ortamdaki kayma değerleri hesaplanmış ve elde edilen veriler, deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır.

Table 3. Bileşiğin seçilmiş deneysel ve teorik NMR kimyasal kayma değerleri (ppm)

Atomlar	Deneysel	B3LYP (CHCl_3)
C13H	5.84	6.310
O11H	12.63	4.202
C4H	7.90	8.155
C1H	6.95	6.947
C17H	1.67	1.415
C13	67.1	56.9
C3	116.9	138.4
C2	157.5	162.7
C16	28.4	53.1
C34	135.8	143.1

Bileşiğin karakterize piklerinden biri olan C13H piki deneysel olarak 5.84 ppm de görülürken, DFT/ B3LYP metoduyla olan hesaplamalarda 6.31 bulunmuştur. Bir diğer spesifik pik olan O11H piki deneysel olarak 12.63 kayma değerine sahipken hesaplamalar sonucunda 4.20 bulunmuştur. Alkilaminofenol türü bileşikler diğer fenolik yapılardan ayıran özellik spesifik OH pikidir. Bu pik

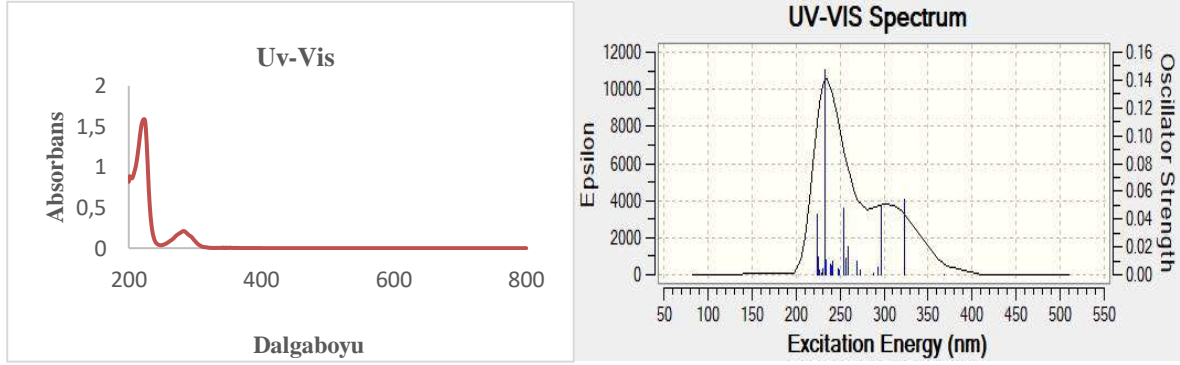
genellikle 12.00-13.00 ppm gibi bir aralıkta gözlenir. Hidroksil grubu içeren yapılara kıyasla beklenen aralık dışındadır. Molekül içi hidrojen bağları ve kimyasal yapısı, bu sapmaya neden olmaktadır.

3.4. UV-Vis Çalışmaları

Alkilaminofenol bileşiğinin Uv-Vis spektrumları etanol çözücülü ortamda alınmıştır. Deneysel absorpsiyon dalga boyları 282 ve 223 nm’de gözlenmiştir. Molekülün absorpsiyon spektroskopisinin uyarılma enerjileri, maksimum absorpsiyon yaptıkları dalga boyları(λ), osilatör kuvvetleri(f), etanol çözücü ortamında TD-SCF yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Heteroatomlu doymuş bileşiklerde (C=C) $\pi-\pi^*$ (223); bağ yapmayan elektron taşıyan heteroatomlu doymamış sistemlerde etkin olan $n-\pi^*$ (282 nm) geçişleri alkilaminofenol bileşiğimiz içinde önemlidir. Bu durumda; HOMO-1 den LUMO ya doğru $\pi-\pi^*$; HOMO-LUMO içinde karşılık gelen $n-\pi^*$ geçişleri görülmektedir.

Table 4. 2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol Bileşiğinin Deneysel ve Teorik Dalga Boyları, Elektronik Geçişler ve Osilatör kuvvetleri,

Deneysel Değerler		Teorik Değerler			
$\lambda_{max}(nm)$	absorbans	$\lambda_{max}(nm)$	Uyarma Enerjisi(eV)	$f_{(oscillator\ kuvveti)}$	Geçişler
223	1.59	322.9	3.839	0.0544	HOMO-1 - LUMO ($\pi-\pi^*$)
282	0.210	368.5	3.364	0.0003	HOMO - LUMO ($n-\pi^*$)



Şekil 3. a) Deneysel UV-Vis absorpsiyon spektrumu
b) TD-DFT- B3LYP/6-311++G(d,p) metodu ile çizilen Uv-Vis spektrumu

3.5. Mulliken Yükleri

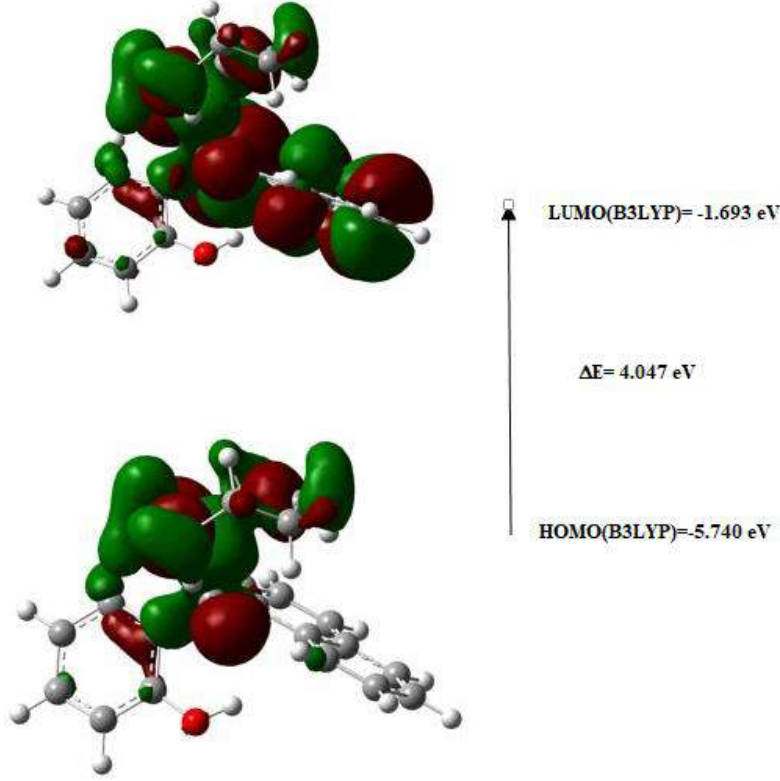
Mulliken yük dağılımı, popülasyon analizi yöntemlerinden en yaygınıdır. Atomik orbitallerin lineer kombinasyonu ile moleküler orbitallerin elde edilmesine dayanır. Ancak bu dağılım her bir elementin elektronegativitesini tam yansıtmaz. Bu nedenle, deneysel sonuçları nicel olarak tahmin etmekten ziyade nitel bazı tahminler yapmak için kullanılır. Mulliken yoğunluk analizi B3LYP/6-311G++(d,p) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir. Mulliken yükleri -0.577 ve 0.577 arasındadır. Alkilaminofenolün atomik yüklerine bakıldığında negatif yükün C2, O11, C1,13,15,16 atomlar etrafında, pozitif yükünde N33 ve C3 atomlarının etrafında olduğu görülmektedir.

Table 5. 2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol Bileşiğinin seçilen bazı atomları için Mulliken popülasyon yükleri

Atomlar	Mulliken(B3LYP)
C2	-0.333
O11	-0179
H12	0.290
C3	0.379
C1	-0.364
C13	-0.075
H14	0.232
N33	0.222
C34	0.110
C16	-0.222
C15	-0.577

3.6. Frontier Molekül Orbitaleri (FMO)

Bir molekülün moleküler reaktifliği(FMO), optik ve elektrik özelliklerinin tanımlanması ve de ışığın soğurabilirliğinin tanımlanmasında önemlidir. Moleküler orbital teorisine göre; tüm moleküller HOMO (En yüksek dolu moleküler orbital) ve LUMO' ya (En düşük boş moleküler orbital) sahiptir. Kimyasal reaksiyonlarda HOMO ve LUMO orbitalleri önemli rol oynadıkları için bu orbitaller öncü orbitaller olarak da adlandırılabilir. HOMO ve LUMO enerji değerleri arasındaki fark molekülün kimyasal kararlılığı konusunda fikir verir. Bileşimimiz için HOMO ve LUMO arasındaki enerji farkını gösteren yapılar Şekil 4'te verilmiştir. HOMO ve LUMO enerjileri sırasıyla -5.740 ve -1.693 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda ΔE enerji farkı da 4.047 eV olarak hesaplanmıştır. HOMO ve LUMO enerji değerleri kullanılarak bileşiğe ait fizikokimyasal parametreler Tablo 6'da verilmiştir.



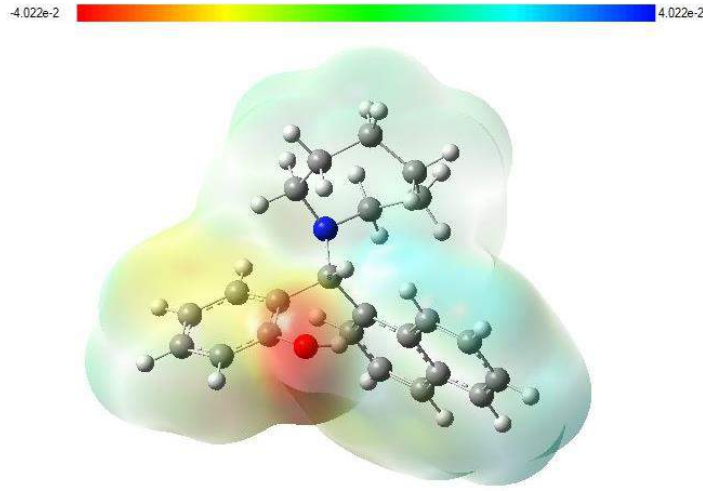
Şekil 4. Frontier moleküler orbitaller, HOMO-LUMO enerjileri

Tablo 6. B3LYP/ 6-311++G(d,p) yöntemiyle 2-(azepan-1-il(naftalen-1-il)metil)fenol bileşiğine ait hesaplanan HOMO, LUMO, ΔE , elektronegatiflik (χ) kimyasal sertlik (η), yumuşaklık (S) ve elektrofilik indeksi (ω)

Fizikokimyasal parametreler	B3LYP/6-311++G(d,p)
E(HOMO, eV)	-5.740
E(LUMO, eV)	-1.693
ΔE (eV)	4.047
χ	3.716
η	2.023
s	1.011
ω	3.413

3.8. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP)

Bileşimin üç boyutlu moleküler elektrostatik potansiyel yüzeyine bakıldığında enerji skalasının $+4.022 e^{-2}$ a.u. ve $-4.022 e^{-2}$ a.u. arasında olduğu görülür. Bu değerler; molekülün, kimyasal davranışı hakkında bilgi verir. Yapıya bakıldığında, negatif yükün hidroksil grubu etrafında toplandığı(kırmızı), pozitif kısmın da azot ve fenil protonları üzerinde yoğunlaştığı(mavi) görülmektedir. MEP yüzeylerinin belirlenmesi; molekül içi etkileşimler ve biyolojik özellikler hakkında bilgi vermesi yönüyle önemlidir.



Şekil 5. 2-(Azepan-1-il-(naftalen-1-il)metil)fenol'ün moleküler elektrostatik potansiyel yüzeyi ile total elektron yoğunluğu

4. Sonuç

Bu çalışmada, ilk kez alkilaminofenol türü 2-(azepan-1-il(naftalen-1-il)metil)fenol bileşiği oldukça yüksek verimle sentezlenmiştir. Bileşiğin yapı analizleri deneysel olarak FT-IR, NMR, UV-vis ile gerçekleştirilmiştir. Bu tür bileşiklere ait kuantum kimyasal hesaplamalar literatürde sınırlı olduğundan hem bu açığı kapatmak hemde bileşiğin deneysel verileri ile teorik verilerini kıyaslamak için DFT yöntemiyle bileşiğin fizikokimyasal parametreleri incelenmiştir. Bileşik hakkında atomik, elektronik, manyetik ve titreşimsel alanda bilgiler edinilmiştir. Teorik verilerle deneysel verilerin uyumlu olduğu görülmüştür. Molekülün atomik yapısından kaynaklanan bazı grupların yüksek elektronegatiflik içermesi, değerlerde azda olsa sapmaya neden olmuştur. Çünkü yüksek elektronegatiflik diğer faktörlerle birleştiğinde deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki korelasyonu etkilemektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından KUAP(F)-2016/5 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- Becke, A. D. (1988). Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. *Physical Review A*, 38(6), 3098–3100.
- Beisel, T., & Manolikakes, G. (2015). Palladium-Catalyzed Enantioselective Three-Component Synthesis of α -Substituted Amines. *Organic Letters*, 17(12), 3162–3165.
- Borisov, Y. A., & Akhrem, I. S. (2019). DFT B3LYP/6-311+G* calculation study of a new nonclassical mechanism of electrophilic functionalization of aromatic C–H bond via aryl cation formation. *Mendeleev Communications*, 29(3), 343–345.
- Candeias, N. R., Montalbano, F., Cal, P. M. S. D., & Gois, P. M. P. (2010). Boronic acids and esters in the petasis-borono mannich multicomponent reaction. *Chemical Reviews*, 110(10), 6169–6193.
- Chouguiat, L., Boulcina, R., Carboni, B., Demonceau, A., & Debache, A. (2014). A new and efficient one-pot synthesis of 2-hydroxy-1,4-dihydrobenzoxazines via a three-component Petasis reaction. *Tetrahedron Letters*, 55(37), 5124–5128.
- Cicerale, S., Lucas, L. J., & Keast, R. S. J. (2012). Antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory phenolic activities in extra virgin olive oil. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 129–135.
- Cuenú, F., Restrepo-Acevedo, A., Isabel-Murillo, M., Eduard Torres, J., Moreno-Fuquen, R., Abonia, R., ... Lehmann, C. W. (2019). Synthesis, structural characterization, and theoretical studies of new pyrazole (E)-2-[[5-(tert-butyl)-1H-pyrazol-3-yl]imino]methyl}phenol and (E)-2-[[1-(4-bromophenyl)-3-(tert-butyl)-1H-pyrazol-5-yl]imino]methyl}phenol. *Journal of Molecular Structure*, 1184, 59–71.
- Doan, P., Nguyen, T., Yli-Harja, O., Kandhavelu, M., Yli-Harja, O., Doan, P., ... Candeias, N. R. (2017). Effect of alkylaminophenols on growth inhibition and apoptosis of bone cancer cells. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 107(July), 208–216.
- Gomes, C. A., Girão Da Cruz, T. G., Andrade, J. L., Milhazes, N., Borges, F., & Marques, M. P. M. (2003). Anticancer Activity of Phenolic Acids of Natural or Synthetic Origin: A Structure-Activity Study. *Journal of Medicinal Chemistry*, 46(25), 5395–5401.
- Hosseinzadeh, R., Lasemi, Z., Oloub, M., & Pooryousef, M. (2017). A green protocol for the one-pot multicomponent Petasis boronic Mannich reaction using ball milling. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 14(2), 347–355.
- Jesus, A. J. L., Rosado, M. T. S., Reva, I., Fausto, R., Eusébio, M. E., & Redinha, J. S. (2006). Conformational study of monomeric 2,3-butanediols by matrix-isolation infrared spectroscopy and DFT calculations. *Journal of Physical Chemistry A*, 110(12), 4169–4179.
- Klopfenstein, S. R., Chen, J. J., Golebiowski, A., Li, M., Peng, S. X., & Shao, X. (2000). A practical synthesis of peptide mimetics via the solid-phase Petasis reaction. *Tetrahedron Letters*.
- Kotan, G., Albayrak, Ö., & Yüksek, H. (2018). Investigation of electronic, geometric and spectroscopic properties of triazol-5-one molecule. *Karadeniz Chem.Sci. Tech.*, 03(I), 1–7.

- Kotan, G., Medetalibeyoğlu, H., Beytur, M., Akyıldırım, O., & Yüksek, H. (2019). Synthesis and Theoretical Analyses of Novel 5 mercapto 2--(5 methyl furan 2 yl 1,3,4 thiadiazole Molecule. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(2), 1023–1034.
- Kotan, G., & Yüksek, H. (2019). Araştırma Makalesi Research Article Spektroskopik , Geometrik , Termodinamik ve Elektronik Analizi DFT (B3LYP/ B3PW91)/ HF of 3-Phenyl-5- (4-pyridyl) -1 , 2 , 4-triazole Molecule. *European Journal of Science and Technology*, (17), 933–943.
- Kucuk, I., Kaya, Y., & Kaya, A. A. (2017). Structural, spectroscopic (FT-IR, NMR, UV–visible), nonlinear optical (NLO), cytotoxic and molecular docking studies of 4-nitro-isonitrosoacetophenone (ninapH) by DFT method. *Journal of Molecular Structure*, 1139, 308–318.
- Liu, Y., Wang, L., Sui, Y., & Yu, J. (2010). Solvent-free synthesis of alkylaminophenols via petasis Boronic Mannich reaction in one pot without catalysts. *Chinese Journal of Chemistry*, 28(10), 2039–2044.
- Nageswari, G., George, G., Ramalingam, S., & Govindarajan, M. (2019a). Molecular analyses using FT-IR, FT-Raman and UV spectral investigation; quantum chemical calculations of dimethyl phthalate. *Journal of Molecular Structure*, 1195, 331–343.
- Naseem, S., Khalid, M., Tahir, M. N., Halim, M. A., Braga, A. A. C., Naseer, M. M., & Shafiq, Z. (2017). Synthesis, structural, DFT studies, docking and antibacterial activity of a xanthene based hydrazone ligand. *Journal of Molecular Structure*, 1143, 235–244.
- Neogi, S., Roy, A., & Naskar, D. (2010). One-pot synthesis of new substituted 1,2,3,4-tetrahydrocarbazoles via petasis reaction. *Journal of Combinatorial Chemistry*, 12(5), 617–629.
- Petasis, N. A., & Akritopoulou, I. (1993). The boronic acid mannich reaction: A new method for the synthesis of geometrically pure allylamines. *Tetrahedron Letters*, 34(4), 583–586.
- Prasad Reddy, B. R., Govardhana Reddy, P. V., Kumar, D. P., Reddy, B. N., & Shankar, M. V. (2016). Rapid synthesis of alkylaminophenols via the Petasis borono-Mannich reaction using protonated trititanate nanotubes as robust solid-acid catalysts. *RSC Advances*, 6(18), 14682–14691.
- Raja, M., Muhamed, R. R., Muthu, S., & Suresh, M. (2017a). Synthesis, spectroscopic (FT-IR, FT-Raman, NMR, UV–Visible), first order hyperpolarizability, NBO and molecular docking study of (E)-1-(4-bromobenzylidene)semicarbazide. *Journal of Molecular Structure*, 1128, 481–492.
- Shi, X., Hebrault, D., Humora, M., Kiesman, W. F., Peng, H., Talreja, T., ... Xin, Z. (2012). Acceleration of Petasis reactions of salicylaldehyde derivatives with molecular sieves. *Journal of Organic Chemistry*, 77(2), 1154–1160.
- Sundaraganesan, N., Ilakiamani, S., Saleem, H., Wojciechowski, P. M., & Michalska, D. (2005). FT-Raman and FT-IR spectra, vibrational assignments and density functional studies of 5-bromo-2-nitropyridine. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 61(13–14), 2995–3001.
- Tremblay-Morin, J. P., Raeppe, S., & Gaudette, F. (2004). Lewis acid-catalyzed Mannich type reactions with potassium organotrifluoroborates. *Tetrahedron Letters*, 45(17), 3471–3474.
- Ulaş, Y. (2019). Akıllı Malzemelerin Hazırlanmasında Kullanılacak Amin Türevi Monomerlerin Sentez ve Karakterizasyonu. *European Journal of Science and Technology*, 16, 242–246.
- Ulaş, Y., Özkan, A. İ., & Tolan, V. (2019). Yeni p-alkilaminofenol Bileşiklerinin Sentezi ve Antimikrobiyal ve Antioksidan Aktivitelerinin Araştırılması. *European Journal of Science and Technology*, 16, 701–706.
- Wang, J., Li, P., Shen, Q., & Song, G. (2014). Concise synthesis of aromatic tertiary amines via a double Petasis-borono Mannich reaction of aromatic amines, formaldehyde, and organoboronic acids. *Tetrahedron Letters*, 55(29), 3888–3891.
- Wolinski, K., Hinton, J. F., & Pulay, P. (1990). Efficient implementation of the gauge-independent atomic orbital method for NMR chemical shift calculations. *Journal of the American Chemical Society*, 112(23), 8251–8260.
- Wu, P., Givskov, M., & Nielsen, T. E. (2019). Reactivity and Synthetic Applications of Multicomponent Petasis Reactions . *Chemical Reviews*, 119(20), 11245–11290.
- Yu, A., Wu, Y., Cheng, B., Wei, K., & Li, J. (2009). A mild, one-pot synthesis of arylamines via palladium-catalyzed addition of aryl aldehydes with amines and arylboronic acids in water. *Advanced Synthesis and Catalysis*, 351(5), 767–771.



Çuha Çiçeği (*Oenothera biennis*) ve Tatlı Badem (*Prunus dulcis Mill*) Yağlarının Anti-enzim Aktivitelerinin Araştırılması

Ebru AKKEMİK^{1,2*}

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4177-4884)

² Siirt Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4177-4884)

(İlk Geliş Tarihi 14 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.689490)

ATIF/REFERENCE: Akkemik, E (2020). Çuha Çiçeği (*Oenothera biennis*) ve Tatlı Badem (*Prunus dulcis Mill.*) Yağlarının Anti-enzim Aktivitelerinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 583-590.

Öz

Çalışmamızda iki farklı enzim aktivitesi üzerine Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının etkileri ne olabilecek sorusu cevaplanmak istendi. Kullandığımız ilk enzim canlılarda CO₂'in hidratasyonu ve HCO₃⁻'in dehidratasyonunu dönüştürümlü olarak katalizleyerek, hücre içi bikarbonat tampon sistemini oluşturarak, birçok fizyolojik olayda oldukça önemli rol alan karbonik anhidraz I-II izoenzimleridir. İkinci enzim ise asetilkolin molekülünün ayrışmasını katalizleyen, kas hücresi ve sinir arasındaki sinapsta yer alan asetilkolinesteraz enzimidir. Her iki enzimin inhibitörleri, ilaç olma potansiyeli taşımaktadır. Bu nedenle belirtilen yağların inhibisyon etkisi araştırıldı. Bu amaçla ilk olarak karbonik anhidraz I-II izoenzimi sefaroze-4B-L-tirosin-sülfanilamid afinite kolonu ile saflaştırıldı. Ardından en az beş farklı inhibitör konsantrasyonunda enzim aktivitesi bakılarak Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ve tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri araştırıldı. Son olarak %aktivite-[I] grafiği çizilerek Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ve tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının IC₅₀ değerleri tespit edildi. İnsan eritrositlerinden karbonik anhidraz I izoenzimi %20,12 verimle 119 kat saflaştırılırken, karbonik anhidraz II izoenzimi %83,05 verimle 535,72 kat saflaştırıldı. Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) yağının karbonik anhidraz I-II ve asetilkolinesteraz enzim aktivitesi üzerindeki IC₅₀ değerleri sırasıyla 0,1950, 0,1406 ve 0,1097 mg/mL olarak, tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağının karbonik anhidraz I-II ve asetilkolin esteraz enzim aktivitesi üzerindeki IC₅₀ değerleri ise sırasıyla 0,0345, 0,0266 ve 0,0394 mg/mL olarak tespit edildi. Çalışmada kullanılan her iki yağ karşılaştırıldığında, tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağının her iki enzim aktivitesi üzerinde daha etkili olduğunu görülmektedir. Bu nedenle sentetik ilaçlar yerine tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağının söz konusu enzimlerin sebep olduğu hastalıkların tedavisinde takviye ilaç olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Asetilkolinesteraz, karbonik anhidraz, inhibisyon, *in vitro*

Investigation of Anti-enzyme Activities of Primrose (*Oenothera biennis*) and Sweet Almond (*Prunus dulcis Mill.*) Oils

Abstract

In our study, the question of what might be the effects of Primrose (*Oenothera biennis*) and sweet almond (*Prunus dulcis Mill.*) oils on two different enzyme activities was asked. The first enzyme in our study is carbonic anhydrase I-II isoenzymes that play a very important role in many physiological events, by transforming catalysis of CO₂ hydration and HCO₃⁻ dehydration in living things, by creating an intracellular bicarbonate buffer system. The second enzyme, the acetylcholinesterase enzyme, which was located in the synapse between the muscle cell and nerve, catalyzes the decomposition of the acetylcholine molecule. Inhibitors of both enzymes have the potential to be drugs. Therefore, the inhibition effect of the specified oils was investigated. For this purpose, the first carbonic anhydrase I-II isoenzyme was purified by the sepharose-4B-L tyrosine-sulfonamide affinity column. Then, by looking at enzyme activity in at least

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID: 0000-0002-4177-4884
ekkemik@siirt.edu.tr

five different inhibitor concentrations, effects of evening primrose (*Oenothera biennis*) and sweet almond (*Prunus dulcis Mill.*) oils on enzyme activities were investigated. Finally, IC₅₀ values of Primrose (*Oenothera biennis*) and sweet almond (*Prunus dulcis Mill.*) oils were determined by drawing activity%-[I] graph. Carbonic anhydrase I isoenzyme was purified from human erythrocytes 119 times in 20.12% yield, while carbonic anhydrase II isoenzyme was purified 535.72 times in 83.05% yield. IC₅₀ values of the primrose oils (*Oenothera biennis*) on carbonic anhydrase I-II and acetylcholinesterase enzyme activity were 0,1950, 0,1406 and 0,1097 mg / mL, respectively. IC₅₀ values of the sweet almond oil (*Prunus dulcis Mill.*) on carbonic anhydrase I-II and acetylcholine esterase enzyme activity were 0.0345, 0.0266 and 0.0394 mg/mL respectively. When both oils used in the study are compared, we see that sweet almond oil (*Prunus dulcis Mill.*) is more effective on both enzyme activities. Therefore, instead of synthetic drugs, sweet almond (*Prunus dulcis Mill.*) oil is thought may be used as a supplement in the treatment of diseases caused by the enzymes in question.

Keywords: Acetylcholinesterase, carbonic anhydrase, inhibition, *in vitro*

1. Giriş

Tüm kısımları yenibilen Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*), Onagraceae familyasına ait otuzun üzerinde ülkede ticari üretimi yapılan bir bitkidir (NTP, 2009; Kaya, 2010). Sadece geceleri çiçek açan Çuha çiçeği, gecesefası, yabancı gecesefası, kır çuha çiçeği, ateş bitkisi, gece yakı otu, kralların panzehiri ve geniş çan çiçeği isimleri ile de bilinir (Jennifer ve ark., 2001; Kaya, 2010). Bitki kadar bitkiden elde edilen yağıda değerlidir. Soğuk pres, çözücü ekstraksiyonu veya süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu yöntemleri kullanılarak elde edilen Çuha çiçeği yağının üretiminde Çin başı çekmektedir (Favati ve King 1991; Jennifer ve ark., 2001; Kaya, 2010). Çuha çiçeği yağı gama linoleik asit (Jennifer ve ark., 2001; Birch ve ark., 2001; NTP, 2009; Kaya, 2010,) içeren antioksidan, antiinflamatuvar, antikoagülan ve immünomodülatör bir yağdır (Jennifer ve ark., 2001; Birchve ark., 2001; Ismail ve ark., 2008; Riaz ve ark., 2009; Kaya, 2010). Öksürük, astım, romatoid artrit ve deri hastalıklarında da kullanıldığı belirtilmiştir (Hederos ve Berg, 1996; Ammar ve ark 2000). Gıda endüstrisinde başta kuruyemiş olarak tüketilmesinin yanında farklı kullanım alanları da bulan tatlı badem ise (*Prunus dulcis Mill.*) Rosaceae familyasının Prunoideae alt familyasında yer alan bir meyve türüdür (Akalin, 1952; Bayrak ve Yılmaz, 2009). Soğuk pres, çözücü ekstraksiyonu veya süperkritik ekstraksiyon gibi farklı yöntemler ile elde edilen yağ en az meyvesi kadar faydalıdır (Ronceroa ve ark., 2016). Orjinine göre değişmekle birlikte tatlı bademin yaklaşık %50 oranında yağ içerdiği ve bu yağın omega-9 ve omega 6 yağ asitleri bakımından zengin olduğu ifade edilmiştir (Balta, 2013; Ronceroa ve ark., 2016). Badem yağının dermatolojik (Sultana ve ark., 2007; Ahmad, 2010), anti-enflamatuar, anti-hepatotoksiste ve anti-kanser (Davis ve Iwahashi 2001; Zohary ve Hopf 2001; Hyson ve ark., 2002; Jenkins ve ark., 2002; Sultana ve ark., 2007; Ahmad, 2010) etkilerinin olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca kolesterolü düşürdüğü ve kardiyovasküler hastalıklarda da etkili olduğu belirtilmiştir (Spiller ve ark., 1998; Chen ve ark., 2006; Jenkins ve ark., 2006). Yapılan literatür çalışmaları neticesinde Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının karbonik anhidraz I-II ve asetilkolin esteraz enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerinin araştırılmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle iki farklı yağ örneğinin çeşitli hastalıklar ile bağlantılı olan karbonik anhidraz I-II ve asetilkolin esteraz enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerinin ne olabileceği sorusu bu çalışmada cevaplanmak istenmiştir.

Ökaryot ve prokaryotlarda görülen, birbirinden bağımsız yedi farklı gen ailesi tarafından kodlanan karbonik anhidraz (CA, E.C.4.2.1.1) enzimi bir metalo enzimdir (Gul ve ark., 2017a; Vullo ve ark 2017; Kocyigit ve ark., 2019). İnsanda sadece aktif merkezinde Zn²⁺ iyonu bulunduran α-CAs bulunmaktadır (Gul ve ark., 2017b; Topal ve ark., 2017; Kocyigit ve ark., 2019). Bazı CA izoformları insan vücudunda birçok kritik noktadaki fizyolojik olaylarda etkin rol oynarlar (Kocyigit ve ark., 2019). Metabolizmada görev alan enzimlerin, daha fazla ya da daha az aktiviteye sahip olması farklı metabolik yollarda çeşitli problemlere yol açmaktadır (Bıçakçı, 2015). Benzer şekilde enzimlerin normalde bulunmaları gereken hücrelerin dışında farklı bir dokuda olmaları veya daha fazla ya da az eksprese olmaları halinde çeşitli hastalıkların oluştuğu anlaşılmaktadır (Özaslan ve Sivri, 1998). Bu nedenle CA izoenziminin inhibisyonu veya aktivasyonu oldukça önemlidir. Hatta hCA izoenzimlerinin inhibitörlerinin epilepsi, glukoma ve ödemin yanı sıra son dönemde oldukça problem olan obezite ve kanser tedavisinde de kullanılabileceği belirtilmektedir (Boztaş M ve ark., 2015; Taslimi ve ark., 2016a; Akıncioğlu ve ark., 2015; Gülçin ve ark., 2016; Göksu ve ark., 2016). Bugün literatürde bilinen CA inhibitörleri, sülfonamidler, asetazolamidler, dorzolamidler, metazolamidler ve brinzolamidlerdir (Supuran, 2007; Krasavin ve ark., 2016; Gokcen ve ark., 2017). Ancak bu inhibitörler sentetik kimyasallardır ve birçok yan etkiye sahiptirler (Smirnovienė ve ark., 2017; Kocyigit ve ark., 2019) bu nedenle CA izoenzimlerinin yeni inhibitörleri aranmaya devam etmektedir. Çalışma konusu olan diğer enzimimiz ise Asetilkolinesteraz (AChE, E.C.3.1.1.7) enzimidir. Kas hücresi ve sinir arasındaki sinapta yer alan AChE, asetilkolin molekülünün (ACh) hidrolizinden sorumludur (Darvesh ve ark., 2008). Çoğunlukla yaşlı insanlarda görülen neurodegenerative bir hastalık olan (Tarawneh ve Holtzman, 2012; Habtemariam, 2019) Alzheimer hastalığında (AH), beyin ve hipokampus kortekslerinde ACh seviyesi azalmaktadır (Akıncioğlu ve ark., 2014). AChE enzimi AH ile olan ilişkisi nedeniyle bugün birçok araştırmanın konusu olmuştur (Aksu ve ark., 2016). AH ilaçlarının AChE enzim aktivitesi üzerinde inhibisyon etkisi göstermesi, (Aksu ve ark., 2016) etkili bir tedavi için AChE enziminin inhibitörlerinin araştırılmasına sebep olmuştur (Taslimi ve ark., 2016b). Donepezil, rivastigmine ve galantamin AH tedavisinde kullanılan AChE enziminin inhibitörleridir. Ancak bazı hastalarda sınırlı yararlarının olmasının yanı sıra birçokta yan etkiye sahip oldukları ifade edilmiştir (Habtemariam, 2019). AChE doğal inhibitörü olarak farklı ailelerden çeşitli bitki türleri çalışılmıştır, başta kardelen olmak üzere Nergisgiller (*Amaryllidaceae*), Lycopodiaceae ve Kuzukulağıgiller (*Polygonaceae*) en çok çalışılan bitki grubudur (Santos ve ark., 2018).

Doğal ürünlerin sentetik ürünler yerine giderek tercih edildiği de yadsınmaz bir gerçektir. Bir kimyasal sentezlemek hem pahalı hem de uzun bir süreç gerektirmektedir. Bu nedenle doğal ürünlerin enzimler üzerindeki etkileri araştırılarak etkili konsantrasyonu belirlenerek fitoterapi kapsamında hastalıkların tedavisinde kullanılmalıdır. Çalışmamız kapsamında Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının hCA I-II ve AChE enzimleri üzerindeki etkileri ilk kez araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Sefaroz-4B, sülfanilamid, Tris, Na₂SO₄, NaCl, Na₂HPO₄, NaCH₃COO, NaClO₄, p-nitrofenil asetat, etilendiamin tetra-asetik asit (EDTA), asetilkolin iyodat, 5,5'-ditiobis (2-nitrobenzoik asit), sodyum sitrat ve Asetilkolinesteraz; Sgma-Aldrich Chemie GmbH İhracat Departmanı Eschenstrasse 5, 82024 Taufkirchen, Almanya'dan, Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ve tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağı; yerel pazarlardan, L-tirosin; Merck'ten KGaA Frankfurter strasse 250, D-64293 Darmstadt Germany, çalışmada kullanılan diğer kimyasallar ve çözücüler Merck (KGaA Frankfurter strasse 250, D-64293 Darmstadt Germany) ya da Sgma-Aldrich (Chemie GmbH İhracat Departmanı Eschenstrasse 5, 82024 Taufkirchen, Almanya)'den temin edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Yağ Ekstrelerinin Hazırlanması

Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının stok çözelti 1 mg/mL olacak şekilde %96'luk Etanolde seyreltildi. Çalışma sırasında kullanılan seyreltmeler için saf su kullanıldı. (Akkemik ve ark., 2017).

2.2.2. İnsan Eritrosit Karbonik Anhidraz İzoenzimlerinin Saflaştırılması

İlk olarak insan eritrosit çözeltisinden 10 mL alınarak beş katı kadar buzlu su ile hemoliz olması sağlandı. Hemoliz olan çözelti 4°C'de 10.000 xG'de 60 dakika santrifüj (Thermo Scientific/Megafuge 16R) edilerek çökelek atıldı (Akkemik ve ark., 2017; Akkemik ve ark., 2018). Süpernatant saflaştırma işlemine kullanılmaya kadar 4°C'de saklandı. Hemolizatin pH'sı katı Tris ile 8,7 ayarlandı (Akkemik ve ark., 2017; Adem ve ark., 2019). Ardından elde edilen hemolizat önceden dengelenen (dengeleme tamponu: 25 mM Tris-HCl/100 mM Na₂SO₄ (pH: 8.7)) sefaroz-4B-L-tirosin-sülfanilamid afinite kolonuna yüklendi. Kolon safsızlıkları uzaklaştırmak için (yıkama tamponu: 25 mM Tris-HCl/22 mM Na₂SO₄ (pH 8.7)) yıkama tamponu ile 280 nm'deki absorbans farkı 0,05 oluncaya kadar yıkandı. Son olarak karbonik anhidraz I ve II izoenzimleri (hCA I için; 1.0 M NaCl/25 mM Na₂HPO₄ (pH 6,3) hCA II için; 0,1 M NaCH₃COO/0,5 M NaClO₄ (pH 5.6)) elüsyon tamponları ile elüe edildi (Akkemik ve ark., 2017; Akkemik ve ark., 2019). Saflaştırılan hCA I ve hCA II izoenzimleri ayrı ayrı 50 mM Tris-SO₄ (pH 7,4) tamponuna karşı 24 saat diyaliz edildi (Akkemik ve ark., 2017). Enzim saflığı SDS-PAGE (Laemmli, 1970) ile protein miktarı Bradford (Bradford, 1976) yöntemi ile kontrol edildi.

2.2.3. hCA I-II İzoenzimlerinin Aktivitesinin Belirlenmesi

Enzim aktivitesi 348 nm'de spektrofotometrik (Shimadzu UV-1280 Spektrofotometresi) olarak belirlendi. Bu yöntemde substrat olarak p-nitrofenil asetat kullanılmaktadır (Verpoorte ve ark., 1967).

2.2.4. İnsan Eritrosit Asetilkolin Esteraz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi

AChE'nin aktivitesinin belirlenmesinde spektrofotometrik yöntem olan Ellman ve ark., (1961) yöntemi kullanıldı. Bu yöntemde asetilkolin iyodat substrat olarak kullanıldı. Küvet içi konsantrasyonları 0,1 M Tris-HCl, 0,5 mM EDTA pH:8,0, 0,5 mM asetilkolin iyodat, 0,025 mM 5,5'-ditiobis (2-nitrobenzoik asit), %0,05 sodyum sitrat olacak şekilde hazırlanan çözeltiye 5,32x10⁻³ U asetilkolinesteraz enzimi ilave edilerek 412 nm de absorbans ölçüldü (Polat ve ark., 2015; Kocyiğit ve ark., 2019).

2.2.5. İnhibison Çalması

İnsan eritrosit CA-I, CA-II izoenzimlerinin ve AChE enziminin aktiviteleri üzerine Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının etkileri *in vitro* şartlarda araştırıldı. Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının her birinin beş farklı konsantrasyonunda enzim aktivitesi bakıldı (Ellman ve ark., 1961; Verpoorte ve ark., 1967). Yağ içermeyen aktivite ölçümü kontrol olarak kabul edildi (%100 aktivite). Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağların konsantrasyonlarına karşı %aktivite grafiği çizildi. Elde edilen grafikten IC₅₀ değerleri tespit edildi (Ellman ve ark., 1961; Verpoorte ve ark., 1967; Akkemik ve ark., 2017; Kocyiğit ve ark., 2019).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Canlı organizmalardaki pH düzenleme rolleri ile ana tanpon sistemini oluşturan CA'lar birçok biyosentetik reaksiyonda görev almaktadırlar (Scozzafava et al., 2006; Supuran, 2008). Dahası bu enzimler hastalık belirteci veya hastalık faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır (Scozzafava et al., 2006; Supuran, 2008; Aggarwal, 2013; Akkemik et al., 2018). Bu nedenle memelilerde 16 izoenzimi bulunan CA'ların inhibitörleri glukoma, epilepsi, kanser, gastrit ve nörolojik hastalıklar gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Scozzafava et al., 2006; Supuran, 2008; Aggarwal et al., 2013). Bunun sonucu olarakta birçok araştırmacı CA'ların inhibitörlerini veya aktivatörlerini sentezlemektedir. Ancak bir kimyasalın ilaç olarak sentezlenmesi için klinik öncesi ve sonrası çalışmaların tamamlanması, insan denekler üzerinde çalışmaların pozitif sonuçlar vermesi gerekmektedir. Bu süreç hem maddi kayıba hemde çok zaman harcamaya sebep olmaktadır (Anonim, 2020). Bu nedenle birçok araştırmacı doğal ürünlerin ilaç olarak değerlendirilebilmesi için sentez yerine etken madde izolasyonu, ya da direk olarak bitki ekstraktlarının sekonder metabolitleri sayesindeki farmakolojik etkilerini tespit etmeye çalışmışlardır (Bangou ve ark. 2011; Gülçin ve ark., 2016; Adem ve ark., 2019; Akkemik ve ark., 2019). Bu çalışmada ise çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) ile tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağlarının hCA I ve

hCA II enzim aktivitesi üzerindeki etkileri *in vitro* şartlarda araştırıldı. Bu amaçla ilk olarak insan eritrositlerinden hCA I izoenzimi %20,12 verimle 119 kat saflaştırılırken hCA II izoenzimi %83,05 verimle 535,72 kat saflaştırıldı (Tablo 1). Enzimin saflaştırıldığı SDS-PAGE ile kontrol edildi. Karbonik anhidraz izoenzimleri daha önce ekibimiz tarafından birçok kez saflaştırılmıştır (Akkemik ve ark., 2017; Akkemik ve ark., 2018; Adem ve ark., 2019).

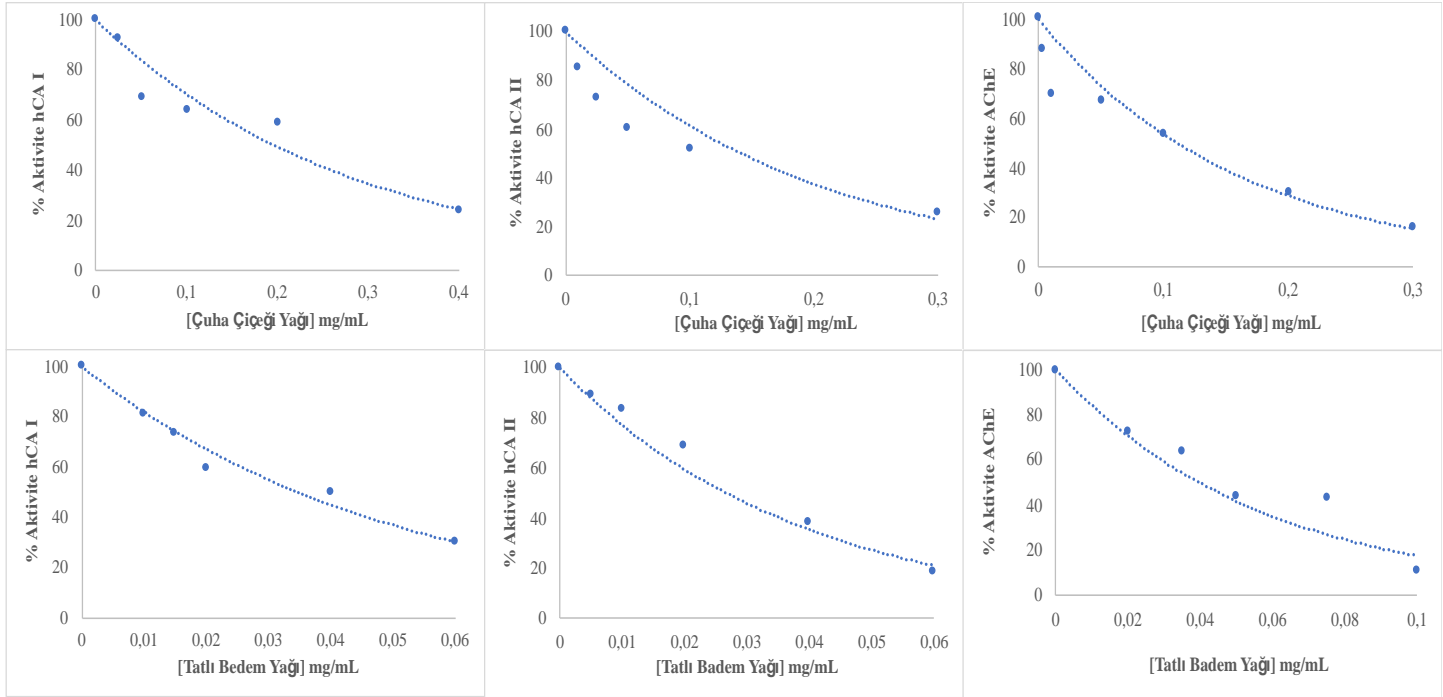
Tablo 1. Karbonik Anhidraz I ve II İzoenzimlerinin Saflaştırma Tablosu

Saflaştırma Basamakları	Aktivite (EÜ/mL)	Protein Miktarı (mg/mL)	Hacim (mL)	Toplam Aktivite (EÜ)	Toplam Protein (mg)	Spesifik Aktivite (EÜ/mg)	Saflaştırma Katsayısı	% Verim
Hemolizat	0,00273	44540,98	40	0,1093	1781639,3	6,13667E-08	1	100
hCA I	0,0022	300,984	10	0,0220	3009,8361	7,30937E-06	119,110	20,12
hCA II	0,01513	460,328	6	0,0908	2761,9672	3,28751E-05	535,72	83,05

İnsan eritrositlerinden saflaştırılan hCA I-II ve asetilkolinesteraz enzimlerinin aktivitesi üzerine çuha çiçeği ve tatlı badem yağlarının *in vitro* şartlarda inhibisyon etkisi gösterdiği tespit edildi (Şekil 1, Tablo 2). Tatlı badem yağının hCA II enzim aktivitesi üzerinde en yüksek inhibisyon etkisini gösterdiği (IC_{50} 0,0266 mg/mL) genel olarak çalışılan her iki enzim üzerinde tatlı badem yağının daha etkili olduğu tespit edildi. Çuha çiçeği yağının karbonik anhidraz izoenzimleri ve AChE enzimi üzerindeki etkileri karşılaştırıldığında AChE enzimi üzerinde (IC_{50} 0,1097 mg/mL) daha etkili olduğu tespit edildi (Şekil 1, Tablo 2).

Tablo 2. Çuha Çiçeği ve Tatlı Badem Yağının Anti-enzim Aktivitesi

Inhibitör Madde	IC_{50} (mg/mL)					
	hCA-I	R^2	hCA-II	R^2	AChE	R^2
Çuha Çiçeği Yağı	0,1950	0,9414	0,1406	0,8589	0,1097	0,9549
Tatlı Badem Yağı	0,0345	0,9718	0,0266	0,9769	0,0394	0,8420



Şekil 1. Çuha Çiçeği ve Tatlı Badem Yağının hCA I-II ve AChE Enzim Aktiviteleri Üzerindeki Etkileri

Literatüre baktığımızda bitki ekstralarının enzimlerin aktiviteleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı birçok çalışma olduğu görülmektedir (Oluba et al., 2007; Bangou, 2011; Sacan ve Yıldız, 2014; El-Hadary ve Ramadan, 2019). Dahası karbonik anhidraz enzim aktivitesi üzerine siyah, beyaz ve bitkisel çayların, tarhunun, çakşır'ın, çiriş'in, ışkının, eşek çakşır'ının, cefan kavun çekirdek ekstresinin inhibisyon etkileri araştırılmıştır (Yurtvermez, 2016; Sevim, 2018; Akkemik 2019). Çuha çiçeği yağının hCA I ve hCA II enzim aktivitelerindeki IC_{50} değerleri sırasıyla 0,1950 ve IC_{50} 0,1406 mg/mL olarak tespit edildi (Şekil 1, Tablo 2). Çuha çiçeğinin hCA II enzim aktivitesi üzerinde daha yüksek bir inhibisyon göstermesinin yanı sıra iki izoenzim üzerinde de yakın bir inhibisyon sergilediği ve Çuha çiçeği yağının karbonik anhidrazın söz konusu iki izoenzimi için seçimli bir inhibisyon etkisi göstermediği tespit edildi.

Tatlıbadem yağının hCA I ve hCA II enzim aktivitelerindeki IC₅₀ değerleri sırasıyla 0,0345 ve 0,0266 mg/mL olarak tespit edildi (Şekil 1, Tablo 2). Tatlıbadem yağının hCA II enzim aktivitesi üzerinde daha yüksek bir inhibisyon göstermesinin yanı sıra iki izoenzim üzerinde de yakın bir inhibisyon sergilediği belirlendi. Ancak mikro seviyede bir inhibisyon etkisi göstermesi nedeniyle hCA I-II'nin sebep olduğu hastalıklarda tatlı badem yağının tedavi etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Yunan ve Romalı filozofların bıraktığı kaynaklar incelendiğinde Alzheimer hastalığının ilk tanısının konulduğu tarihten ziyade daha eskilere dayandığı belirtilmiştir (Berchtold ve Cotman 1998). Alzheimer hastalığı ile mücadele için hastalığın sebepleri araştırılmaktadır. Alzheimer hastalarının beyinlerinin neokorteks ve hipokampus bölgelerinin, b-amiloid plakların (Glennner ve Wong 1984a, Glennner ve Wong 1984b) hücre dışı birikintilerinden ve nörofibriller yumakların hücre içi birikintilerinden (Wiśniewski ve ark 1976; Goedert 1989) etkilendiği ifade edilmiştir (Hostettmann ve ark., 2006). Alzheimer hastalarının beyinlerinde kolinerjik kayıp, önemli kimyasalların dengesinin bozulması ve programlanandan daha önce belirgin şekilde hücre kayıplarının olmasını söyleyebiliriz (Drachman ve Leavitt, 1974; Perry ve ark., 1977; Whitehouse ve ark., 1982). Asetilkolin esteraz enziminin inhibitörlerinin (takrin, donepezil, rivastigmine ve galantamine) bu hastalığın tedavisinde kullanıldığı belirtilmektedir (Selkoe 1992; Schumock 1998; Grutzendler ve Morris 2001; Zarosky ve ark., 2003). Asetilkolin esteraz enziminin inhibitörleri enzimin substratı olan asetilkolin yıkımını engelleyerek kolinerjik iletimini artırmaktadır (Sharma, 2019). Asetilkolin esteraz enziminin dönüşümlü ve dönüşümsüz inhibitörleri mevcuttur (Lin ve ark., 1998; Fulton ve Key 2001). Ancak enzimin dönüşümsüz inhibitörleri oldukça toksiktir (Fulton ve Key 2001; Costa 2006). Enzimin inhibitörlerinin Myastenia Gravis ve glokom hastalıklarında da kullanıldığı ifade edilmiştir (Quinn 1987; Rahman A and Choudhary 2001). Asetilkolin estereaz enziminin inhibitörlerinin çok sayıda yan etkisi olması ve istenen etkiyi tam olarak sergilememesi farklı inhibitörlerinin sentezlenmesine veya araştırılmasına neden olmuştur (Lin ve ark., 1998). Asetilkolinesteraz enziminin çok sayıda doğal kaynaklı inhibitörleri araştırılmıştır (Hostettmann ve ark., 2006). Bu inhibitörler içerisinde çay ağacı yağı, nane yağı, misket limonu yağı, melisa yağı ve adaçayı yağı gibi bazı esansiyel yağlarda vardır (Perry ve ark., 1996; Miyazawa ve ark., 1998; Perry ve ark., 2000; Mills ve ark., 2004; Hostettmann ve ark., 2006). Dahası Çuha çiçeğinin bitki ekstresinde AChE enzim aktivitesi üzerinde inhibisyon etkisi gösterdiği ve IC₅₀ değerinin 20,09 µg/mL olduğu ifade edilmiştir (Lee ve ark., 2017). Çuha çiçeğinin bitki ekstresinin yağ ekstresine (IC₅₀ 0,1097 mg/mL) göre daha yüksek bir inhibisyon etkisi gösterdiği literatürdeki veri kıyaslanarak söylenebilir.

Bu çalışmada Çuha çiçeği ve tatlı badem yağlarının asetilkolin estereaz enziminin aktivitesi üzerindeki etkilerini *in vitro* şartlarda araştırıldı. Elde edilen verilere göre tatlı badem yağı (IC₅₀ 0,0394 mg/mL), çuha çiçeği yağına (IC₅₀ 0,1097 mg/mL) göre AChE enzim aktivitesi üzerinde daha etkili bir inhibisyon etkisi gösterdi. Bu çalışma neticesinde erken tanı veya orta seviye Alzheimer hastalığı tedavisinde yan etkileri olan sentetik ilaçlar yerine tatlı badem yağının klinik öncesi ve sonrası çalışmaları tamamlanarak doğal ilaç olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

4. Sonuç

Karbonik anhidraz ve asetilkolinesteraz enziminin inhibitörleri birçok hastalıkta ilaç olarak kullanılmaktadır. Ancak mevcut inhibitörlerin çok sayıda yan etkilerinin olması ya da her hastada istenen etkiyi göstermemesi nedeniyle belirtilen enzimlerin inhibitörleri gerek sentezlenerek gerekse doğal bitki ekstraktları kullanılarak araştırılmaya devam etmektedir (Bangou ve ark. 2011; Aksu ve ark., 2016; Gülçin ve ark., 2016; Adem ve ark., 2019; Akkemik ve ark., 2019). Bu çalışmada ilk kez çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) yağı'nın karbonik anhidraz I-II ve asetilkolin esteraz enzim aktivitesi üzerindeki (IC₅₀ 0,1950, 0,1406 ve 0,1097 mg/mL) etkileri *in vitro* şartlarda araştırıldı. Çuha çiçeği (*Oenothera biennis*) yağı'nın söz konusu enzimler üzerinde yakın bir inhibisyon etkisi gösterdiği tespit edildi. Tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağının karbonik anhidraz I-II ve asetilkolin esteraz enzim aktivitesi üzerindeki IC₅₀ değerleri ise sırasıyla 0,0345, 0,0266 ve 0,0394 mg/mL olarak belirlendi. Çalışmada kullanılan her iki yağ karşılaştırıldığında tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağının IC₅₀ değerinin mikro seviyede olması nedeniyle, her iki enzim aktivitesi üzerinde daha etkili olduğu ortaya çıktı. Bu nedenle sentetik ilaçlar yerine tatlı badem (*Prunus dulcis Mill.*) yağının söz konusu enzimlerin sebep olduğu hastalıkların tedavisinde takviye ilaç olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Adem, S., Akkemik, E., Aksit, H., Guller, P., Tüfekci, A.R., Demirtas, İ., Ciftci, M. (2019). Activation and inhibition effects of some natural products on human cytosolic CAI and CAII. *Medicinal Chemistry Research*, 28:711–722.
- Aggarwal, M., Kondeti, B., McKenna, R. (2013). Insights Towards Sulfonamide Drug Specificity in A-Carbonic Anhydrases. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 21(6): 1526-1533.
- Ahmad, Z. (2010). The uses and properties of almond oil. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 16(1), 10-12 4.
- Akalın, Ş. (1952). Büyük bitkiler kılavuzu. Cilt 1, Güzel Sanatlar Matbaası, 628s Ankara.
- Akcıoğlu, A., Akcıoğlu, H., Gül.in I, Durdağı, S., Supuran, C.T., Göksu, S. (2015). Discovery of potent carbonic anhydrase and acetylcholine esterase inhibitors: novel sulfamoylcarbamates and sulfamides derived from acetophenones. *Bioorg Med Chem* 23(13):3592-602
- Akcıoğlu, A., Topal, M., Gülçin, I., Göksu, S., (2014). Novel Sulphamides and Sulphonamides Incorporating the Tetralin Scaffold as Carbonic Anhydrase and Acetylcholine Esterase Inhibitors. *Arch Pharm* 347:1, 68-76.
- Akkemik, E., Aybek, A., Felek, I. (2019). Effects of Cefan Melon (*Cucumis Melo L.*) Seed Extracts on Human Erythrocyte Carbonic Anhydrase I-II Enzymes. *Applied Ecology And Environmental Research*, 17(6):14699-14713.
- Akkemik, E., Cicek, B., Camadan, Y., Calisir, U., Onbasioglu, Z. (2018). The determination of the carbonic anhydrase's activators in vitro effect of mixed donor crown ethers. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 32(3): e22032.
- Akkemik, E., Çalışır, Ü., Çiçek, B. (2017). İnsan karbonik anhidraz I,II izoenzim aktiviteleri üzerine bazı tiyocrown eterlerin etkisi. *J. BAUN Inst. Sci. Technol*, 19(2), 192-199.

- Aksu, K., Özgeriş, B., Taslimi, P., Naderi, A., Gülçin, I., Göksu, S. (2016). Antioxidant Activity, Acetylcholinesterase, and Carbonic Anhydrase Inhibitory Properties of Novel Ureas Derived from Phenethylamines. *Arch Pharm* 349(12):944-954.
- Ammar, N.M., Soroor, K.H.A., Mohammed, D.A. (2000). Impact of natural oils supplements on disease activity and antioxidant state of Egyptian patients with rheumatoid arthritis. *MJIAS*; 13: 161-171.
- Anonim, (2020). <https://www.pfizer.com.tr/arge/yeni-ila%C3%A7-geli%C5%9Firme-s%C3%BCreci>, 14.02.2020, 18:36
- Balta, M.F. (2013). Fatty acid profiles for almond [*Prunus amygdalus Batsch*] genotypes with different kernel taste and formation. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. Tech*, 3(1), 17-24. 3.
- Bangou, J. M., Kiendrebeogo, M., Compaore, M., Coulibaly, A. Y., Roland Meda, N. T., Abarka Almaraz, N., Zeba, B., Millogo-Rasolodimby, J., Nacoulma, O.G. (2011). Enzyme inhibiting effect and polyphenolic content of medicinal plant extracts from Burkina Faso. *Journal of Biological Sciences*, 11(1): 31-38.
- Bayrak, S., Yılmaz, Ö. (2009). Ceviz- Badem yetiştiriciliği. *Rekma Reklam ve Tanıtım Ltd. Şti.*, 321s Ankara.
- Berchtold, N. C., and Cotman. C.W. (1998). Evolution in the conceptualization of dementia and Alzheimer's disease: Greco-Roman period to the 1960s. *Neurobiol Aging* 19(3) 173-189,
- Bıçakçı, Z. (2015). Acute Hepatitis-A Infection Induced Anemia in Concurrence of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase Deficiency and Thalassemia Trait: A Case Report, *Kafkas J Med Sci Kafkas J Med Sci* 2015; 5(1):31-35.
- Birch, A.E., Fenner, G.P., Watkins, R., Boyd, L.C. (2001). Antioxidant properties of evening primrose seed extracts. *J Agric Food Chem*, 49: 4502-4507.
- Boztaş, M., Çetinkaya, Y., Topal, M., Gülçin, I., Menzek, A., Şahin, E., Tanc, M., Supuran, C.T. (2015). Synthesis and carbonic anhydrase isoenzymes I, II, IX, and XII inhibitory effects of dimethoxybromophenol derivatives incorporating cyclopropane moieties. *J Med Chem* 58 (2), 640-650.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72:248-54
- Chen, C.Y., Lapsley, K., Blumberg, J. (2006). A nutrition and health perspective on almond. *J. Sci. Food Agric.* **86**, 2245-2250.
- Costa, L.G. (2006). Current issues in organophosphate toxicology. *Clinica Chimica Acta*, 366, 1-13.
- Darvesh, S., Darvesh, K.V., McDonald, R.S., Mataija, D., Walsh, R., Mothana, S., Lockridge, O., Martin, E. (2008). Carbamates with differential mechanism of inhibition toward acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. *J Med Chem*, 51(14):4200-12.
- Davis, P.A., Iwahashi, C.K. (2001). Whole almonds and almond fractions reduce aberrant crypt foci in a rat model of colon carcinogenesis. *Cancer. Lett*, 165(1):27-33
- Drachman, D.A., Leavitt, J. (1974). Human Memory and the Cholinergic System A Relationship to Aging? *Arch Neurol.* 30(2):113-121
- El-Hadary, A.E., Ramadan, M.F. (2019). Phenolic profiles, antihyperglycemic, antihyperlipidemic, and antioxidant properties of pomegranate (*Punica granatum*) peel extract. *Journal of Food Biochemistry*, e12803.
- Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres, V., Featherston, R.M. (1961). A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity, *Biochem Pharmacol* 7:88-95.
- Favati, F., King, J.W., Mazzati, M. (1991). Supercritical carbon dioxide extraction of evening primrose oil. *JAOCS*, 68: 422-427.
- Fulton, M.H., and Key, P.B. (2001). Acetylcholinesterase Inhibition In Estuarine Fish and Invertebrates As an Indicator of Organophosphorus Insecticide Exposure and Effects, *Environmental Toxicology And Chemistry*, 20:1, Pp. 37-45,
- Glennier, G.G., Wong, C.W. (1984a). Alzheimer's disease: initial report of the purification and characterization of a novel cerebrovascular amyloid protein. *Biochem Biophys Res Commun*, May 16;120(3):885-90.
- Glennier, G.G., Wong, C.W. (1984b). Alzheimer's disease and Down's syndrome: sharing of a unique cerebrovascular amyloid fibril protein. *Biochem Biophys Res Commun*. Aug 16;122(3):1131-5.
- Goedert, M., Spillantini, M.G., Jakes, R., Rutherford, D., Crowther, R.A. (1989). Multiple isoforms of human microtubule-associated protein tau: sequences and localization in neurofibrillary tangles of Alzheimer's disease. *Neuron*. Oct;3(4):519-26.
- Gokcen, T., Topal, M., Gulcin, I., Ozturk, T., Goren, A.C. (2017). Synthesis of some natural sulphonamide derivatives as carbonic anhydrase inhibitors. *Org Commun*, 10:15-23
- Göksu, H., Topal, M., Keskin, A., Gültekin, M.S., Çelik, M., Gülçin, I., Tanc, M., Supuran, C.T. (2016). 9,10-Dibromo-N-aryl-9,10-dihydro-9,10-[3,4]epipyrroloanthracene-12,14-diones: Synthesis and Investigation of Their Effects on Carbonic Anhydrase Isozymes I, II, IX, and XII. *Arch Pharm*, 349(6):466-74.
- Grutzendler, J., Morris, J.C. (2001). Cholinesterase inhibitors for Alzheimer's disease. *Drugs*, 61(1):41-52.
- Gul, H.I., Demirtas, A., Ucar, G., Taslimi, P., Gülçin, I. (2017a). Synthesis and biological evaluation of aminomethyl and alkoxymethyl derivatives as carbonic anhydrase, acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibitors, *Lett Drug Des Discov*, 32(1): 1174-1182.
- Gul, H.I., Mete, E., Taslimi, P., Gulcin, I., Supuran, C.T. (2017b). Synthesis, carbonic anhydrase I and II inhibition studies of the 1,3,5-trisubstituted-pyrazolines. *J Enzym Inhib Med Chem*, 32:1, 189-192.
- Gülçin, I., Scozzafava, A., Supuran, C.T., Akıncıoğlu, A., Köksal, Z., Türkan, F., Alwasel, S. (2016). Rosmarinic acid inhibits some metabolic enzymes including glutathione S-transferase, lactoperoxidase, acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase and carbonic anhydrase isoenzymes. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 31: 1698-1702
- Habtemariam, S. (2019). Natural Products in Alzheimer's Disease Therapy: Would Old Therapeutic Approaches Fix the Broken Promise of Modern Medicines?. *Molecules*, 24, 1519;
- Hederos, C.A., Berg, A. (1996). Epogam evening primrose oil treatment in atopic dermatitis and asthma. *Arch Dis Child*, 75: 494-497.
- Hostettmann, K., Borloz, A., Urbain, A., and Marston, A. (2006). Natural Product Inhibitors of Acetylcholinesterase, *Current Organic Chemistry*, 10, 825-847

- Hyson, D.A., Schneeman, B.O., Davis, P.A. (2002). Almonds and almond oil have similar effects on plasma lipids and LDL oxidation in healthy men and women. *J Nutr*, 132(4):703–7. 8.
- Ismail, M.F., EL-Maraghy, S.A., Sadik, N.A.H. (2008). Study of the immunomodulatory and anti-inflammatory effects of evening primrose oil in adjuvant arthritis. *AJBR*, 2: 74– 80.
- Jenkins, D.J., Kendall, C.W., Josse, A.R., Salvatore, S., Brighenti, F., Augustin, L.S. (2006). Almonds decrease postprandial glycemia, insulinemia, and oxidative damage in healthy individuals. *J. Nutr*, 136, 2987–2992.
- Jenkins, D.J., Kendall, C.W., Marchie, A., Parker, T.L., Connelly, P.W., Qian, W., et al. (2002). Dose response of almonds on coronary heart disease risk factors: blood lipids, oxidized low-density lipoproteins, lipoprotein a, homocysteine, and pulmonary nitric oxide: a randomized, controlled, crossover trial. *Circulation*, 106(11):1327–32. 9.
- Jennifer, M., Moody, W., Heywood, J.S. (2001). Pollination limitation to reproductive success in the missouri evening primrose, *Oenothera Macrocarpa* (Onagraceae). *Am J Bot*; 88: 1615-1622.
- Kaya, Z. (2010). Arsenikle Lipid Peroksidasyon Oluşturulan Ratlarda Çuha Çiçeği Yağının Etkileri Farmakoloji-Toksikoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 45p, Kayseri
- Kocyigit, U.M., Budak Y., Gürdere, M.G., Dürü, N., Taslimi, P., Gülçin, İ., Ceylan, M. (2019). Synthesis and investigation of anticancer, antibacterial activities and carbonic anhydrase, acetylcholinesterase inhibition profiles of novel (3a R, 4S, 7 R, 7a S)-2-[4-[1-acetyloxy-1-(4-hydroxyphenyl)-5-dihydro-1H-pyridin-3-yl]phenyl]-3a, 4,7,7a-tetrahydro-1H-4,7-methanoisindole-1,3(2H)-diones, *Monatsh. Chem.* 150:721-731.
- Krasavin, M., Korsakov, M., Zvonaryova, Z., Semyonychev, E., Tuccinardi, T., Kalinin, S., Tanç, M., Supuran, C.T. (2017). Human carbonic anhydrase inhibitory profile of mono- and bis-sulfonamides synthesized via a direct sulfochlorination of 3- and 4-(hetero)arylisoxazol-5-amine scaffold *Bioorg Med Chem* 25(6):1914-1925
- Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227, 680–5.
- Lee, S., Lee, D., Baek, J Jung, E.B., Baekb, J.Y., Leec, I.K., Jangd, T.S., Kangb, K.S., Kima K.H. (2017). In Vitro Assessment Of Selected Korean Plants For Antioxidant And Antiacetylcholinesterase Activities, *Pharmaceutical Biology*, VOL. 55, NO. 1, 2205–2210
- Lin, G., Tsai, Y.C., Liu, H.C., Liao, W.C., Chang, C.H. (1998). Chang Enantiomeric inhibitors of cholesterol esterase and acetylcholinesterase, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1388 161-174
- Mills, C., Cleary, B. V., Walsh, J.J., Gilmer, J.F. (2004). Inhibition of acetylcholinesterase by Tea Tree oil. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 56:3, 375–379
- Miyazawa, M., Yoshio, K., Ishikawa, Y., Kameoka, H. (1998). Insecticidal Alkaloids against *Drosophila melanogaster* from *Nuphar japonicum* DC. *J. Agric. Food Chem.* 46, 1059–1063.
- NTP. (2009). Information review document for evening primrose oil (*Oenothera biennis* L.), CAS No: 90028-66-3, 1-37.
- Oluba, O., Adeyemi, O., Ojeh, G., Isiosio, I. (2007). Fatty acid composition of *Citrullus lanatus* (Egusi melon) oil and its effect on serum lipids and some serum enzymes. *The Internet Journal of Cardiovascular Research*, 5(2): 1-7.
- Özaslan, E., Sivri B. (1998). Makroenzimler ve Makroamilazami, *Güncel Gastroenteroloji*, 2:2, 163-169.
- Perry, E.K., Gibson, P.H., Blessed, G., Perry, R.H., Tomlinson, B.E. (1977). Neurotransmitter enzyme abnormalities in senile dementia: Choline acetyltransferase and glutamic acid decarboxylase activities in necropsy brain tissue, *Journal of the Neurological Sciences*, 34:2, 247-265.
- Perry, N., Court, G., Bidet, N., Court, J., Perry, E. (1996). European Herbs with Cholinergic Activities: Potential in Dementia Therapy, *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 11: 1063-1069
- Perry, N.S.L., Houghton, P.J., Theobald, A., Jenner, P., Perry, E.K. (2000). In-Vitro Inhibition of Human Erythrocyte Acetylcholinesterase *Bysalvia Lavandulaef oli* essential Oil and Constituent Terpenes. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 52(7), 895–902.
- Polat, K.L., Gülçin, I., Gören, A.C., Namiesnik, J., Martinez-Ayala, A.L., Gorinstein, S. (2015). LC–MS/MS analysis, antioxidant and anticholinergic properties of galanga (*Alpinia officinarum* Hance) rhizomes. *Ind Crops Prod*, 74: 712-721
- Quinn, D.M. (1987). Acetylcholinesterase: Enzyme Structure, Reaction Dynamics, and Virtual Transition States, *Ct^o*. *Rev.* 87. 955-979.
- Rahman, A., Choudhary, M.I. (2001). Bioactive natural products as a potential source of new pharmacophores. *A theory of memory*, *Pure Appl. Chem.*, 73:3, pp. 555–560,
- Riaz, A., Khan, R.A., Ahmed, S.P. (2009). Assessment of anticoagulant effect of evening primrose oil. *Pak J Pharm Sci*, 22: 355-359.
- Ronceroa, J.M., Álvarez-Ortí, M., Pardo-Giménez, A., Gómez, R., Rabadán, A., Pardo, J.E., (2016). Virgin almond oil: Extraction methods and composition. *Grasas Aceites*, 67:(3): e143.
- Sacan, O., Yildiz, E. (2014). Turhan, lipoxygenase inhibitory activities of some plant extracts and chemical compounds. *The Journal of Biological Chemistry*, 73(2): 47-52.
- Santos, T.C., Gomes, T.M., Pinto, B.A.S., Camara, A.L., Andrade Paes, A.M. (2018). Naturally Occurring Acetylcholinesterase Inhibitors and Their Potential Use for Alzheimer’s Disease Therapy, *Frontiers in Pharmacology*, 9, 1192
- Schumock, G.T. (1998). Economic considerations in the treatment and management of Alzheimer’s disease. *Am J Health-Syst Pharm.* 55(suppl 2):S17-21.
- Scozzafava, A., Mastrolorenzo, A., Supuran, C. T. (2006). Carbonic anhydrase inhibitors and activators and their use in therapy. – *Expert Opinion on Therapeutic Patents* 16(12): 1627-1664.
- Selkoe, D.J. (1992). Aging brain, aging mind. *Sci Am.* 267(3):134-42.
- Sevim, O. (2018): Determination of some macro and micro element contents of multi-medical plants grown in agri and the effects of these elements on metabolic enzyme. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ağrı, Türkiye.*

- Sharma, K. (2019). Cholinesterase inhibitors as Alzheimer's therapeutics (Review), *Molecular Medicine REPORTS* 20: 1479-1487.
- Smirnovienė, J., Smirnovas, V., Matulis, D. (2017). Picomolar inhibitors of carbonic anhydrase: Importance of inhibition and binding assays. *Anal Biochem*, 522:61-72.
- Spiller, G.A., Jenkins, D.A., Bosello, O., Gates, J.E., Cragen, L., Bruce, B. (1998). Nuts and plasma lipids: an almond-based diet lowers LDL-C while preserving HDL-C. *J. Am. Coll Nutr.* 17, 285–290.
- Sultana, Y., Kohli, K., Athar, M., Khar, R.K., Aqil, M. (2007). Effect of pre-treatment of almond oil on ultraviolet B–induced cutaneous photoaging in mice. *Journal of cosmetic dermatology*, 6(1), 14-19. 10.
- Supuran, C.T. (2007). *Curr Top Med Chem* 7:825
- Supuran, C.T. (2008). Carbonic anhydrases as drug targets. *Current Pharmaceutical Design*, 14(7): 601-2.
- Tarawneh, R., Holtzman, D. M. (2012). The clinical problem of symptomatic Alzheimer disease and mild cognitive impairment. *Cold SpringHarbor Perspect. Med.* 2:a006148.
- Taslimi, P., Gülçin, I., Özgeriş, B., Göksu, S., Tümer, F., Alwasel, S.H., Supuran, C.T. (2016b). The human carbonic anhydrase isoenzymes I and II (hCA I and II) inhibition effects of trimethoxyindane derivatives, *J Enzym Inhib Med Chem*, 31:4, 152-157.
- Taslimi, P., Gülçin, I., Öztaşkın, N., Çetinkaya, Y., Göksu, S., Alwasel, S.H., Supuran, C.T. (2016a). The effects of some bromophenols on human carbonic anhydrase isoenzymes, *J Enzym Inhib Med Chem*, 31:4- 603-607.
- Topal, F., Gulcin, I., Dastan, A., Guney, M. (2017). Novel eugenol derivatives: Potent acetylcholinesterase and carbonic anhydrase inhibitors. *Int J Biol Macromol*, 94, 845-851.
- Verpoorte, J., Mehta, S., Edsall, J.T. (1967). Esterase activities of human carbonic anhydrases B and C. *The Journal of Biological Chemistry*, 242, 4221–4229,
- Vullo, D., Del Prete, S., Nocentini, A., Osman, S.M., Al Othman, Z., Capasso, C., Bozdag, M., Carta, F., Gratteri, P., Supuran, C.T. (2017). Dithiocarbamates effectively inhibit the β -carbonic anhydrase from the dandruff-producing fungus *Malassezia globosa*, *Bioorg Med Chem* 25:3; 1260-1265
- Whitehouse, P.J., Price, D.L., Struble, R.G., Clark, A.W., Coyle, J.T., Delon, M.R. (1982). Alzheimer's disease and senile dementia: loss of neurons in the basal forebrain, *Science* 215 (4537), 1237-1239
- Wiśniewski, H.M., Narang, H.K., Terry, R.D. (1976). Neurofibrillary tangles of paired helical filaments. *J Neurol Sci.*, 27(2):173-81.
- Yurtvermez, B. (2016). Isolation of bioactive secondary metabolites from tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) and identification of their chemical structures. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ağrı, Türkiye.*
- Zarotsky, V., Sramek, J.J., Cutler, N.R. (2003). Galantamine hydrobromide: An agent for Alzheimer's disease, *Am J Health-Syst Pharm-Vol* 60:1,
- Zohary, D., Hopf, M. (2001). *Domestication of plants in the old world*. 3rd ed. London: Oxford University Press; 2000. p. 186. 6.



Tütün Tohumuna Uygulanan Bazı İyileştirici Ön Uygulamaların Çimlenme ve Fide Çıkış Performansına Etkisi

Sıdıka Ekren^{1*}, Merter Güngör¹

¹Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Bornova/İzmir (ORCID: 0000-0002-6812-9586)

(İlk Geliş Tarihi 19 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 17 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat. 691139)

ATIF/REFERENCE: Ekren, S. & Güngör, M. (2020). Tütün Tohumuna Uygulanan Bazı İyileştirici Ön Uygulamaların Çimlenme ve Fide Çıkış Performansına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 591-598.

Öz

Bu çalışma tütün tohumuna uygulanan bazı iyileştirici ön uygulamaların fide kalitesine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. İzmir-Özbaş tütün çeşidinin kullanıldığı araştırma Tesadüf Parselleri Deneme Deseni'ne göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Tütün tohumlarına laboratuvar koşullarında priming, polimer, priming+polimer uygulamaları yapılmış ve daha sonra fide yastıklarına ekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çimlenme gücü (%), çimlenme hızı (gün), çıkış gücü (%), çıkış hızı (gün), fide boyu (cm), yaprak sayısı (adet/bitki), gövde çapı (mm), fide sayısı (adet/m²), kök uzunluğu (cm), yaş gövde ve kök ağırlığı (g/bitki), kuru gövde ve kök (g/bitki) gibi özellikler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, çimlenme ve çıkış performansı üzerine priming uygulaması en iyi sonucu vermiştir. Fide boyu 14.7-16.8 cm, yaprak sayısı 7.1-8.2 adet/bitki ve gövde çapı 4-4.6 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Fide boyu, gövde çapı, kök uzunluğu, m²'deki fide sayısı özelliklerine ait en yüksek sonuçlar priming+polimer uygulamasından; yaprak sayısı, yaş gövde ağırlığı, yaş kök ağırlığı, kuru kök ağırlığı özelliklerine ait en yüksek sonuçlar ise polimer uygulamasından elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tütün, Priming, Polimer, Çimlenme, Fide

Effect of Some Improvement Pre-Treatment Applied to Tobacco Seed on Germination and Seedling Emergency Performance

Abstract

This study was carried out to determine the effects of some improvement pre-treatment applied on tobacco seed on seedling quality. In the trial İzmir-Ozbas tobacco variety was used and experimental design was Randomized Complete Parcel Design with three replications. In the study, germination rate (%), germination time (day), seedling emergency rate (%), seedling emergency time (day), length of the seedling (cm), number of the leaf (per/plant), stem diameter (mm), healthy seedlings per square (pcs/m²), 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 best germination and seedling performance was obtained in priming application. length of the seedling, number of the leaf and stem diameter were 14.7-16.8 cm, 7.1-8.2 per/plant, 4-4.6 mm, respectively. The highest length of the seedling, stem diameter, length of the root and healthy seedlings per square was obtained in priming+polimer application. Besides the highest number of the leaf, fresh stem and root weight, dry root weight was found in polimer treatment.

Keywords: Tobacco, Priming, Polimer, Germination, Seedling

* Sorumlu Yazar: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6812-9586, sidika.ekren@ege.edu.tr

1. Giriş

Tütün, ülkemiz ekonomisinde ve sosyal yapısında çok önemli bir yere sahip olan endüstri bitkisidir. Türkiye’de gerek dış satım gerekse iç tüketim olarak ele alındığında ekonomimizin vazgeçilmez bir gelir kaynağıdır. Dünya’da üretilen 5 milyon ton tütünün %2’sini üreten Türkiye, AB’den sonra 6. sırada yer almakta, bu tütünü üreten ülkeler içerisinde 1. sırada gelmektedir (Anonim, a). 2018 yılı itibarıyla ülkemizde üretilen tütünün % 75’i Ege, % 10’u Doğu ve Güneydoğu Anadolu, % 11’i Karadeniz, % 3’ü Marmara, % 1’i Akdeniz Bölgemizde üretilmektedir. % 75’lik pay ile ilk sırada yer alan bölgemizin 2018 yılı üretim miktarı 62.171 kilodur. Üretimde ve ihracatta birinci sırada yer alan Ege Bölgesi’nin 2018 yılı ihracatındaki payı % 83’dür (Anonim, b). Yukarıda da ifade edildiği gibi, hem üretim hem de ihracat açısından önemli olan Ege Bölgesi tütünleri marka sigaraların yapısında kaliteyi ıslah eden ve harmanın ayrılmaz bir parçası olarak istenmeye devam edecektir.

Geçmiş yıllara oranla tütüncülüğümüzde üretim miktarları yanında verim değerlerinin de azaldığı bilinmektedir. Bu azalmanın nedenleri arasında; tütün tarımı ile uğraşan üretici sayısının azalması, üretici yaş ortalamasının 45 yaş ve üzeri olması, fiyat politikaları, tarımsal uygulamalar ve tohum özellikleri başlıcalarıdır (Ekren ve İlker, 2017). Üretimin sürdürülebilirliği açısından da bu azalma önemli bir problem teşkil etmektedir (Çelen ve ark., 2016). Tütün yetiştiriciliğinde uniform, verimli ve kaliteli ürün yetiştirmek yerli ve dış pazar için oldukça önem taşımaktadır. Verimli ve kaliteli üretimde de ilk adım hastaliksız ve pişkin fide elde etmektir. Tohum çimlenmesine ve fidelik aşamasında fide kalitesine günlük sıcaklık ve ışık, tohumun çimlenme gücü gibi pek çok faktör etki etmektedir (Liu ve ark., 2003; Jin ve ark., 2014). Fide kalitesi ürün uniformitesi, ürün verimi ve kalitesi açısından çok önemlidir (Kabranova ve ark., 2014).

Tütün yetiştiriciliğinde yaprak tütün kalitesinin yüksek olmasının yanı sıra veriminde yüksek olması ürün fiyatını etkileyen en önemli unsurdur. Ancak üretici için her yıl aynı kalitede ve verim miktarında ürün elde etmek kolay bir iş değildir. Fidelik ve tarla döneminde karşılaşılan hastalık ve zararlılar, tarla toprağının yapısı, üretilen tohum çeşidinin özellikleri, tarla koşullarında ortaya çıkan düzensizlikler, tütün bitkisinin gelişmesi ve kurutma yöntemleri son ürünün verim ve kalitesi üzerine etkili olmaktadır.

Araştırma konusunun materyali Türkiye’de uzun yıllardan bu yana çeşitli bölgelerimizde üretimi yapılan ve ülke ekonomisine çok önemli katkıları olan tütün bitkisinin tohumuna uygulanacak bazı iyileştirici ve ön uygulamalarla tohum çimlenmesi ve fide kalitesinin artırılması ve bu uygulamaların sonuçlarının ilerleyen dönemde üretici boyutuna da aktarılmasını kapsamaktadır. Bu çalışmada Ege Bölgesi tütün üretiminde önemli bir ticari çeşit olan İzmir-Özbaş tütün tohumuna laboratuvar koşullarında uygulanacak olan bazı ön uygulamaların fide kalitesi üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Priming, polimer, priming+polimer uygulamalarının tohumun çimlenme hızı ve gücüne olan etkisi belirlenmiştir. Ön uygulamadan geçmiş olan tohumların fidelige ekildikten sonra fide çıkışı ve fide kalitesini belirleyici faktörler de saptanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma laboratuvar ve fidelik olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür.

2.1. Laboratuvar Aşaması: Ege Üniversitesi Tohum Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde gerçekleştirilmiştir.

2.2. Fidelik Aşaması: Denemede fideleri yetiştirilmesi Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü’nde bulunan sabit fidelikte yürütülmüştür.

Araştırmada İzmir-Özbaş tütün çeşidi deneme materyali olarak kullanılmıştır.

2.1. Laboratuvar Aşaması

2.1.1. Priming (Ön çimlendirme) Uygulamaları

Deneme tohumlarına ön işlem olarak osmo ve matriks priming uygulanarak, priming sonrası çimlenme ve çıkış testleri ile her bir tür için uygun priming yöntemi belirlenmiştir. Osmopriming için, havalandırılmalı kolon sistemi, matrikspriming için ise vermikulit taşıyıcı ortamına emdirilen KNO₃ çözeltisi kullanılmıştır.

Osmotik ön çimlendirme uygulamaları ile uzun yıllar yapılan çalışmalar özellikle havalandırılmalı uygulama kabı tekniğinin etkinliğini ön plana çıkartmıştır (Duman ve İlbi, 2001). Bu teknikte, tohumların çözelti içinde askıda tutulabildiği havalandırılmalı uygulama kapları (Bubble-column) büyük kullanım alanı bulmuştur. Bu kaplar içindeki çözelti ve tohum 12 karışımına verilen 2 ml/dakika hızındaki hava, tohumların çözelti içinde askıda kalmalarını sağlamaktadır.

Ön çimlendirme uygulamasında kullanılan PEG (Polyethylenglycol) maddesinin moleküler ağırlığının (6000 ppm) oluşturduğu ozmatik basınç, tohum uygulaması sırasında kökçük çıkışını kontrol altında tutmaktadır. PEG ağır ve yüksek moleküler ağırlığı ile oluşturduğu basınç sayesinde tohum içine belirli orandaki suyun girişine izin verirken, tohum içi ve dış ortam arasında sağlanan denge sonucunda tohum içine daha fazla suyun girişine izin vermemekte ve böylece kökçük çıkışı baskı altında tutulmaktadır. Ayrıca PEG etkili madde olarak hücre duvarından içeri girmez ve tohum üzerinden çok çabuk yıkanarak ayrıştırılabilmektedir. Araştırmada, uygun PEG-6000 dozunun ve priming sürelerinin belirlenmesi amacıyla ön deneme gerçekleştirilmiştir. Ön deneme olarak havalandırılmalı uygulama kabına, geçirgen kap içinde yerleştirilen tohumlar, literatürde belirtilen 2.3.6.14.16 ve 24 saatlik sürelerde PEG’in basınç oluşturacak dozlarına (-0.4,-0.8,-1.2,-1.5 ve -1.6 Mpa’lık) ayrı ayrı maruz bırakılmıştır. Her bir süre sonunda tohumların çimlenme durumları kontrol edilmiş, priming esnasında çimlenmenin görüldüğü doz ve süre iptal edilmiştir. Daha sonra tohumlar, 4 dakika çeşme suyunda yıkanmış ve sonra saf su ile durulanmıştır. 2 saat kurutma işlemi yapılmıştır.

2.1.2. Tohum Kaplama Uygulamaları

Tohum kaplama uygulamaları Cimbría CCLAB tohum film kaplama makinasında gerçekleştirilmiştir. Tohumlar polimer önerilen dozlarda ayrı ayrı kaplanmıştır. Kaplama uygulamaları sonunda çimlenme ve çıkış testleri ile değerlendirme yapılmıştır.

Kaplama işlemi sırasında tohumlar makinenin tohum girişi haznesinden makinenin içerisine konulmuş ve şırınga yardımıyla sisteme belirlenen dozlarda polimer ve saf su gönderilmiştir. Aynı zamanda kaplama solüsyonu ile tohumların çeperlere yapışmasını engellemek amacı ile makineye bağlı kompresörden içeriye işlem sırası boyunca hava girişi sağlanmıştır. Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra tohumlar kurutma kağıtları üzerine alınmış ve oda sıcaklığında orijinal ağırlıklarına gelene kadar kurumaya bırakılmıştır.

2.1.3. Kombine Uygulamalar

Ozmatik tohum uygulamaları (priming), film kaplama uygulamaları birbirleriyle kombine olarak uygulanmıştır. İzmir-Özbaştütün çeşidine çimlenme ve çıkış performansını arttırmak için uygulanan iyileştirici ön uygulamalar aşağıda belirtilmiştir:

1. Kontrol
2. Priming
3. Polimer
4. Priming+polimer'dir.

2.1.4. Çimlendirme Testleri

Tohumlar uygulama görmeden önce şahit olarak kullanılmak üzere (kontrol tohumları) çimlenme gücü ve hızını belirlemek için ISTA kurallarında belirtildiği gibi çimlenme testine tabi tutulmuşlardır (ISTA, 2014). Aynı test, yapılan tohum uygulamalarından sonra bu kez muamele görmüş tohumlara uygulanmıştır. Çimlendirme testleri için tüm tohumlar ayrı ayrı petri kaplarında ve çift katlı kurutma kağıdı üzerinde 4 tekerrürlü ve her bir tekerrürde 100 adet tohum olacak şekilde çimlendirme testine alınmışlardır. Tüm tohumların çimlenme testleri, optimum 20°C, sıcaklık koşulunda, soğutmalı inkübatörlerde yürütülmüştür. Çimlenme testleri 21 gün sürdürülmüş, 7. ve 10. günlerde ara değerlendirmeler yapılmıştır. (ISTA, 2014).

Ortalama çimlenme zamanının tespiti için çimlenme testleri süresince sayımlar günlük olarak yapılmış ve kökçüğü 2 mm olan tohum "çimlenmiş" olarak kabul edilerek sayılmış ve petri kabından uzaklaştırılmıştır. (Duman ve İlbi, 2001).

Çimlenme testleri sonucunda günlük sayımlar toplanarak ve tekerrürlerin aritmetik ortalaması alınarak çimlenme gücü (%) değeri hesaplanmıştır (Larsen and Andreasen, 2004).

$$\text{ÇG} = \frac{\sum n}{N} \times 100$$

n : çimlenen/çıkış yapan tohum sayısı

N: toplam tohum sayısı

Çimlenme hızının hesaplanması amacıyla, yapılan günlük sayımlar kullanılarak Pedersen et al., (1993)'in belirttiği eşitlik yardımıyla ortalama çimlenme zamanı gün cinsinden belirlenmiştir. Bu eşitlik için aşağıda belirtilen formülden yararlanılmıştır.

$$\text{Ortalama çimlenme zamanı (Ç50)} = \frac{\sum (g_x \cdot n_x)}{\sum n_x}$$

g_x : testin başlangıcından itibaren sayımın yapıldığı gün

n_x : sayımın yapıldığı gün çimlenen tohum sayısı

$\sum n_x$: toplam çimlenen tohum sayısı

1.2. Fidelik Aşaması

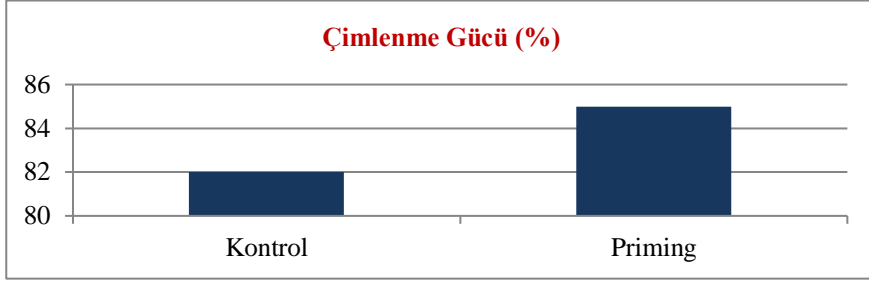
Çalışma 2018 Kasım – 2019 Mart tarihleri arasında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü uygulama arazisi fideliklerinde yürütülmüştür. Ekim öncesi fidelikte yabancı ot yoğunluğunu azaltmak için solarizasyon işlemi yapılmıştır. Tütün tohumları 1/3 kum+1/3toprak+1/3 çiftlik gübresi ile hazırlanmış fidelik harcına tohumlar m²'ye 1 gr tohum gelecek şekilde 7 Aralık 2018 tarihinde elle serpilerek ekilmiş ve üzeri kapak gübresi ile örtülmüştür. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Parsel boyutları 35*110 cm'dir. Fidelikte sulama, havalandırma, ot alma vb kültürel işlemler fide durumuna ve hava koşullarına göre düzenli aralıklarla yapılmıştır. Fidelikte herhangi bir hastalık yada zararlı ile karşılaşmadığı için herhangi bir ilaçlama yapılmamıştır.

Çalışmanın laboratuvar ve fidelik aşamasında:

Çimlendirme gücü (%), çimlendirme hızı (gün), çıkış gücü (%), çıkış hızı (gün), fide boyu (cm), yaprak sayısı (adet/bitki), gövde çapı (mm), m²'deki fide sayısı (adet), kök uzunluğu (cm), yaş gövde ağırlığı (g/bitki), kuru gövde ağırlığı (g/bitki), yaş kök ağırlığı (g/bitki), kuru kök ağırlığı (g/bitki) gibi parametreler incelemeye alınmıştır. Sonuçların istatistiki değerlendirmesi TotemStat İstatistik programında varyans analizine göre yapılmıştır (Açıkgöz ve ark., 2004).

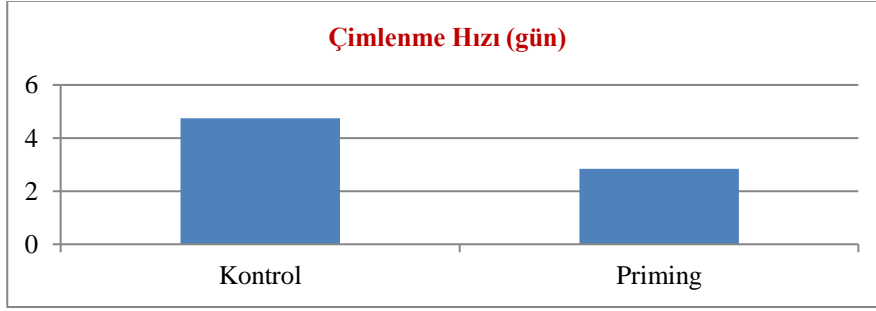
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada çimlenme gücü, çimlenme hızı, çıkış gücü ve çıkış hızı sonuçlarına Şekil 1, 2, 3 ve 4’de gösterilmiştir. Çimlenme gücü bakımından incelenen özellikler istatistiki bakımdan önemsiz bulunmuştur. Priming uygulamasının çimlenme hızı kontrole göre daha yüksek bulunmuştur. Priming uygulamasında çimlenme gücü %85 kontrolde ise %82 olarak saptanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Tütün Tohumlarının Çimlendirme Gücü (%)

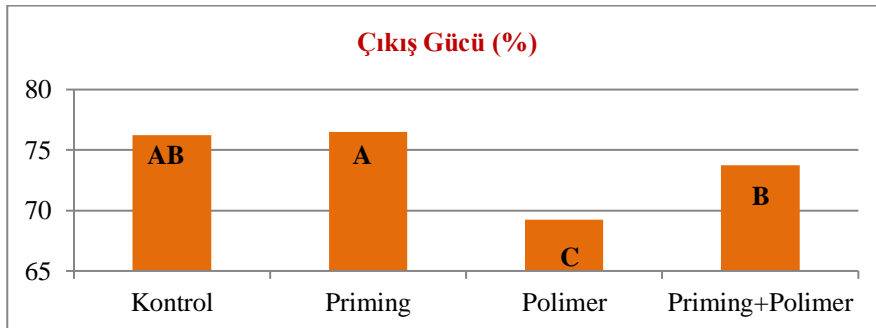
Çimlenme hızı bakımından istatistiki olarak yapılan uygulamalar bakımından $p < 0.01$ ’e göre önemli bulunmuştur. Kontrol tohumları 4.74 günde çimlenmesine rağmen priming uygulaması yapılan tohumlar 2.75 günde çimlenmiştir (Şekil 2).



LSD 0,067**

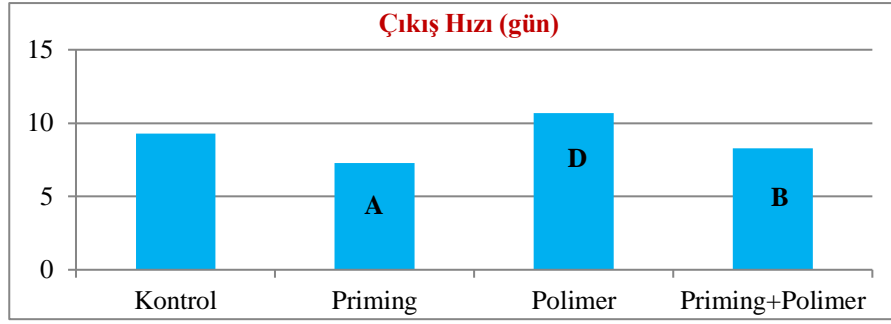
Şekil 2. Tütün Tohumlarının Çimlendirme Hızı (gün)

Şekil 3 ve 4’de de görüldüğü gibi, hem çıkış gücü hem de çıkış hızı en yüksek priming uygulaması yapılan tohumlarda bulunmuştur. Polimer uygulaması ise her iki özellik bakımından en düşük sonucu vermiştir. Çıkış gücü %69-77; çıkış hızı ise 7-11 gün arasında değişen sonuçlar saptanmıştır. Gökçöl ve ark., (2017) bazı Ege tütünlerinin çimlenme gücü, çimlenme hızı, çıkış gücü ve çıkış hızı üzerine yaptıkları çalışmasında çimlenme gücü %91, çimlenme hızı 1.72 gün, çıkış gücü %80 ve çıkış hızını ise 1.95 gün olarak tespit etmişlerdir.



LSD 1,963**

Şekil 3. Tütün Tohumlarının Çıkış Gücü (%)

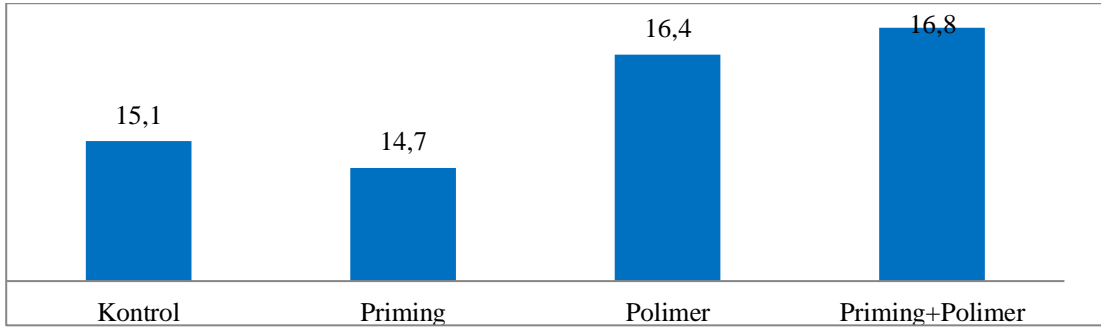


LSD 0,095**

Şekil 4. Tütün Tohumlarının Çıkış Hızı (gün)

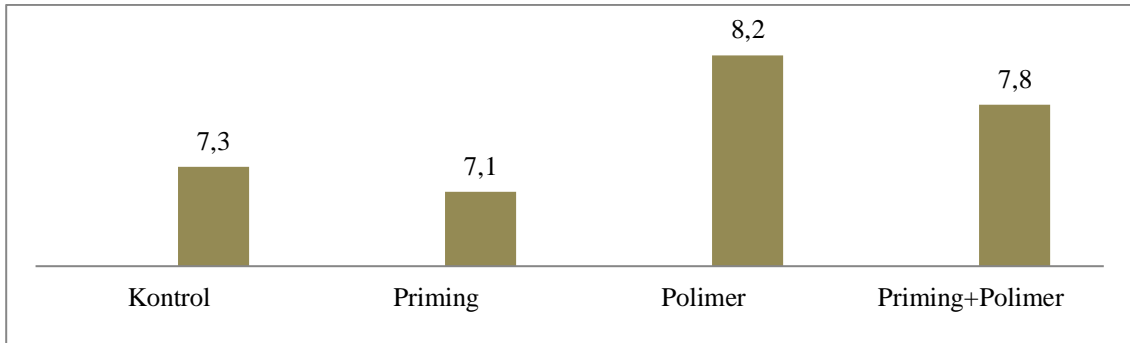
Fidelik aşamasına ilişkin incelediğimiz özelliklerde arasında istatistiki açıdan bir fark tespit edilememiş olup rakamsal farklılıklar saptanmıştır.

Fide boyuna ilişkin incelediğimiz özellikler Şekil 4’de gösterilmiştir. Fide boyu 14.7-16.8 cm arasında değiştiği görülmektedir. En uzun fide boyu priming+polimer uygulamasından elde edilmiştir. Fide uzunluğu m²’de bitki sayısına ve uygulanan agronomik işlemlere bağlı olarak değişmektedir (Pearce ve ark., 2005). Fide uzunluğu topraktaki fosfat seviyesi ile ilişkili olduğu ve fosfat miktarının fide kök seviyesindeki büyümeyi etkilediğini belirtmektedirler (Kabranavo ve ark., 2014). Bazı araştırmacılar fide boyunun 6-21 cm arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Turi ve ark., 2004; Ayan ve Çalışkan, 2006; Hou-Long ve ark., 2014, Ekren ve İlker, 2017). Bulduğumuz sonuçların yukarıda belirtilen araştırma bulguları ile uyumlu olduğu görülmektedir.



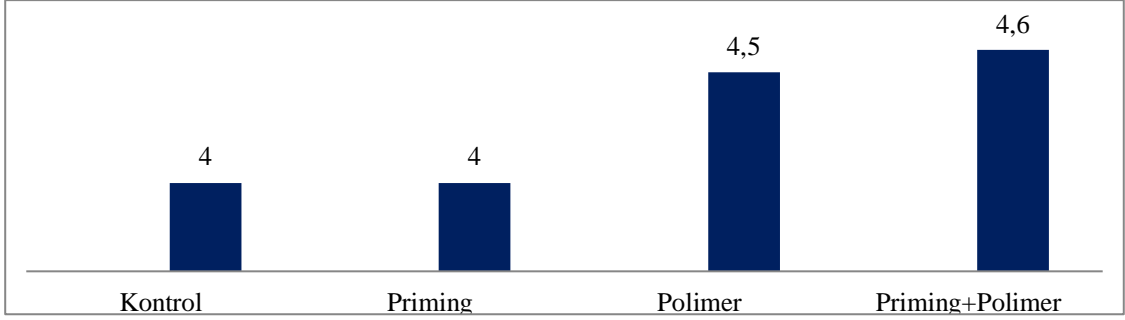
Şekil 4. Tütün Tohumlarına Uygulanan İyileştirici Ön Uygulamaların Fide Boyuna Etkisi (cm)

İncelediğimiz özellikler bakımından en yüksek yaprak sayısı 8.2 adet/bitki ile polimer uygulamasından elde edilirken en düşük yaprak sayısı ise 7.1 adet/bitki ile priming uygulamasından tespit edilmiştir (Şekil 5). Fide yaprak sayısına ilişkin yapılan literatür incelemesinde Ekren ve Yalman (2019) Ege tütünlerinde 7.8-8.4 adet/bitki olarak belirlemişlerdir.



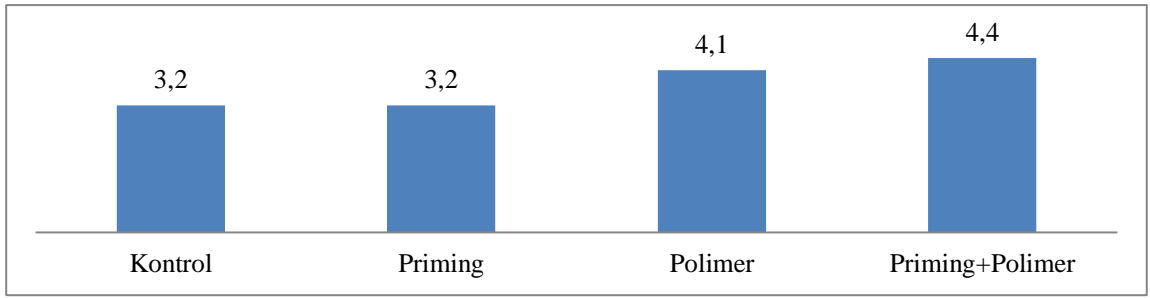
Şekil 5. Tütün Tohumlarına Uygulanan İyileştirici Ön Uygulamaların Yaprak Sayısına Etkisi (adet/bitki)

Gövde çapı bakımından Şekil 6'ya bakıldığında, 4-4.6 mm olarak değiştiği görülmektedir. Kontrol ve priming uygulamalarında 4 mm, polimer'de 4.5 mm, priming+polimer'de ise 4.6 mm gövde çapı bulunmuştur. Kabranova ve ark., (2014)'e göre, gövde çapının bitkinin gelişmesi bakımından önemli olduğu ve Prilep NS72 ve Yaka 125/3 tütün çeşitlerinde gövde çapının 4.1-5.7 mm arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Turi ve ark., (2004), gövde çapının 2.6-4.1 mm arasında bulmuşlardır. Bulduğumuz sonuçların belirtilen araştırmacıların bulgularıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir.



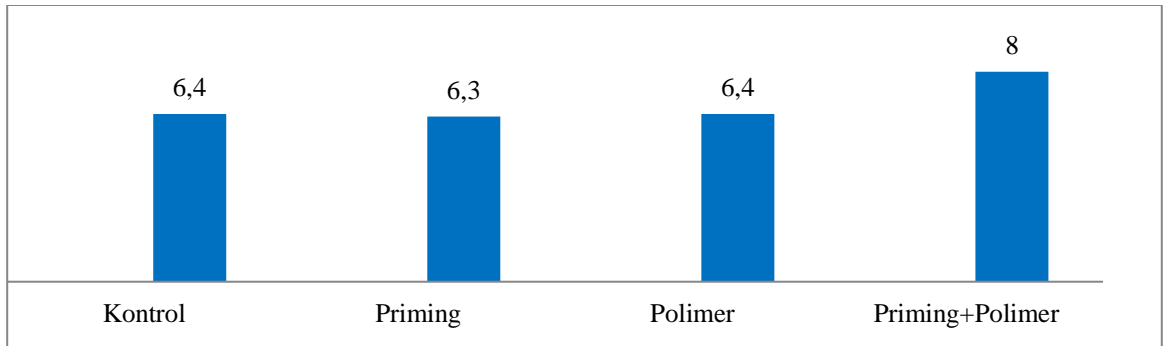
Şekil 6. Tütün Tohumlarına Uygulanan İyileştirici Ön Uygulamaların Gövde Çapına Etkisi (mm)

Kök uzunluğu kontrol ve priming uygulamalarında polimer ve priming+polimer uygulamalarına göre daha düşük bulunmuştur. Kontrol ve priming uygulamalarında 3.2 cm, polimer 4.1 cm ve priming+polimerde ise 4.4 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 7). Ekren ve ark. (2017) Ege tütünleri ile ilgili yaptıkları çalışmada kök uzunluğunu 2.0-3.5 cm arasında tespit etmişlerdir. Bulduğumuz sonuçlar belirtilen araştırmacıların sonuçlarında uyumludur.



Şekil 7. Tütün Tohumlarına Uygulanan İyileştirici Ön Uygulamaların Kök Uzunluğuna Etkisi (cm)

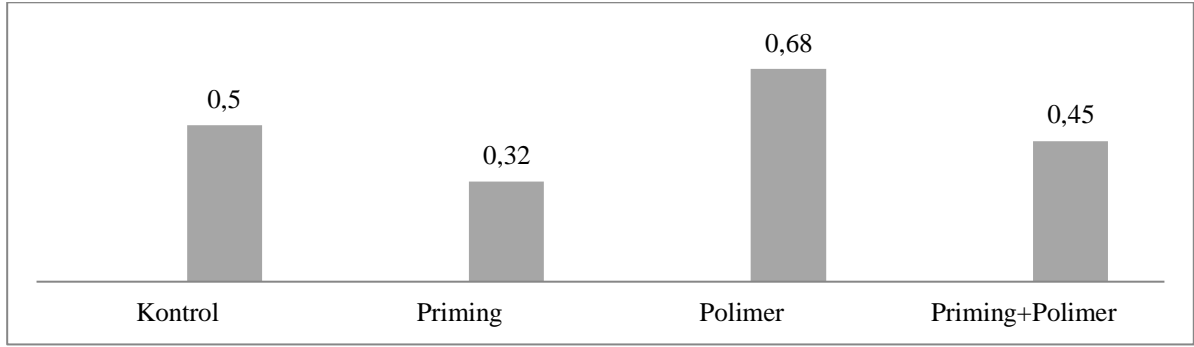
Şekil 8 incelendiğinde, kullanılabilir fide sayısı bakımından kontrol, priming ve polimer uygulamalarında birbirine yakın sonuçlar saptandığı belirlenmiştir. Priming+polimer uygulamasında ise 8 adet/m² ile en yüksek sonuç elde edilmiştir. Ekren ve İlker (2017) Ege tütünleri ile ilgili yaptıkları çalışmada fide sayısını 18-24.7adet/bitki olarak belirlemişlerdir. Bulduğumuz sonuçlar Ekren ve İlker (2017)'den daha düşük bulunmuştur.



Şekil 8. Tütün Tohumlarına Uygulanan İyileştirici Ön Uygulamaların Kullanılabilir Fide Sayısına Etkisi (adet/m²)

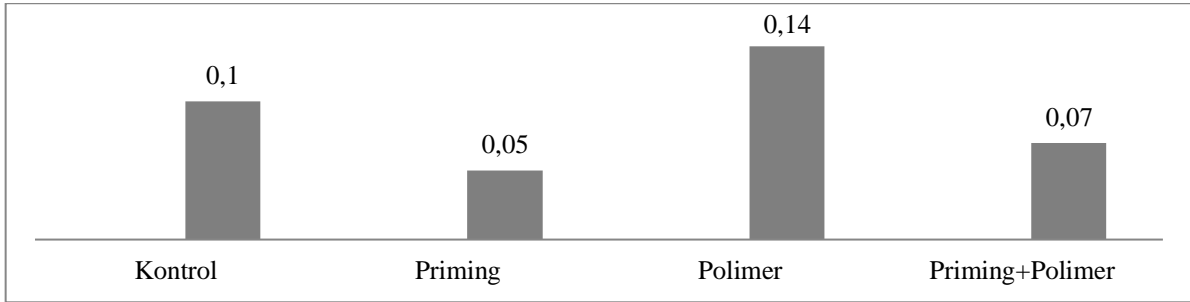
Yaş kök ağırlığı en düşük 0.32 g/bitki ile priming, en yüksek ise 0.68 g/bitki ile polimer uygulamasından saptanmıştır. Kontrol 0.5 g/bitki ve priming+polimer 0.45 g/bitki ile bu uygulamaları takip etmiştir (Şekil 14). Ekren ve ark., (2017) Ege tütünleri ile ilgili e-ISSN: 2148-2683

yaptıkları çalışmada yaş kök ağırlıklarını 0.11-0.17 g/bitki olarak tespit etmişlerdir. Bulduğumuz sonuçlar Ekren ve ark., (2017)'den daha yüksek belirlenmiştir.



Şekil 9. Tütün Tohumlarına Uygulanan İyileştirici Ön Uygulamaların Yaş Kök Ağırlığına Etkisi (g/bitki)

En düşük kuru kök ağırlıkları sırasıyla polimer 0.14 g/bitki, kontrol 0.1 g/bitki, priming+polimer 0.07 g/bitki ve priming 0.05 g/bitki olarak bulunmuştur (Şekil 15). Kuru kök ağırlığına ilişkin yapılan literatür incelemesinde Ege tütünlerinde 0.023-0.036 g/bitki olarak tespit etmişlerdir (Ekren ve Yalman, 2019). Bulduğumuz sonuçlar belirtilen literatür değerinden daha yüksek değerler vermiştir. Burada uygulanan işlemlerin ve örneklemin etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 10. Tütün Tohumlarına Uygulanan İyileştirici Ön Uygulamaların Kuru Kök Ağırlığına Etkisi (g/bitki)

4. Sonuç

- Mevcut çalışmada fide çıkış gücü ve çıkış hızı üzerine priming uygulaması kontrol, polimer ve priming+polimer uygulamalarına göre daha iyi sonuç vermiştir.
- Fidelikte yapılan ölçüm ve tartımlarda istatistiki açıdan fark bulunmamıştır. Rakamsal açıdan farklılıklar söz konusudur.
- Fide boyu, gövde çapı, kök uzunluğu, m²'deki fide sayısı özelliklerine ait en yüksek sonuçlar priming+polimer uygulamasından; Yaprak sayısı, yaş gövde ağırlığı, yaş kök ağırlığı, kuru kök ağırlığı özelliklerine ait en yüksek sonuçlar ise polimer uygulamasından elde edilmiştir. Bu sebeple bu iki uygulamadan birinin tercih edilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma projesini (FLP-2018-20381) destekleyen Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Açıkgöz, N., E. İlker, A., Gökçöl, 2004. Biyolojik araştırmaların Bilgisayarda Değerlendirilmeleri E.Ü. Tohum Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Yayın No:2 Bornova/İzmir.
- Anonim, 2019. www.meteor.gov.tr
- Anonim, a; www.universalcorp.com (Erişim tarihi: 22 Ekim 2018)
- Anonim, b; www.tapdk.gov.tr (Erişim tarihi: 22 Ekim 2018)
- Celen, A.E., S. Ekren, V. Koparan and E. Ilker. 2016. The effects of different planting methods on tobacco quality yield and yield parameters. "Coresta Congress, Agronomy&Leaf Integrity and Phytopathology&Genetics" 9-13th October 2016. Berlin/Germany
- Duman, İ., ve İbi, H., 2001. Bazı sebze tohumlarının optimum önçimlendirme sürelerinin ve yöntemlerinin belirlenmesi. E.Ü. Araştırma Fonu 99-ZRF-002 nolu proje sonuç raporu, s: 81.

- Gökçöl A., Ekren S., İlker E., 2017."Investigation on the Improvement of Germination and Seedling Emergency Performances on Some Oriental Type Tobacco Seeds.", International Conference on Agriculture Forest Food Sciences and Technologies ICAFOF Cappadocia/TURKEY.
- Ekren, S., 2007. Ege Bölgesi Tütünlerinde Verim ve Kalitenin Değişmesinde Etken Olan Faktörlerin Araştırılması. E.Ü. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi. Bornova/İzmir.
- Ekren, S., E. İlker, K.E. Köseoğlu, 2017. Bazı Oriental Tütün Çeşitlerinde Clipping Uygulamasının Verim ve Verim Ögelerine Etkisi Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu. Proje No: 2014-ZRF-023. Bornova/İzmir
- 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.
- Ekren, S., H. B. Yalman, 2019. Effects of Some Plants Nutrients Applied to Seedbed Compost on Seedling Quality. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. Sayı: 16. ss.515-521
- 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-cured Tobacco. Australian Journal of Crop Science. AJCS 8(11): 1566-1570. ISSN:1835-2707.
- ISTA. 2014. International Rules For Seed Testing. Edition 2014. International Seed Testing Association. ISTA. Zurich. Switzerland.
- Jin, X., B. W. Tian and F.L. Chen. 2014. Comparative study on intensive three-dimensional breeding and floating seedling raising of flue-cured tobacco. J. Henan agric. Sci. 43(5):62-65.
- 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.
- Larsen S, Andreasen C. 2004. Light and Heavy Turf-Grass Seeds Differ In Germination Percentage And Mean Germination Thermal Time. Crop Science 44: 1710-1720.
- Liu G. S., X. Y. Xi and x. D. Shi. 2003. Studies on basical growth rules of flue-cured tobacco seedlings in the floating system. Acta Agrice Boreali-sinica. 18(3):36-40.
- Pearce, B., g. Palmer, W. Nesmith, L. Townsend. 2005. Guide management of tobacco float systems, Cooperative Extension Service-University of Kentucky-Clooege of Agriculture. ID-132; pp.8.
- Pedersen LH, Jorgensen PE, Pulsen I. 1993. Effect of Seed Vigor and Dormancy on Field Emergence. Development and Grain Yield of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Winter Barley (*Horedeum vulgare* L.). Seed Science & Technology.1:159-178s.
- 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.



Comparison Global Brain Volume Ratios on Alzheimer's Disease Using 3D T1 Weighted MR Images

Muhammet Üsâme Öziç^{1*}, Seral Özşen²

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0002-3037-2687)

² Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Electrical-Electronics Engineering, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0001-5332-8665)

(İlk Geliş Tarihi 3 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 17 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.697446)

ATIF/REFERENCE: Öziç, M. Ü. & Özşen, S. (2020). Comparison Global Brain Volume Ratios on Alzheimer's Disease Using 3D T1 Weighted MR Images. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 599-606.

Abstract

Alzheimer's Disease is a cause of dementia that starts with the loss of cognitive functions. The degeneration that starts in memory-related areas in the brain spreads to other regions as the disease progresses. Volumetric losses occurring in the brain can be monitored with high resolution 3D T1-weighted magnetic resonance images. The interpretation of these images is carried out by radiologists in hospitals. However, since the voxel intensity transitions of the brain regions are not clear in magnetic resonance images, computer-aided numerical methods are needed. These methods can perform pre-processing, post-processing, segmentation and volume calculation on magnetic resonance images. In this study, gray matter, white matter, cerebrospinal fluid, total intracranial volume, parenchyma, and lateral ventricle global volumes were calculated for 70 Alzheimer Patients and 70 Normal Control 3D T1-weighted magnetic resonance images taken from Open Access Series of Imaging Studies database. SPM8 and MRICro programs, ALVIN and VBM8 libraries were used. Since the numerical methods used are found in different programs and libraries, a model is proposed which combinations should be used. Volumetric results are relative due to the different head sizes in each person. Therefore, the problem of relativity should be eliminated by proportioning each volume value with another volume value. Twenty different metrics of the brain were obtained by summing and dividing the six global volume regions obtained in different combinations. Using these values, it was determined whether there was a statistically significant difference between two groups by independent samples t-test. The performance of the numerical methods and the statistical results of twenty metrics obtained from global brain volumes were discussed. After measurements and evaluations, it was observed that the ratio of cerebrospinal fluid volume to gray matter volume was an important marker in the differential diagnosis of the disease.

Keywords: Alzheimer, Volume, Ratios, SPM8, VBM8, MRI

3B T1 Ağırlıklı MR Görüntüleri Kullanarak Alzheimer Hastalığına İlişkin Global Beyin Hacim Oranlarının Karşılaştırılması

Öz

Alzheimer Hastalığı bilişsel fonksiyonların kaybı ile başlayan bir demans nedenidir. Beyinde hafıza ile ilgili bölgelerde başlayan dejenerasyon hastalık ilerledikçe diğer bölgelere yayılmaktadır. Beyinde meydana gelen hacimsel kayıplar yüksek çözünürlüklü 3B T1 ağırlıklı manyetik rezonans görüntüleri ile izlenebilmektedir. Bu görüntülerin yorumlanması hastanelerde radyologlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Ancak manyetik rezonans görüntülerinde beyin bölgelerinin voksel intensite geçişleri net olmadığından bilgisayar destekli sayısal yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemler manyetik rezonans görüntüleri üzerinde ön işleme, son işleme, segmentasyon ve hacim hesaplama yapabilmektedir. Bu çalışmada Open Access Series of Imaging Studies veri tabanından alınan 70 Alzheimer Hasta 70 Normal Kontrol 3B T1 ağırlıklı manyetik rezonans görüntüleri üzerinde bilgisayar destekli sayısal yöntemler kullanılarak gri madde, beyaz madde, beyin omurilik sıvısı, total beyin hacmi, parankima ve lateral ventrikül bölgelerinin hacimleri hesaplanmıştır. Çalışmada SPM8 ve MRICro programları, ALVIN ve VBM8 kütüphaneleri kullanılmıştır. Kullanılan sayısal yöntemler farklı program ve kütüphaneler de buldukları için hangi kombinasyonda kullanılmalrı gerektiğini gösteren bir model

* Sorumlu Yazar: Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, Konya, Turkey, ORCID: 0000-0002-3037-2687, muozic@gmail.com

önerilmiştir. Her insanda kafa büyüklüğünün farklı olmasından dolayı hacimsel sonuçlar göreceli olmaktadır. Bundan dolayı her bir hacim değeri başka bir hacim değeri ile oranlanarak görecelik problemi ortadan kaldırılmalıdır. Elde edilen altı global hacim bölgesinin farklı kombinasyonlarda toplanması ve bölünmesi ile beyne ait yirmi farklı metrik elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak bağımsız örneklem t-testi ile iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı belirlenmiştir. Kullanılan sayısal yöntemlerin performansı ve global beyin hacimlerinden elde edilen yirmi metriğin istatistiksel sonuçları tartışılmıştır. Ölçümler ve değerlendirmelerden sonra beyin omurilik sıvısı hacminin gri madde hacmine oranının hastalığın ayırıcı tanısında önemli bir işaretçi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alzheimer, Hacim, Oran, SPM8, VBM8, MRI

1. Introduction

Alzheimer's Disease (AD) is a neurological disorder that starts with aging and forgetfulness. It is not known why the disease started and there is no cure to stop it. If it can be diagnosed at an early stage, there are some treatments that extend the patient's AD stage for some time (Dubois et al., 2016). Approximately 50-70% of the causes of dementia seen in the clinic are AD (Selekler, 2010). While the proportion of many common diseases is decreasing in the world, AD is increasing proportionally (Association, 2019). According to the Alzheimer's Association of Turkey, 600 thousand families in our country are struggling with AD (Derneği, 2020). AD begins with simple forgetfulness and volumetric losses occur in memory-related areas of the brain. These volume changes of the brain regions and their ratios to each other give information about the disease as a biomarker (Holland et al., 2009; Petropoulos, Sibbitt Jr, & Brooks, 1999; Schuff et al., 2009; Villarreal et al., 2002). These biomarkers are extremely important in terms of diagnosis of the disease, early phase identification, long-term follow-up (G. B. Frisoni, Fox, Jack, Scheltens, & Thompson, 2010; Vemuri & Jack, 2010). 3D Magnetic Resonance (MR) imaging is a high-resolution medical imaging technique that shows rigid changes in the brain (G. B. Frisoni et al., 2010; Vemuri & Jack, 2010). MR images consist of successive slices. Therefore, if a slice is being evaluated, the previous and next slice of that slice should also be evaluated together. 3D MR images are usually interpreted manually by radiologists. This interpretation gives specific information about the disease such as volumetric measurements, perimeters, segmentation, and the amount of atrophy. However, the results of the calculation of these variables may vary from experiment to experiment and give relative results. It is also time-consuming and capable of making mistakes (Keller & Roberts, 2009). Since the voxel intensity transition between brain regions is not very clear in MR images, computer-aided digital systems that measure and segment regions automatically instead of manual interpretations could be an effective solution. With the increasing of numerical methods, automatic brain analysis programs are continuously being developed. Linux based Freesurfer (Fischl, 2012) and FSL (Jenkinson, Beckmann, Behrens, Woolrich, & Smith, 2012), MATLAB based Statistical Parametric Mapping (SPM) (Ashburner et al., 2008) are frequently used in the literature. These programs can perform pre-processing, post-processing and segmentation operations on images using powerful algorithms.

The brain consists of three basic areas: gray matter (GM), white matter (WM), cerebrospinal fluid (CSF). GM is a region where functional centers are located. WM is the region where neurons are located under GM. The CSF is a fluid that protects the brain from outside interventions. Since AD starts with forgetfulness, volumetric losses occur primarily in the memory-related regions. Atrophy occurs especially in the hippocampus, amygdala, limbic system and temporal lobe areas on GM (Petrella, Coleman, & Doraiswamy, 2003). It is stated that there are also some losses in the WM (Salat et al., 2009). As volumetric losses in GM and WM regions increase, the amount of CSF increases. The lateral ventricle (LV) in the middle of the brain enlarges, and this part is filled with CSF. As a result, GM, WM, CSF and LV volumes are the main global volume biomarkers for the disease. In this study, GM, WM, CSF and LV volume measurements were calculated by using packet programs on 3D T1-weighted Normal Control (NC) and AD MR images. 70 AD and 70 NC 3D T1-weighted MR images were taken from the Open Access Series of Imaging Studies (OASIS) database. MR images have been labeled with Clinical Dementia Rating (CDR) neuropsychological test. Using this test, some questions are asked to patients and their relatives. Thus, the stage of the disease is determined. CDR consists of five phases; CDR0 normal, CDR0.5 mild cognitive impairment, CDR1 early stage, CDR2 moderate stage, CDR3 heavy stage. There are data labeled between CDR0-CDR2 in the OASIS database. In Figure 1, a single slice of MR images labeled CDR0, CDR0.5, CDR1, CDR2 are given, respectively. As seen in Figure 1, as the stage progresses, the brain shrinks and volumetric losses increase (Öziç, 2018).

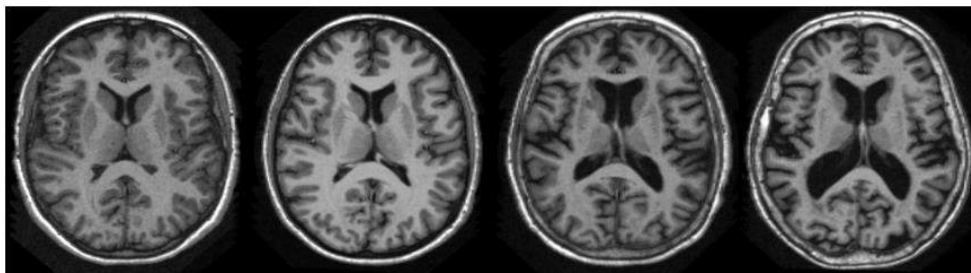


Figure 1: Single slice of MR images labeled CDR0, CDR0.5, CDR1, CDR2, respectively (Marcus et al., 2007)

MRIcro, SPM8, VBM8, ALVIN package programs were used in this study (Kempton et al., 2011; Kurth, Luders, & Gaser, 2010; MRIcro, 2020; Penny, Friston, Ashburner, Kiebel, & Nichols, 2011). ALVIN and VBM8 are an SPM8 plugin. MRIcro is used for preprocessing and visualization. The programs used are not sufficient for volume calculation alone. The output of one program can be

the input of another program. Therefore, in this study, a model regarding the order in which package programs and libraries can be used is also proposed. For the analysis of AD disease, a total of twenty metrics were derived, with different combinations of six global volume regions: GM, WM, CSF, LV, Total Intracranial Volume (TIV (GM+WM+CSF)), and Parenchyma (GM+WM). The measured values were analyzed with independent samples t-test. It was evaluated whether the values were significant or not.

2. Material and Methods

2.1. Data Set

70 AD and 70 NC T1 weighted MR images were taken from the OASIS database. The OASIS database consists of MR images ranging in age from 18 to 96. The images are composed of young and old AD MR images. MR data are labeled with Mini Mental Status Test (MMSE) and Clinical Dementia Rating (CDR) neuropsychological tests. MMSE scoring ranges from 0-30, while CDR ranges from 0-3. The OASIS database contains only labeled CDR0-2. Therefore, images labeled CDR0 as NC, images labeled CDR0.5-2 were used as AD in this study. Since age 65 is a risk factor for AD, data above this age were taken from the database. Data set used and demographic distribution are given in Table 1. There are MR images already pre-processed and registered to the Talairach axis in the database. However, these registered images do not represent actual volume values. Therefore, only the raw images prefixed with "OAS1_xxxx_MRY_mpr_ni_anon_sbj_111" were taken. The necessary pre-processing on the raw images have been performed in the study. OASIS database imaging protocols are TE:4.0 msec, TR:9.7 msec, TI:20 msec, flip angle=10, 128 sagittal, 1.25 slice thickness without gap, pixel resolution 256x256 (1x1mm) and T1 weighted magnetization-prepared rapid gradient echo (MPRAGE) multiple high-resolution images via 1.5 T vision scanner (Siemens, Erlangen, Germany)(Marcus et al., 2007).

Table 1: Data set used in this study and demographic distribution

NC						AD					
Age Gr.	Numb.	M\F	Mean Age	Mean MMSE	CDR	Age Gr.	Numb.	M\F	Mean Age	Mean MMSE	CDR
60s	9	3\6	68.00±1.11	28.77±1.64	0	60s	7	3\4	67.85± 1.21	23.42± 4.85	5\2\0
70s	32	8\24	73.37±2.44	29.15±0.91	0	70s	35	14\21	74.42±2.61	24.54±4.21	23\11\1
80s	22	6\16	83.40±3.27	28.77±1.26	0	80s	23	11\12	82.69± 2.61	24.47 ±4.06	16\6\1
90s	7	1\6	91.14±1.67	28.57±1.71	0	90s	5	2\3	92.00± 2.44	23.80±1.92	4\1\0
Total	70	18\52	77.61±7.48	28.92± 1.21	0	Total	70	30\40	77.74 ±6.66	24.35 ±4.05	48\20\2

2.2. Measurement of Global Brain Volumes

To make volume analysis in 3D raw MR images, some pre-processing techniques must be done. Firstly, images were converted from the sagittal axis to axial axis with MRIcro program. Because the template images in VBM8 and SPM8 programs are defined on the axial axis, this process must be done. With the "Display" option of SPM8 program, a reorientation process was performed to the Anterior Commissure (AC) point. This point is considered to be the center point of the brain (x, y, z = 0) (Talarach & Tournoux, 1988). This process is called AC/Posterior Commissure (PC) line correction. Otherwise, the MATLAB program gives an error in the next steps. These data for the segmentation process were given to input of the VBM8 library. VBM8 library is an SPM8 plug-in that combines the preprocessing and segmentation stages of structural MR images. Using this plug-in, bias correction, denoising, normalization, and segmentation processes were performed automatically on the 3D structural MR images. The high-dimensional Diffeomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie Algebra (DARTEL) method was chosen for normalization to the Montreal Neurological Institute (MNI) space. The DARTEL method was proposed by John Ashburner (Ashburner, 2007). This normalization method gives the best register among 14 different normalization algorithms (Klein et al., 2009). It also gives the best register between MR images taken with different protocols from different centers (Goto et al., 2013). The Modulation method was preferred for segmentation. Modulation operation is an option that maintains the volume in the native space before normalization (Mechelli, Price, Friston, & Ashburner, 2005). As a result of the processes, segments of GM, WM, and CSF regions were obtained in Montreal Neurological Institute (MNI) space. Image volumes were calculated by using "get_totals.m" MATLAB script developed by Ged Ridgway (Ridgway, 2020). LV volume and segmentation were obtained with the ALVIN program over the modulated CSF images segmented with the SPM8 program (Kempton et al., 2011). The amount of TIV was calculated by summing up GM, WM and CSF volumes, and the Parenchyma (PRM) tissue volume was calculated by summing up GM and WM volumes. Thus, the volumes of six regions in total were calculated in milliliters (ml). In Figure 2, a flow diagram that performs pre-processings on raw 3D T1-weighted MR image of the subject numbered 430 from OASIS database and finding segmentation and volume values of GM, WM, CSF, LV, TIV, PRM regions are given. Three-dimensional models of four global brain regions are shown in Figure 3. In Figure 4, the borders of the GM, WM, CSF, PRM, TIV regions on the MR image and the LV region's borders on the modulated segmented GM are given.

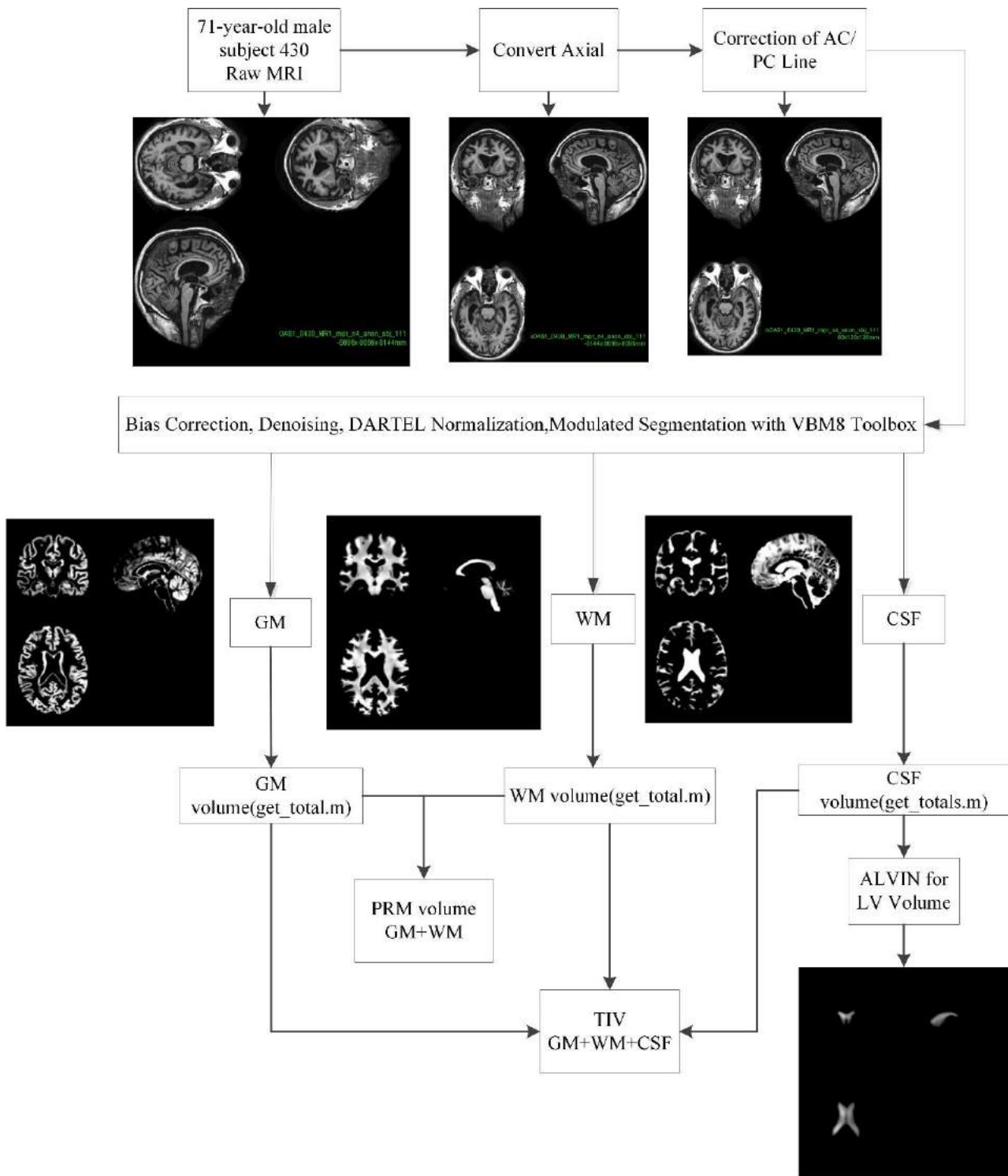


Figure 2. Flow diagram that performs pre-processings on raw 3D T1-weighted MR image of the subject numbered 430 from OASIS database and finding segmentation and volume values of GM, WM, CSF, LV, TIV, PRM regions (Öziç, 2018)

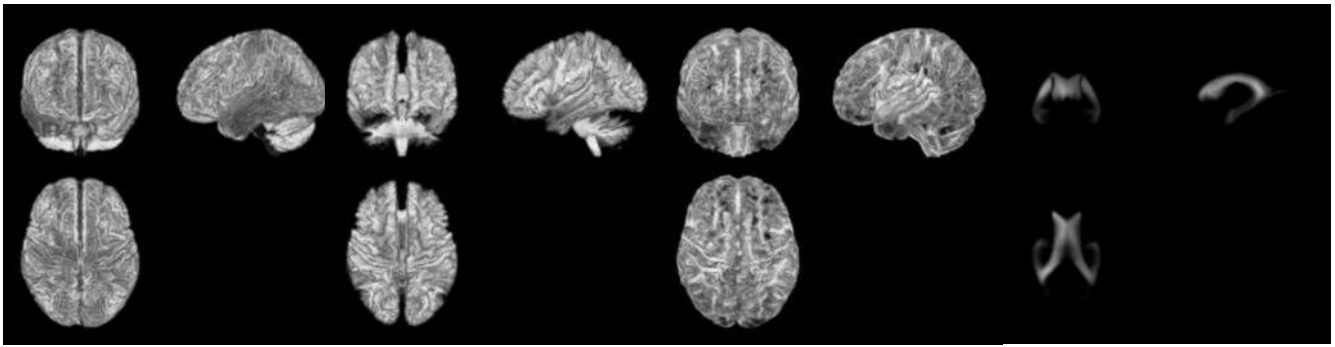


Figure 3. Three-dimensional models of four global brain regions (GM, WM, CSF, LV)

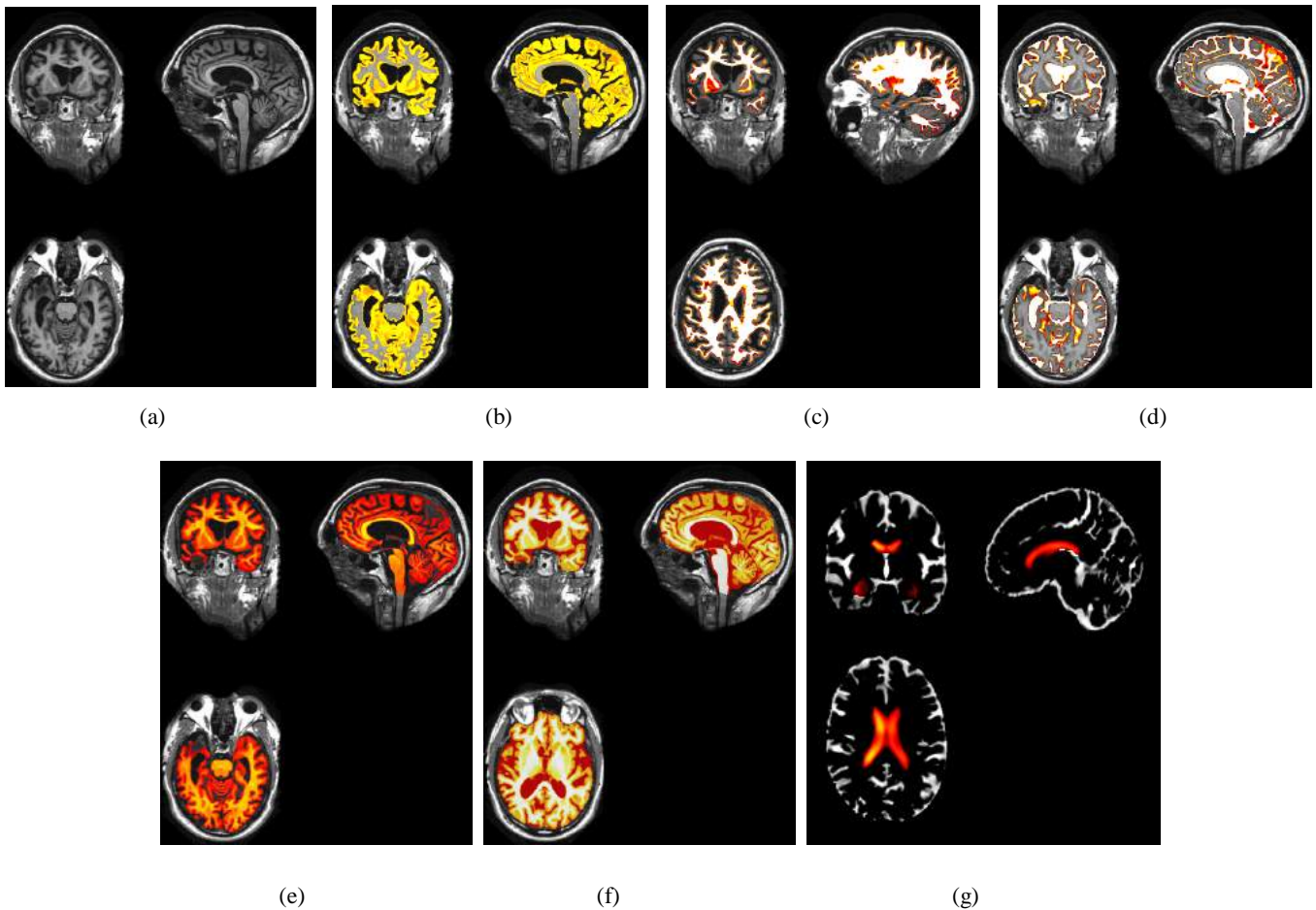


Figure 4. (a) Converted axial plane OASIS 430 raw MR image (b) GM borders on raw MR image (c) WM borders on raw MR image (d) CSF borders on raw MR image (e) Parenchyma borders on raw MR image (f) TIV borders on raw MR image (g) LV borders on modulated segmented GM

3. Research Results and Discussion

GM, WM, CSF, PRM, TIV, LV volumes were obtained by using the flow diagram in Figure 2 in each T1-weighted 3D MR image. With the volumes of the six regions obtained, twenty-six metrics were derived from different ratios and combinations. Mean and standard deviations of all metrics were calculated for AD and NC groups. Whether the values are significant between AD and NC was calculated by independent samples t-test. Mean, standard deviation and p significance value of the metrics are given in Table 2. The metrics were sorted in the table from the most significant to the most insignificant with respect to p value.

Table 2: Mean, standard deviation and p significance values of the metrics(Öziç, 2018)

	AD		NC		Stats
	Mean	Std	Mean	Std	p
CSF/GM	0.598	0.085	0.53	0.072	1,00E-06
(WM+CSF)/TIV	0.586	0.022	0.57	0.016	2,00E-06
GM/TIV	0.414	0.022	0.43	0.016	2,00E-06
(LV+CSF)/TIV	0.28	0.034	0.253	0.033	7,00E-06
CSF/TIV	0.246	0.025	0.227	0.024	9,00E-06
PRM/TIV	0.754	0.025	0.773	0.024	9,00E-06
CSF/ PRM	0.328	0.044	0.295	0.041	1,00E-05
CSF	337	47.97	305.3	40.49	4,00E-05
LV/GM	0.082	0.032	0.063	0.027	0.0002
WM/CSF	1.Nis	0.19	1.538	0.231	0.0002
LV/ PRM	0.045	0.017	0.035	0.015	0.0004
LV/TIV	0.034	0.012	0.027	0.011	0.0006
LV	46.44	19.77	36.01	15.58	0.0007
LV/WM	0.099	0.038	0.078	0.034	0.0009
(GM+LV)/TIV	0.447	0.019	0.456	0.013	0.0018
LV/CSF	0.135	0.044	0.115	0.041	0.0068
WM/GM	0.824	0.064	0.801	0.051	0.0149
GM/ PRM	0.549	0.019	0.556	0.016	0.018
WM/ PRM	0.451	0.019	0.444	0.016	0.018
GM	565.9	55.93	578	47.35	0.1706
(WM+LV)/TIV	0.374	0.018	0.37	0.017	0.2347
(GM+CSF)/TIV	0.66	0.017	0.656	0.018	0.2548
WM/TIV	0.34	0.017	0.344	0.018	0.2548
TIV	1369	132.9	1346	116	0.2861
PRM	1032	104.7	1041	96.57	0.5934
WM	466.2	55.73	463.2	53.19	0.7488

The most significant value in AD and NC volume comparison is found in CSF/GM. GM/TIV and (WM+CSF)/TIV demonstrate a high degree of statistical significance after CSF/GM. GM, (WM+LV)/TIV, (GM+CSF)/TIV, WM/TIV, WM, TIV, PRM values are statistically insignificant. Since AD begins with forgetfulness, initial volumetric differences occur in memory-related brain regions on GM. In the literature, there are studies showing that volumetric losses and differences occur in GM and WM using voxel-based morphometry (G. Frisoni et al., 2002; Guo et al., 2010). But in this study, GM, WM, Parenchyma volume values alone gave meaningless results. Even if volumetric loss occurs in these regions, the different head size of each person gives meaningless results in volume comparisons. To overcome this problem, it is usually used by normalizing the measurements to a value. Normalization is performed by dividing the measured value by TIV or GM. Another approach is the proportion of measured values to each other (Ge et al., 2002; Orellana et al., 2016; Youn & Hsiung, 2015). The aim of these approaches, even if the values measured in healthy people differ among themselves, their proportions to each other or global volumes will be similar. Therefore, patient-normal comparisons made using volume values will yield more objective results. Since there is the volumetric loss in GM and WM regions, CSF is filled to these regions. Since CSF increases too much, it shows a significant difference both alone and in TIV normalization. Significant differences were observed in LV volume alone and in TIV normalization as the LV region expands and the volume increase is very high (Bigler, 2015; Rababa'h, 2014). Since the skull does not shrink and the total brain volume does not change, it is an expected result that no significant difference TIV volume is observed. Since the PRM region is the sum of WM and GM, the change in this region significantly affected the statistical results in the combinations using PRM. As a result of the experiments, the normalization process to the TIV and Parenchyma regions mostly gives meaningful results. At the same time, the proportion of areas where volumetric loss is expected gives each other meaningful results. CSF/GM, (WM+CSF)/TIV, GM/TIV, (LV+CSF)/TIV, PRM/TIV, CSF/PRM, LV/ GM, WM/CSF, LV/PRM, LV/GM, WM/CSF, LV/PRM, LV/TIV, LV/WM, (GM+LV)/TIV, LV/CSF, WM/GM, GM/PRM, WM/PRM rates and normalization processes are the remarkable results of the study.

4. Conclusion

Volumetric differences measured for AD in 3D T1-weighted MR images have a biomarker feature for the disease. In this study, global volumetric calculations were made with a model developed in AD and NC MR images, the ratios of regions to each other and the results of normalization processes were evaluated statistically. In the literature, although values such as GM / WM, GM / TIV are generally used for comparison, in this study has been determined that the ratios of other regions in the brain may give statistically significant results. Therefore, different rates determined in the study can be used as a biomarker for the disease. The different head sizes of each person can give misleading results for the analysis of regions alone in volumetric analysis studies. In this study, misleading points are statistically revealed and discussed after volumetric measurements. CSF/GM ratio has been proven in the study that it is an important and powerful biomarker for the disease. Manual interpretation of 3D MR images is a laborious, user-prone, time-consuming process. Computer-aided numerical methods can give more accurate and faster measurement results practically. With the measurement method used in this study, global brain regions can be measured quickly. In the future, it is an expected development in the field of medicine that such numerical methods are analyzed through the MR device or server and directed to the doctors as a pre-diagnosis in the form of a report.

Kaynakça

- Ashburner, J. (2007). A fast diffeomorphic image registration algorithm. *Neuroimage*, 38(1), 95-113.
- Ashburner, J., Barnes, G., Chen, C., Daunizeau, J., Flandin, G., Friston, K., . . . Litvak, V. (2008). SPM8 manual. *Functional Imaging Laboratory, Institute of Neurology*, 41.
- Association, A. s. (2019). 2019 Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's & Dementia*, 15(3), 321-387.
- Bigler, E. D. (2015). Structural image analysis of the brain in neuropsychology using magnetic resonance imaging (MRI) techniques. *Neuropsychology Review*, 25(3), 224-249.
- Derneği, T. A. (2020). Türkiye'de 600bin aile Alzheimer Hastalığı ile Mücadele Ediyor. Retrieved from <http://www.alzheimerderneği.org.tr/haber/turkiyede-600-bin-aile-alzheimer-hastaligi-ile-mucadele-ediyor/>
- Dubois, B., Hampel, H., Feldman, H. H., Scheltens, P., Aisen, P., Andrieu, S., . . . Blennow, K. (2016). Preclinical Alzheimer's disease: definition, natural history, and diagnostic criteria. *Alzheimer's & Dementia*, 12(3), 292-323.
- Fischl, B. (2012). FreeSurfer. *Neuroimage*, 62(2), 774-781.
- Frisoni, G., Testa, C., Zorzan, A., Sabattoli, F., Beltramello, A., Soininen, H., & Laakso, M. (2002). Detection of grey matter loss in mild Alzheimer's disease with voxel based morphometry. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 73(6), 657-664.
- Frisoni, G. B., Fox, N. C., Jack, C. R., Scheltens, P., & Thompson, P. M. (2010). The clinical use of structural MRI in Alzheimer disease. *Nature Reviews Neurology*, 6(2), 67-77.
- Ge, Y., Grossman, R. I., Babb, J. S., Rabin, M. L., Mannon, L. J., & Kolson, D. L. (2002). Age-related total gray matter and white matter changes in normal adult brain. Part I: volumetric MR imaging analysis. *American Journal of Neuroradiology*, 23(8), 1327-1333.
- Goto, M., Abe, O., Aoki, S., Hayashi, N., Miyati, T., Takao, H., . . . Mori, H. (2013). Diffeomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie Algebra provides reduced effect of scanner for cortex volumetry with atlas-based method in healthy subjects. *Neuroradiology*, 55(7), 869-875.
- Guo, X., Wang, Z., Li, K., Li, Z., Qi, Z., Jin, Z., . . . Chen, K. (2010). Voxel-based assessment of gray and white matter volumes in Alzheimer's disease. *Neuroscience letters*, 468(2), 146-150.
- Holland, D., Brewer, J. B., Hagler, D. J., Fennema-Notestine, C., Dale, A. M., Weiner, M., . . . Jagust, W. (2009). Subregional neuroanatomical change as a biomarker for Alzheimer's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), 20954-20959.
- Jenkinson, M., Beckmann, C. F., Behrens, T. E., Woolrich, M. W., & Smith, S. M. (2012). Fsl. *Neuroimage*, 62(2), 782-790.
- Keller, S. S., & Roberts, N. (2009). Measurement of brain volume using MRI: software, techniques, choices and prerequisites. *J Anthropol Sci*, 87, 127-151.
- Kempton, M. J., Underwood, T. S., Brunton, S., Stylios, F., Schmechtig, A., Ettinger, U., . . . Frangou, S. (2011). A comprehensive testing protocol for MRI neuroanatomical segmentation techniques: evaluation of a novel lateral ventricle segmentation method. *Neuroimage*, 58(4), 1051-1059.
- Klein, A., Andersson, J., Ardekani, B. A., Ashburner, J., Avants, B., Chiang, M.-C., . . . Hellier, P. (2009). Evaluation of 14 nonlinear deformation algorithms applied to human brain MRI registration. *Neuroimage*, 46(3), 786-802.
- Kurth, F., Luders, E., & Gaser, C. (2010). VBM8 toolbox manual. *Jena: University of Jena*.
- Marcus, D. S., Wang, T. H., Parker, J., Csernansky, J. G., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2007). Open Access Series of Imaging Studies (OASIS): cross-sectional MRI data in young, middle aged, nondemented, and demented older adults. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(9), 1498-1507.
- Mechelli, A., Price, C. J., Friston, K. J., & Ashburner, J. (2005). Voxel-based morphometry of the human brain: methods and applications. *Current medical imaging reviews*, 1(2), 105-113.
- MRICro. (2020). Retrieved from <https://people.cas.sc.edu/rorden/mricro/mricro.html>
- Orellana, C., Ferreira, D., Muehlboeck, J.-S., Mecocci, P., Vellas, B., Tsolaki, M., . . . Simmons, A. (2016). Measuring global brain atrophy with the brain volume/cerebrospinal fluid index: normative values, cut-offs and clinical associations. *Neurodegenerative Diseases*, 16(1-2), 77-86.
- Özç, M., Ü. (2018). *3B Alzheimer MR Görüntülerinin Sınıflandırılmasında Yeni Yaklaşımlar*. (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye

- Penny, W. D., Friston, K. J., Ashburner, J. T., Kiebel, S. J., & Nichols, T. E. (2011). *Statistical parametric mapping: the analysis of functional brain images*: Elsevier.
- Petrella, J. R., Coleman, R. E., & Doraiswamy, P. M. (2003). Neuroimaging and early diagnosis of Alzheimer disease: a look to the future 1. *Radiology*, 226(2), 315-336.
- Petropoulos, H., Sibbitt Jr, W. L., & Brooks, W. M. (1999). Automated T2 quantitation in neuropsychiatric lupus erythematosus: a marker of active disease. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 9(1), 39-43.
- Rababa'h, Q. (2014). *Intracranial volume Segmentation*. (Master Thesis in Medicine), Örebro University,
- Ridgway, G. (2020). Miscellaneous useful MATLAB scripts for SPM/VBM. Retrieved from http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/g.ridgway/vbm/get_totals.m
- Salat, D. H., Greve, D. N., Pacheco, J. L., Quinn, B. T., Helmer, K. G., Buckner, R. L., & Fischl, B. (2009). Regional white matter volume differences in nondemented aging and Alzheimer's disease. *Neuroimage*, 44(4), 1247-1258.
- Schuff, N., Woerner, N., Boreta, L., Kornfield, T., Shaw, L., Trojanowski, J., . . . Initiative, D. N. (2009). MRI of hippocampal volume loss in early Alzheimer's disease in relation to ApoE genotype and biomarkers. *Brain*, 132(4), 1067-1077.
- Selekler, K. (2010). Alois Alzheimer ve Alzheimer Hastalığı. *Türk Geriatri Dergisi*, 13(3), 9-14.
- Talarach, J., & Tournoux, P. (1988). Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. *George Thieme, Stuttgart*.
- Vemuri, P., & Jack, C. R. (2010). Role of structural MRI in Alzheimer's disease. *Alzheimer's research & therapy*, 2(4), 23.
- Villarreal, G., Hamilton, D. A., Petropoulos, H., Driscoll, I., Rowland, L. M., Griego, J. A., . . . Brooks, W. M. (2002). Reduced hippocampal volume and total white matter volume in posttraumatic stress disorder. *Biological psychiatry*, 52(2), 119-125.
- Youn, Y. C., & Hsiung, G.-Y. R. (2015). A Voxel Based Morphometric Analysis of Longitudinal Cortical Gray Matter Changes in Progranulin Mutation Carriers At-Risk for Frontotemporal Dementia: Preliminary Study. *Dementia and Neurocognitive Disorders*, 14(4), 163-167.



Türkiye Kruvaziyer Limanlarının Performans Değerlendirmesi

Ercan Yüksekıldız^{1*}

¹ Samsun Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7199-8267)

(İlk Geliş Tarihi 16 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 18 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.660363)

ATIF/REFERENCE: Yüksekıldız, E. (2020). Türkiye Kruvaziyer Limanlarının Performans Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 607-615.

Öz

Limanların etkin bir şekilde çalışması hem ulusal hem de uluslararası bazda ülkeler için oldukça önem arz etmektedir. Literatürde liman performansı ve verimliliğini ölçebilmek için yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu konteyner limanları için yapılmıştır. Kruvaziyer limanlarının verimliliğini hesap edebilmek için yapılan çalışmalara da nadiren rastlanmaktadır. Türkiye'deki kruvaziyer limanlarının performans değerlendirmesinin yapıldığı bu çalışmada entropi ve CODAS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Bu amaçla Türkiye'de faaliyet gösteren altı kruvaziyer limanının 2018 yılına ait verileri kullanılmıştır. Limanların performans değerlendirilmesi yapılırken kullanılan kriterlerin ağırlıkları entropi yöntemi ile hesap edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları CODAS yöntemine aktarılarak kruvaziyer limanlarının performans sıralaması yapılmıştır. Entropi yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda en büyük değere sahip kriter transit yolcu sayısı olarak bulunmuştur. En düşük ağırlığa sahip olan kriter ise maksimum draft kriteridir. CODAS yöntemi sonuçlarına göre kruvaziyer limanlarının performans değerleri sırasıyla Kuşadası, Çeşme, Bodrum, Antalya, Alanya ve Marmaris olarak bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre toplamda daha fazla yolcu taşımacılığı yapılan kruvaziyer limanlarının performans değerlerinin diğer limanlara oranla daha yüksek çıktığı görülmüştür. Yapılan çalışmada ayrıca bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Entropi yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıklarından en yüksek olanı ile diğer kriterlerin ağırlıkları sırasıyla değiştirilmiştir. Böylelikle CODAS yönteminin kriterlerin ağırlık değişimine ne şekilde tepki vereceği gözlemlenmiştir. Yapılan duyarlılık analizinde tüm ağırlık değişimi senaryolarına göre Kuşadası limanı ilk sırada yer alırken, Marmaris limanı ise son sırada yer almıştır. Bu sonuçlar Üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olmasına rağmen Türkiye'nin kruvaziyer turizminden yeterli ölçüde pay alamadığını göstermektedir. Ülkemizin kruvaziyer turizmi alanındaki eksikliklerini gidermesi ve gerekli önlemleri alması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kruvaziyer limanları, Entropi, CODAS, Performans değerlendirilmesi.

Performance Evaluation of Turkish Cruise Ports

Abstract

The efficient operation of the ports is very important for countries both nationally and internationally. There are many studies in the literature to measure port performance and efficiency. A great majority of these studies were carried out for container ports. Studies for calculate the efficiency of cruise ports are rarely encountered. In this study which evaluated the performance of cruise ports in Turkey were entropy and CODAS methods used together. Data from six cruise ports operating in Turkey for the year 2018 has been used for this purpose. The weights of the criteria used during the performance evaluation of the ports were calculated using entropy method. The obtained criteria weights were transferred to the CODAS method and the performance ranking of the cruise ports was made. As a result of the calculations performed by entropy method, the criterion with the greatest value was found to be the number of transit passengers.

* Sorumlu Yazar: Samsun Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Samsun, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7199-8267, ercan.yuksekyildiz@samsun.edu.tr

The criterion with the lowest weight is the maximum draft criterion. According to the results of CODAS method, the performance values of cruise ports were found as Kuşadası, Çeşme, Bodrum, Antalya, Alanya and Marmaris respectively. According to the results of the study, the performance values of the cruise ports, which carried more passengers in total, were higher than those of other ports. A sensitivity analysis was also carried out in the study. The highest of the criterion weights obtained by the entropy method and the weights of the other criteria were changed respectively. Thus, it was observed how the CODAS method would react to the weight change of the criteria. According to all the weight change scenarios, Kuşadası port takes the first place and Marmaris port takes the last place in the sensitivity analysis. These results showed that Turkey is a country surrounded on three sides by sea, it does not get enough share from cruise tourism. Our country needs to eliminate its shortcomings in the field of cruise tourism and take the necessary measures.

Keywords: Cruise ports, Entropy, CODAS, Performance evaluation.

1. Giriş

Limanlar, gemilerden yüklerin elleçlenmesi (yükleme/boşaltma) ve yolcuların gemiye inip-binme işlemlerin yapıldığı yerlerdir. Çoğunlukla yük taşımacılığının yapıldığı limanlarda yolcu hizmetleri ve taşımacılığının da önemi giderek artmaya başlamıştır (TDİ, 2017). Günümüzde kruvaziyer gemileri ile yolcu taşımacılığı uluslararası turizm pazarında en hızlı gelişim gösteren taşımacılık türüdür (Dwyer ve Forsyth, 1998). Orta ve üst gelir düzeyine hitap eden ve bulunduğu ülkeye, bölgeye döviz getirisi sağlayan bir turizm çeşidi olan kruvaziyer turizminin iki önemli bileşeni, kruvaziyer gemi ve liman işletmeciliğidir (Oral ve Esmer, 2010). Kruvaziyer turizminin hızlı bir şekilde gelişim göstermesi, gemilerin daha modern ve büyük olmalarını sağlamıştır. Gemi boyutlarının büyümesi de kruvaziyer limanlarına olan talebin artmasına neden olmuştur (Gökğöz, 2010). Kruvaziyer gemilerinin yanaşabildiği, yolcu gemilerine teknik ve destek hizmetlerin (atık yönetimi, su, internet, telefon, elektrik, jeneratör vb.) verildiği limanlar kruvaziyer yolcu limanları olarak tanımlanır (Bircan, 2014). Bu hizmetlerin kruvaziyer gemilerine sunulması ile limanlar kar elde etmektedir (Polat, 2015). Kruvaziyer limanlar kullanım şekillerine göre, ana liman, uğrak liman ve hibrit limanlar olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Kruvaziyer gemilerinin yolculuğa başlangıç ve/veya bitiş noktası ana liman olarak adlandırılmaktadır. Kruvaziyer gemilerinin seyahat programları kapsamında ziyaret ettikleri limanlar uğrak liman olarak sınıflandırılır. Hibrit limanlar ise ana ve uğrak limanların bir karışımıdır. Bu tür limanlar herhangi bir kruvaziyer gemisinin başlangıç ya da bitiş noktası olurken diğer bir kruvaziyer gemisinin uğrak limanı olmaktadır (Lekakou vd., 2009).

Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'nin kruvaziyer turizmi açısından önemli avantajları bulunmaktadır (Büyükepeççi ve Gök, 2015). Ülkemizin sahil şeridi ve kıyıların yapısı, tarihi geçmişi ve coğrafi özelliklerinin getirdiği doğal güzellikler, kruvaziyer turizmi için son derece yeterlidir (Deniz, 2017). Türkiye'deki kruvaziyer limanlarının mevcut görünümüne bakıldığında, Doğu Akdeniz bölgesi için uygun liman alternatifleri ve cazibe merkezlerini barındırmaktadır (Akpınar ve Bitiktaş, 2016). 2011-2019 yılları arasında Türkiye'ye gelmiş olan kruvaziyer gemi ve yolcu sayıları Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Yıllara Göre Türkiye'ye Gelen Kruvaziyer Gemi ve Yolcu Sayıları (DTGM, 2019).

Yıllar	Kruvaziyer Gemi Sayısı	Yolcu Sayısı
2011	1623	2191420
2012	1587	2095673
2013	1542	2240776
2014	1385	1790125
2015	1456	1889370
2016	590	628033
2017	311	306887
2018	247	213771
2019*	328	283774

* 2019 yılı Kasım ayı sonu

2011 yılından itibaren günümüze kadar Türkiye'ye gelen kruvaziyer gemi ve yolcu sayılarında çok büyük bir düşüş yaşanmıştır. 2013, 2015 ve 2019 yıllarında bir önceki yıla göre çok düşük bir artış gözlenmiş olsa da diğer yıllarda yolcu ve gemi sayılarında azalma yaşandığı görülmektedir. Dünya ticaret piyasasındaki kriz ve dalgalanmalar ile birlikte Türkiye'nin hem çevresindeki bölgelerde yaşanan siyasi ve ekonomik krizler hem de kendi içerisinde yaşadığı belli başlı sorunlar bu düşüşün sebebi olarak gösterilebilir (URL-1).

CODAS (COmbinative Distance-based Assessment) yöntemi yeni bir yöntem olup, literatürde bu yöntem ile yapılmış çalışma sayısı çok azdır. Bu yöntem üzerine ilk çalışmanın Ghorabae vd. (2016) tarafından çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için CODAS yönteminin kullanıldığı araştırma olmuştur. Endüstriyel robot seçimi ve ofis mikro ikliminin değerlendirilmesi ile ilgili yapılan örnek çalışmalarda CODAS yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinin (WASPAS, COPRAS, TOPSIS, VIKOR ve EDAS) karşılaştırılması yapılmıştır. Panchal vd. (2017) bir gübre fabrikasındaki makinelerin en iyi bakım stratejisinin belirlenebilmesi amacıyla bulanık AHP ve bulanık CODAS yöntemlerinden yararlanmışlardır. Bulanık AHP ile hesap edilen kriterlerin ağırlık değerleri bulanık CODAS yönteminde kullanılarak bakım stratejilerinin sıralanması yapılmıştır. Pazar

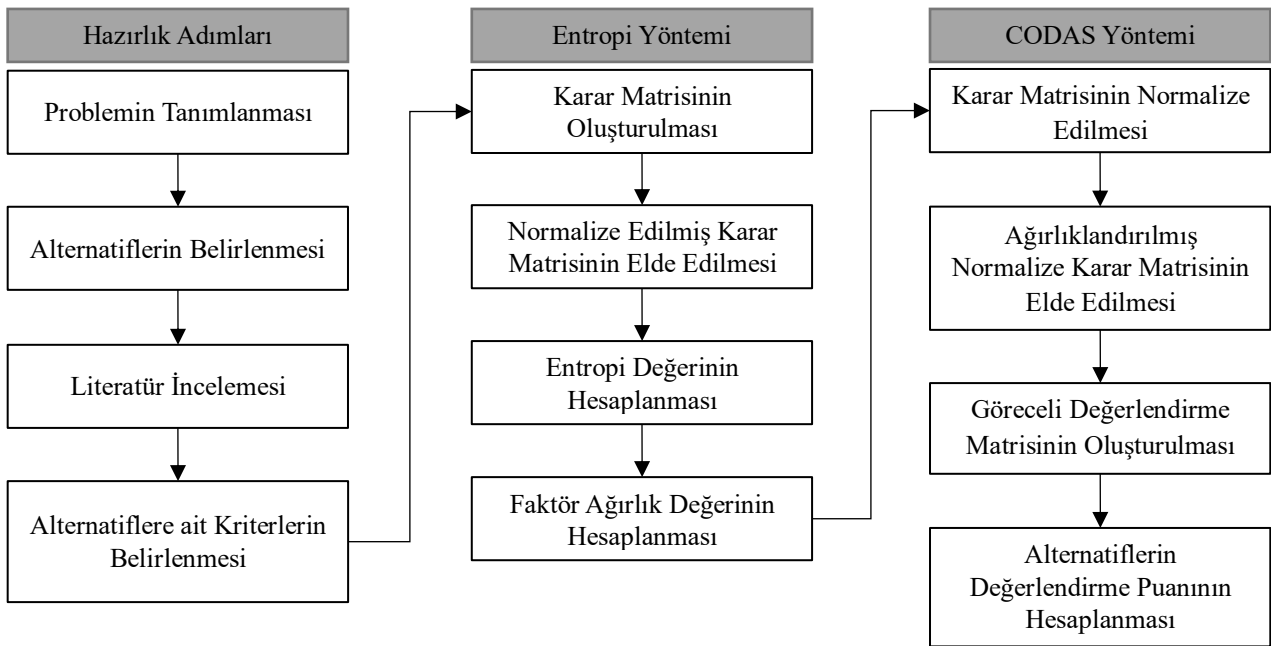
bölümü seçimi ve değerlendirmesi amacıyla Ghorabae vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık ve CODAS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bulanık EDAS ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile mukayese edilmiştir. Çalışmada ayrıca CODAS yönteminin duyarlılık analizi de yapılmıştır. Mathew ve Sahu (2018) malzeme taşıma ekipmanlarının seçimi için yaptıkları çalışmada CODAS yöntemini kullanmış ve elde edilen sonuçları EDAS, WASPAS ve MOORA yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Tuş ve Adalı (2018) bir tekstil firması için personel seçiminde CODAS ve PSI (Preference Selection Index) yöntemlerinden yararlanmışlardır. Boltürk ve Kahraman (2018) CODAS ve sezgisel bulanık kümeler yöntemini kullanarak rüzgâr enerji santralleri için yer seçimi yapmışlardır. Pamucar vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada enerji üretim teknolojisi seçimi için Nötrosofik bulanık kümeler teorisi ve CODAS yöntemini birlikte kullanmışlardır. Badi vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise Libya’da faaliyet gösteren bir demir çelik fabrikası için en iyi tedarikçinin seçimi amacıyla CODAS yöntemi kullanılmıştır. Bakır ve Alptekin (2018) CODAS yöntemi ile havayolu taşımacılığı sektöründe faaliyet gösteren 11 şirketinin hizmet kalitesinin ölçümünü yapmıştır. Maghsoodi vd. (2019) baraj yapımında kullanılacak materyallerin seçimi için SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis) ve CODAS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır.

Entropi ve CODAS yöntemlerinin bütünlük olarak kullanıldığı Ayyıldız ve Yalçın (2018) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’deki lojistik dostu şehirler belirlenmiştir. Türkiye’deki düzey 1 bölgelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarının performanslarına göre değerlendirilmesi amacıyla Ayçin ve Arsu (2019) tarafından yapılan çalışmada kriterlerin ağırlık değerleri entropi yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve CODAS yöntemi ile performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada, belirlenen kriterlere göre yolcu limanları değerlendirilmiştir. Mevcut literatür incelendiğinde entropi ve CODAS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı yolcu limanlarının değerlendirilmesi ile ilgili bir çalışmaya rastlanamamıştır. Yapılan çalışma ile hem yolcu limanlarının performansları değerlendirilmiş hem de liman performans değerlendirme problemlerinin çözümünde entropi ve CODAS yöntemleri birlikte kullanılarak, bundan sonra yapılacak benzer çalışmalar için yöntem bakımından literatüre katkı sağlandığı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Türkiye’deki kruvaziyer limanlarının performanslarını değerlendirebilmek için Entropi ve CODAS yöntemlerinin birleşik olarak kullanıldığı yöntemin işlem adımları Şekil 1’de gösterilmiştir. Kullanılan yöntemde Entropi yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlık dereceleri belirlenmektedir. Elde edilen ağırlık dereceleri CODAS yönteminde kullanılarak alternatiflerin performans değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 1. Entropi ve CODAS Birleşik Yönteminin İşlem Adımları

2.1. Veri Seti

Türkiye’deki 6 kruvaziyer limanının (Alanya, Antalya, Bodrum, Çeşme, Kuşadası ve Marmaris) 2018 yılına ait performanslarını değerlendirmek amacıyla yapılan bu çalışmada kullanılan veriler, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (TÜRKLİM), Akdeniz Kruvaziyer Limanları Derneği (MEDCRUISE) ve kruvaziyer limanlarının internet sitelerinde yer alan bilgiler derlenerek elde edilmiştir. Çalışmada performans değerleri hesaplanırken alternatif kruvaziyer limanlarının toplamda 1000 kişi ve üzerinde yolcu giriş çıkışı yapılan limanlardan seçilmesine özen gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler ve kriter kodları Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Kullanılan Kriterler

Kriter Kodları	Kriterler
K1	Rıhtım uzunluğu
K2	Maksimum draft
K3	Yanaşma yeri sayısı
K4	Gelen kurvaziyer tipi yolcu gemisi sayısı
K5	Gelen yolcu sayısı
K6	Giden yolcu sayısı
K7	Transit yolcu sayısı
K8	Toplam yolcu sayısı

Kruvaziyer limanlarını değerlendirmek için kullanılan kriterlere ait tanımlayıcı istatistiksel veriler Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Çalışmada Kullanılan Verilere ait Tanımlayıcı İstatistiksel Bilgiler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Ortalama	702,33	15,5	4	40	6586,83	7696	21238,50	35521,33
Standart sapma	367,32	4,59	2,45	52,95	10141,46	10956,76	36547,31	45958,52
Maksimum	1297	22	8	146	25456	25276	93592	121821
Minimum	322	10	2	3	3	1	322	3023

2.2. Entropi Yöntemi

Çok kriterli karar verme problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi olan entropi yöntemi kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde, karar vericilerin yargılarına danışma zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Böylelikle karar vericilerin tutarsız ve sübjektif yaklaşımları problemin çözümüne etki etmeyecek, alternatiflerin objektif bir bakış açısıyla değerlendirilmesi sağlanacaktır (Ayyıldız ve Yalçın, 2018). Yöntemin temeli Shannon'un 1948 yılında önermiş olduğu bilginin belirsizliğinin olasılık teorisi ile ölçümü olan entropi mantığına dayanmaktadır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen büyük aralığa sahip kriterler daha büyük entropi değeri ve dolayısıyla daha büyük önem derecesine sahip olurlar (Ömürbek ve Aksoy, 2016).

Entropi yönteminde uygulanan adımlar aşağıdaki gibidir (Shemshadi, Shirazi, Toreihi, & Tarokh, 2011; Li vd., 2011; Öztel vd., 2012; Perçin & Çakır, 2013; Ömürbek & Aksoy, 2016; Özdağoğlu, Yakut, & Bahar, 2017;).

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

Entropi yönteminde ilk olarak eşitlik (1) yardımıyla karar matrisi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Elde Edilmesi

Entropi yönteminin ikinci adımında karar matrisi ortak bir birime dönüştürülür. Bu amaçla kriterler fayda ve maliyet fonksiyonları ayırt etmeksizin eşitlik (2) yardımıyla normalize edilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^j x_{ij}} \quad (2)$$

Burada;

i = alternatifler

j = kriterler

r_{ij} = normalize edilmiş değerler

x_{ij} = i . alternatfin j . kriter için fayda değeri

Normalizasyon işlemi sonrasında $R = [r_{ij}]_{m \times n}$ matrisi elde edilir.

Adım 3: Kriterlere İlişkin Entropi Değerlerinin Bulunması

Bu adımda kriterlere ait entropi değerleri eşitlik (3) yardımıyla hesaplanır.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot \ln(r_{ij}) \quad (3)$$

$$(i=1,2, \dots, m \text{ ve } j = 1,2, \dots, n) \quad k = \text{entropi katsayısı } \{(\ln(n))^{-1}\}$$

Bu eşitlikte e_j , j. kriterinin entropi değerini göstermektedir ve $0 \leq e_j \leq 1$ arasında yer almaktadır.

Adım 4: Bilginin Farklılaşma Derecesinin d_j Hesaplanması

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

$$(i=1,2, \dots, m \text{ ve } j = 1,2, \dots, n)$$

d_j değerinin yüksek olması kriterlere ilişkin alternatif değerleri arasındaki uzaklığın veya farklılaşmanın fazla olduğunu göstermektedir.

Adım 5: Entropi Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Bu aşamada her bir kriter için entropi ağırlıkları hesaplanır.

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^n (1 - e_j)} \quad (5)$$

Entropi olasılık değerlerinin toplamı daima 1'e eşittir. $w_1 + w_2 + w_j + \dots + w_n = 1$

2.3. CODAS Yöntemi

Ghorabae vd. (2016) tarafından ında literatüre kazandırılan CODAS (COmbinative Distance-based Assessment-Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme) yöntemi karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme uzaklıklarını dikkate alan hesaplamalara dayalı bir yöntemdir. Yöntemin temeli, hesaplanan negatif ideal çözümden en fazla uzaklığa sahip olan alternatifin tercih edilmesidir. CODAS yönteminde, karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme uzaklıkları iki ölçü kullanılarak belirlenir. Bu amaçla ilk olarak Öklid uzaklığı dikkate alınırken, eğer iki karar alternatifini Öklid mesafesi açısından kıyaslanamaz durumda veya çok yakın değerlere sahip ise, ikincil ölçü olan Taxicab uzaklığı dikkate alınır. Uzaklıklar hesaplanırken negatif ideal noktaya olan uzaklık değerlendirilir. Yöntemde daha büyük uzaklığa sahip olan alternatif daha caziptir. n alternatif m kriterin olduğu bir karar verme probleminde, yöntemin adımları aşağıdaki gibidir.

CODAS yönteminin aşamaları şu şekildedir (Ghorabae vd., 2016):

Adım 1: Karar matrisi X aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada x_{ij} ($x_{ij} \geq 0$) i. alternatifin j. kriter özelinde aldığı değeri göstermektedir. ($i \in \{1,2, \dots, n\}$ ve $j \in \{1,2, \dots, m\}$).

Adım 2: Karar matrisi, kriterin tipine göre Eşitlik 2 yardımıyla normalize edilir ve normalize karar matrisi elde edilir.

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}, & \text{eğer } j \in N_b \\ \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}}, & \text{eğer } j \in N_c \end{cases} \quad (7)$$

Burada N_b ile fayda kriteri, N_c ile maliyet kriteri ifade edilmektedir.

Adım 3: Ağırlıklandırılmış normalize matris aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$r_{ij} = w_j \cdot n_{ij} \quad (8)$$

r_{ij} , i. alternatifin j. kriter altındaki normalize edilmiş ağırlıklı performans değerini göstermektedir. w_j ($0 < w_j < 1$), j. kriterin ağırlığını gösterir. $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 'dir.

Adım 4: Negatif ideal çözüm belirlenir.

$$ns = [ns_j]_{1 \times m} \quad (9)$$

$$ns_j = \min r_{ij} \quad (10)$$

Adım 5: Alternatiflerin negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taksicab uzaklıkları hesaplanır.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (11)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad (12)$$

Adım 6: Görelî değerlendirme matrisi oluşturulur.

$$Ra = [h_{ik}]_{n \times n} \quad (13)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (14)$$

Burada $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ olmak üzere ψ ile iki alternatifin Öklid uzaklıklarının eşitliğini tanımak için bir eşik fonksiyonu gösterilmektedir ve şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } |x| \geq \tau \\ 0 & \text{eğer } |x| < \tau \end{cases} \quad (15)$$

Bu fonksiyonda, τ eşik parametresi olarak tanımlanmaktadır ve karar verici tarafından belirlenebilir. Öklid mesafesindeki önemsizlik derecesini ifade eden parametrenin 0,01 ile 0,05 arasında olması tavsiye edilmektedir. Eğer iki alternatifin Öklid mesafeleri arasındaki fark τ den küçükse kıyaslama Taxicab mesafesi ile yapılır. Bu çalışmada τ değeri, 0,02 olarak alınmıştır.

Adım 7: Her bir alternatifin değerlendirme puanı hesaplanır.

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (16)$$

Alternatiflerin değerlendirme puanı büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek değere sahip alternatif, en iyi seçim anlamına gelmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Entropi Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Entropi yönteminin ilk aşamasında alternatiflerin ve kriterlerin oluşturduğu karar matrisi oluşturulur. Daha sonra eşitlik 2 yardımıyla karar matrisi normalize edilir. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Liman/Kriter	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8
Alanya	0,229	0,161	0,250	0,063	0,000	0,000	0,024	0,014
Antalya	0,121	0,108	0,125	0,013	0,083	0,074	0,008	0,036
Bodrum	0,161	0,237	0,125	0,083	0,000	0,000	0,190	0,114
Çeşme	0,076	0,172	0,083	0,146	0,644	0,547	0,003	0,240
Kuşadası	0,308	0,204	0,333	0,608	0,272	0,378	0,734	0,572
Marmaris	0,104	0,118	0,083	0,088	0,000	0,000	0,042	0,025

Normalize edilmiş karar matrisiyle eşitlik 3 kullanılarak entropi değerleri hesaplanmış, sonraki adımda ise eşitlik 4 ve eşitlik 5 yardımıyla entropi kriter ağırlıkları hesap edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Kriter Ağırlıkları

K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8
0,026	0,009	0,034	0,131	0,220	0,210	0,228	0,143

Entropi yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıklarına göre en yüksek değere sahip kriter K-7 (Transit yolcu sayısı) olurken en düşük değeri K-2 kriteri (Maksimum draft) elde etmiştir. Kriterler ait sıralama K-7 > K-5 > K-6 > K-8 > K-4 > K-3 > K-1 > K-2 olarak bulunmuştur.

3.2. CODAS Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

CODAS yöntemi ile alternatifler sıralanırken entropi yönteminde kullanılan karar matrisi eşitlik 7 yardımıyla normalize edilmiştir. Kullanılan kriterlerin hepsi fayda kriteri olduğundan alternatiflerin kriter değerleri buldukları sütundaki en yüksek kriter değerine bölünerek Tablo 6'da görülen normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 6. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Limn/Kriter	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8
Alanya	0,7448	0,6818	0,7500	0,1027	0,0001	0,00004	0,0323	0,0248
Antalya	0,3932	0,4545	0,3750	0,0205	0,1290	0,1346	0,0104	0,0628
Bodrum	0,5243	1,0000	0,3750	0,1370	0,0004	0,0007	0,2589	0,1992
Çeşme	0,2483	0,7273	0,2500	0,2397	1,0000	1,0000	0,0034	0,4191
Kuşadası	1,0000	0,8636	1,0000	1,0000	0,4227	0,6911	1,0000	1,0000
Marmaris	0,3385	0,5000	0,2500	0,1438	0,0003	0,0004	0,0566	0,0436

Normalize edilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra Tablo 5'teki kriter ağırlıkları kullanılarak eşitlik 8 yardımıyla, ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilmiştir. Sonrasında ise her bir sütundaki en küçük değer alınarak negatif ideal çözüm belirlenmiş, Eşitlik 11 ve eşitlik 12 kullanılarak alternatiflerin negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taksicab uzaklıkları hesaplanmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi ve Negatif İdeal Çözüm

Limn/Kriter	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	E _i	T _i
Alanya	0,0194	0,0061	0,0255	0,0135	0,00003	0,00001	0,0074	0,0035	0,025	0,049
Antalya	0,0102	0,0041	0,0128	0,0027	0,0284	0,0283	0,0024	0,0090	0,041	0,072
Bodrum	0,0136	0,0090	0,0128	0,0179	0,0001	0,0001	0,0590	0,0285	0,066	0,115
Çeşme	0,0065	0,0065	0,0085	0,0314	0,2200	0,2100	0,0008	0,0599	0,311	0,518
Kuşadası	0,0260	0,0078	0,0340	0,1310	0,0930	0,1451	0,2280	0,1430	0,344	0,782
Marmaris	0,0088	0,0045	0,0085	0,0188	0,0001	0,0001	0,0129	0,0062	0,021	0,034
Negatif ideal çözüm	0,0065	0,0041	0,0085	0,0027	0,00003	0,00001	0,0008	0,0035		

Öklid ve Taksicab uzaklıkları belirlendikten sonra eşitlik 14 ve eşitlik 15 kullanılarak Tablo 8'deki görelî değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matris eşitlik 16 kullanılarak her bir alternatifin değerlendirme puanı (H_i) hesaplanmıştır.

Tablo 8. Görelî Değerlendirme Matrisi ve Limanların Değerlendirme Puanları

Limn/Kriter	Alanya	Antalya	Bodrum	Çeşme	Kuşadası	Marmaris	H _i
Alanya	0,0000	-0,0159	-0,1067	-0,7540	-1,0516	0,0044	-1,9238
Antalya	0,0159	0,0000	-0,0684	-0,7157	-1,0133	0,0582	-1,7232
Bodrum	0,1067	0,0684	0,0000	-0,6473	-0,9449	0,1265	-1,2905
Çeşme	0,7540	0,7157	0,6473	0,0000	-0,2976	0,7738	2,5932
Kuşadası	1,0516	1,0133	0,9449	0,2976	0,0000	1,0714	4,3786
Marmaris	-0,0044	-0,0582	-0,1265	-0,7738	-1,0714	0,0000	-2,0343

Alternatiflerin almış olduğu değerlendirme puanları büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Entropi ve CODAS yöntemleri ile hesap edilen değerlendirme puanlarına göre Kuşadası > Çeşme > Bodrum > Antalya > Alanya > Marmaris şeklinde sıralama elde edilmiştir.

3.3. Duyarlılık Analizi

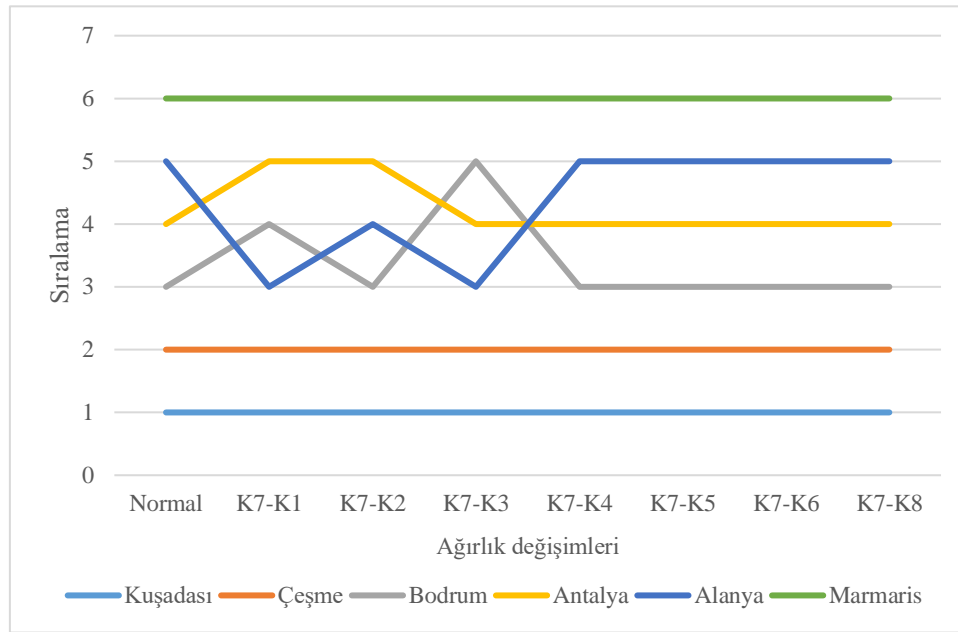
Çalışmada birlikte kullanılan entropi ve CODAS yönteminin kriter ağırlıklarının değişimine nasıl bir tepki vereceğini gözlemlemek üzere bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, entropi yöntemiyle hesap edilen kriter ağırlıkları diğer kriterlerin ağırlıkları sabit dururken, belirlenen iki kriterin ağırlıkları değiştirilmiştir. Yapılan duyarlılık analizinde en yüksek kriter ağırlığına sahip olan K-7 (Transit yolcu sayısı) kriteri kullanılmıştır. İşlem yapılırken K-7 kriterinin ağırlığı diğer kriterlerin ağırlıkları sabitken sırasıyla K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-6 ve K-8 ile değiştirilmiştir. Elde edilen yeni kriter ağırlıkları tekrar CODAS yöntemi ile hesaplanmış ve alternatiflerin değerlendirme puanları elde edilmiştir. Böylelikle yöntemin kriter ağırlıklarına karşı davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Kullanıcının alternatiflere ait kriterlerin önceliklerini belirlemesine ve değerlendirme aşamasının daha kolay yapılmasını sağlayan duyarlılık analizi sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 9'da ve Şekil 2'de görülmektedir.

Yapılan duyarlılık analizinde tüm ağırlık değişimi senaryolarına göre Kuşadası kruvaziyer limanı ilk sırada yer alırken, ikinci sırada Çeşme kruvaziyer limanı bulunmaktadır. Marmaris kruvaziyer limanının ise son sıradaki yerini koruduğu görülmektedir. Bodrum, Antalya ve Alanya kruvaziyer limanlarında ise K-7 kriterinin sırasıyla K-1, K-2 ve K-3 kriterleri ile yer değiştirmesi sonucu sıralama farklı yerlerde olduğu görülmektedir. En dikkat çekici sonuç K-7 kriteri ile K-3 (Yanışma yeri sayısı) kriterinin ağırlıkları yer değiştirdiğinde görülmektedir. Değişim uygulandığında normalde beşinci sırada yer alan Alanya kruvaziyer limanı üçüncü sıraya

yükselirken, üçüncü sırada yer alan Bodrum kruvaziyer limanı beşinci sıraya gerilemiştir. K-7 kriterinin diğer kriterler ile yer değiştirmesi normal sıralamada herhangi bir değişikliğe yol açmamaktadır.

Tablo 8. Duyarlılık Analizi Sonuçları

	Normal	K7-K1	K7-K2	K7-K3	K7-K4	K7-K5	K7-K6	K7-K8
Kuşadası	1	1	1	1	1	1	1	1
Çeşme	2	2	2	2	2	2	2	2
Bodrum	3	4	3	5	3	3	3	3
Antalya	4	5	5	4	4	4	4	4
Alanya	5	3	4	3	5	5	5	5
Marmaris	6	6	6	6	6	6	6	6



Şekil 2. Kruvaziyer Limanlarının Duyarlılık Analizi Sonuçları

4. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye’de kruvaziyer gemilerine hizmet veren kruvaziyer limanlarının performans değerlendirmesi entropi ve CODAS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir yöntem ile elde edilmiştir. Entropi yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıklarına göre en yüksek değere sahip olan kriter K-7 kriteri olurken, en düşük değere sahip kriter ise K-2 (Maksimum draft) kriteri olmuştur. Diğer kriterler ise sırasıyla; K-5 (Gelen yolcu sayısı), K-6 (Giden yolcu sayısı), K-8 (Toplam yolcu sayısı), K-4 (Gelen kruvaziyer tipi yolcu gemisi sayısı), K-3 (Yanaşma yeri sayısı) ve K-1 (Rıhtım uzunluğu) kriteridir. Kruvaziyer limanlarının performanslarına göre değerlendirme yapıldığında ise sırasıyla Kuşadası, Çeşme, Bodrum, Antalya, Alanya ve Marmaris şeklinde sıralandığı hesap edilmiştir.

Yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre toplamda daha fazla yolcu taşımacılığı yapılan limanların performans değerlerinin diğerlerine oranla daha yüksek çıktığı söylenebilir. Yolcu limanlarına kruvaziyer gemilerle gelen kişilerin transit yolcu kapsamında değerlendirildiği göz önüne alındığında bu kriterin entropi yönteminde en yüksek kriter ağırlığına sahip olduğu görülmektedir. CODAS yöntemi sonuçlarına göre de transit yolcu sayısı fazla olan limanlar sıralamada daha iyi yerlerde bulunmaktadır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise yolcu limanlarının performans sıralamasında özellikle K-3 (Yanaşma yeri sayısı) kriterinin etkin rol oynadığı bunun yanı sıra K-1 (Rıhtım uzunluğu) ve K-2 (Maksimum draft) kriterlerinin de sıralamayı etkilediği görülmüştür. Bu çalışma, kruvaziyer limanlarının performansları Entropi ve CODAS yöntemlerinin birlikte kullanılarak yapılan ilk değerlendirme çalışmasıdır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda entropi yöntemi yerine, kriter ağırlıklarının belirlenmesi için diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılabilir. Aynı şekilde entropi ile başka bir yöntemin birlikte kullanılabilmesi bir metodoloji geliştirilebilir. Kruvaziyer limanları için yapılan bu çalışmanın benzerleri diğer liman türleri (konteyner, Ro-Ro vb.) için de yapılabilir. Bununla birlikte, Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olmasına rağmen kruvaziyer turizminden yeterli ölçüde pay alamamaktadır. Yapılacak çalışmalarda bu konulara da değinilmeli ve kruvaziyer turizminden en fazla şekilde yararlanabilmesi için yetkililere ve devlet otoritelerine yol gösterici çalışmalar yapılabilir.

Kaynakça

- Akpınar, H., & Bitiktaş, F. (2016). Türkiye'deki Kruvaziyer Limanlarının Mevcut Durumu, Potansiyeli ve Gelişimine Yönelik Öneriler, 3. Ulusal Deniz Turizmi Sempozyumu, January 2016, İzmir. Doi=10.18872/DEU.b.UDDS.2016.0015.
- Ayçin, E., & Arsu, T. (2019). CODAS ve Entropi yöntemleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının düzey 1 bölgelerine göre incelenmesi. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 7(18), 425-447.
- Ayyıldız, E., & Yalçın, S. (2018). Türkiye'de yer alan lojistik dostu şehirlerin bütünlük entropi-CODAS kullanılarak belirlenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4), 127-140.
- Badi, I., Abdulshahed, A. M., & Shetwan, A. (2018). A case study of supplier selection for a steelmaking company in Libya by using the Combinative Distance-based Assessment (CODAS) model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), 1-12.
- Bakır, M., & Alptekin, N. (2018). Hizmet kalitesi ölçümüne yeni bir yaklaşım: CODAS yöntemi ile havayolu işletmeleri üzerine bir uygulama. *Business & Management Studies: An International Journal*, 6(4), 1336-1353.
- Bircan, K. (2014). Kruvaziyer yolcu taşımacılığı kapsamında kruvaziyer limanların etkinliğinin değerlendirilmesi: alternatif liman önerisi. Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, 241s.
- Bolturk, E., & Kahraman, C. (2018). Interval-valued intuitionistic fuzzy CODAS method and its application to wave energy facility location selection problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(4), 4865-4877.
- Büyükepeççi, S. & Gök, B. (2015). Akdeniz çanağındaki kruvaziyer turizm rakiplerinden Türkiye ve Yunanistan'ın liman vergilendirmelerinin karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 18(2), 21-40.
- Deniz, M. (2017). Kruvaziyer Turizminin Türk Turizm Sektörü Açısından Değerlendirilmesi. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 3, 1-13.
- DTGM, (2019). Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, Planlama ve İstatistik Dairesi Başkanlığı, Kruvaziyer İstatistikleri, https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_kruvaziyer.aspx
- Ghorabae, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Hooshmand, R., & Antuchevičienė, J. (2017). Fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria market segment evaluation. *Journal of Business Economics and Management*, 18(1), 1-19.
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new Combinative Distance-Based Assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 50(3), 25-44.
- Gökgöz, B. (2010) Dünyada ve Türkiye'de Kruvaziyer Turizmi ve Endüstrisi: Karadeniz'e Yönelik Bir Destinasyon Modellemesi. Uzmanlık Tezi. Ankara.
- Dwyer, L. & Forsyth, P. (1998). Economic Significance of Cruise Tourism. *Annals of Tourism Research*, 25(2), 393-415.
- Lekakou, M. B., Pallis, A. A., & Vaggelas, G. K. (2009). Which homeport in Europe: the cruise industry's selection criteria. *An International Multidisciplinary Journal of Tourism*, 4(4), 215-240.
- Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H. & Gao, C. (2011). Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. *Procedia Engineering*, 26, 2085-2091.
- Maghsoodi, A. I., Maghsoodi, A. I., Poursoltan, P., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. (2019). Dam construction material selection by implementing the integrated SWARA-CODAS approach with target-based attributes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1194-1210.
- Mathew, M., & Sahu, S. (2018). Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection. *Management Science Letters*, 8(3), 139-150.
- Oral, E.Z. & Esmer, S. (2010). Ege Bölgesi Kruvaziyer Turizminin Mevcut Durumu ve Geleceği, Türkiye'nin Deniz ve Kıyı Alanları VIII. Kongresi (27 Nisan-1 Mayıs 2010), 805-816, Trabzon.
- Ömürbek, N., & Aksoy, E. (2016). Bir petrol şirketinin çok kriterli karar verme teknikleri ile performans değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3), 723-756.
- Özdağoğlu, A., Yakut, E., & Bahar, S. (2017). Machine selection in a dairy product company with entropy and SAW method integration. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 32(1), 341-359.
- Öztemel, A., Köse, M. S., & Aytekin, İ. (2012). Kurumsal Sürdürülebilirlik performansının ölçümü için çok kriterli bir çerçeve: henkel örneği, *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 32-44.
- Pamucar, D., Badi, I., Sanja, K., & Obradovic, R. (2018). A novel approach for the selection of power-generation technology using a linguistic neutrosophic CODAS method: a case study in Libya, *Energies*, 11(9), 1-25.
- Panchal, D., Chatterjee, P., Shukla, R. K., Choudhury, T., & Tamosaitiene, J. (2017). Integrated fuzzy AHP-CODAS framework for maintenance decision in urea fertilizer industry. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 51(3), 179-196.
- Perçin, S., & Çakır, S. (2013). AB ülkeleri'nde bütünlük entropi ağırlık-TOPSIS yöntemiyle Ar-Ge performansının ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 77-95.
- Polat, N. (2015). Technical innovations in cruise tourism and results of sustainability, procedia. Social and Behavioral Sciences, World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, 195, 438-445.
- Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., & Tarokh, M. J. (2011). A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12160-12167.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Tuş, A., & Adalı, E. A. (2018). CODAS ve PSI yöntemleri ile personel değerlendirmesi. *Alphanumeric Journal*, 6(2), 243-256.
- TDİ, (2017), Türkiye Denizcilik İşletmeleri AŞ Sektör Raporu 2017, www.tdi.gov.tr/wp-content/uploads/2018/05/SEKTÖR-RAPORU.pdf, Erişim tarihi: 15.12.2019.

URL-1, 2019. <http://denizstrateji.com/tr/turkce-turkiyede-kruvaziyer-limanlar/> Erişim tarihi: 15.12.2019.



Besin İntoleransı ve Tanı Testleri

Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu^{1*}

¹ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7936-8462)

(İlk Geliş Tarihi 24 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 18 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.679474)

ATIF/REFERENCE: Köseoğlu, S. Z. A. (2020). Besin İntoleransı ve Tanı Testleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 616-620.

Öz

Beslenme alanında yapılan son çalışmalarda, günlük tüketilen bazı besinlerin sağlığı bozması ve duyarlılık oluşturmasının yanı sıra yaşam kalitesini belirli açılardan ve değişik açılardan etkilediği saptanmıştır. Bu derleme insan sağlığını çok yakından ilgilendirip, büyük ölçüde yaşam kalitesini etkileyen besin intoleransı ve oluşturan faktörler, sonuçları ve intolerans bulgularının belirlenmesinde kullanılan testlerin uygulanma şekilleri, değerlendirilme özellikleri konusunda bilgi vermeyi amaçlamaktadır. Sürekli değişik şikayetler ile sağlık profesyonellerine başvuran kişilerde ilk olarak belirtiler ilaçlar yoluyla giderilmeye çalışılmış ve çözüme gidilemeyen vakalarda, bu sorunlar psikolojik sebeplere dayandırılmıştır. Ancak yapılan birçok araştırma, besin duyarlılığı ile meydana gelen sorunlarda, duyarlılığa sebep olan gıdaların diyetten uzaklaştırılması ile besin intoleransının yan etkilerinin azaldığı ve hatta tamamen yok olabildiğini göstermektedir. Bilimin gelişmesi ile doğal olarak gelişen besin intoleransına ilaveten kullanılan zirai atıklar, besin katkı ve boya maddeleri, renk vericiler, genetiği değiştirilmiş besinler kişilerde son yıllarda görülen besin duyarlılık etkilerinin artmasına neden olmakta ve ayrıca bu tür sorunlar toplumda refahı, yaşam kalitesini bozmakta ve ilaç harcamaları nedeniyle ülke ekonomisini negatif yönde etkilemektedir. Kişilerin hayatında bu denli önemli bir yere sahip olan besin intoleransının varlığını anlayabilmek ve oluşturduğu ve oluşturabileceği sorunlarla baş edebilmek için besin duyarlılığı testlerinin sağlık profesyonelleri tarafından topluma tanıtılması ve bu testlere erişimin kolaylaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Besin intoleransı, yaşam kalitesi, besin intolerans testleri

Food Intolerance and Diagnostic Tests

Abstract

In recent nutrition field studies, it has been found that some foods consumed daily are health-damaging and create sensitivity, as well as affecting quality of life from certain angles and at different angles. This review aims to provide information about food intolerance, factors affecting the quality of life, results and methods of application of tests used in determination of intolerance findings. In people who apply to healthcare professionals with various complaints, the symptoms were tried to be resolved firstly, and in cases that could not be resolved, these problems were based on psychological causes. However, many studies have shown that the problems caused by food sensitivity, the removal of foods that cause sensitivity from the diet and the side effects of food intolerance can be reduced and even disappear completely. Agricultural wastes, nutrient additives and dyes, colorants, genetically modified foods used in addition to naturally occurring food intolerance with the development of science cause an increase in food sensitivity effects in people in recent years, and also such problems impair welfare, quality of life and drug expenditures. negatively affects the country's economy. In order to understand the existence of food intolerance, which has such an important place in people's life, and to cope with the problems it creates and may create, it is very important to introduce food sensitivity tests to the society and to facilitate access to these tests.

Keywords: Food intolerance, life quality, food intolerance tests

* Sorumlu Yazar: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7936-8462, szaydenk@gmail.com

1. Giriş

Besin Duyarlılığı

Besin duyarlılığı (besin intoleransı) bir besin ya da besin bileşeni tarafından uyarılan vücudun gösterdiği olumsuz reaksiyonlardır. Bir sindirim sistemi yanıtı olup, her kişide farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Yaklaşık olarak nüfusun %60'ından fazlasında besin duyarlılığı olduğu düşünülmektedir (Wilson, 2010). Meydana gelen bu duyarlılık reaksiyonları sindirilemeyen veya emilemeyen besin ya da besin bileşenlerinin etkisiyle meydana gelmektedir. Besin intoleransları arasında en yaygın görüleni laktoz intoleransı, yani süttteki bir karbonhidrat türü olan laktozu sindirecek laktaz enziminin bulunmamasından doğan bir intoleranstır. Laktoz duyarlılığı dünyada yetişkin popülasyonun %50'sinde ortaya çıkan ve en fazla bilinen besin duyarlılığıdır (Yamada, Alpers ve Owyang, 2002).

Ayrıca bunun dışında bazı kişilerde tat arttırıcılar (MSG) veya koruyucular (sülfid) gibi gıdalara eklenen bazı maddelere karşı duyarlılık görülebilmektedir (Ascia, 2010).

Günlük beslenmemizde yer alan besinler duyarlılık oluşturabilmektedir. Bitkiler yapısal olarak kabaca protein, yağ ve karbonhidratlardan oluşurlar. Ayrıntılı olarak incelendiğinde farklı grup bitkiler, farklı iklim koşulları ve ekolojik ortamda yetiştiklerinden dolayı kimyasal içerik açısından farklılıklar gösterirler. Yapılan bazı araştırmalara göre bazı bitkiler genelde hiç duyarlılık yapmazken bazıları da genel olarak duyarlılığa sebep olmaktadır (Uzunismail ve ark, 2012).

Bitkilerin kimyasal yapısını oluşturan yağ ve yağ asitleri, proteinler, aminoasitler, vitamin ve diğer farklı yapıların miktar ve çeşitlerine göre besinlerin çeşitli reaksiyonlarına sebep oldukları ya da olmadıkları düşünülmektedir (Kalyoncu, 1999). Karbonhidrat, protein ve lipit intoleransının temelini enzim yoksunluğu ya da eksikliği oluşturmaktadır. (Douglas, Gerald ve Beam, 1970; Tuula, Marteau ve Korpela, 2000). Bu doğuştan gelen bir problem olmakla beraber, yaşlanma ile ilgili olarak zamanla da ortaya çıkabilmektedir (Wilson, 2010).

Besin intoleransı bulunan bireyler uzun süre, sorunlarıyla nasıl baş edeceklerini bilemezler normal yaşam ve fonksiyonlarında sorun yaşayabilir, hatta bazı vakalar çalışamaz hale bile gelebilirler.

Besin duyarlılığı, şişmanlık, zayıflamada başarısızlık, migren, akne, sebebi anlaşılamayan ödem, gaz, şişkinlik, kabızlık, kronik yorgunluk, cilt sorunları (örn: sivilceler, kaşıntı, nörodermatit, kronik egzema vb.), romatizmal hastalıklar, astım, ishal, karın ağrıları, depresyon, uyku bölünmeleri, baş ağrısı, solunum sistemi hastalıkları, kronik farenjit, sürekli nezle, epigastrik ağrılar, ağızda yaralar, crohn hastalığı, irritable barsak sendromu, kronik burun akıntısı, sık grip olma, otistik spektrum bozukluğu, sedef hastalığı, ürtiker gibi birçok hastalığa yol açabilir (Wilson,2010).

Besin Duyarlılığı ve Besin Alerjisi

Besin intoleransı bulguları bireyden bireye değişkenlik gösterdiğinden hangi bileşenin bulgulardan sorumlu olduğunu belirlemenin olanağı yoktur.

Ayrıca benzer reaksiyonlar görüldüğünden besin duyarlılığı bulguları besin alerjileri ile de karıştırılabilmektedir. Besin alerjisi, çocukları ve yetişkinleri etkileyen önemli bir halk sağlığı sorunudur ve son 2-3 yıl içinde yaygınlığı artmaktadır. Semptomlar hafif ile şiddetli arasında değişebilir ve aşırı durumlarda besin alerjisi, hayatı tehdit eden alerjik bir reaksiyon olan anafilaksiye yol açabilmektedir (Seth, Poowutikul, Pansare ve Kamat, 2020). Aynı zamanda, vücutta immün sistemde bazı reaksiyonları oluşturan ve çeşitli tanı testleriyle gözlemlenip, saptanan bir reaksiyondur. Buna karşılık genel kanı olarak besin duyarlılığı bağışıklık sistemini etkilememektedir (Öztürk ve Besler, 2006). Besin intoleransları sindirim sistemini, besin alerjileri ise immün sistemi içerir. İmmünglobulin E (IgE) antikörünün yol açtığı besin alerjisinin aksine, besin intoleransları (sülfid ve benzoat reaksiyonları hariç) yaşamı tehdit edebilecek anafilaksiye (ağır alerjik reaksiyonlar) neden olmaz. IgE aracılı olmayan besin alerjileri bazen besin intoleransları olarak adlandırılır, ancak bu koşullar bağışıklık sistemini içerir, bu yüzden bağışıklık sistemini içermeyen besin intoleranslarından farklıdır (Ascia, 2010).

Besin İntoleransının Nedenleri

Besin intoleransını oluşturan mekanizma, bir nedene değil birden fazla nedene bağlı olabilir. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda besin intoleransının nedenleri gruplanmıştır.

Toksik Etkiler

Besinlerde doğal olarak yer alan veya kontaminasyon yoluyla besinlere geçen toksinlerin etkisiyle besin intoleransı oluşabilir. Örneğin; bazı patates türleri ve barbunya çiğ yenildiği takdirde, bu besinlerin içerdiği glukoalkoloidler sebebiyle gastrointestinal bulgular ortaya çıkabilir (Arıcan ve Hacimustafaoglu, 2002).

Ayrıca, ıstakoz, karides, midye, yumurta akı ve çilek gibi besinler, mast hücrelerinden histamin salgılanmasına neden olur ve klinik belirtiler ortaya çıkar (Yakacaklı, Öneş, Akçakaya ve Ezer, 1983).

Bundan başka histamini doğal olarak içeren peynir, bazı şarap ve balık türleri (tuna ve uskumru gibi) de besin duyarlılığı oluşturabilirler (Arıcan ve Hacimustafaoglu, 2002).

Besinlerin depolanması ve işleme tabi tutulması sırasında oluşan deoksiketon artıkları da histamin açığa çıkartarak intoleransa neden olabilirler (Yakacaklı ve ark., 1983).

Farmakolojik Etkiler

Gıdalarda yer alan farmakolojik maddelerin etkisiyle besin duyarlılığı meydana gelebilir. Örneğin gıdalara renk ve tat vermek ya da mikroorganizmaların üremelerini engellemek amacıyla eklenen katkı maddeleri, gıda intoleransına neden olabilir. Bu maddelerin en önemlileri; tartrazin, mono sodyum glutamat (MSG) ve sülfiterdir. Bu katkı maddelerinden tartrazin, ürtiker yapabilir. Bunların dışında, et ve ürünlerinde antioksidan ve bakterisid olarak kullanılan sodyum nitritin, gastroenterit ve ürtikere sebep olabildiği de çalışmalarla gösterilmiştir (Arıcan ve Hacımustafaoğlu, 2002).

Tiramin, serotonin ve histamin gibi vazoaaktif aminler, kişilerin bazılarında iyi bilinen migren stimülatörleridir. Doğal olarak ananas, muz, pişmiş et, sebze, kırmızı şarap, ahşap olgunlaşmış beyaz şarap, avokado, çikolata, narenciye ve olgun peynirlerde bulunur. Aminler, kapasitelerini arttırmak için doğrudan küçük kan damarlarında hareket edebilir. Bu yüzden bazı insanlarda deride kızarma, migren ve burun tıkanıklığını tetikleyebilir.

Salisilatlar, çok çeşitli bitkilerde, baharatlarda, meyve ve sebzelerde bulunan doğal aspirin benzeri bileşiklerdir. Salisilatlara verilen reaksiyonlar, yapay renklere ve koruyuculara verilen reaksiyonlardan daha yaygın olabilir. Aspirin, doğrudan derinin mast hücreleri üzerinde hareket ederek alerjiyi tetikleyebilir, bu nedenle aspirin gibi salisilatlar bazı insanlarda reaksiyonları daha da kötüleştirebilir.

İrritanlar; kafein ve köri bazı kişilerde hazımsızlığı tetikleyebilen bağırsak tahriş edicidirler. Bu maddelere verilen reaksiyonların alerji nedeniyle olup olmadığını anlamak önemlidir (Ascia, 2010).

Enzim Eksiklikleri

Enzim eksikliği bulunan kişilerde, bazı gıdalara karşı aşırı duyarlılık reaksiyonu meydana gelmektedir.

1. Aldehit dehidrogenaz eksikliği; alkol tolerans bozukluğuna (bulantı, kusma, taşikardi)
2. Glikoz-6-fosfat dehidrogenaz eksikliği: baklagillerin intoleransına (hemolitik anemi oluşumuna)
3. Laktaz eksikliği; laktoz intoleransına (malabsorpsiyon sendromuna, diyareye) neden olabilir (Arıcan Ö ve ark., 2002). İmmünolojik olmayan gıda intoleransı reaksiyonları çoğunlukla karbonhidrat sindirim bozukluğuna (ör: laktoz intoleransı, früktoz malabsorpsiyonu) dayanır ve nadiren öncelikle kronik ürtikerli hastalarda psödo alerjilere (ör: lezzet vericiler, boyalar, koruyucular tarafından oluşan) bağlıdır (Kleine ve ark., 2016).

Psikolojik Etkiler

Kişilerin bazı besinlerden saplantı olarak nefret etmesi ve onları tüketmekten kaçınmaları besin duyarlılığının sebebi olabilir. Bu tür kişiler, nefret ettikleri besini almaları halinde kusma vb. tepkilerde bulunabilirler (Arıcan ve Hacımustafaoğlu, 2002).

Sağlıklı ve yaşam kalitesi yönünden daha iyi bir gelecek için, besin intoleransı bulunan kişilerde duyarlılığın sebebi çeşitli tanı testleri kullanılarak saptanmalıdır. Tanı konulduktan sonra, uygun eliminasyon ve rotasyon diyetleri uygulanarak sağlıklı ve normal yaşam kalitesinde bir hayata sahip olmaları sağlanabilir. Ig E dışında diğer immünglobülinlerin alerjik reaksiyonlara benzer tepkiler vermesi, bu testlerin üreticileri ve alerji konusunda çalışan bilim insanlarını karşı karşıya getirmiştir.

Besin duyarlılığına bağlı intolerans şikayetleri yaşayan kişilerde, çeşitli besinlerin çıkartılmasıyla hazırlanan eliminasyon diyeti ile ilgili, mide ve sindirim sistemi şikayetleri yaşayan kişilerde besin duyarlılığının etkilerine ilişkin gıdaların kimyasal içerikleri ile ilgili birçok çalışma mevcuttur.

Bu çalışmalardan bazıları:

Food Elimination Based on IgG Antibodies in Irritable Bowel Syndrome: A Randomised Controlled Trial; 150 hasta ile yapılan bu çalışmada, IgG antikor artışına neden olan gıdalar elimine edilerek 3 ay boyunca diyet uygulanmıştır. Sonucunda enzyime-linked Immunosorbent assay (ELISA) testi ile IgG antikorunda belirli oranlarda düşüşler belirlenmiş ve şikâyetlerde azalmalar olmuştur (Atkinson, Sheldon, Shaath ve Whorwell, 2004).

Crohn Hastalığı, Colitis Ulcerosa ve Functional Dyspepsia, Irritable Bowel Syndrome örtüşmesi olan hastalarda Gıda-spesifik IgG antikorları; Bu çalışmanın amacı bazı gastrointestinal hastalıklarda gıda-spesifik IgG antikorlarını karşılaştırmaktır. Sonuç olarak değişik hastalıklarda gözlenen farklı IgG antikor yanıtında farklı immunolojik reaksiyonlar etkili olabilmektedir (Uzunismail, Özbakır ve Çağatay, 2011).

Food Intolerance and the Irritable Bowel Syndrome; Farklı cinsiyet, sosyal sınıf ve yaşlarda 200 hastaya uygulanan diyet sonrasında irritable bağırsak sendromunun yarattığı kötü etkilerin (karın ağrısı, şişkinlik, ishal gibi) azaldığı gözlemlenmiştir (Nanda, James ve Smith, 1989). İrritabl bağırsak sendromu (IBS) hastalarının yaklaşık % 80' i, semptomlarının bir veya belirli gıda grubunu tükettikten sonra bulgularının tetiklendiğini bildirmektedir. Gluten, buğday ve ilgili proteinler (örn: amilaz-tripsin inhibitörleri ve fermente edilebilir oligo-di-mono-sakkaritler ve polioller (FODMAP' ler) en önemli IBS semptom tetikleyicisidir, ancak halen tek neden olarak kabul edilmemektedir (Soares, 2018).

Histamine and Histamine Intolerance; Histamin intoleransı ile ilgili bu çalışmada histamin intoleransına sebep olan gıdaların ve ilaçların diyetten çıkarılması ve kullanılmaması ile pozitif sonuçlar elde edileceği açıklanmıştır. Histamin intoleransı bulunan kişilerin histaminden fakir gıdalarla beslenmeleri önerilmektedir (Maintz ve Novak, 2007).

Detection of IgE, IgG, IgA and IgM Antibodies Against Raw and Processed Food Antigens; Ham ve işlenmiş gıdalara karşı immünglobulin E, G, A ve M antikorları saptanmaya çalışılmıştır. Hastaların %31'inde işlenmiş gıda antijenlerinin, çiğ gıda IgE antikor oranına göre 3-8 kat artmış olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde IgG, IgA ve IgM antikorlarının genel olarak çiğ gıdalara oranla işlenmiş

gıdalarda daha yüksek oranlarda olduğu saptanmıştır. İşlenmiş besin antijenlerine karşı yüksek seviyede antikor düzeyi yüksek serumlarda hemen hemen her test okside düşük dansiteli lipoprotein, miyelin bazlı protein, AGE insan serumu albümini ve AGE hemoglobine karşı çok yüksek seviyede antikor görülmüştür (Vojdani, 2009).

Migraine and Food Intolerance: A controlled study in pediatric patients; Migren hastalığı ile ilgili birçok çalışma vardır. Migren ağrılarının intoleransa bağlı olup olmadığı ve belli grup besinler ilave edilerek oluşturulacak diyetlerle ağrılarının azalıp azalmayacağı ile ilgili çocuklarda ve yetişkinlerde birçok çalışmalar yapılmıştır. Birkaç çalışmada istatistiksel olarak anlamlı sonuçların elde edilemediğinden söz edilse de genel olarak diyetin uygulanması ile şikayetlerin azaldığı bildirilmiştir. Bu makalede de kakao, muz, yumurta ve fındığın özellikle migreni tetiklediği belirtilmiştir (Guariso ve ark., 1993). Yapılan daha ileri çalışmalarda, migreni tetikleyen yiyecek, içecek ve katkı maddelerinin listesi; peynir, çikolata, narenciye, soslu sandviç, monosodyum glutamat, aspartam, yağlı yiyecekler, dondurma, kafein yoksunluğu ve alkollü içecekleri, özellikle kırmızı şarap ve birayı içermektedir (Millichap ve Yee, 2003).

Advers Reactions to Food Constituents: Allergy, intolerance and autoimmunity; Çölyak hastalığının olumsuz etkilerinin intoleransı yapan gıdaların diyetten çıkarılması ile intolerans riskinin azaltılacağı anlatılmaktadır. İntolerans sorunu olan kişilere özel, intolerans yapan kimyasalların işlenmiş hazır gıdalardan çıkarılarak, riskin azaltılabileceği öngörülmüştür. Bunun dışında hazır paketlenmiş gıdaların ambalajlarında, özellikle de bebek mamalarında gıda içeriklerinin ayrıntılı ve eksiksiz biçimde yazılması gerektiğine dikkat çekilmiştir (Kitts ve ark., 1997).

Alterations of food antigen-specific serum immunoglobulins G and E in patients with irritable bowel syndrome and functional dyspepsia; Sağlıklı insanlarla irritable bağırsak sendromlu hastalar yumurta ve soya gibi IgG antikorunu tetikleyen gıdalarla beslenmiştir. Çalışma sonucunda irritable barsak sendromlu kişilerde IgG antikorları titrelerinde önemli bir artış göstermiştir (Zuo ve ark., 2007).

İncelenen bu çalışmalarda çeşitli gıdaların insanlar üzerinde intolerans yaparak çeşitli semptomlara sebep oldukları açıklanmıştır. Kişilerde uygulanan farklı diyetler sonrası intolerans etkilerinin azaldığı ya da ortadan kalktığı tespit edilmiştir.

İsveç'teki Karolinska Enstitüsü ise daha sonra geliştirdiği immunoassay test sistemi ile, alerjen spesifik IgE' leri kantitatif olarak ölçümlemeyi başarmıştır. Bu çalışmalardan sonra IgE yapılarının alerji patogenezindeki önemi daha fazla ortaya çıkmıştır.

Besin yan tesirleri şeklinde belirtilen ve alerjik olmamasına karşın, bağırsaktan emilimi ile, besin spesifik IgG'nin fazla salınımına sebep olabilen antijenik yapıların kişiler üzerinde verdiği reaksiyonlar ancak eliminasyon diyetleri uygulanarak tedavi edilebilmektedir. Bir taraftan da özellikle diyetisyenler için, intolerans testleri adı altında çalışılan gıda spesifik IgG izotiplerinin kantitatif ölçümleri tıbbi beslenme tedavisi programlarının hazırlanmasında esas oluşturmaktadır.

Besin intolerans testlerinde son zamanlarda gelişen teknolojiler ışığında yapılan farklı uygulamalar, konunun uzmanları arasında bir ikileme neden olmuştur.

İkilem oluşturan sorular: Gıda spesifik antijenleri olarak gıda spesifik Total IgG testlerini mi, yoksa gıda spesifik IgG4 fraksiyonunu inceleyen testleri yapmak mı daha doğru olur? şeklindedir (Van Der Zee, Van Swieten ve Aalberse, 1986).

Uygulanan Tanı Testleri

ALCAT test sistemi 80'li yılların başında bu amaç için kullanılan bir test sistemi idi. Tekrarlanabilir olmaması ve test süresinin uzunluğu zaman içinde bu testin özelliğini kaybetmesine neden olmuştur.

LEAP MRT testi hastaların lenfositlerini alerjen maddelerle inkübe ederek, yapısal özelliklerinin değişmesini öngörmektedir. Sonuç olarak hücre sayımı yapılarak yapıları tepkime sonucu büyüyen hücreler üzerinden alerji tepkimesini ölçmektedir. ALCAT grubundan ayrılan bilim adamlarının uygulamasını gerçekleştirdikleri bu test yöntemi de zamanımızda ilkel kalmış ve tekrarlanabilirliği çok az bir yöntem olarak çok sık kullanılmamaktadır.

ELISA sistemlerinin yaygınlaşması ile, gıda alerji ve intoleransı testlerinde bu sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. İmmünglobülin izotiplerinin kantitatif ölçümlerine de izin vermesi ile ELISA yöntemini kullanan test sistemleri, tanı için en çok kullanılan yöntemler olmuştur. Bu test sistemi ile test süreleri 2-3 saate inmiş ve testlerin tekrarlanabilirliği en üst düzeylere ulaşmıştır. Bu test sisteminde hastadan damardan kan alınması ve çalışma sistemindeki hata oluşturabilecek süreçler teknolojiyi başka testler aramaya götürmüştür.

MICROARRAY – ELISA yöntemi en son geliştirilmiş gıda alerji ve intolerans test sistemidir. Hastanın parmağından alınan bir kan damlası ile 200'den fazla gıda spesifik İmmünglobülin parametresine bakabilen bu test sistemi Microplate'ler kullanmak suretiyle daha küçük hacimlerde testi gerçekleştirerek, olası interferans etkilerini minimuma indirmeyi başarmıştır. Bu test çok düşük düzeylerdeki immünglobülin izotiplerinin belirleyebildiği için, geçici intolerans (temporary) ile kalıcı (permanent) intolerans hakkında bilgi vermektedir. Örneğin daha önce uygulanan testlerde 30 tane gıdadan uzak durulması söylenmesine rağmen aynı hasta için microarray-elisa yöntemi ile bu sayı 4-5 'e kadar inebilmektedir. (Allergy US- All you need about allergies and food intolerance – allergyus.com/food-intolerance-tests-in-usa/2015)

Eğer kişinin hastalığının temelinde yatan, besin alerjisi ise, gıda spesifik Ig E parametrelerinin seviyesini kantitatif olarak değerlendirmek ve buna bağlı olarak önlemini almak tedavinin esasını oluşturmaktadır. Alttı yatan neden besin intoleransı ise genellikle IgG parametresinin alt gruplarının (G1, G2, G3, G4) etkisinin olabileceği ve besinin alınıp, sindirilmesinden sonra, besinin içerdiği bazı yapıların veya üretim aşamasında kullanılan gıda katkı, gıda boyası vb. lerin sebep oldukları reaksiyonlardır.

Kişide hiçbir besine alerji bulunmamasına rağmen bazı gıdaları tüketiminin arkasından sonra midede distansiyon, aşırı gaz, karın ağrısı, karın yanması, baş ağrısı, migren atakları gibi oluşan yan etkilerinin nedenlerini anlayabilmek için besin intolerans testlerinin yapılması ve gıdaya spesifik Ig G (total) kan düzeylerinin ölçülmesi son yıllarda en uygun yöntem olarak ele alınmaktadır.

Besin duyarlılığı testleri son yıllarda, özellikle beslenme uzmanları tarafından uygulanan ve en çok aranan testler arasında kabul edilmektedir. 1956'da Black'in lökosit yapıları üzerinden bulduğu test yöntemi yolu ile araştırılmaya başlanan gıdaya özgü antijenik etkiler gelişerek, özellikle son yıllarda uygulanan Microarray test sistemleri ile birlikte daha güvenli ve tekrarlanabilir sonuçlar üretilmeye başlanmıştır.

2. Sonuç

İnsan sağlığı ve yaşam kalitesini olumsuz olarak etkileyen besin intoleranslarının belirlenmesinde rol alan besin duyarlılığı testlerinin kullanılması, besin intoleransının oluşturduğu sorunların hangi besin veya besin grubundan kaynaklandığının belirlenmesinde ve dolayısıyla sorunların azaltılmasında ve tedavisinde tipta büyük bir çığır açmaktadır.

Son yıllarda, DNA, RNA ve genlerin üzerine yapılan araştırmalarda kullanılan microarray test metodolojisinin besin intoleransı uygulamalarında kullanılması ile daha güvenilir ve sonuçlar elde edilmesine olanak tanınmıştır. Bu teknolojiye önce var olan ve uygulanan testlerden edinilen değerlerin fazla sayıda olması, kişilerin günlük beslenme düzenlerinde yer alan ve elimine etmeleri gereken besinlerin sayısının fazla olmasına neden olmakta olup, kişilerin beslenme planlarının yapılmasında zorluk çıkarmakta ve yeni ve son zamanlarda kullanılmaya başlayan teknoloji ile ise testin sonuçları sadece birkaç besinle sınırlanmakta ve kişilerin beslenme programlarını uygulamalarını kolaylaştırmaktadır.

Kaynakça

- Allergy US- All you need about allergies and food intolerance – allergyus.com/food-intolerance-tests-in-usa/2015.
- Arıcan, Ö., Hacımustafaoğlu, O.Y., (2002). Besin Allerjisi. Kartal Eğitim ve Araştırma Hastanesi Tıp Dergisi, 2: 142-146.
- ASCI, (2010). The Australasian Society of Clinical Immunology and Allergy (ASCI) is the peak professional body of Clinical Immunologists and Allergists in Australia and New Zealand. www.allergy.org.au.
- Atkinson, W., Sheldon, T. A., Shaath, N. ve Whorwell, P. J. (2004). Food Elimination Based on IgG Antibodies in Irritable Bowel Syndrome: a Randomised Controlled Trial. Gut. 53:1459–1464.
- Douglas, C., Gerald, G., Bram, R. (1970). Immunochemical Studies of Selected Subjects With Wheat Intolerance. Division of Immunochemistry and Allergy, 6, 333-346. Canada.
- Guariso, G., Bertoli, S., Cernetti, R., Battistella, P.A., Setari, M., Zacchello, F.(1993). Food and Headache Attacks. A Comparison of Patients with Migraine and Tension-Type Headache. Panminerva Med. 44(1):27-31.
- Kalyoncu, F.A, (1999). Bronş Astması ve Allerji Hastalıkları, Güneş Kitapevi, Ankara.
- Kitts, D., Yuan, Y., Joneja, J., Scott, F., Szilagyi, A., Amiot, J., Zarkadas, M., Can, J., (1997) Advers Reactions to Food Constituents: Allergy, Intolerance and Autoimmunity. Can J Physiol Pharmacol. 75 (4) : 241 – 54.
- Kleine-Tebbe, J, Waßmann-Otto, A, Mönnikes, H., (2016). Food Allergy and Intolerance: Distinction, Definitions and Delimitation Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. 2016 Jun;59(6):705-22. Doi: 10.1007/s00103-016-2356-1 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27215624>.
- Maintz, L., Novak, N., (2007). Histamine and Histamine Intolerance. Am J Nutr. 85:1185- 96.
- Millichap, J.G., Yee, M.M., (2003) The diet factor in pediatric and adolescent migraine. Pediatr Neurol. 28(1):9-15.
- Nanda, R., James, R, Smith, H., (1989). Food Intolerance and The Irritable Bowel Syndrome. Pubmed 30:1099–104.
- Öztürk, M., Besler, T., (2006). Besin Alerjileri. Sağlık Bakanlığı. Sinem Matbaacılık Ankara.
- Seth, D., Poowutikul, P., Pansare, M., Kamat, D., (2020).Food Allergy: A Review. Pediatr Ann 1;49(1):e50-e58. doi: 10.3928/19382359-20191206-01.
- Soares, R.L.S., (2018) Irritable Bowel Syndrome, Food Intolerance And Non- Celiac Gluten Sensitivity. A New Clinical Challenge. Arq Gastroenterol. 55(4):417-422. doi: 10.1590/S0004-2803.201800000-88.
- Tuula, H. V., Marteau, P., Korpela, R. (2000). Lactose Intolerance Journal of the American College of Nutrition, p:165 –175.
- Uzunismail, H., Özbakır, F., Çağatay, P., (2011). Crohn Hastalığı, Ülseratif Koliti ve Fonksiyonel Dispepsi İrritabl Bağırsak Sendromu Örtüşmesi Olan Hastalarda Gıda-Spesifik IgG Antikorları. Poser. Gastroentoloji Derneği Kongre Yayını. Antalya.
- Uzunismail, H., Cengiz, M., Uzun, H., Özbakır, F., Göksel, S., Demirdağ, F., Can, G., Balci, H., (2012). The Effects of Provocation By Foods With Raised IgG Antibodies and Additives on the Course of Crohn's Disease: A Pilot Study. Turk J Gastroenterol. 23(1):19 - 27.
- Van Der Zee, J.S., Van Swieten, P., Aalberse, R.C., (1986). Inhibition of complement activation by IgG4 antibodies.Clin Exp Immunol. 64:415–22.
- Vojdani, A. (2009). Detection of IgE, IgG, IgA and IgM Antibodies Against Raw and Processed Food Antigens. Nutr Metab (Lond). : 22.
- Wilson, L., (2010). Food Sensitivities or Intolerance, The Center for Development.
- Yakacaklı, S., Öneş, Ü., Akçakaya, N., Ezer, G.. (1983). Çocuklarda besin allerjileri. I. Allerjik Hastalıklar Sempozyumu., 30-38.
- Yamada, T., Alpers, D.H., Owyang, C.(2002). Handbook of gastroenterology. p:402- 418.
- Zuo, X.L., Li ,Y.Q., Li, W.J., Guo, Y.T., Lu, X.F., Li, J.M. ve Desmond, P.V. (2007). Alterations of Food Antigen-specific Serum Immunoglobulins G and E in Patients With Irritable Bowel Syndrome and Functional Dyspepsia. Journal Compilation Blackwell. 37, 823-830. Australia.
- <https://www.allergy.org.au/patients/food-other-adverse-reactions/food-intolerance> Erişim:29.12.2019



Increasing Mechanical Strength of Ignimbrite Rocks

Abdulrezzak Bakis^{1*}

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering-Architecture, Batman University, Batman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7487-884X)

(First received 10 February 2020 and in final form 18 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.687324)

ATIF/REFERENCE: Bakis, A. (2020). Increasing Mechanical Strength of Ignimbrite Rocks. *European Journal of Science and Technology*, (18), 621-635.

Abstract

Ignimbrite is a type of pyroclastic rock that is formed by the volcanic lava. With the explosion of the Nemrut crater in the city of Bitlis, the lava sprawling around it has cooled down. Because of these cooling, pyroclastic rocks, known as Ahlat stones (AS), were formed in the region. The compressive and bending strength of natural Ahlat stone is very low. In this study, the compressive and bending strength of natural Ahlat stone has been increased by the applications of drying oven curing and combined curing. Natural AS samples were cut into sizes of 150×150×150 mm for compressive test and of 100×100×400 mm for bending test. No cure was applied to some of the natural Ahlat stone samples brought from the quarry, which were selected as reference samples. 10 different cure types were applied to other natural Ahlat stones with the same characteristics as Reference Ahlat stone. These 10 different curing types included air curing, standard water curing, 4 drying oven curing types and 4 combined curing types. After curing, all samples were subjected to compressive and bending tests. Average compressive strength of the reference samples was found to be 9.8 MPa, and its bending strength was found to be 1.6 MPa. The highest average compressive strength of Ahlat stone was found to be 19.2 MPa after 3 days of drying oven curing at 200°C. The highest average bending strength of Ahlat stone was found to be 3.2 MPa after 3 days of drying oven curing at 200°C. The results of the study showed that the compressive and bending strength of the natural Ahlat stone can be increased to approximately 2 times after 3 days of drying oven curing at 200°C.

Keywords: Ignimbrite rock, Heat treatments, Drying oven curing, Combined curing, Compressive strength, Bending strength.

İgnimbirit Kayaçlarının Mekanik Dayanımının Artırılması

Öz

İgnimbirit, volkanik lavlar tarafından oluşturulan piroklastik bir kayaç türüdür. Bitlis ilinde Nemrut kraterinin patlamasıyla etrafa yayılan lavlar soğumuştur. Bu soğuma nedeniyle bölgede Ahlat taşı (AT) olarak bilinen piroklastik kayaçlar oluşmuştur. Doğal Ahlat taşının basınç ve eğilme dayanımı çok düşüktür. Bu çalışmada, etüv kürü ve kombine kür uygulamalarıyla doğal Ahlat taşının basınç ve eğilme dayanımı artırılmıştır. Doğal AT numuneleri basınç deneyi için 150×150×150 mm ve eğilme deneyi için 100×100×400 mm boyutlarında kesilmiştir. Taş ocağından getirilen ve referans örnekleri olarak seçilen doğal Ahlat taşı numunelerinin hiçbirine kür uygulanmamıştır. Referans Ahlat taşı ile aynı özelliklere sahip diğer doğal Ahlat taşlarına ise 10 farklı kür tipi uygulandı. Bu 10 farklı kür tipi; hava kürü, standart su kürü, 4 tip etüv kürü ve 4 tip kombine kürü içermektedir. Kür sonrası tüm numunelere basınç ve eğilme deneyi uygulandı. Referans numunelerinin ortalama basınç dayanımı 9,8 MPa ve ortalama eğilme dayanımı 1,6 MPa olarak bulundu. Ahlat taşının en yüksek ortalama basınç dayanımı, 200°C' de 3 günlük etüv küründen sonra 19,2 MPa olarak bulundu. Ahlat taşının en yüksek ortalama eğilme dayanımı, 200°C' de 3 günlük etüv küründen sonra 3,2 MPa olarak bulundu. Çalışma sonuçları, doğal Ahlat taşının basınç ve eğilme dayanımının, 200°C' de 3 günlük etüv küründen sonra yaklaşık iki katına çıkarılabileceğini gösterdi.

Anahtar Kelimeler: İgnimbirit kayaç, Isıl işlemler, Etüv kürü, Kombine kür, Basınç dayanımı, Eğilme dayanımı.

* Corresponding Author: Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering-Architecture, Batman University, Batman, Turkey, ORCID: 0000-0002-7487-884X, abdulrezzak.bakis@batman.edu.tr

1. Introduction

Because of volcanic eruptions in high gas pressure, granular volcanic rocks are formed. One of these products is pyroclastic rocks (Gevrek and Kazanci, 1994; Simsek and Erdal, 2004). Prophylactic currents rich in pumice are named ignimbrites (Karaman and Kibici, 2008). Ignimbrite is a type of pyroclastic rock that is formed by the volcanic lava flowing to the environment. With the explosion of the Nimrod crater in the city of Bitlis, the lava sprawling around the crater eventually cooled down (Ulusoy et al, 2019; Akkopru and Christol, 2019). Because of these cooling, pyroclastic rocks, known as Ahlat stones (AS) with their regional name, were formed. From the lava erupting from the Bitlis Nimrod crater, it was observed that approximately 100 km³ of pyroclastic material was spread to the environment, and these were in the form of ignimbrites with different thicknesses (Aydar et al, 2003). Ahlat stone is easily processed because of its volcanic origin. It is a lightweight and long-lasting stone with good insulation (Boran, 1997; Ozvan et al, 2015; Aygun and Aygun, 2016). The durability of Ahlat stone is very low due to the pores inside (Baykara and Isik, 2016; Akin et al, 2017; Kuluozturk, 2018; Ertugral and Gunay, 2019). Thus, areas of use of Ahlat stone are limited today. It is mainly used in the construction of stonewalls, tombstones, mosques and domes in the region. It can be used in areas such as Ahlat stone, road surface where hardening process is performed. On the hardened Ahlat stone road surface, the maintenance factor will be beneficial in terms of wear (Eren et al, 2017; Cengiz and Cengiz, 2018; Cengiz, 2019). One of the factors affecting the compressive and bending strength of building materials is heat-treated curing. The aim of the heat-treated curing is to shorten the curing time of the material.

Drying oven curing and combined curing are heat-treated curing methods. Combined curing is the succession of several different cures without interruption. In the literature, no studies were encountered on drying oven curing and combined curing of natural Ahlat stone. For improving the compressive and bending strength of natural Ahlat stone, a total of 10 different curing types including air curing, standard water curing, 4 drying oven curing types and 4 combined curing types were applied to Ahlat stone in this study. The aim of this study was to extend the use of Ahlat stone in the construction sector. After different curing methods, the compressive and bending tests of all samples were done. Besides, tensile strength, Elasticity Modulus and other physical-mechanic properties of Ahlat stones were calculated.

The compressive and bending strength of natural Ahlat stone is very low. In this study, the compressive and bending strength of natural Ahlat stone has been increased by the applications of drying oven curing and combined curing. After curing, all samples were subjected to compressive and bending tests. The results of the study showed that the compressive and bending strength of the natural Ahlat stone can be increased after drying oven curing and combined curing.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Ahlat stone was obtained from the Ahlat Ovakisla quarry. The natural Ahlat stones extracted from the stone quarry are seen in Fig. 1.



Fig. 1. Natural Ahlat Stones

The chemical properties of Ahlat stone are seen in Table 1 (Simsek and Erdal, 2004). It is stated that the sum of SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ should be at least 70% in Trass Standard (TS 25/T1, 2011).

Table 1. The Chemical Properties of Ahlat Stone

Component	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
Percentage (%)	5.51	0.24	16.01	64.11	4.78	1.64	0.44	4.91

As shown in Table 1, the sum of $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ of Ahlat stone is 85.03%. It was shown that grinded Ahlat stone could be used as binder with cement and lime (Hattatoglu and Bakis, 2017).

2.2. Methods

2.2.1. Preparation of Natural Ahlat Stone Samples

AS samples were cut into sizes of $150 \times 150 \times 150$ mm for compressive test and of $100 \times 100 \times 400$ mm for bending test. The appearance of Ahlat stone after cutting is seen in Fig. 2.



Fig. 2. The Appearance of Natural Ahlat Stone after Cutting

2.2.2. Specific Gravity and Unit Weight Tests of Natural Ahlat Stone

Specific gravity values of natural Ahlat stone were calculated according to the TS EN 1097-6:2015 standard (TS EN 1097-6, 2013). In determining the specific gravity of natural Ahlat stone, remaining materials on sieve No. 4 were taken into account. In the specific gravity determination of Ahlat stone filler aggregates, passing materials from sieve No. 200 were taken into consideration. Water was filled until closing filler materials in pycnometer. Later, filler materials in pycnometer were vacuumed by heating. Pycnometer with vacuumed samples were filled in with water and left in water bath at 25°C for 24 hours. The pycnometer removed from water bath were dried and weighed. Specific gravity (ρ) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (1) in terms of g/cm^3 .

$$\rho = \frac{M4}{M4 - (M2 - M3)} \quad (1)$$

Denotes in Eq. (1):

M2: Pycnometer weight + weight of water-saturated specimen + water weight in pycnometer

M3: Pycnometer weight + water weight in pycnometer

M4: Weight of dried specimen in drying oven

Unit weight (Δ) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (2) in terms of g/cm^3 . In the study, sample volume (V) was 3375 cm^3 in total as to be $150 \times 150 \times 150$ mm.

$$\Delta = \frac{Wd}{V} \quad (2)$$

Denotes in Eq. (2):

Wd: Weight of dried sample in drying oven, g

V: Sample volume, cm^3

2.2.3. Porosity and Compactness Calculation of Natural Ahlat Stone

Porosity (P) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (3) in terms of percentage.

$$P = \left(1 - \frac{\Delta}{\rho}\right) \times 100 \quad (3)$$

Compactness (C) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (4) in terms of percentage.

$$C = \frac{\Delta}{\rho} \times 100 \quad (4)$$

2.2.4. Calculation of Solid and Void Volumes of Natural Ahlat Stone

Solid volume (V_s) value of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (5) in terms of cm^3 .

$$V_s = \frac{W_d}{\rho} \quad (5)$$

Denotes in Eq. (5):

W_d : Weight of dried sample in drying oven, g

Void volume (V_v) value of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (6) in terms of cm^3 .

$$V_v = V - V_s \quad (6)$$

Sample volume (V) was 3375 cm^3 in total as to be $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$.

2.2.5. Water Absorption Test of Natural Ahlat Stone

The water absorption value of natural Ahlat stone was calculated according to the TS 2824 EN 1338 standard (Unsal and Sen, 2008). In the study, the samples were left in the curing pool at $20 \pm 5^\circ\text{C}$ for 3 days until constant weight. The samples were then removed from the curing pool, dried and weighed. In this way, the initial weight (M_1) of the test samples was found. The samples were then placed in the drying oven and dried at $105 \pm 5^\circ\text{C}$ for 3 days until constant dry weight (M_2) was reached. The water absorption (W_{aw}) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (7) in terms of percentage by weight (Unsal and Sen, 2008; Bakis, 2019).

$$W_{aw} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100 \quad (7)$$

The water absorption (W_{av}) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (8) in terms of percentage by volume. Sample volume (V) was 3375 cm^3 ($150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$).

$$W_{av} = \frac{(M_1 - M_2)}{V} \times 100 \quad (8)$$

For the water absorption value, three samples from natural Ahlat stones were taken, and the average of these three values was calculated.

2.2.6. Calculation of Saturation Level of Natural Ahlat Stone

Saturation level (SL) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (9) in terms of percentage.

$$SL = \frac{W_{av}}{P} \times 100 \quad (9)$$

The degree of saturation is important in that it demonstrates the freezing resistance of a material. If the ice due to frost does not completely fill the cavities, the pressure due to frost does not affect the material and does not damage the material. However, if the air temperature constantly falls, the gaps are completely filled with ice, and if the heat continues to fall, the material is unable to withstand the pressure of the ice and will eventually crack and break up. Therefore, to have frost damage in a material, the degree of saturation must generally be 80% and above (Eric, 1982).

2.2.7. Los Angeles Abrasion Test

Los Angeles abrasion value (LA) of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (10) in terms of percentage. The Los Angeles abrasion test was done according to the TS EN 1097-2 (2015) standard. This test determines the abrasion resistance of coarse-grained stone aggregates by the Los Angeles machine. A total of 5000 ± 5 grams of Ahlat stone aggregates were used in the test. The timer was adjusted to a speed of 32 rpm per minute and to a maximum of 500 cycles.

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50} \quad (10)$$

After 500 cycles of the Los Angeles abrasion test device, Ahlat stone aggregates were removed from the device. Ahlat stone aggregates retained on the 1.6 mm sieve were then placed in the drying oven and dried at $110 \pm 5^\circ\text{C}$ until constant dry weight (m) was reached.

2.2.8 Curing Types of Ahlat Stone

No cure was applied to some of the Ahlat stone samples brought from the quarry, which were selected as the reference Ahlat stones (R). 10 different curing types were applied to the other natural Ahlat stones. These included air curing, standard water curing, 4 drying oven curing types and 4 combined curing types. Combined curing is the succession of several different curing methods without interruption.

No standard is found in the literature for drying oven curing and combine curing. It was stated in a study that the curing method providing the highest compressive and bending strength was the combined curing applied as water curing at 20°C for 7 days, water bath curing at 90°C for 2 days and drying oven curing at 180°C for 2 days (Hattatoglu and Bakis, 2017).

Table 2. Curing Types Applied to Ahlat Stone Samples

Sample no	Curing description	Curing types
R	No curing applied	No curing
1	7 days air curing at 20°C	Air curing
2	7 days water curing at 20°C	Standard water curing
3	1 day drying oven curing at 200°C	Drying oven curing-1
4	2 days drying oven curing at 200°C	Drying oven curing-2
5	3 days drying oven curing at 200°C	Drying oven curing-3
6	4 days drying oven curing at 200°C	Drying oven curing-4
7	7 days water curing+1 day drying oven curing at 200°C	Combined curing-1
8	7 days water curing+2 days drying oven curing at 200°C	Combined curing-2
9	7 days water curing+3 days drying oven curing at 200°C	Combined curing-3
10	7 days water curing+4 days drying oven curing at 200°C	Combined curing-4

As shown in Table 2, different types of curing methods were applied to Ahlat stone samples in this study.

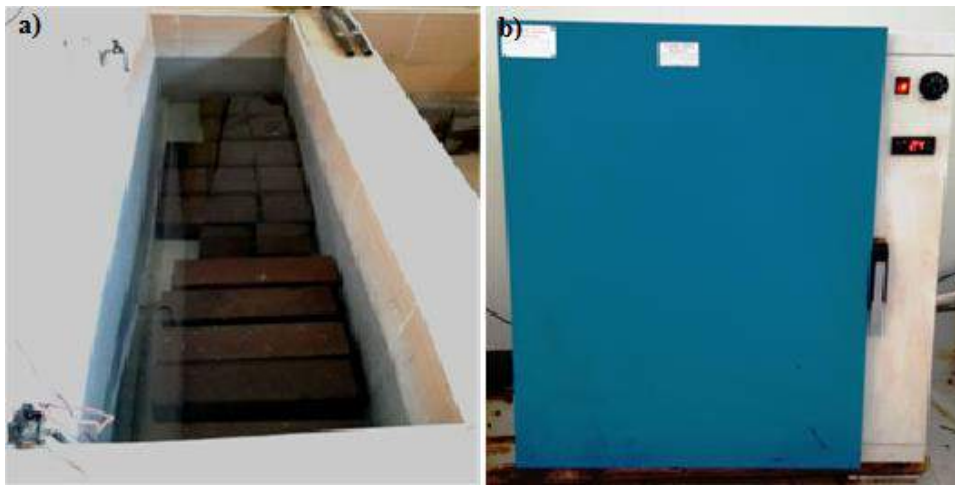


Fig. 3. (a) Curing Pool (b) Drying Oven

Ahlat stone samples for water curing pool and drying oven are seen in Fig. 3.

2.2.9. Compressive and Bending Strength Tests of Ahlat Stones

After curing, all samples were applied compressive and bending tests. TS EN 12390-5 (2010) standard was applied in the bending test. The TS EN 12390-3 (2010) standard was applied in the compressive test. In the specification limits, the minimum bending strength is required to be 4.5 MPa, and the minimum compressive strength is required to be 28 MPa in proportion to the road pavement (Tunc, 2007). Bending and compressive test devices are seen in Fig. 4.

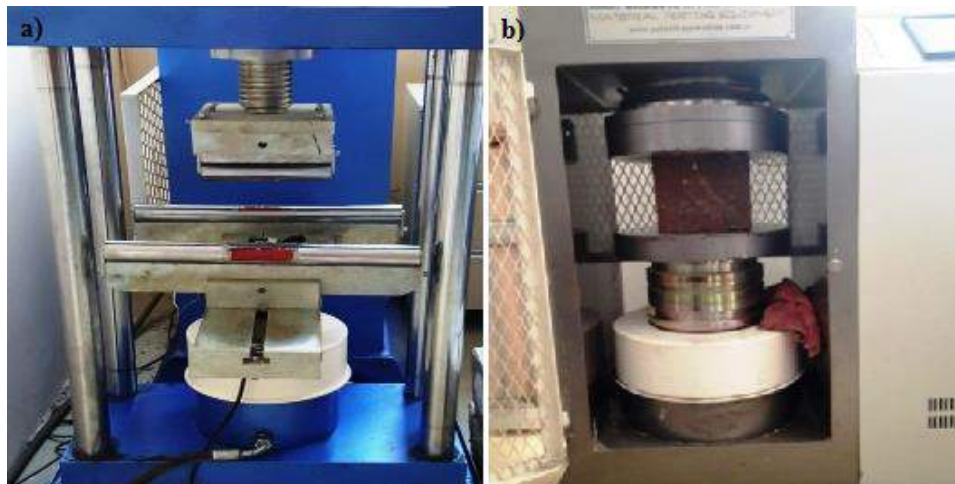


Fig. 4. (a) Bending Test Device (b) Compressive Test Device

2.2.10. Calculation of Elasticity Modulus and Tensile Strength

Elasticity Modulus and tensile strength of Ahlat stones were calculated according to Eq. (11) and Eq. (12), respectively (TS 500, 2000).

$$E_c = (3250 \times \sqrt{F_{ck}} + 14000) \tag{11}$$

$$F_{ctk} = 0.35 \times \sqrt{F_{ck}} \tag{12}$$

Denotes in Eq. (11) and Eq. (12):

- E_c: Elasticity Modulus, MPa
- F_{ck}: Characteristic cylinder compressive strength, MPa
- F_{ctk}: Tensile strength, MPa

The characteristic cylinder compressive strength of the Ahlat stones can be taken as 0.8 times the cube compressive strength (TS 500, 2000). In this study, Ahlat stones were prepared as cubes. Therefore, 0.8 times the cube compressive strengths were determined, and characteristic cylinder compressive strength of Ahlat stones was calculated.

2.2.11. Calculation of Shear Modulus of Natural Ahlat Stone

Shear modulus (G) value of natural Ahlat stone was calculated from Eq. (13) in terms of MPa (TS 500, 2000). Poisson ratio can be taken as 0.20 for Ahlat stone ignimbrite (Akkaya et al, 2019).

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \tag{13}$$

Denotes in Eq. (13):

- E: Elasticity Modulus, MPa
- ν: Poisson ratio
- G: Shear modulus, MPa

3. Results and Discussion

3.1. Specific Gravity and Unit Weight Test Results of Natural Ahlat Stone

Specific gravity values of Ahlat stone are seen in Table 3.

Table 3. Specific Gravity Values of Ahlat Stone

Sample no	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	M2-M3 (g)	M4-(M2-M3) (g)	Specific gravity (ρ) (g/cm ³)
1	451.75	427.52	40	24.23	15.77	2.536
2	454.82	430.56	40	24.26	15.74	2.541
3	452.67	428.63	40	24.04	15.96	2.506
Average	453.08	428.90	40	24.18	15.82	2.528

For the specific gravity value, three samples from Ahlat stones were taken, and the average of these three values was calculated.

Table 4. Unit Weight Values of Ahlat Stone

Sample no	Weight of dried sample (g)	Volume (cm ³)	Unit weight (Δ) (g/cm ³)
1	5440	3375	1.612
2	5390	3375	1.597
3	5540	3375	1.641
Average	5457	3375	1.617

Unit weight values of Ahlat stone are seen in Table 4. Low unit weight of Ahlat stone indicates that it has a porous structure.

3.2. Porosity and compactness of natural Ahlat stone

The porosity of Ahlat stone is seen in Table 5. Low compactness and high porosity of Ahlat stone indicates that it has a porous structure.

Table 5. Porosity of Ahlat stone

Sample no	Unit weight (Δ) (g/cm ³)	Specific gravity (ρ) (g/cm ³)	Compactness (Δ / ρ) (%)	Porosity (P) (%)
1	1.612	2.536	64	36
2	1.597	2.541	63	37
3	1.641	2.506	65	35
Average	1.617	2.528	64	36

3.3. Solid and Void Volumes of Natural Ahlat Stone

Solid volume (Vs) and void volume (Vv) values of natural Ahlat stone are seen in Table 6.

Table 6. Solid volume and void volume values of natural Ahlat stone

Sample no	Specific gravity (ρ) (g/cm ³)	Weight of dried sample (Wd) (g)	Total volume (cm ³)	Vs (cm ³)	Vv (cm ³)
1	2.536	5440	3375	2145	1230
2	2.541	5390	3375	2121	1254
3	2.506	5540	3375	2211	1164
Average	2.528	5457	3375	2159	1216

Low void volume and high solid volume of Ahlat stone indicates that it has a porous structure.

3.4. Water absorption of natural Ahlat stone

Water absorption values of Ahlat stone are seen in Table 7 (Bakis, 2019).

Table 7. Water Absorption Values of Ahlat Stone

Sample no	M1 (g)	M2 (g)	Volume (cm ³)	Wav (%)	Waw (%)
1	6450	5440	3375	29.9	18.6
2	6370	5390	3375	29.0	18.2
3	6570	5540	3375	30.5	18.5
Average	6463	5457	3375	29.8	18.4

Due to the high porosity of Ahlat stone, its water absorption value is high, as seen in Table 7.

3.5. Saturation Level of Natural Ahlat Stone

Saturation level values of Ahlat stone are seen in Table 8.

Table 8. Saturation Level Values of Ahlat Stone

Sample no	Water absorption by volume (Wav) (%)	Porosity (P) (%)	Saturation level (SL) (%)
1	29.9	36	83
2	29.0	37	78
3	30.5	35	87
Average	29.8	36	83

Because water saturation level of Ahlat stone is 83% as seen in Table 8, natural Ahlat stone is not durable against freezing.

3.6. Los Angeles Abrasion Test Results of Natural Ahlat Stone

Los Angeles abrasion coefficient of Ahlat stones is seen in Table 9.

Table 9. Los Angeles abrasion coefficient of Ahlat stones

Sample no	Specimen weight (g)	m (g)	LA (%)
1	5000	1290	74
2	5000	1248	75
3	5000	1271	75
Average	5000	1270	75

Due to the high porosity of Ahlat stone, its Los Angeles abrasion value is high, as seen in Table 9.

3.7. Compressive and Bending Test Results of Ahlat Stones

3.7.1. Compressive and Bending Test Results of Natural Ahlat Stones

Because the porosity, water absorption and Los Angeles abrasion values of Ahlat stone are high, its compressive and bending strength is low, as seen in Table 10.

Table 10. Compressive and Bending Test Results of Ahlat Stone

Sample no.	Unit weight (g/cm ³)	Compressive strength (MPa)	Bending strength (MPa)
R1	1.612	10.0	1.5
R2	1.597	10.3	1.8
R3	1.641	9.1	1.4
Average	1.617	9.8	1.6

3.7.2. Compressive and Bending Test Results of Ahlat Stones after Different Curing

Compressive and bending test results after different curing types of Ahlat stone are seen in Table 11. As shown in Table 11, the maximum bending and compressive strength of Ahlat stone were obtained after drying oven curing-3 (3 days drying oven curing at 200°C-Sample No. 5).

Table 11. Maximum Compressive and Bending Strength of Ahlat Stone after Different Curing Types

Sample no	Curing types	Compressive strength (MPa)	Bending strength (MPa)
R	No curing applied	9.8	1.6
1	7 days air curing at 20°C	13.9	2.5
2	7 days water curing at 20°C	12.4	2.1
3	1 day drying oven curing at 200°C	15.6	2.6
4	2 days drying oven curing at 200°C	17.1	2.9
5	3 days drying oven curing at 200°C	19.2	3.2
6	4 days drying oven curing at 200°C	12.8	2.1
7	7 days water curing+1 day drying oven curing at 200°C	13.5	2.4
8	7 days water curing+2 days drying oven curing at 200°C	15.4	2.6
9	7 days water curing+3 days drying oven curing at 200°C	17.2	2.9
10	7 days water curing+4 days drying oven curing at 200°C	10.5	1.8

According to Table 11, the compressive and bending strength of Ahlat stone decrease in 7 days water curing at 20°C but increase in 7 days air curing at 20°C.



Fig. 5. Ahlat Stone Samples Broken After (a) Air Curing and (b) Water Curing

Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after 7 days air curing at 20°C (sample no. 1) are shown in Fig. 5 (a). Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after 7 days water curing at 20°C (sample no. 2) are shown in Fig. 5 (b). Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after drying oven curing (sample no. 3) are shown in Fig. 6 (a). Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after drying oven curing (sample no. 4) are shown in Fig. 6 (b). Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after drying oven curing (sample no. 5) are shown in Fig. 6 (c). Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after drying oven curing (sample no. 6) are shown in Fig. 6 (d). The maximum compressive strength of Ahlat stone was obtained from sample no. 5 after drying oven curing.



Fig. 6. Ahlat Stone Samples Broken after Drying Oven Curing

The Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after combined curing (sample no. 7, 8, 9 and 10) are shown in Fig. 7 (a). The Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after combined curing (sample no. 7, 8, 9 and 10) are shown in Fig. 7 (b). The Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after combined curing (sample no. 7, 8, 9 and 10) are shown in Fig. 7 (c). The Ahlat stone samples that were broken in compressive test device after combined curing (sample no. 7, 8, 9 and 10) are shown in Fig. 7 (d).



Fig. 7. Ahlat Stone Samples Broken after Combined Curing

The maximum compressive strength of Ahlat stone was obtained from sample no. 9 after combined curing. Fig. 8 shows the compressive strength of Ahlat stone after drying oven curing and combined curing. As shown in Fig. 8, the maximum compressive strength of Ahlat stone was obtained from sample no. 5 after drying oven curing.

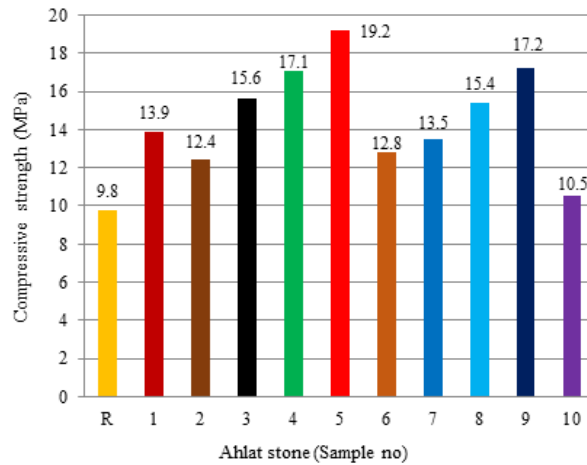


Fig. 8. Compressive strength of Ahlat stone after drying oven curing and combined curing

The relationship between compressive strength and drying oven time in drying oven curing is seen in Fig. 9.

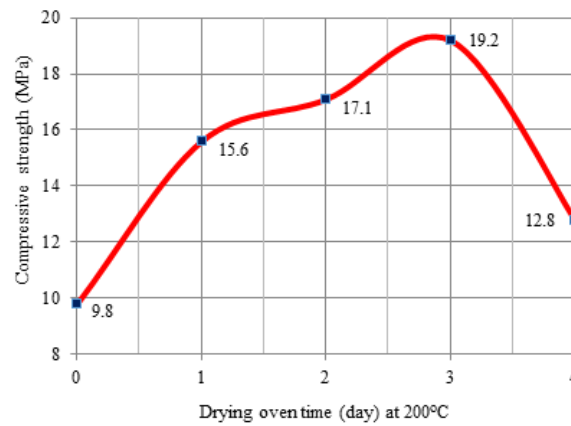


Fig. 9. The Relationship between Compressive Strength and Drying Oven Time in Drying Oven Curing

As shown in Fig. 9, the maximum compressive strength of Ahlat stone was obtained from 3 days drying oven curing at 200°C. The highest compressive strength of Ahlat stone was found to be 19.2 MPa. The maximum compressive strength of Ahlat stone was obtained from combined curing (7 days water curing +3 days drying oven curing at 200°C).

The highest compressive strength of Ahlat stone was found to be 17.2 MPa. The relationship between compressive strength and drying oven time in combined curing is seen in Fig. 10.

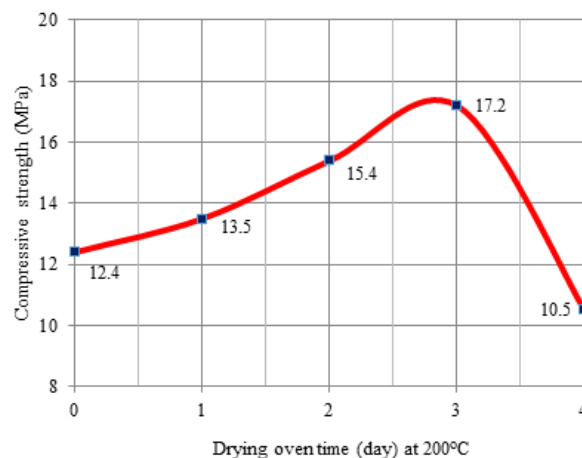


Fig. 10. The Relationship between Compressive Strength and Drying Oven Time in Combined Curing

The maximum compressive strength of Ahlat stone after different curing types is seen in Fig. 11.

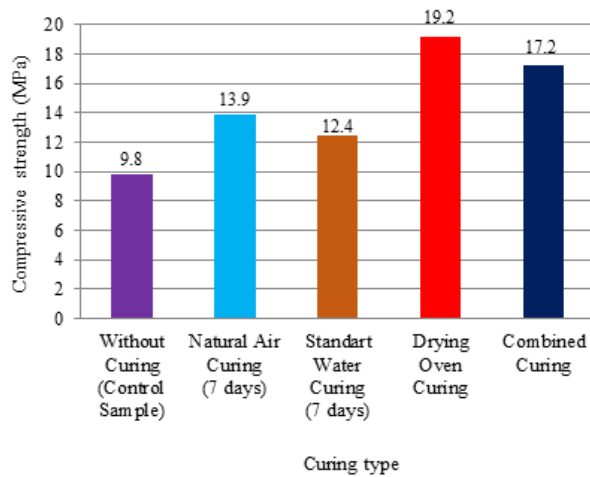


Fig. 11. Maximum Compressive Strength of Ahlat Stone after Different Curing Types

As shown in Fig. 11, the maximum compressive strength of Ahlat stone was obtained from drying oven curing. The bending strength of Ahlat stone after drying oven curing and combined curing is seen in Fig. 12.

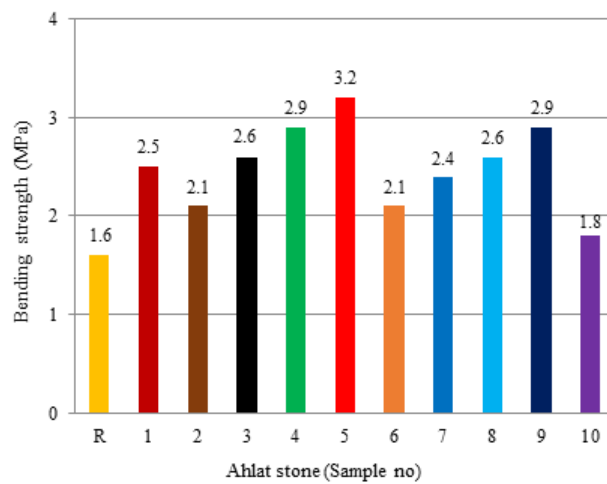


Fig. 12. Bending Strength after Drying Oven Curing and Combined Curing of Ahlat Stone

As shown in Fig. 12, the maximum bending strength of Ahlat stone was obtained after drying oven curing-3 (3 days drying oven curing at 200°C). The highest bending strength of Ahlat stone was found to be 3.2 MPa.

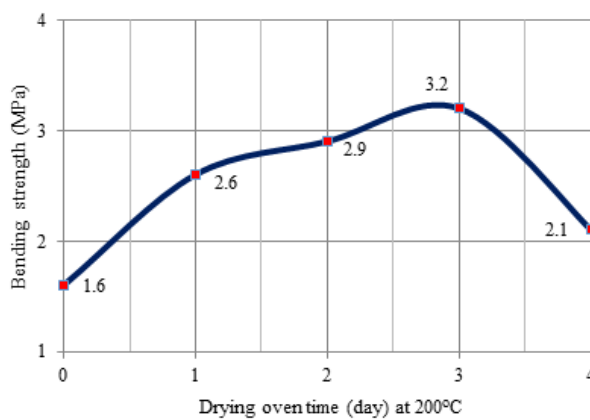


Fig. 13. The Relationship between Bending Strength and Drying Oven Time in Drying Oven Curing

The relationship between bending strength and drying oven time in drying oven curing is seen in Fig. 13. The highest bending strength of Ahlat stone was found to be 3.2 MPa in drying oven curing. The relationship between bending strength and drying oven time in combined curing is seen in Fig. 14.

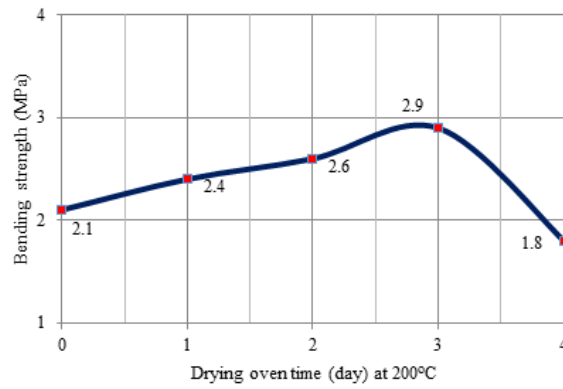


Fig. 14. The Relationship between Bending Strength and Drying Oven Time in Combined Curing

The relationship between bending strength and drying oven time in combined curing is seen in Fig. 14. The highest bending strength of Ahlat stone was found to be 2.9 MPa in combined curing. The maximum bending strength of Ahlat stone after different curing types is seen in Fig. 15.

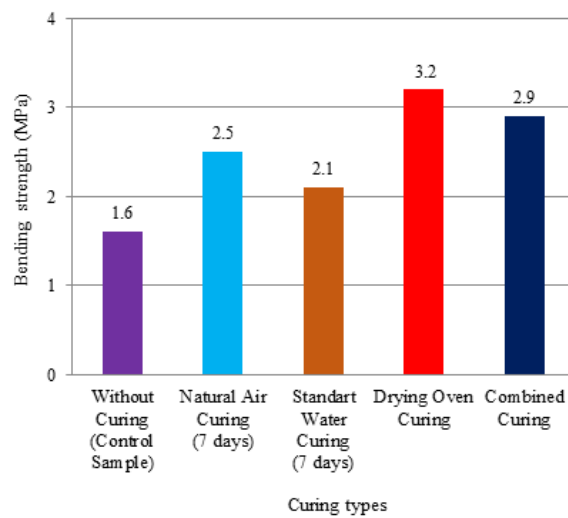


Fig. 15. Maximum Bending Strength of Ahlat Stone after Different Curing Types

As shown in Fig. 15, the maximum bending strength of Ahlat stone was obtained from drying oven curing.

3.8. Elasticity Modulus and Tensile Strength of Ahlat Stone

Elasticity Modulus and tensile strength results of Ahlat stones are shown in Table 12.

Table 12. Elasticity Modulus and Tensile Strength of Ahlat Stone

Sample No	Curing types	Elasticity Modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)
R	No curing applied	23100	1.0
1	7 days air curing at 20°C	24838	1.2
2	7 days water curing at 20°C	24236	1.1
3	1 day drying oven curing at 200°C	25481	1.2
4	2 days drying oven curing at 200°C	26021	1.3
5	3 days drying oven curing at 200°C	26737	1.4
6	4 days drying oven curing at 200°C	24400	1.1
7	7 days water curing+1 day drying oven curing at 200°C	24681	1.2
8	7 days water curing+2 days drying oven curing at 200°C	25407	1.2
9	7 days water curing+3 days drying oven curing at 200°C	26056	1.3
10	7 days water curing+4 days drying oven curing at 200°C	23419	1.0

As shown in Table 12, the maximum Elasticity Modulus and tensile strength in Ahlat stone types were obtained after drying oven curing. The maximum Elasticity Modulus and tensile strength in Ahlat stone types were obtained from sample no 5. Calculation results of Elasticity Modulus are seen in Fig. 16.

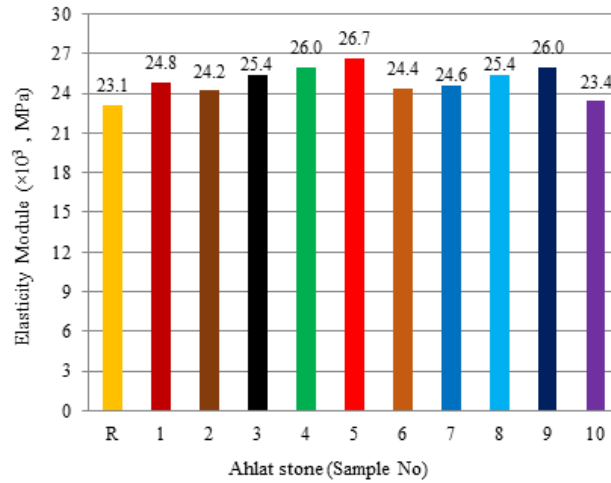


Fig. 16. Elasticity Modulus Value of Ahlat Stones

As shown in Fig. 16, the maximum Elasticity Modulus in Ahlat stone types was obtained from sample no 5. Calculation results of tensile strength are seen in Fig. 17.

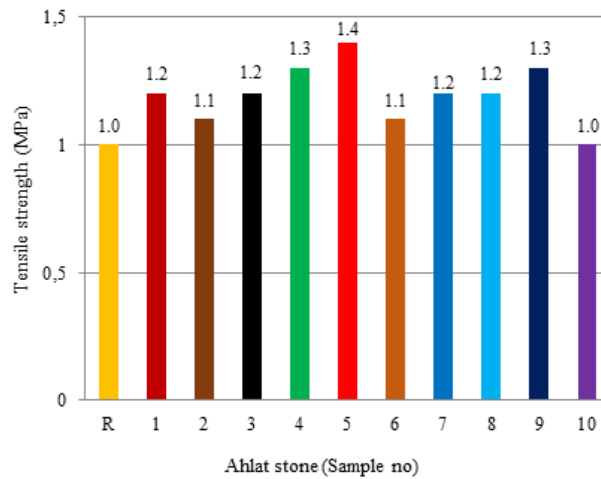


Fig. 17. Tensile Strength Values of Ahlat Stones

As shown in Fig. 17, the maximum tensile strength in Ahlat stone types was obtained from sample no 5.

3.9. Shear modulus (Rigidity Modulus) of Ahlat stone

Shear modulus calculation results of Ahlat stones are shown in Table 13.

Table 13. Shear modulus calculation results of Ahlat stone

Sample No	Curing types	Shear modulus (MPa)
R	No curing applied	9625
1	7 days air curing at 20°C	10349
2	7 days water curing at 20°C	10098
3	1 day drying oven curing at 200°C	10617
4	2 days drying oven curing at 200°C	10842
5	3 days drying oven curing at 200°C	11140
6	4 days drying oven curing at 200°C	10167
7	7 days water curing+1 day drying oven curing at 200°C	10284
8	7 days water curing+2 days drying oven curing at 200°C	10586
9	7 days water curing+3 days drying oven curing at 200°C	10857
10	7 days water curing+4 days drying oven curing at 200°C	9758

As shown in Table 13, the maximum Shear Modulus in Ahlat stone types was obtained after drying oven curing.

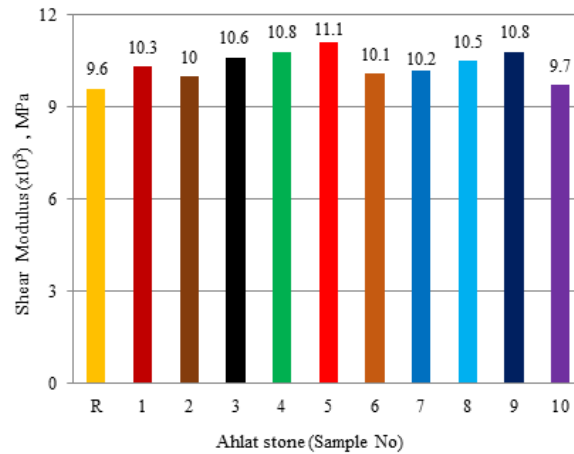


Fig. 18. Shear Modulus Value of Ahlat Stones

The maximum Shear modulus value in Ahlat stone types was obtained from sample no. 5. Calculation results of Shear Modulus are seen in Fig. 18.

3.10. The Physical and Mechanic Properties of Natural Ahlat Stone According to Test Results

According to the test and calculation results, the physical and mechanic properties of natural Ahlat stone are seen in Table 14.

Table 14. The Physical and Mechanic Properties of Natural Ahlat Stone

Properties	Value
Unit weight, g/cm ³	1.617
Water absorption by weight, %	18.4
Water absorption by volume, %	29.8
Specific gravity, g/cm ³	2.528
Porosity, %	36
Compactness, %	64
Solid volume of 1 cm ³ Ahlat stone	0.64
Void volume of 1 cm ³ Ahlat stone	0.36
Saturation level, %	83
Los Angeles abrasion test, %	75
Elasticity Modulus, MPa	23100
Tensile strength, MPa	1.0
Shear modulus, MPa	9625
Compressive strength, MPa	9.8
Bending strength, MPa	1.6

Low unit weight of Ahlat stone indicates that Ahlat stone has a porous structure. Therefore, Los Angeles abrasion loss of Ahlat stone was obtained to be high.

4. Conclusion

In this study, the compressive and bending strength of ignimbrite rocks (natural Ahlat stone) was increased by the applications of drying oven curing and combined curing. The bending and compressive strength of Ahlat stone after drying oven curing and combined curing were higher than the reference Ahlat stone samples. The maximum compressive strength of Ahlat stone was found as 19.2 MPa after drying oven curing. Moreover, the maximum bending strength of Ahlat stone was found as 3.2 MPa after the same curing. By changing the curing type, the compressive and bending strength of Ahlat stone can be increased. In the specification limits, the minimum bending strength is required to be 4.5 MPa, and the minimum compressive strength is required to be 28 MPa in proportion to the rigid road pavement. Therefore, natural Ahlat stone cannot be used instead of rigid road pavement. The compressive and bending strength of Ahlat stone in air curing was higher than the compressive and bending strength of Ahlat stone in water curing. The compressive and bending strength of Ahlat stone is increased in natural air conditions day by day. Ahlat stone is a stone with pozzolanic properties. It can be said that building materials with pozzolanic properties exhibit better resistance in natural environment conditions. The compressive and bending strength of Ahlat stone decrease in water. Therefore, natural Ahlat stone is not suitable for underwater structures such as bridge feet.

Acknowledgements

We would like to thank the Rector of Bitlis Eren University who provided all his support in our studies and the Van lake Building Quality Control Laboratory Construction Industry Trade Limited Company.

References

- Akin, M., Ozvan, A., Dincer, I., Topal, T. (2017). Evaluation of the physico-mechanical parameters affecting the deterioration rate of Ahlat ignimbrites (Bitlis, Turkey), *Environmental earth sciences*, 76(24), pp. 827. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7175-7>
- Akkaya, I., Ozvan, A., Tapan, M., Bor, M., Ozvan, E. E. (2017). Determination of the Relationship between Poisson's Ratio and Physical, Mechanical and Chemical Properties of Different Type Rocks, *National Symposium on Engineering Geology and Geotechnics*, Cukurova University, Adana, pp. 208–215.
- Akkopru, E., Christol, A. (2019). Lake Van, *Landscapes and Landforms of Turkey*, pp. 369–382, https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_18
- Aydar, E., Gourgaud, A., Ulusoy, I., Dignonnet, F., Labazuy, P., Sen, E. (2003). Morphological Analysis of Active Mount Nemrut Stratovolcano, Eastern Turkey: Evidences and Possible Impact Areas of Future Eruption, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123, pp. 301–312, [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00002-7](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00002-7)
- Aygun, Z., Aygun, M. (2016). Spectroscopic analysis of Ahlat stone (ignimbrite) and pumice formed by volcanic activity, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 166, pp. 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.05.018>
- Bakis, A. (2019). Determination of Water Absorption of Natural Ahlat Stone, *International Engineering and Science Symposium*, Siirt University, Siirt, pp. 335–337.
- Baykara, T., Isik, M. C. (2016). Physical characterization, microstructural evaluation, and condition assessment of Ancient Ahlat Tombstones in the Seljukian Cemetery of Ahlat (Turkey), *International Journal of Architectural Heritage*, 10(8), pp. 1025–1040. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1181227>
- Boran, A. (1997). Ahlat Stone (Andesite Tuff) (in Turkish), *Vakiflar Journal*, 26, pp. 363–373.
- Cengiz, M. S., Cengiz, C. (2018). Numerical Analysis of Tunnel LED Lighting Maintenance Factor. *IUM Engineering Journal*, vol. 19(2), pp. 154–163.
- Cengiz, M. S. (2019). The Relationship Between Maintenance Factor and Lighting Level in Tunnel Lighting. *Light & Engineering*, vol. 27. 3, pp. 154–163.
- Eren, M., Kaynaklı, M., Yapici, I., Gencer, G., Yurci, Y., Cengiz, M. S., Cengiz, C. (2017). Numerical Analysis of Maintenance Factor for Tunnel and Road in Solid State Lighting. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology 2017*, Bitlis, October 27–29, Turkey.
- Eric, M. (1982). *Materials Science and Structural Physics Problems. 1st Edition*, Maket Publishing house, Istanbul.
- Ertugral, H., Gunay, V. (2019). Conservation of Ahlat tombstones by using nanotechnology, *FEB-Fresenius Environmental Bulletin*, 28(2), pp. 941.
- Gevrek, A. I., Kazanci, N. (1994). Ignimbrite: Occurrence and properties (in Turkish), *Geological Engineering*, 38 (1991), pp. 39–42.
- Hattatoglu, F., Bakis, A. (2017). Usability of ignimbrite powder in reactive powder concrete road pavement, *Road Materials and Pavement Design*, 18(6), pp. 1448–1459, <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1213182>
- Karaman, E. M., Kibici, Y. (2008). *Basic Principles of Geology, 2nd Edition*, Belen Publishing and Printing, Ankara.
- Kuluozturk, M. F., Buyuksarac, A., Ozbey, F., Yalcin, S., Dogru, M. (2018). Determination of indoor radon gas levels in some buildings constructed with Ahlat stone in Ahlat/Bitlis, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9), pp. 5033–5038, <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1692-0>
- Simsek, O., Erdal, M. (2004). Investigation of some mechanical and physical properties of the Ahlat stone (ignimbrite), *G.U. Journal of Science*, 17(4), pp. 71–78.
- Ozvan, A., Dincer, I., Akin, M., Oyan, V., Tapan, M. (2015). Experimental studies on ignimbrite and the effect of lichens and capillarity on the deterioration of Seljuk Gravestones, *Engineering geology*, 185, pp. 81–95, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.12.001>
- TS 500. (2000) *Requirements for design and construction of reinforced concrete structures*, Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 12390-3. (2010) *Testing hardened concrete-Part 3: Compressive strength of test specimens*, Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 12390-5. (2010). *Testing hardened concrete - Part 5: Flexural strength of test specimens*, Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS 25/T1. (2011). Natural pozzolan (Trass) for use in cement and concrete - Definitions, requirements and conformity criteria, Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 1097-6. (2013). *Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6: Determination of particle density and water absorption*, Turkish Standards Institute, Ankara.
- TS EN 1097-2. (2015). *Tests for mechanical and physical properties of aggregates- Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation*, Turkish Standards Institute, Ankara.
- Tunc, A. (2007) *Road Materials and Applications. 2nd Edition*, Nobel publishing, Istanbul.
- Ulusoy, I., Cubukcu, H. E., Mouralis, D., Aydar, E. (2019). Nemrut Caldera and Eastern Anatolian Volcanoes: Fire in the Highlands, *Landscapes and Landforms of Turkey*, pp. 589–599, https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0_35
- Unsal, A., Sen, H. (2008). *Concrete paving blocks - Requirements and test methods TS 2824 EN 1338, Concrete and Concrete Materials Laboratory Experiments*, Department of Technical Research Materials Lab. Branch Office, Ankara.



Investigation of the Effect of Differential Morphing on Lateral Flight by Using PID Algorithm in Quadrotors

Oğuz Köse^{1*}, Tuğrul Oktay²

¹ Gumushane University, Kelkit College of Aydın Dogan, Gumushane, Turkey (ORCID: 0000-0002-8069-8749)

² Erciyes University, Department of Aeronautical Engineering, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0003-4860-2230)

(İlk Geliş Tarihi 12 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 18 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.702727)

ATIF/REFERENCE: Köse, O. & Oktay, T. (2020). Investigation of the Effect of Differential Morphing on Lateral Flight by Using PID Algorithm in Quadrotors. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 636-644.

Abstract

Quadrotor is unmanned aerial vehicles that are widely used in military and civil fields. Quadrotors differ from conventional helicopters, which use rotors that are able to vary the pitch of their blades dynamically as they move around the rotor hub. Quadrotors generally use two pairs of identical fixed pitch propellers; two clockwise (CW) and two counterclockwise (CCW). These use independent variation of the speed of each rotor to achieve control. In this study, the quadrotor lateral flight and the effect of morphing on this flight were investigated. Morphing is called the change of unmanned aerial vehicles in their geometry. Newton-Euler method is used to create the quadrotor model. However, since the quadrotor is a system with non-linear dynamics, motion equations are converted to linear equations. The quadrotor full model was drawn in the Solidworks program, including batteries, controllers and propellers, in accordance with its actual dimensions. State space model approach was used in simulations in Matlab / Simulink environment. The value of mass and inertia moments from the Solidworks program is used in the state space model. Proportional integral derivative (PID) was used as the control algorithm. PID is an algorithm widely used in industrial applications. PID is preferred because it is strong, fast and simple. The system to which PID will be applied must be linear. The PID coefficients K_p , K_i and K_d are important for the stable operation of the system. Appropriate values should be chosen. In this study, lateral flight performance was monitored using differential morphing and PID algorithm and the results were presented.

Keywords: Quadrotor, Morphing, Control, PID, State Space Model.

1. Introduction

Quadrotors are unmanned aerial vehicles(UAV) that fall into the multirotor helicopter class. Quadrotors do not need any runway as they have vertical take off and landing feature. They are controlled by an autonomous or remote pilot. They do not carry cabin crew. Such unmanned aerial vehicles eliminate the risk of pilots' life. They are used in civilian areas for search and rescue, photography, cinema, hobby, agriculture, mapping and exploration. In the military field(Çoban & Oktay, 2018), they are used for many jobs such as coast, port, border security, military operations, surveillance.

In the past decade, quadrotor type unmanned aerial vehicles have had a major impact on aviation. Studies in this area have also gained importance in the literature. But most of the work is on modeling and control. In this study, the effects of differential morphing on lateral flight as well as modeling and control were investigated. The studies on morphing in the literature are as follows.

T. Oktay et al.(Oktay & Coban, 2017) developed a tactical unmanned aerial vehicle (TUAV) with both active and passive morphing structures. This vehicle weighed 50 kg, 3000 km range and could stay in the air for 28 hours. In their study, they determined the morphing rate by using SPSA, which is the optimization method. They used proportional integral derivative (PID) algorithm as both longitudinal and lateral flight controllers.

* Corresponding Author: Gumushane University, Kelkit College of Aydın Dogan, Gumushane, Turkey (ORCID: 0000-0002-8069-8749), oguzkose24@gmail.com

T. Oktay and F. Sal(Oktay & Sal, 2016) used the active and passive morphing structure to save helicopter energy. Output Variance-Constrained Control (OVC) was used as the controller. They designed a powerful combined morphing system for model uncertainties.

T. Oktay et al.(Oktay et al., 2016) targeted payload UAV performance enhancement using active morphing. They used the PID algorithm as a controller. They designed an unmanned aerial vehicle combined with an active morphing structure carrying a total load of 6 kg.

T. Oktay and O. Kose(Oktay & Kose, 2019a, 2019b, 2019c) applied active morphing to an X-type quadrotor in their studies. In their study, they examined the effect of morphing on quadrotor hover longitudinal and lateral flights. They used PID as the control system. In simulations, they made the space space model in the presence of atmospheric turbulence. They observed that there was no effect in longitudinal flight when collective morphing, but morphing effect in lateral flight by observing design performance criteria.

In A. Desbiez(Desbiez et al., 2017) study, he made morphing of a quadrotor by changing the arm intersection angles. The arms could expand and contract right from the middle of the quadrotor via a motor. The goal was for the quadrotor to pass through narrow spaces. In his study, he showed that the quadrotor can sit in orbit and stabilize in the desired situation.

Y. Bai(Bai, 2017) designed a quadrotor that performs autonomous tasks with changes in geometry during flight. He did the morphing by changing the quadrotor arm intersection angles and by changing the arm lengths. In the simulation results, it showed that the control and stability were weakened in lateral flight.

2. Materials and Methods

2.1. Quadrotor Movements

A quadrotor consists of four rotors. As seen in Figure 1, the rotors are placed at the very end of the quadrotor arms. Each rotor generates a thrust while rotating. Take-off starts if the total thrust force of the four rotors exceeds the quadrotor weight. Quadrotor moves in x, y, and z axes. It also has 6 degrees of freedom (DOF). Quadrotor makes roll, pitch and yaw movements on axes. The difference from fixed wing unmanned aerial vehicles is that it has high maneuverability.

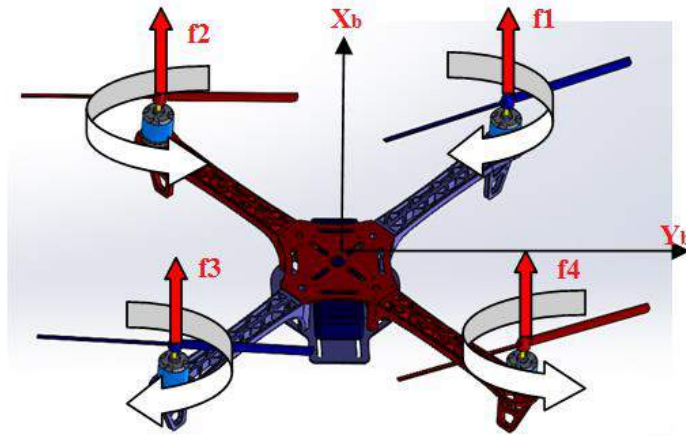


Figure 1: Quadrotor

The lateral movement covered in this study includes the roll movement. Quadrotor makes roll movement on X axis. As shown in Figure 2, if the quadrotor 2 and 3 motors increase their speed, and the motor speeds 1 and 4 decrease, the lateral movement will occur. Conversely, it performs lateral movement.

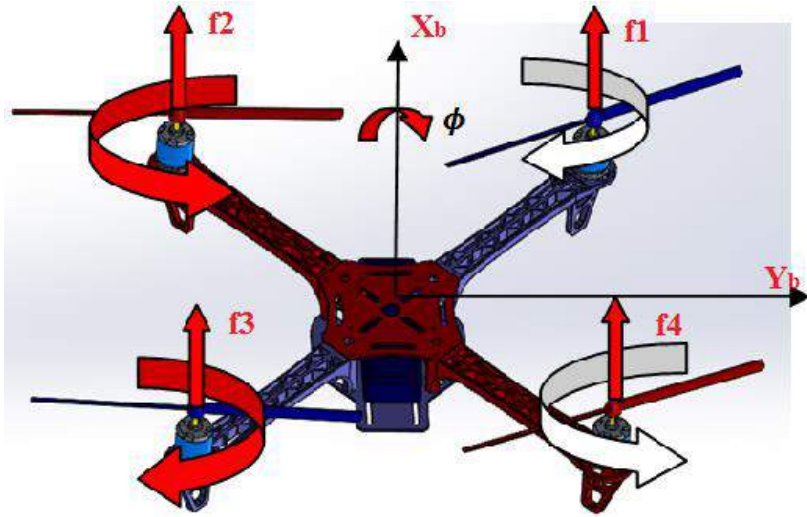


Figure 2: Roll motion

2.2. Dynamic Model

To realize the quadrotor movement, it needs Newton-Euler approach. The following views are accepted in this approach.

- The quadrotor structure is solid and symmetrical,
- The quadrotor propellers are solid,
- The quadrotor drift and propulsion are directly proportional to the square of speed,
- Ground effect is neglected.

Quadrotor is a system with non-linear dynamics. Although it is structurally simple, it has a complex structure as a mathematical model. Since the state space model approach is used in this study, non-linear motion equations are converted to linear equations with the help of various methods. The motion equations brought into linear state for lateral motion are as follows.

$$\begin{aligned}
 \dot{y} &= v \\
 \dot{v} &= g\phi \\
 \dot{r} &= \frac{\tau_z}{I_z} \\
 \dot{p} &= \frac{\tau_x}{I_x} \\
 \dot{\phi} &= p \\
 \dot{\psi} &= r
 \end{aligned} \tag{1}$$

From these equations y , ϕ and ψ quadcopter holds the linear and angular position and v , p and r hold the linear and angular velocities.

Express the I_x and I_z moments of inertia in motion equations. Moment of inertia is the diagonal matrix obtained from solid-body modeling (Domingue, 2009).

$$I = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \tag{2}$$

In order to run Quadrotor motion equations, input to the equation system is required. For lateral movement, τ_x input is applied.

$$\tau_x = U_2 = bl(-\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \tag{3}$$

For lateral flight, U_2 input is used. Where l the distance between any rotor and the center of the quadrotor, b is the thrust factor and d is the drag factor and Ω is propeller speed.

2.3. Differential Morphing and State Space Model

The process of changing the geometry of unmanned aerial vehicles in the air or on the ground is called morphing. Morphing is a new and developmental feature applied in unmanned aerial vehicles. In unmanned aerial vehicles, morphing is divided into two parts:

- Active morphing
- Passive morphing

If there is a change in geometry during the flight of the unmanned aerial vehicle, there is active morphing. But if changes are made to the geometry of the unmanned aerial vehicle on the ground before the flight, it is called passive morphing. It is realized by changing the arm angles or changing the arm lengths in quadrotor type unmanned aerial vehicles. Within the scope of this study, morphing will be done by changing the arm lengths. While Figure 3 shows a normal length arm, Figure 4 shows the arm undergoing morphing.

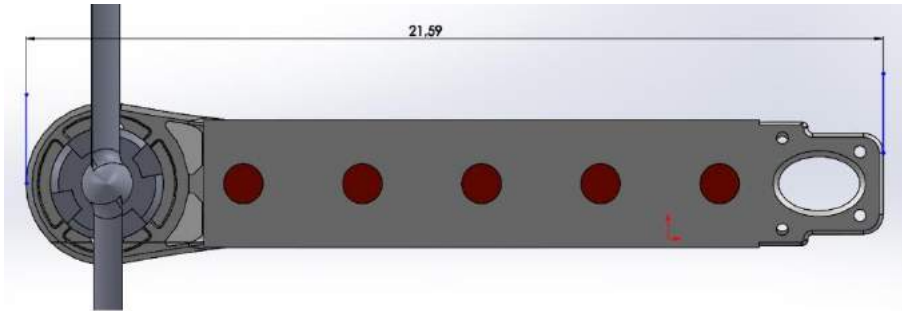


Figure 3: Normal arm

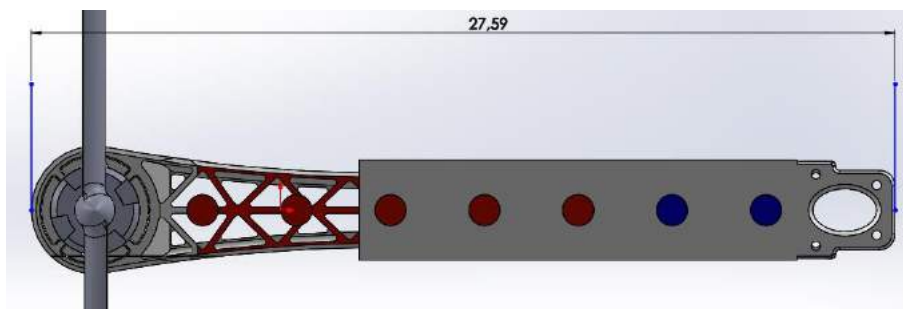


Figure 4: Morphing arm

State space model is an approach used in modeling of physical systems. The system is expressed in first order differential equations. By writing these equations in matrix form, the state space model is obtained. The general expression of the state space model is as follows.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax(t) + Bu(t) \\ y &= Cx(t) + Du(t) \end{aligned}$$

Where,

$x(t)$ = State vector, $y(t)$ = Output vector, $u(t)$ = Input or control vector, A = System matrix, B = Input matrix, C = Output matrix, D = Feedforward matrix.

In this study, lateral movement equations are shown in the state space model approach as follows.

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{v} \\ \dot{p} \\ \dot{r} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1/I_x & 0 \\ 0 & 1/I_z \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_z \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix}$$

2.4. Quadrotor Control System

PID algorithm was preferred in this study for quadrotor control. PID algorithm is preferred in many industrial applications due to its performance, strong structure and simplicity. The system where PID algorithm is applied must be linear. The general structure of PID is as follows.

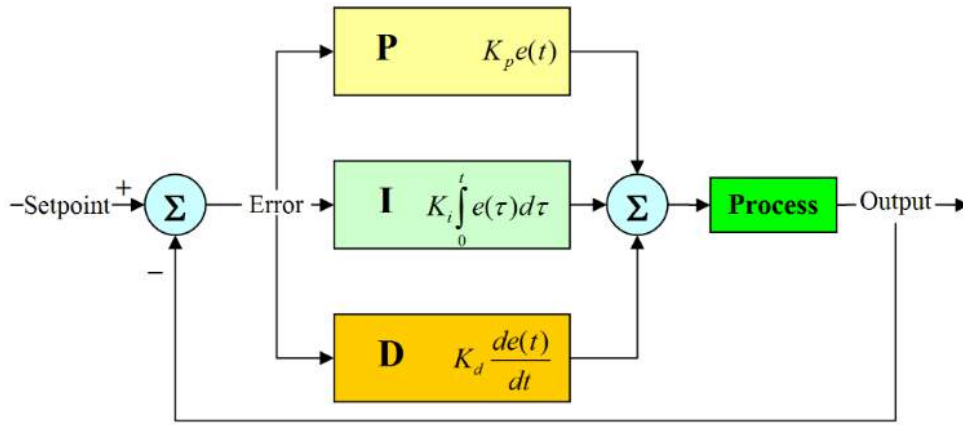


Figure 5: Structure of PID

The general formula of PID algorithm is given below.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Where, K_p proportional gain, K_i integral gain and K_d is the derivative gain, $e(t)$ the error caused by the difference between the reference and response of the system.

The performance of the PID algorithm depends on the proper selection of gain coefficients.

3. Results and Discussion

In this study, differential morphing was applied to the lateral flight. Differential morphing quadrotor is the length of the front and back arms of different lengths. Figure 6 shows a normal quadrotor, while Figures 7 and 8 show differential morphing states.



Figure 6: Normal arm length

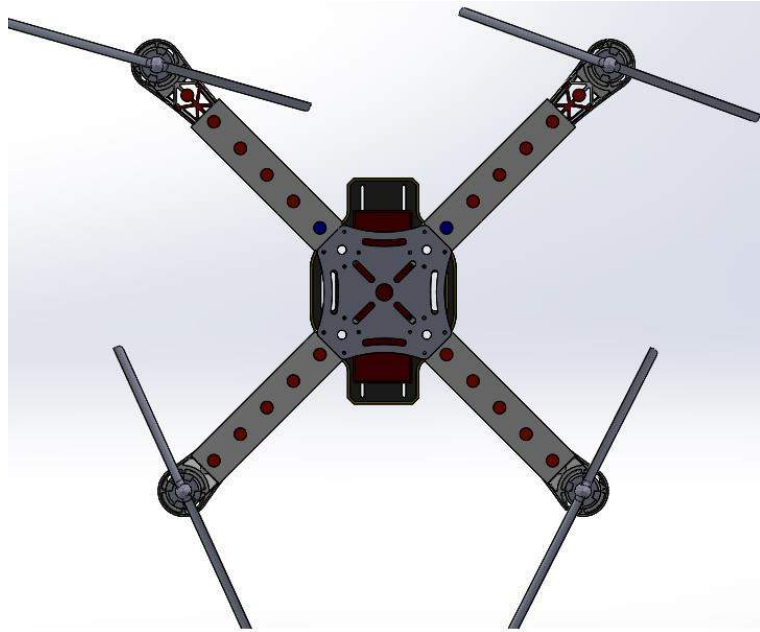


Figure 7: Differential morphing 1



Figure 8: Differential morphing 2

While the quadrotor performs morphing, I_x and I_z , which are moments of inertia, show variations, as the rigid body model changes. Since these values are in the space space model, they need to be updated with each morphing operation. In the table below, moment of inertia information is given.

Table 1: Quadrotor Moment of Inertia Values

State	$m(kg)$	$I_x(kg * m^2)$	$I_y(kg * m^2)$	$I_z(kg * m^2)$
Normal arm length	0.59	0.04085	0.01629	0.05607
Differential morphing 1	0.59	0.03859	0.00668	0.04418
Differential morphing 2	0.59	0.03982	0.00981	0.04856

PID coefficient values are always considered constant and are given in Table 2.

Table 2: Lateral Flight PID Coefficient

P	I	D
1.1	1.1	1.65

Lateral flight simulation graphics are given below.

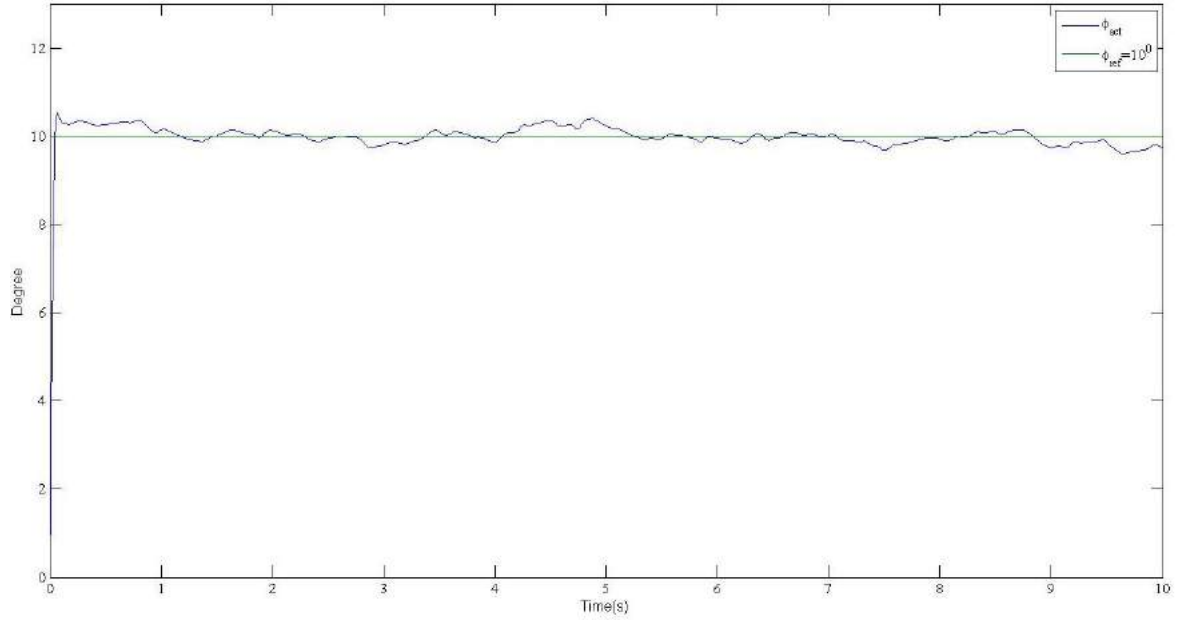


Figure 9: Normal arm simulation

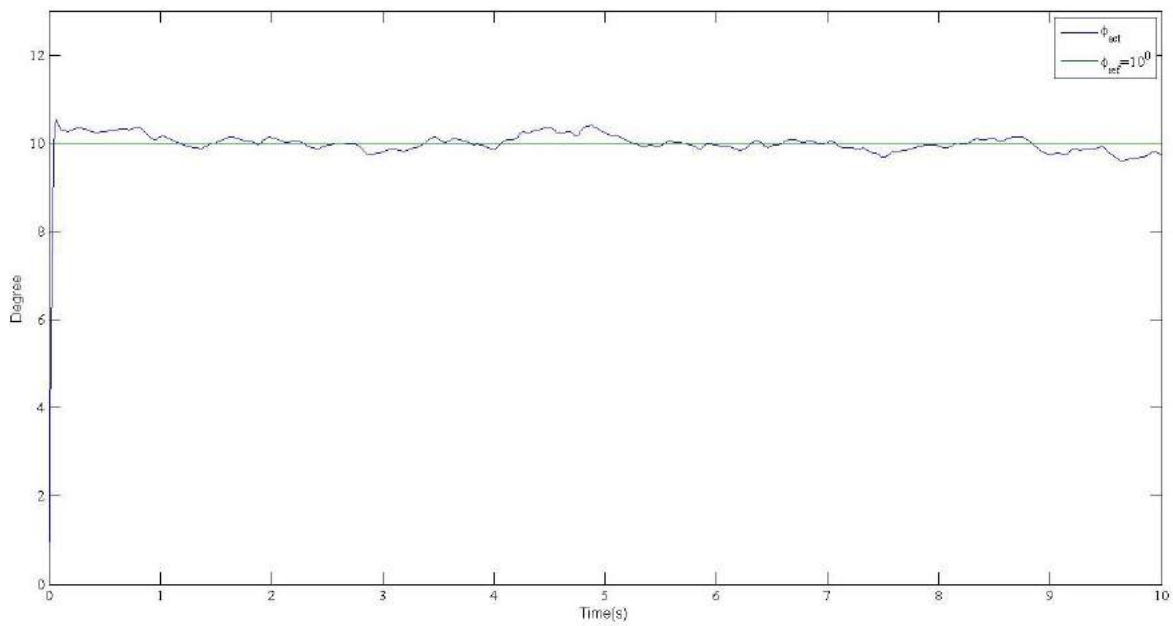


Figure 10: Differential morphing 1 simulation

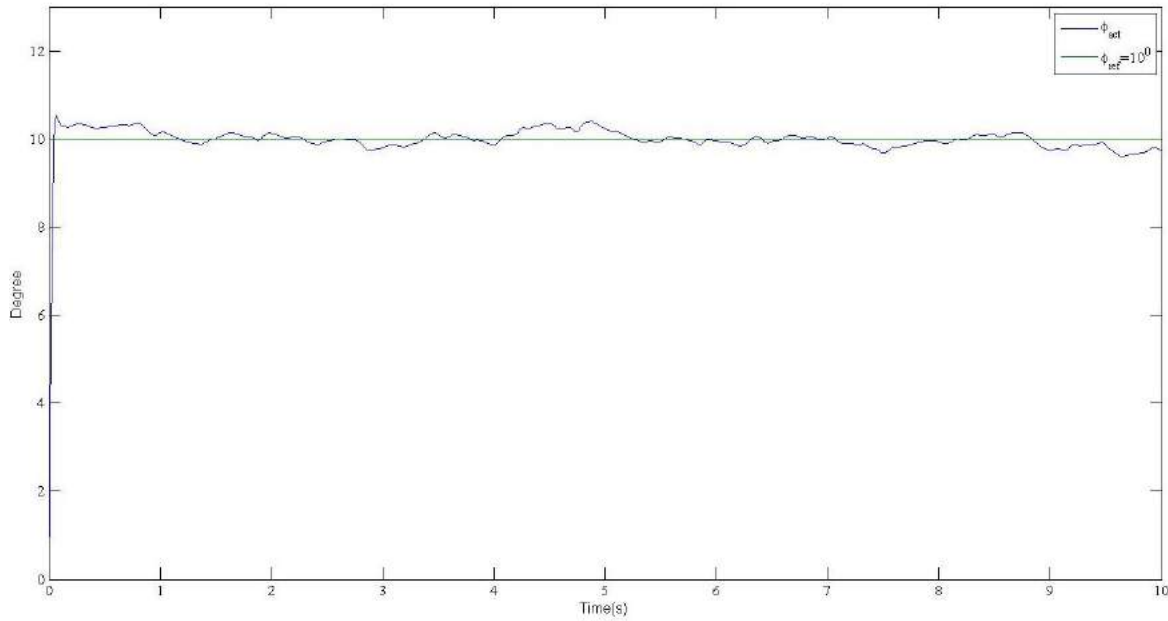


Figure 11: Differential morphing 2 simulation

4. Conclusions

In this article, the effect of differential morphing on lateral flight is discussed. The quadrotor dynamic model was created by the Newton-Euler method. The full model was drawn in the Solidworks program. With the mass and moment of inertia information taken from the full model, a model was created with the state space model approach in Matlab / Simulink environment and simulations were made.

Differential morphing was effective in lateral flight. Even if this situation is not clearly determined from the graphics, it was determined by observing the design performance criteria. Design performance graphs of non-morphing and morphing situations are given in the table below.

Table 3: Lateral Flight System Characteristic

	Non-morphing	Differential morphing 1	Differential morphing 2
Rise Time	0.0334 second	0.0316 second	0.0326 second
Settling Time	0.107 second	0.102 second	0.104 second
Overshoot	4.33 %	4.96 %	4.6 %

In this article, the PID coefficients remained constant in all cases. Morphing was done in certain proportions. In later studies, it is planned to determine PID coefficients according to morphing status and to provide more stable, stable flight by using optimization algorithms.

5. References

Bai, Y. (2017). *Control and Simulation of Morphing Quadcopter*. Saint Louis University,
 Çoban, S., & Oktay, T. (2018). Legal and Ethical Issues of Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Aviation*, 2(1), 31-35.
 Desbiez, A., Expert, F., Boyron, M., Diperi, J., Viollet, S., & Ruffier, F. (2017). *X-Morf: a crash-separable quadrotor that morphs its X-geometry in flight*. Paper presented at the 2017 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS).
 Domingue, J. M. (2009). *Quadrotor Prototype*. Universidade Tecnica de Lisboa. Dissertacio,
 Oktay, T., & Coban, S. (2017). Simultaneous longitudinal and lateral flight control systems design for both passive and active morphing UAVs. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 23(5), 15-20.
 Oktay, T., Konar, M., Mohamed, M. A., Aydin, M., Sal, F., Onay, M., & Soylak, M. (2016). Autonomous flight performance improvement of load-carrying unmanned aerial vehicles by active morphing. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 10(1), 123-132.
 Oktay, T., & Kose, O. (2019a). *The Effect of Collective Morphing on the Lateral Flight in Quadcopter*. Paper presented at the Umteb 6. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, Iğdır.

- Oktay, T., & Kose, O. (2019b). *The Effect of Collective Morphing on the Longitudinal Flight in Quadcopter*. Paper presented at the MAS INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESSON MATHEMATICS, ENGINEERING, NATURAL ANDMEDICAL SCIENCES-III, Şanlıurfa.
- Oktay, T., & Kose, O. (2019c). *The Effect of Collective Morphing on the Vertical Flight in Quadcopter*. Paper presented at the MAS INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESSON MATHEMATICS, ENGINEERING, NATURAL ANDMEDICAL SCIENCES-III, Şanlıurfa.
- Oktay, T., & Sal, F. (2016). Combined passive and active helicopter main rotor morphing for helicopter energy save. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38(6), 1511-1525.



Müzedede Aydınlatmanın Kullanıcı ve Eserler Açısından Değerlendirilmesi

Uğur Özcan^{1*}, Hümeysra Çağlar²

¹ Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0002-4478)

² Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2602-9189)

(İlk Geliş Tarihi 14 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 18 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.703797)

ATIF/REFERENCE: Özcan, U. & Çağlar, H. (2020). Müzedede Aydınlatmanın Kullanıcı ve Eserler Açısından Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 645-655.

Öz

Müzeler, bir toplumun bilim, sanat, kültür ve tarih alanlarında değerli görülen eserlerinin sergilendiği, saklandığı ve korunduğu yapılarıdır. İlk müze 16. yüzyılda, ilk resmi müze ise 18. yüzyılda oluşturulmuştur. Bu dönemlerde kurulan müzelerde amaç, sadece nesnelerin bol güneş ışığı altında sergilenmesidir. 19. yüzyılda sergileme işlevine ek olarak insanların sosyalleştiği, eğitimsel ve kültürel etkinlikler ilave edilmiştir. Müzeler buldukları şehirlerde birer röper noktası haline gelseler de, ana işlevleri olan sergileme devam ettirilmektedir. 20. yüzyıldan sonra ise artık koleksiyon nesnelerinin korunması gündeme gelmiştir ve doğal ışık kontrolüyle birlikte yapay ışık ve yansıtıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Müzelerde sergilemeden sonra ikincil işlev, insanlığın kültürel ve tarihi değerleri olan nesnelerin toplanması ve korunmasıdır. Ancak sergileme esnasında fiziksel ve çevresel faktörler nedeniyle sergilenen nesnelere zarar görmekte ve bozulmalara uğramaktadır. Sergilenen nesnelere, tüm insanlığın ortak değeri ve kültür mirası haline dönüşmüştür. Bu nedenle büyük tahribatların geri dönüşü zor, hatta imkânsız olabilmektedir.

Sergileme, birincil işlev olduğundan, sergilenen nesnelerin doğru algılanabilmesi çok önemlidir. Eserlerin algılanabilmesi fiziksel temas sağlanarak gerçekleştirilemediğinden görsel algılama ve aydınlatma önemlidir. Maksimum algı için doğru aydınlatma sisteminin, ışık miktarının ve ışığın renginin seçimine dikkat edilmelidir. Aydınlatma sistemi hem kullanıcı gereksinimlerinin karşılanması, hem de nesnelerin ışıktan kaynaklanacak tahribatlara uğramaması iki önemli faktördür. Kullanılan aydınlatma tasarımı ziyaretçiler için görsel konforu sağlamalı, nesnelerin doğru algılanmasını, tanımlanmasını ve tasarımın göze hoş gelmesini sağlayacak düzeyde olmalıdır. Ayrıca ışıklandırma ile mekânın davetkar olması ve ilgi çekmesi hedeflenmelidir. Sergi objelerinin vurgulu aydınlatıldığı özel durumlarda, kullanıcıların yön ve mesafe bulabilmesi sağlanmalı; olası çarpma, düşme gibi durumlarda hem ziyaretçinin hem de materyallerin zarar görmesi önlenmelidir.

Koleksiyon nesnelerinin aydınlatılması, sergileme amacı ve nesnelerin içeriğindeki malzemelere göre farklılık göstermektedir. Bu nesnelere uzun yıllardır ışık gibi çevresel etkilerle karşı karşıya kaldığından, zamanla hassasiyetleri artmaktadır. Işığın nesnelere oluşturabileceği tahribatlar, nesnenin kimyasal özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Genelde bu bozulmalar; renk değişimi/solması, yapının zayıflaması ve kırılma oluşması, ışık kaynağından yayılan ısıya bağlı yüzeyde genleşme ve çatlaklar olarak meydana gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında, kültürel mirasların korunup sergilendiği müzelerde, ışık faktörünün ve etkilerinin, aynı zamanda ışığın olumsuz etkilerine karşı alınabilecek tedbirlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Müze, Sergi, Işık, Doğal Aydınlatma, Yapay Aydınlatma.

Evaluation Of Lighting In The Museum In Terms Of Users And Artifacts

Abstract

Museums are structures in which works of a society deemed valuable in the fields of science, art, culture and history are exhibited, stored and preserved. First museum 16. in the century, the first official museum is 18. it was created in the century. The purpose in museums established during these periods is only to display objects in abundant sunlight. 19. in addition to the exhibiting function in

* Sorumlu Yazar: Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0002-4478)
uozcan@fsm.edu.tr

the century, people socialized, educational and cultural activities were added. Although museums have become points of interest in the cities in which they are located, their main function, the exhibition, continues. 20. after the century, however, the preservation of collection objects was brought to the agenda and artificial light and reflectors began to be used along with natural light control. The secondary function after display in museums is the collection and preservation of objects with cultural and historical values of humanity. However, the objects exhibited during the exhibition are damaged and deteriorated due to physical and environmental factors. The objects on display have been transformed into the common value and cultural heritage of all humanity. Therefore, it can be difficult or even impossible to recover from major destruction.

Because exhibiting is the primary function, it is very important that objects exhibited can be perceived correctly. Visual perception and lighting are important because the perception of the works cannot be realized by providing physical contact. Attention should be paid to the selection of the correct lighting system, the amount of light and the color of the light for maximum perception. The lighting system meets the needs of the user, and the objects do not suffer from the destruction caused by light are two important factors. The lighting design used should provide visual comfort for the visitors, to ensure that the objects are correctly perceived, identified and the design is pleasing to the eye. It should also be aimed to make the place inviting and interesting with lighting. In special cases where exhibition objects are highlighted, users should be able to find direction and distance; in case of possible impact or fall, damage to both the visitor and the materials should be prevented.

The illumination of the objects of the collection differs according to the purpose of the exhibition and the materials in the contents of the objects. Because these objects have faced environmental impacts such as light for many years, their sensitivity increases over time. The effects that light can cause on objects vary according to the chemical properties of the object. In general, these distortions occur as discoloration/fading, weakening and brittle of the structure, expansion and cracks on the surface due to heat emitted from the light source.

Within the scope of this study, it is aimed to examine the light factor and its effects, as well as the measures that can be taken against the negative effects of light in museums where cultural heritage are protected and exhibited.

Keywords: Museum, Exhibition, Light, Natural Lighting, Artificial Lighting.

1. Giriş

Müzeler genellikle kültür, sanat, bilim, tarih alanlarının ve bu alanlara etkisi olmuş materyallerin saklandığı, korunduğu, bakımının yapıldığı ve insanlara süreli veya sürekli olarak sergilendiği yapılardır.

“Müze” kavramı ilk olarak 16. yüzyılda Medici ailesinin kendisine ait eserleri sergilemeye başlamasıyla ortaya çıkmıştır. Daha sonra 1750 yılında ilk resmi müze olan Lüksemburg Müzesi, kraliyet ailesine ait eşyaları halka sergilemek amacıyla hizmet vermeye başlamıştır. İlk üniversite müzesi olma özelliği taşıyan ve 1677 yılında Oxford Üniversitesi’ne bağışlanmış Ashmolean Müzesi, ilk kamusal müze olma özelliğini de taşımaktadır (Erdemir, 2014).

İlk müzeler kurulduğunda amaç, sadece sanat eserlerinin sergilenmesidir. Bu nedenle genelde dikdörtgen planlı, tepe ışıklığı olan, içe kapalı kutucuklar şeklinde yapılar olarak tasarlanmışlardır. Ancak zamanla sanat eseri sergileme fonksiyonuna ek olarak eğitimsel ve sosyal boyutlar da eklenmiş, müze binaları tasarımı da deneysel bir boyut kazanmıştır (Soygeniş, 1992). Müzeciliğin bu ilk yıllarında eserleri bol günışığı altında sergilemek hedeflenmiştir. 18. ve 19. yüzyıl mimarisinde ise ışığı kontrol altına almak amacıyla doğal ışığı mekân içine alan pencere sayısı azaltılmış, yüksek pencereler, tepe ışıklıkları ve yansıtıcılar yapılara dâhil edilmiştir.

20. Yüzyılın ortalarında sergilenen objenin zararlı ışınlardan korunması önem kazanmış, bu bağlamda bazı değişiklikler yapılmıştır. Bunlar, mekân içindeki günışığının kurgulanmış bir sistemle kontrolü ve sadece yapay aydınlatma kullanımını yaygınlaştırmaktır. Daha sonraki süreçte, gelişen teknoloji ve zamanla tükenen kaynaklar sebebiyle enerji tasarrufu gereksinimleri göz önünde bulundurularak günışığının aktif bir şekilde kullanımı öngörülmüştür. Böylece gerekli aydınlık düzeylerinin sağlanması, görsel konfor ve eserlerin korunumu mümkün olmuştur (Soygeniş, 1992).

2. Müzeciliğin Gelişimi ve Modern Müze Anlayışı

19. yüzyıldan sonra müze mimarisindeki klasik dikdörtgen form terk edilmiş, farklı geometrik formlar kullanılarak anıtsal yapılar tasarlanmıştır. 1970’li yıllarda müzeler kentsel ikonlar haline dönüşerek insanların ilgisini çeken ve davet eden birer toplanma merkezlerine dönüşmüştür. Artık sanat eseri sergilemenin yanı sıra müze yapılarının de birer sanat eseri niteliğinde değerlendirilme durumu ortaya çıkmıştır. Bu yıllardan itibaren müzeler sergileme görevinin yanı sıra insanların eğitim ve kültür aktivitelerini gerçekleştirdikleri, sosyalleştikleri, çalışma ve araştırma işlevlerini gerçekleştirebilecekleri komplekslere dönüşmüştür. Bu işlevleri karşılayabilmek için de sinema, video odaları, depolar, kafeteryalar, konferans ve eğitim salonları gibi daha geniş hacimlere ihtiyaç duyulmuştur.

Günümüz modern müzeciliğinde müzeler, çağın modern iletişim araçlarına yönelmektedir. Koleksiyonları, özel sergileri ve tanıtımlarını modern iletişim araçlarıyla izleyicilere sunmaktadırlar. Bu anlamda modern müze, ziyaretçi bekleyen ya da çeken değil sahip oldukları modern iletişim teknikleri ile müzeyi insanların ayağına götüren ‘mobil müzecilik’ anlayışına yönelmektedir (Okan, 2018). Modern müze anlayışında sürekli ve değişken alanlar önem kazanmıştır. Giriş, koridorlar ve sirkülasyon alanları; yatay ve düşey bağlantılar, rampalar, merdivenler sanat eserlerinin sergilenme durumuyla birlikte, binanın esas tasarım girdisi olarak düşünülmektedir (Erdemir, 2014).

Müzelerin öncelikli hedefi olan sergilemenin yanında ikincil işlevleri toplama ve korumadır. Tüm bu görevleri yerine getirebilmek için iyi tasarlanmış bir mimari oluşuma ihtiyaç duyulmaktadır. Gerekli sergileme alanları, giriş ve bekleme salonları, depolar, sirkülasyon alanları gerekli teknik donanıma sahip değilse fonksiyonlar yerine getirilememektedir.

Bu teknik donanımların başlıcaları şunlardır; Havalandırma, Depolama, Güvenlik Sistemleri, Restorasyon, Koleksiyon, Arşiv, Envanter, Aydınlatma (Okan, 2018).

Müzeler için en önemli fonksiyon olan nesne ve sanat eseri sergilemesi, doğrudan aydınlatma ile alakalıdır. Işığın doğru açıyla ve doğru miktarda aydınlatması, sergilenen eserin algılanmasında büyük rol oynamaktadır.

3. Işık ve Aydınlatma

3.1. Işık Kavramı

Işık, dalga şeklinde yayılan ve parçacık etkili, göze tesir eden özel bir enerji şeklinde tanımlanır. Kasap'a göre aydınlatma, çevrenin ve nesnelerin, belirli bir amaca uygun olarak teknik altyapının yanı sıra sanatsal ve imgesel boyutunun da önceden kurgulanarak ışık bütünselliğinin yaratıcılıkla harmanlandığı bir görsel anlatım aracıdır (Kasap, 2016). Ayrıca ışık; görmenin, algılamanın ve ait hissetmenin de temel araçlarından biridir.

Bir mekânın şekli, yüzeyleri, iç mekânının estetik görünümü, dokuları, ölçeği, sınırları, rengi ve sunmak istediği duygusal his yapının ışık ile olan ilişkisiyle ortaya çıkar. Mekâna karakter veren ışık, mimarlık ve aydınlatma arasındaki ilişkinin temel ögesini oluşturur (Yöndem, 2019).

3.2. Aydınlatma Terimleri

3.2.1. Işık Akısı

Işık kaynağından çıkan ve her yöne dağılan, normal gözün gündüz görmesine ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen toplam ışık miktarına denir ve lümen (lm) ile ölçülür. Aydınlatma aygıtının gücü arttıkça akı da artar (URL-1).

3.2.2. Işık Şiddeti

Noktasal ışık kaynakları için tanımlanır ve doğrultuya bağlı bir büyüklüktür. Işık kaynağının belirli bir yönde akan ve candela (cd) birimine sahip olan ışık akısı miktarıdır (URL-1). İdeal noktasal bir lamba, ışık akısını her yöne eşit aralıklı yaymaktadır. Bununla birlikte, pratikte ışık kaynağının verdiği ışık akısı sabit olduğu halde, çeşitli doğrultulardaki ışık şiddeti farklı olabilir. Bu, kısmen ışık kaynağının tasarımından veya ışığın kasıtlı olarak yönlendirilmesinden kaynaklanmaktadır (Ganslandt ve Hofmann, 1992).

3.2.3. Aydınlatma Düzeyi

Birim alana düşen ışık akısı miktarıdır. Işık akısı kaynaktan çıkan tüm ışık miktarını belirtirken, aydınlık düzeyi yüzeyin ne kadar ışık aldığını gösterir. Birimi lüx'tür (lx) ve ışık akısının yüzey alanına oranı ile bulunur (lm/m^2).

Müzelerde aydınlık düzeyinin dağılımı, aydınlatma amacına bağlı olarak bölgesel aydınlatma ve genel aydınlatma olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Düzlemin her noktasındaki aydınlık düzeyi üzerinde belirgin bir değişiklik yoksa, yani değerler birbirine çok yakınsa düzgün yayılmış genel aydınlatma ($E_{min}/E_{ort} > 0.8$); aydınlatılan alanın her noktasındaki aydınlık düzeyinin eşit olmadığı durumlarda ise değişken yayılmış genel aydınlatma elde edilmiş olur (Bayer, 2007).

3.2.4. Parıltı

Prof. Şazi Sirel, Aydınlatma Sözlüğü'nde parıltıyı bir yüzeyin az ya da çok ışık yayımlar görünmesine bağlı görsel duyulanma verisi şeklinde tanımlamıştır (Sirel, 2012).

Işık kaynaklarından gelen veya yüzeyin yansıttığı ışık miktarı olarak tanımlamak mümkündür. Nesnenin görünebilirliği, nesnenin görünen yüzeyinin parıltısına bağlıdır. Parıltı ise yüzeyi aydınlatan ışık miktarına, yüzeyin görüntülenme açısına ve yüzeyin yansıtma özelliklerine bağlıdır (Yöndem, 2019).

Birimi nesnelere için nit, ışık kaynakları için stilb'dir; ışık şiddetinin yüzey alanına oranı ile bulunur (cd/m^2).

3.2.5. Renk Sıcaklığı

Renk sıcaklığı, ışığın sıcak veya soğuk görünmesini açıklayan aydınlatma tekniğinin bir terimidir. Birimi Kelvin (K)'dir. Yapılan araştırmalardan elde edilen veriler, renk sıcaklığı arttıkça göreceli hasar potansiyelinin arttığı yönündedir. Bu etki, müzede düşük renk sıcaklıklı ışık kaynaklarının genel kullanımının koruma için tercih edilmesini sağlamıştır. Ancak ışık renk sıcaklığına ilişkin kararlar, sergilenen nesnelerin görünür özellikleri dikkate alınarak verilmelidir. Müzelerde önerilen renk sıcaklığı değerleri 2900- 4200 K aralığındadır (Yöndem, 2019).

3.2.6. Renksel Geriverim İndeksi

Işık kaynaklarının aydınlattıkları cisimlerin renklerini ayırt ettirebilme özelliklerine, ışık kaynağından görülen gerçek renk tonuna verilen addır. Renksel geriverim ölçeği 0'dan 100'e kadardır. Doğal ışık, bu özellikte en üst seviyededir ve değeri 100'dür (Hunt, 2009).

Renksel geriverim indeksi, izleyicinin renkleri doğru görme becerisi açısından ışık kalitesini ölçer. Sergilenen nesnelerin olduğu renklerde algılanabilmesi ve ışığın renk değişimlerine neden olmaması müzelerde önemli bir kriterdir. Müzeler tarafından belirlenen sabit bir renksel geriverim indeksi yoktur. Fakat genel olarak müzelerde kullanılacak lambaların seçiminde renksel geriverim indeksinin (CRI) 85 veya üzerinde değer alması önerilir. Müze aydınlatma tasarımcılarının, yüksek renksel geriverim indeksine sahip sürekli spektrumlu ışık kaynaklarını seçmeleri ve serginin genel görünümüne ve ayarlarına uyacak ışık renk sıcaklıklarını belirlemeleri yaygın bir uygulamadır (Yöndem, 2019).

4. Müzelerde Aydınlatma

Işık, bina tasarımlarının vazgeçilmez unsurlarından biridir. Müzelerde aydınlatma tasarımları ise hem mekânın hem de serginin amacına ulaşabilmesi için ön plana çıkmaktadır. Genel olarak müzeciliğin ilk yıllarında amaç eserleri bol ışık altında sergilemek olmuştur. Daha sonraları müzeler bilimsel, tarihsel ve sanatsal eserlerin sergilendiği ve korunduğu kuruluşlara dönüşmüştür. Bu eserler insanlığın ortak değerleri olarak ele alındığından herhangi bir tahribata uğradığında geri dönüşü olmayacağı düşünülerek, gün ışığına oranla daha az zararlı yapay aydınlatmalar devreye girmiş ve koruma kavramıyla birlikte ele alınmıştır (Yöndem ve Akyol,2017).

Günümüzde galeri ve müze aydınlatmasında dört kavram üzerinde durulmaktadır:

1- Bilinçli kullanılmış bir aydınlatma düzeni ile sergilenen nesnelerin görünmesini engelleyen kamaşmanın yok edilmesi, nesnelerin net ve doğru bir şekilde algılanmasının sağlanarak nitelikli bir izleme imkanının tanınması

2- Sergilenen nesnelerin zararlı ışınımlardan korunması

3- Gün ışığını destekleyici yapay aydınlatma düzeninin sağlanması

4- Sergileme yöntemlerinin gelişmesine bağlı olarak nesnelerin biçimsel, gereçsel, renksel, vb. özelliklerinin ortaya çıkarılması (Kurtay ve diğ.,2003).

4.1. Aydınlatma Tasarımında Kullanıcı Gereksinimleri

Müze sergilerinde mekân-yapıt ilişkisi görsel algılama bağlamında oluşur ve gelişir. Sergi alanı, yapının kimliğini aktarır, onu ziyaretçiye gerekli algılama verileri doğrultusunda, gerekli konfor değerleriyle sunarken, izleyici ile eserin etkileşimini kurmak durumundadır. Müze, koleksiyonunun tanımlanması ve tanınması yolunda düzenlediği sergilemede bir algılama çevresi hazırlamaktadır (Kurtay ve diğ.,2003). Müzede insanların eserlere fiziksel temasta bulunmaları olanaksızdır. Bu nedenle algılama büyük oranda gözle gerçekleşmektedir. Aydınlatmanın ve ışığın etkisi bu durumda oldukça fazladır. Aydınlatma tasarımında görsel konfor, görsel performans ve güvenlik hedeflenmelidir.

Sergi mekanlarının aydınlatmasında müze hem göze hoş gelmeli, hem davetkar olmalı, bunun yanında da sergilenecek elemanlarla uyum içinde olmalıdır. İlk aşamada alınması gereken kararlar gün ışığının kullanılıp kullanılmayacağı, miktarı, yapay ışığın gün ışığıyla birlikte ve karanlık ortamda nasıl kullanılacağıdır.

Galerinin mimari karakteri, sergilerin nasıl sunulacağı ve aydınlatılacağına bağlı olarak binanın aydınlatılması, sergi ile galeri arasında yeterli bir kontrast oluşturacak şekilde dolaylı veya gizlenmiş aydınlatma düzenekleri içerebilir. Sergilenecek olan nesnelerin görüş alanı içinde en parlak bölümleri oluşturması amaçlanır. Duvarları, tavanı ve binanın diğer yüzeylerini aydınlatmak için kullanılan gizlenmiş aydınlatma düzeneği, görünürde çalışan armatürler olmadan mekana ışığın girmesinin bir yöntemidir. Bu aydınlatma şekli, mimari öğelerin veya yüzeylerin önem kazanması için uygundur ve sergilenecek objelerin aydınlatılması için zemin oluşturur (Kazanasmaz,2003).

Bir nesnenin algılanabilmesi için ebatları ve ışık miktarının eşik değerlerinin üzerinde olması gerekmektedir. Objeye; uzunluk, renk, şekil, hareket gibi özellikleriyle içinde bulunduğu ortamda ayırt edilebilmelidir. Şekil ve desen algısında en önemli faktör aydınlık miktarıdır. Derinlik algısında malzeme, yüzeydeki girinti ve çıkıntılar, aydınlık düzeyi ve renk etkilidir. Aydınlatma sistemi, nesnenin öne çıkması istenen özelliğine göre belirlenmelidir.

Sergi aydınlatmasının amacı, sergilenen nesnelere üzerinde inceleme yapabilmek olduğu kadar göze hoş gelmesini de sağlamaktır. Bazı sergilerde nesnelerin ince detaylarına kadar gözükmesi ve incelenmesi istenirken, bazılarında nesne bir bütün olarak ele alınmaktadır (Kazanasmaz, 2003).

Işığa çok duyarlı nesnelerin sergilendiği durumlarda, belirlenen aydınlık düzeyinin en alt sınırı ile sadece objelerin vurgulu aydınlatılması sağlanmaktadır. Ancak bu durumlarda ziyaretçilerin nesne ve mekân algısı, yön bulabilmesi de göz ardı edilmemelidir. Böyle durumlarda genel aydınlatma kullanılmadığından insanların hareket alanının belirgin olmaması; çarpma, düşme ve yön bulamama gibi konfor problemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Erdemir, 2014). Çarpma gibi durumlarda ziyaretçilerle birlikte sergilenen materyaller de zarar görmektedir. Bu problemler aynı şekilde aşırı ışık durumunda da söz konusu olacağından görme eyleminin yerine getirilebileceği aralıklarda ışık miktarı kullanılmalıdır.

Müze olarak kullanılan ve kendileri başlı başına müzenin bir parçası olarak sergilenen tarihi yapılarda nitelik ve nicelik yönünden ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Yapının hem korunması, sergilenen objelere kabuk oluşturması, hem de kendini ve içinde barındırdığı eserleri nitelikli biçimde algılatıp, sergilemesi gerekmektedir. Tarihi yapı bir taraftan korunurken, diğer taraftan kendini sergilemeli ve sergilenen eserler kadar yapı da net bir şekilde algılanmalıdır. Tarihi bir yapıda aydınlatma söz konusu olduğunda, mevcut donanım göz önünde bulundurularak, öneri çözümlerle yapıya minimum zarar verilmesi hedeflenmelidir (Kurtay ve diğ.,2003)

4.2. Aydınlatma Tasarımında Sergi Nesnesinin Durumu

Müzelerde sergilenen objelerin, sergileme amaçlarına ve çeşitlerine göre aydınlatma tasarımları ve ihtiyaçları da farklılık göstermektedir. Bazı objelerde direkt ışığa maruz kalmak zararlı olacağından ışık sınırlandırılmalıdır. Kaynak olarak mümkün olduğunca gün ışığı tercih edilmesine rağmen, sanat eserine vereceği zarar, mevsimsel ve gün içindeki kontrolünün zorluğu sebebiyle günümüz müze ve galerilerinde genellikle yapay ışıklandırmalar tercih edilmektedir.

4.2.1. Sergi Nesnelere Işığa Bağlı Bozulmalar

Sergi nesnelere organik, inorganik veya kompozit olarak sınıflandırılabilir. Bu kimyasal sınıflandırmaya göre ışığın malzemeler üzerindeki etkisi değişkenlik göstermektedir. Aydınlatmadan kaynaklanan hasarlar; malzemelerin bozulması veya zayıflaması, inorganik malzemeler ve bağlayıcıların oksidasyonu, nesnedeki yüzey sıcaklığı değişimine bağlı renk değişikliği gibi farklı şekillerde görülebilir.

Ahşap, bulunması ve üretilmesi diğer malzemelere oranla daha kolay olduğundan kullanılan en eski malzemelerdendir. Bu nedenle müze koleksiyonlarında birçok örneğine rastlanmaktadır. Işık; ahşap malzeme içindeki lignin pigmenti ile etkileşime girerek rengin ağarmasına sebep olmaktadır. Zararlı ışınların başında gelen UV ise ahşap yüzeyinde kırılma, pürüzlüleşme ve çatlaklara yol açmaktadır. Boyalı ahşap yüzeyler ışığa karşı daha dayanıklıdır. Boya, ahşabın dış yüzeyi ile çevresel faktörler arasında bir geçiş alanı oluşturarak reaksiyonlara ahşaptan önce cevap vermektedir.

Kâğıttan yapılmış nesnelere, yüksek ışık seviyelerine maruz kaldığında yapısındaki liflerin gevşemesinden dolayı renk değişikliği görülmektedir. Aynı zamanda akkor ampuller gibi ışıkla birlikte ısı da yayan ışık kaynaklarında, sıcaklık değişimine bağlı olarak kâğıt yüzeyinde kuruma gerçekleşir ve malzeme daha kırılğan bir hal alır.

Tekstil ürünleri; lifler, boyalar ve bitim işlemlerinin sonucunda elde edilen kompozit malzemelerdir. Genellikle organik malzemelerden oluştuğundan sıcaklık, nem, ışık ve fiziksel etkenlerin neden olacağı bozulmalara duyarlıdır. Doğal veya yapay ışık fark etmeden yüksek aydınlatmaya maruz kalmak, içerdiği boyanın renk değiştirmesine, liflerin sağlamlığını kaybetmesine neden olur. Ayrıca tekstil nesnelere ışık miktarı kadar maruz kalma süresi de bozulma oranını belirler.

Kauçuk ve plastik gibi inorganik materyallerde bozulmanın hangi oranda gerçekleşeceği öngörülemez. Bozulma; kimyasal bileşiminde, fiziksel özelliklerinde veya formunda değişiklikler şeklinde görülebilir.

Metal nesnelere de ahşap gibi müze koleksiyonlarında geniş bir yere sahiptir. Metal nesnenin bozulmasında nem, sıcaklık ve yanlış bakım gibi faktörler etkili olmaktadır. Metaller, ışığa karşı dayanıklı olsa da uygulanan bakımlar nedeniyle dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Örneğin; metal obje üzerinde bir kaplama varsa UV ışınları kaplamanın koruyucu özelliklerini kaybetmesine sebep olmaktadır. Zamanla yüzeyde kararmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle sürekli bakım gerekmektedir.

Seramik, cam gibi nesnelere en belirgin özelliği gevrek ve kırılğan olmalarıdır. Bozulma etkenlerinin başında fiziksel güç gelmektedir. Kızılötesi (IR) ışınlar bu nesnelere sıcaklık ve nem değişimine bağlı yüzey genişlemesi veya daralmasına neden olmaktadır. Ayrıca cam yüzeylerde matlaşma ve renk değişimi görülmektedir. Camların güneş ışığı veya ısı yayan spotlar altında sergilenmesi, kırılma veya çatlaklara yol açmaktadır.

Beton, cam, taş, metal gibi materyallerden yapılmış bazı koleksiyon nesnelere dış mekanda sergilenmektedir. Her ne kadar dayanıklı malzemeden üretildikleri düşünülse de süreç içinde bozulmaları kaçınılmazdır. Fiziksel hasarlar ve iklimsel koşullarla birlikte ışık, bu nesnelere üzerinde korozyon, renk değişikliği ve kuruyarak kırılğan hale gelme gibi değişimlere neden olmaktadır.

4.2.2. Sergi Nesnesinin Korunması

Tüm ışık kaynakları ultraviyole yaydıklarından eserler üzerinde belli tahribatlara yol açmaktadırlar. Bu tahribatların minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir. En zararlı ışık güneştir, floresan lambasının ışığı daha az zararlıdır. Bir eser üzerine zayıf ışık verilse bile bu ışık uzun süre tutulursa esere zarar vermektedir. Ayrıca ışığın verdiği tahribatları telafi etmek çok zordur. Solgun renkler ve ışık yüzünden kırılğanlaşan eserler orijinal durumlarına gelemeyiz. Mutlaka filtre kullanılmalıdır. Işık eserlere direkt gelmemeli, yansıtılmış ışık kullanılmalıdır (Okan, 2018).

Kullanılan aydınlatma düzeneğinin çeşidi kadar lambaların çeşidi de önemlidir. Sergideki objelerin renklerini en iyi ve doğru şekilde göstermek için renksel geriverim endeksi 85 (CRI) veya daha yüksek olan lambalar tercih edilmelidir. Ayrıca, objelerin ışıktan yayılan UV veya IR dalgalarından zarar görmemesi için önlemler alınmalı ya da uygun lambalar seçilmelidir (Kazanasmaz, 2003). Işık, dalga uzunluğuna göre üç kategoriye ayrılan devamlı bir enerji spektrumudur. Bu kategoriler morötesi ışınlar (UV), kızılötesi ışınlar (IR) ve görülebilir ışıktır. Morötesi ışın, radyasyonun kısa ve en çok enerji barındıran formudur. Kızılötesi ışın (IR), ışık spektrumunun sonunda yer almaktadır. Görülebilir ışık ise spektrumda mor ötesi ve kızıl ötesi ışınların arasındadır. UV'den kaynaklanan yüksek enerji, organik eserlerde belirgin bir değişime neden olmaktadır. Uzun dalga boyların kısa dalga boylarından daha az zararlı olmasına karşın, emilen enerji eserin yüzeyini ısıtacağı ve kimyasal bozulmayı hızlandıracığı, aynı zamanda bağl nemde instabiliteye neden olacağı için bu ışınlar da eserlerde bozulmaya neden olmaktadır. Doğrudan güneş ışığı 100.000 lüks'e kadar bir değer iken, dolaylı güneş ışığı 10.000 lüks, parlak spot lambalar ise 2.000 lüks değerinde ışık vermektedir (Doğruer, 2019).

Bir çözüm önerisi olarak da ışık alma, yani nesnelere aydınlatıldığı süre azaltılabilir. Belli bir ışık seviyesine maruz kalan sergi nesnesinin, en azından ziyaretçi olmadığı zaman zarfında ışık alması önlenerek zarar oranı azaltılmaya çalışılmaktadır (Akgün, 2018).

5. Örnek Müzelerde Aydınlatma Sistemlerinin İncelenmesi

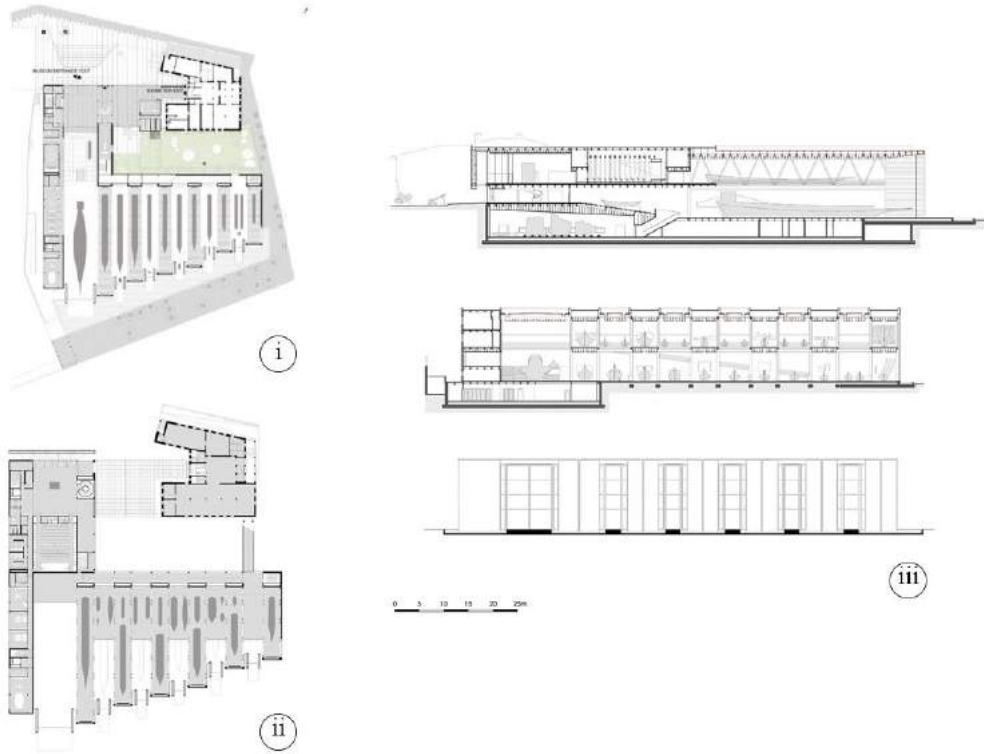
5.1. İstanbul Deniz Müzesi

Bina, tarihi bir koleksiyon için tasarlanmış; geleneksel ile çağdaş müzeciliği buluşturmuştur. Yaya ve araç trafiğinin yoğun olduğu Beşiktaş ilçesinde, bir sakinleştirme noktası olmayı hedeflemiştir. Çevrede röper noktası olarak kabul edilebilecek Beşiktaş Meydanı, İskele Caddesi, Dolmabahçe Caddesi ve İstanbul Boğazı ile görsel bir bağ oluşturması amaçlanmıştır (Yarımay, 2018).

Tescilli bir yapı olan Deniz Müzesi ve ona ek olarak yapılan Kayıkhanesi binasından oluşmaktadır. Sergileme alanlarının yanı sıra; kütüphane, çocuk eğitim salonu, konferans salonu, kafeterya ve satış birimleri gibi alanların varlığı, müzeye sergi ziyaretçileri dışında insanları da çekmektedir (Sapchi, 2016). Ayrıca müzeye gelir getirmesi amacıyla dönemlik olarak kiralanmış geçici sergi salonları, konferans salonu ve fuayeler ile farklı etkinlikleri de bünyesinde barındırmaktadır.

Müze, açık hava sergisi olarak kullanılan avlu etrafında kurgulanmıştır. Giriş, cadde kotundan birinci kattan, binanın denizle bağlantısı zemin katta yarı açık bir alanla sağlanmıştır.

Müzenin giriş holü eski ve yeni binaların bağlandığı düğüm noktası rolündedir. Tarihi bina ile Kayıkhanesi bölümü bir köprüyle bağlanmıştır. Oluşturulan sergi rotasında eski ve yeni binalar bütünleşmektedir. Büyük kayıkların sergilendiği zemin katta, geniş açıklık sistemleri ile kesintisiz görüş alanı sağlanmıştır. Daha küçük kayıkların bulunduğu asma kat ise galerilerle zemin katı görmektedir. Binanın plan ve sergileme şeması, mevcut koleksiyona uyum sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca sergi salonları arasındaki rampa ve köprüler, engelli ziyaretçiler için de sirkülasyonu kolaylaştırmaktadır (Yarımay, 2018).

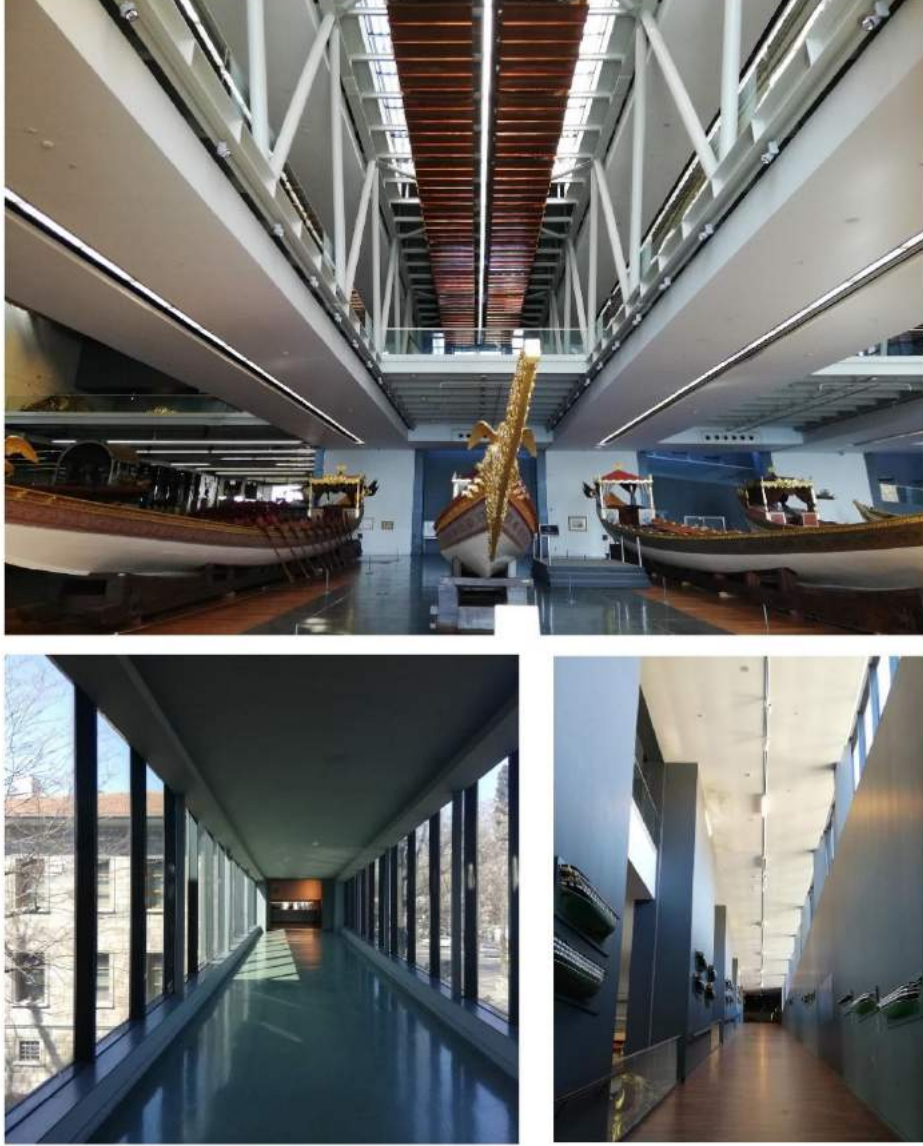


Şekil 1: i-Zemin Kat Planı, ii-Asma Kat Planı, iii-Kesitler (URL-2)

Deniz Müzesi resim, gemi donanımları, madalyalar, armalar, tuğralar gibi farklı türde birçok esere sahip olmasının yanı sıra, dünyanın en zengin tarihi kayıklar koleksiyonlarından birini bünyesinde barındırmaktadır. Sürekli sergi olarak kullanılan Tarihi Kayıklar Galerisi'nde kronolojik ve tematik bir düzen benimsenmiştir. Ayrıca sergilenen kayıklarla ilgili duvara asılan resim ve gravürler sayesinde, kayıkların kullanıldığı dönemler hakkında izlenimler edinilmesi sağlanmaktadır (Demir, 2019).

Sergilenen kayıklar ve kayık maketlerinin en iyi algılanmasını sağlayan ışık gün ışığıdır. Sergi salonlarına güneşe bakan büyük camlardan ve tavanlardaki yarıklardan gün ışığı alınmaktadır. Günışığının sürekliliğini sağlamak amacıyla cephelerden tavana devam eden yarıklar oluşturulmuştur. Ancak iç kısımlara yeterli gün ışığı gelmemesi ve mevsimsel olarak güneşin kontrol edilememesi nedeniyle, aydınlık seviyesi ayarlanabilir bir yapay aydınlatma sistemi mevcuttur. Bu sistem, bakır tavan içine gömülü yönlendirilebilir halojen lambalardan oluşmaktadır (Sapchi, 2016).

Sirkülasyon alanları olan merdiven ve rampalar gün ışığı ile aydınlatılmaktadır. Sergi salonlarını birbirine bağlayan, aynı zamanda sergilemenin devam ettiği rampa, yüksek pencereler ve cephelerdeki şerit pencerelerden ışık almaktadır. Ancak bu ışığın yetersiz kalması durumunda kullanılan, rampa boyunca devam eden bir floresan dizisi oluşturulmuştur. Floresanların şerit şeklindeki dizilimi sayesinde yönlendirme hissi uyandırılmıştır.



Resim.1: Kayikhane Binasi.

Müze de sergilenen kayıklar, bahriyeli üniformaları, maketler, sancaklar, haritalar, armalar ışığa duyarlı nesnelere dir. Sergilenen nesnelere nelerin hepsi tarihi değere taşımaktadır. Müzenin en değere ri parçası tarihi kadirga olarak görülmektedir. Işığa az duyarlı objeler sınıfındaki ahşap malzemelerden yapılmış ve üzerinde farklı boyalar kullanılarak yapılmış kabartma ve bezemeler bulunmaktadır. Sergilenen kayıkların zarar görmemesi için gereken maksimum aydınlık düzeyi 200 lx'tür (Sapchi, 2016). Ayrıca güneye bakan cepheden alınan gün ışığı, cam kenarının ısınmasına ve nesnelere nelerin ısıya bağılı bozulmasına neden olabilmektedir.

Sergi alanı rotasının parçası olarak müze ye dahil edilen tarihi binada, sergileme alanları içine gün ışığı alınmamaktadır. Bu bölümde daha küçük objeler bulunduğundan, genellikle cam vitrinlerde sergileme yapılmaktadır. Vitrinlere nelerin aydınlatılması, tavan yüzeyine yerleştirilen, yön değıştirebilir küçük spotlarla sağlanmıştır. Sergilenen obje nin niteliğı ve sergilendiğı yöne göre bazı durumlarda tavana yerleştirilmiş spotlar veya led ışıklardan yararlanılmıştır. Müzenin bu bölümünde objelerin vurgulu aydınlatılması fikri hakimdir. Tarihi yapı içine gün ışığının alındığı tek mekân, sirkülasyonun sağlandığı merdivenlerdir.



Resim.2: Deniz Müzesi Tarihi Binasında Aydınlatma Öğeleri.

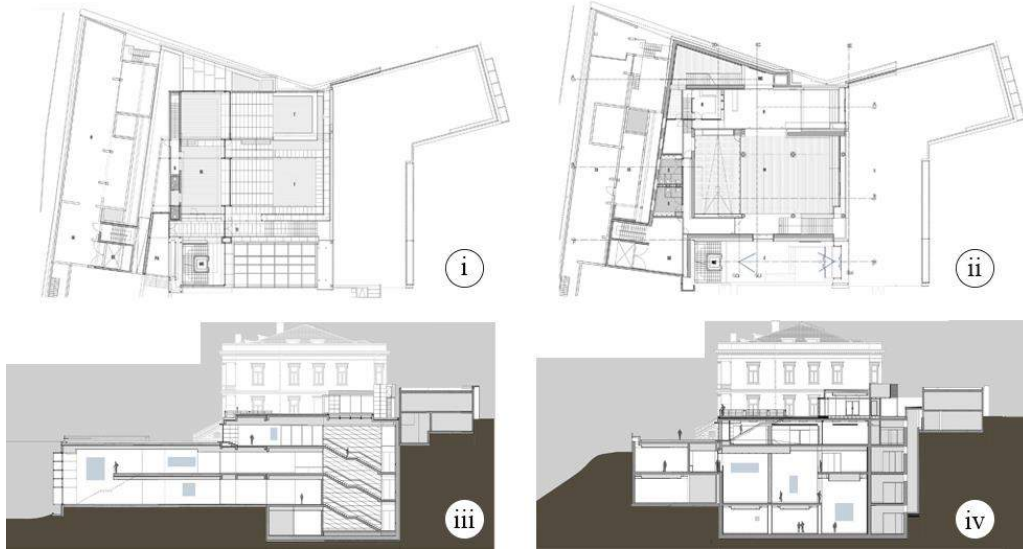
5.3. Sakıp Sabancı Müzesi, İstanbul

Sabancı ailesinin içinde yaşadığı Atlı Köşk'ün müzeye dönüştürülmesi ile oluşmuştur. Başlangıçta Sabancı ailesinin hatıra ve koleksiyonlarının sergilendiği bir müze iken, 2002 yılında modern galeri ekiyle kapsamını genişletmiştir. Ailenin koleksiyonuyla birlikte, temalı süreli sergilere de ev sahipliği yapmaktadır (Uçar, 2008).

Müze koleksiyonu, 1940 yılında Hacı Ömer Sabancı tarafından küçük heykeller, madeni eşyalar, porselen ve mobilyalarla oluşmaya başlamıştır. 1970'lerin ortalarından itibaren ise Sakıp Sabancı'nın müzayedelerden aldığı Türk resimleri, ardından Osmanlılara ait tombak ve gümüşler ile 500 yıllık geçmişe sahip hat koleksiyonu eserler arasına eklenmiştir (Öztekin, 2014).

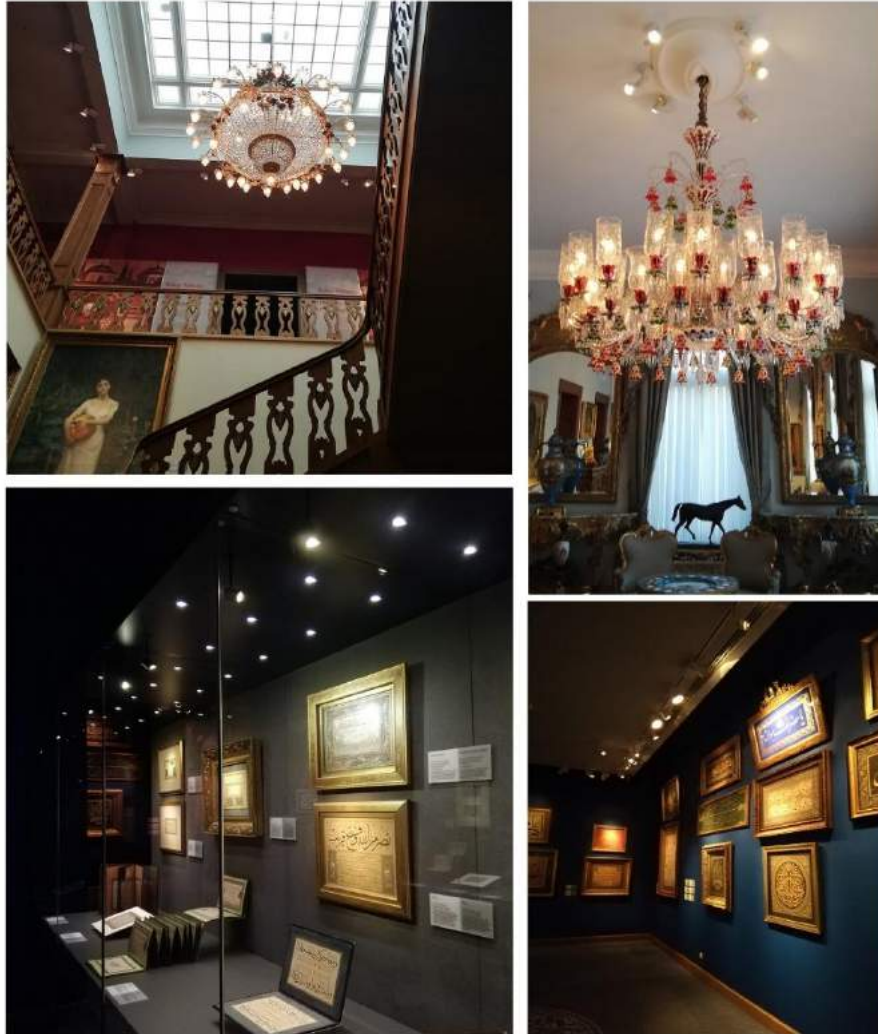
Süreli sergilerde müze, ikili sanat anlayışı benimsemiştir. Tarihsel sergilerle koleksiyonlara uzak kalmamak, sanatsal sergilerle de toplumla ilişki kurmak hedeflenmektedir. Ayrıca geleneksel özelliklerini kaybetmeden gelişim gösterme çabası görülmektedir. Farklı konularda yapılan süreli sergiler, müzenin hep gündemde kalmasını ve sanat ortamı oluşturmasını sağlamaktadır. Yabancı koleksiyonlara da ev sahipliği yaptığından, yurtdışıyla da etkileşim halinde kalmaktadır (Çelik, 2012).

Müze, Atlı Köşk ve modern galeri olarak iki bölümden oluşmaktadır. Atlı Köşk'ün üç odası Sabancı ailesinin bıraktığı haldedir. Kalan kısmı ise müze koleksiyonunun sergilenmesi için kullanılmaktadır. Süreli sergiler, köşke ek olarak yapılan modern galeride gerçekleştirilmektedir. Ayrıca müze kompleksi içinde bunlara ek olarak; kafe, müze mağazası, eğitim bölümü ve idari ofisler yer almaktadır.



Şekil.2: i-Zemin Kat Planı, ii-1. Kat Planı, iii-Modern Galerî Kesiti, iv-Modern Galerî ve Atlı Köşk Kesiti (URL-3)

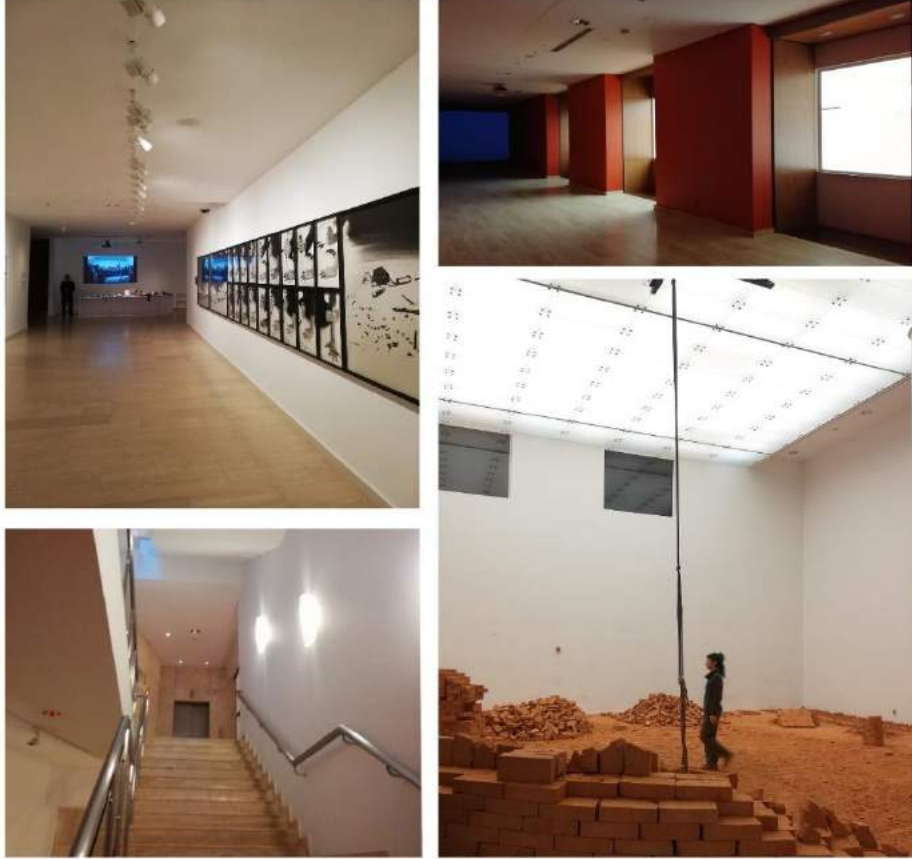
Atlı Köşk'te Sabancı ailesine ait mobilyalar ve değerli eşyaların sergilendiği bölüm, ailenin bıraktığı şekildedir ve aydınlatma olarak avizeler kullanılmaktadır. Avizelerin çevresine yönlendirilebilir spotlar ilave edilmiştir. Bu bölümün koridorlarında müze koleksiyonuna ait tablolar sergilenmektedir ve objelerin vurgulu aydınlatılmasını da sağlamak amacıyla tavadaki ray sistemi içinde hareketli spotlar yer almaktadır.



Resim.3: Atlı Köşk.

Kitap ve hat koleksiyonunu sergilendiği salonlarda koyu renkler tercih edilmiş ve ışık düzeyi minimum seviyede tutulmuştur. Eserler ahşap, metal ve camdan yapılmış vitrinlerde sergilenmektedir. Vitrinlerin tavan yüzeyine çok sayıda küçük spotlar yerleştirilmiştir.

Işıktan yararlanmak ve şeffaflık hissi amacıyla modern galerinin ön cephesi cam olarak tasarlanmıştır (Öztek, 2014). İç mekân aydınlatması ise tavadaki ray sistemi içindeki hareketli spotlarla sağlanmaktadır. Modern galeri içindeki yüksek tavanlı büyük salon, camlı tavan detayı ile aydınlatılmaktadır. Bu salona üst kottan camlarla bağlanan sergi alanı da tavan sisteminin ışığından faydalanmaktadır. Koridorlarda sirkülasyon aksı boyunca tavana şerit halinde floresanlar yerleştirilmiştir. Merdiven boşluğu aydınlatması ise cam tavan ve duvardaki floresanlarla sağlanmaktadır.



Resim.4: Sabancı Müzesi Modern Galerisi.

6. Sonuç

Müzeler 16. yüzyılda sergileme işleviyle ortaya çıkmışlardır. 19. yüzyılda işlevleri genişletilmiş, 20. yüzyılda koruma konusu da gündeme gelmiştir. Günümüz müzeleri, sadece sergi unsuru olarak kullanılmayıp içinde barındırdığı şehrin aktiviteleriyle birer odak noktası haline gelmiş ve sürekli aktif kullanılan yapılara dönüşmüşlerdir. İçerisinde birçok işlevi barındırsa da ana fonksiyonu sergilemedir. Sergi esnasında amaç nesnelerin olabildiğince doğru algılanması ve tanımlanmasıdır. Eserler, tarihi ve kültürel değer taşıdığından fiziksel temas, ortaya çıkabilecek hasarlar nedeniyle mümkün değildir. Bu sebeple aydınlatma sistemi görsel konforun sağlanması, objelerin ve mekânın algılanmasında etkilidir. Aydınlatma tasarımı, sergilenecek objeye ve sergi mekânına göre değişkenlik göstermektedir. Bazı durumlarda eserlerin tek tek algılanması ve ince ayrıntıların incelenmesi amaçlanırken bazı durumlarda sergi bir bütün olarak ele alınır. Hatta mekân da serginin bir parçası olarak kullanılabilir. Aydınlatma sistemi eserlerle birlikte mekânı da hoş göstermeyi ve davetkar olmayı hedeflemelidir. Ayrıca oluşabilecek kazaları önlemek adına ziyaretçilerin yön ve mesafe bulmasını sağlayabilecek derecede aydınlık sağlanmalıdır.

Aydınlatma tasarımı, sergi elemanlarının algılanması kadar korunması konusunda da bir etkidir. Eserlerin tahribatı durumunda geri dönüşü çok zor olacağından, korunması da sergilenmesi kadar önem kazanmaktadır. Miktarı ve şiddeti doğru ayarlanmamış ışığın, nesnelere üzerinde renk değişikliği, yapısal zayıflama ve kırılma, yüzeysel çatlak ve kırılmalar, ışık kaynağından yayılan ısı nedeniyle genişleme veya formunda değişiklikler gibi etkileri olmaktadır. Sergilenen materyallerin ışıktan etkilenmesini en aza indirmek için ışık miktarı belirlenen azami düzeyde olmalıdır ya da nesne direkt ışığa maruz bırakılmamalı, yansıtılmış ışıkla aydınlatılmalıdır. Güneş ışığı kontrolü günün belli saatlerinde ve mevsimsel olarak farklılık gösterdiğinden kontrolü zordur. Bu nedenle yapay aydınlatmalar öncelikli olarak tercih edilmelidir. Bununla birlikte nesnelerin ışığa maruz kalma süresi azaltıldığında da ışığa bağlı tahribatlar azalacaktır.

Kaynakça

- Akgün, B. (2018). Müze Sergileme Vitrinleri ve Mağaza Vitrinlerinin Aydınlatma Tekniği Kuralları Açısından Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Bayer, Y. (2007). Sergi Salonu Aydınlatmasında Genel İlkeler ve İki Sergi Salonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, Ş. (2012). Türkiye’de Özel Müzecilik ve Baksı Müzesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Demir, B. (2019). Deniz Müzesi Koleksiyonunda Bulunan Saltanat Kayıklarının ve Sergileme Yaklaşımının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Doğruer, F. S. (2019). Müzelerde Önleyici Koruma: Temel Yaklaşımlar ve Gelişimi. Akademik Sanat; Sanat, Tasarım, Bilim Dergisi, sayı: 22, s:122-134.
- Erdemir, G. (2014). Müze ve Sergi Mekanlarında Aydınlatma Prensiplerinin Örnek Uygulamalar Üzerinden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ganslandt, R., and Hofmann, H. (1992). Handbook of Lighting Design. Braunschweig: Vieweg-Verlag.
- Giray, G. M. (2009). Sir John Soane Müzesi Mimari ve Aydınlatma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Gordon, G. (2003). Interior Lighting for Designers (4. Baskı). John Wiley&Sons Inc.
- Hunt, E. G. (2009). Study of Museum Lighting and Design, Unpublished Master’s Thesis, Texas State University, San Marcos, Texas.
- Kasap, M. (2016). Mekansal Aydınlatmanın Bir Çağdaş Sanat Ürünü Olarak Ele Alınması ve Örneklenmesi, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kazanasmaz, T. (2003). Müzelerin Aydınlatma Tasarımı-ODTÜ Müzesi. II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri.
- Kurtay, C., Aybar, U., Başkaya, A., & Aksulu, I. (2003). Müzelerde Algılama ve Aydınlatma Kriterlerinin Analizi: Ankara-Anadolu Medeniyetleri Müzesi Orta Holü. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 18(2), 95-113.
- Okan, B. (2018). Günümüz Müzecilik Anlayışındaki Yaklaşımlar ve Müze Oluşumunu Etkileyen Unsurlar. Tykhe Sanat ve Tasarım Dergisi, 03(04), 215-242.
- Oğuz, G. P., & Işık, N. (2003). Tarihi Yapılardaki Doğal ve Yapay Aydınlatma Uygulamaları. II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi Bildirileri, 1-5. Diyarbakır.
- Öztekin, O. A. (2014). Müze Kavramı ve Müze Yapılarının İç Mekanlarının İstanbul’dan Örneklerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sapchi, A. T. (2016). Sürdürülebilir Müzelerde Mekânsal Tasarım Kriterleri ve Gün Işığı Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Sirel, Ş. (2012). Aydınlatma Sözlüğü. Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü, İstanbul.
- Soygeniş, S. ve M. (1992). ABD ve Kanada’dan Müze Binaları. Mimarlık Dergisi, 1(30), syf. 58-63.
- Şener, F. (2009). Lighting In Museum Buildings And Investigation Of A Case Study, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Şenyurt, H. (2009). Müze Mimarisinde Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar (Orta Ölçekli Taşra Müzeleri). URL:[https://www.academia.edu/35739439/M%C3%9CZE_M%C4%B0MAR%C4%B0S%C4%B0NDE_D%C4%B0KKAT_ED%C4%B0LMES%C4%B0_GEREKL%C4%B0_HUSUSLAR_Orta_%C3%96%C3%A7ekli_Ta%C5%9Fra_M%C3%BCzeleri_\(E.T:05.11.2019\)](https://www.academia.edu/35739439/M%C3%9CZE_M%C4%B0MAR%C4%B0S%C4%B0NDE_D%C4%B0KKAT_ED%C4%B0LMES%C4%B0_GEREKL%C4%B0_HUSUSLAR_Orta_%C3%96%C3%A7ekli_Ta%C5%9Fra_M%C3%BCzeleri_(E.T:05.11.2019))
- Uçar, N. (2008). İstanbul’da Sanatsal Alanın Yeni İkonları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yarımay, Ö. (2018). İstanbul’da Müze Olarak Tasarlanan Yapıların Mimari Kimlik Bağlamında İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yöndem, İ. A., & Akyol, A. A. (2017). Müzelerde Aydınlatma Kriterlerinin Sergideki Malzemelerin Korunmasına Etkisi: Çengelhan Rahmi Koç Müzesi. Sosyal Bilimler Dergisi, sayı 12, syf. 526-542.
- Yöndem, İ. A. (2019). Ankara’daki Müze Örneklerinde Aydınlatma Yöntemleri ve Önleyici Koruma Yöntemi Olarak Işığın Denetimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
- URL-1: <http://www.fotonelektroteknik.com.tr/aydinlatma-terimleri/> (E.T:06.03.2020)
- URL-2: <https://www.arkitektuel.com/istanbul-deniz-muzesi/> (E.T:11.03.2020)
- URL-3: <http://www.vitracagdasmimarlikdizisi.com/projeler/Sak%C4%B1p-Sabanc%C4%B1-Muzesi.aspx> (E.T:12.03.2020)



Siberbiyogüvenlik Uygulamalarında DNA Dizilimleri için Özet Algoritmaları Karşılaştırılması

Esma Ergüner Özkoç^{1*}, Mike Mannion²

¹ Başkent Üniversitesi, Ticari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1728-5930)

² Glasgow Caledonian Üniversitesi, School of Engineering & Built Environment, Glasgow, UK (ORCID: 0000-0003-2589-3901)

(İlk Geliş Tarihi 4 Kasım 2019 ve Kabul Tarihi 19 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.642275)

ATIF/REFERENCE: Özkoç, E. E., & Mannion, M. (2020). Siberbiyogüvenlik Uygulamalarında DNA Dizilimleri için Özet Algoritmaları Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 656-663.

Öz

DNA'nın biyolojik bir hesaplama, depolama malzemesi olarak kullanılmasına yönelik ilgi gün geçtikçe artmaktadır. DNA'nın bu şekilde kullanımı ile bilgiler DNA kodları olarak kodlanabilir, iletebilir ve saklanabilir. DNA'nın, depolama yoğunluğu kabiliyeti, maliyet ve bilgiye erişim gibi kriterlerle değerlendirildiğinde, silikon bazlı yaklaşımlardan daha etkili ve verimli olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, DNA dizilerini kullanarak bilgi temsili, kodlanmış bilginin saldırıya uğramasını önlemek için yeni teknik güvenlik zorlukları getirmektedir.

Bu çalışmada, farklı sabit uzunluklardaki DNA dizilerinin bütünlüğünü sağlamak için, yaygın olarak kullanılan dört metin tabanlı özet algoritmasının (MD5, SHA1, SHA2-256 ve SHA2-512) uygunluğu araştırılmıştır. Değerlendirme kriteri olarak açık metin duyarlılığı ve çalışma zamanı kullanılmıştır. Sonuçlar, her bir algoritmanın güçlü ve zayıf yanlarının olduğunu ancak genel olarak SHA2-512 algoritmasının açık metin duyarlılığında ve MD5 algoritmasının derleme zamanında daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Siberbiyogüvenlik, Biyogüvenlik, Sibergüvenlik, Hash algoritmaları, DNA dizisi.

Comparison of Hash Algorithms for DNA Sequences for Cyberbiosecurity Applications

Abstract

There is increasing interest in using DNA as a biological computation storage material in which information will be encoded, transmitted and stored as DNA sequences. DNA is perceived to be more effective and efficient than silicon-based approaches when evaluated using criteria such as storage density capability, cost and access to information without using special equipment and resilience to material change. However, knowledge representation using DNA sequences brings new technical security challenges for preventing the encoded knowledge from being hacked.

In this paper, we examine the suitability of four commonly used text based hash algorithms (MD5, SHA1, SHA2-256 and SHA2-512) to evaluate the integrity of DNA sequences of different fixed lengths. The criteria used for evaluation were plain text sensitivity and compile time. Our results show that each algorithm has strengths and weaknesses but in general the SHA2-512 algorithm performs better on plain text sensitivity and the MD5 algorithm performs better on compile time.

Keywords: Cyberbiosecurity, Biosecurity, Cyber security, Hash algorithms, DNA sequence.

* Esma Ergüner Özkoç: Başkent Üniversitesi, Ticari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1728-5930, eeozkoc@baskent.edu.tr

1. Giriş

Yaşam bilimlerindeki güvenlik politikaları iki farklı kategoride incelenebilir: (i) Biyokoruyucu (biosafety) ve (ii) biyogüvenlik (biosecurity) [1]. Biyolojik ajanların laboratuvarlardan çevreye yanlışlıkla salınmasını veya patojenlere farkında olmadan maruz kalmayı önlemek için biyokoruyucu politikaları oluşturulmuştur. Biyokoruyucu önlemlerine örnek olarak koruyucu kıyafetler, sterilizasyon işlemleri verilebilir. Biyogüvenlik ise, bulaşıcı hastalık ajanlarının veya bunların yaratılması, üretimi ve kasıtlı veya kazara salınması yoluyla insanlara, hayvanlara, bitkilere ve çevreye zarar verebilecek olan bilimin kötüye kullanımı ile ilgili riskleri azaltmaya yöneliktir [2]. Türkiye'de, 5977 sayılı Biyogüvenlik Kanunu ise “Bilimsel ve teknolojik gelişmeler çerçevesinde, modern biyoteknoloji kullanılarak elde edilen genetik yapısı değiştirilmiş organizmalar ve ürünlerden kaynaklanabilecek riskleri engellemek, insan, hayvan ve bitki sağlığı ile çevrenin ve ekolojik çeşitliliğin korunması, sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla biyogüvenlik sisteminin kurulması ve uygulanması, bu faaliyetlerin denetlenmesi, düzenlenmesi ve izlenmesi ile ilgili usul ve esasları belirlemek” olarak 26.09.2010 tarihinde yürürlüğe girmiştir [3]. Kısaca, biyokoruyucu ve biyogüvenlik politikaları, sınırlı sayıda biyolojik tehdidi önlemek için tasarlanmıştır. Oysaki halihazırda; kavramsal olarak düzenlenmiş patojenlerin genomik dizilerinden oluşturulan biyolojik silahların geliştirilmesi (Gen sentezi teknolojileri), dizildiğinde bir bilgisayarı uzaktan kontrol edebilecek veri dosyası oluşturan bir DNA örneği tasarlanması, biyoformatik kaynaklarında mevcut olan DNA dizilerinin doğada bulunmayan biyolojik tehditler oluşturmak için kullanılması [4] ve bu saldırıları geliştirmek için yazılım araçlarının kullanılması gibi tehditler mevcuttur. Başka bir ifade ile günümüzde, biyoteknoloji endüstrisinde, ürün geliştirme iş akışlarının hesaplamalı ve deneysel boyutları arasındaki karmaşık ilişkilerden doğan tehditlere karşı korumayı içeren gelişmiş bir güvenlik kültürü yerleşmemiştir. [5].

Biyokoruyucu ve biogüvenlik önlemlerinin ötesinde siber güvenlik ise öncelikle kişisel bilgisayarlardan ve iletişim cihazlarından büyük altyapılara ve bilgisayar ağlarına kadar bilgi teknolojisi tabanlı sistemlerin güvenliğine odaklanan ayrı bir disiplindir. Dünyada geçtiğimiz birkaç yıla kadar, “biyogüvenlik” ile “siber” örtüşmeler ve aralarındaki önemli ilişki çok anlaşılmamış veya çok önemsenmemiştir. Türkiye’de ise bilindiği kadarı ile henüz bu konuda bir çalışma başlatılmamıştır. Biyoteknoloji endüstrisi, siber uzayda veya biyolojik alanda DNA dizilerinin değiştirilmesi ile ilişkili doğal risklere ek olarak, gittikçe artan bir şekilde siber saldırılara karşı zayıflığı olan bilgisayar kontrollü araçlara dayanmaktadır. Bu ilişki yepyeni bir risk kategorisi oluşturmaktadır. Siberbiyogüvenlik, siber uzay ve biyoloji arasındaki sınırdan ortaya çıkan yeni riskleri anlamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda Siberbiyogüvenlik, siber güvenlik, siber fiziksel güvenlik ve biyogüvenlik aralarında ortaya çıkmış melezleşmiş bir disiplindir [2]. Siberbiyogüvenlik terimini ilk 2018 yılında öneren Peccoud [1] olmasına karşın ilk ayrıntılı tanımını Murch ve ark. [2] “Gelişmekte olan yaşam ve tıp bilimleri siber, siberfiziksel, tedarik zinciri ve altyapı sistemleri arasında veya arayüzlerinde meydana gelebilecek istenmeyen gözetim, ihlal, kötü niyetli ve zararlı faaliyetlere karşı zafiyetlerin anlaşılması ve güvenlik rekabet edebilirlik ve elastikiyet gibi özelliklere karşı tehditlerin önlenmesi hafifletilmesi araştırılması ve ilişkilendirilmesidir” şeklinde yapmıştır. Bu tanım için başlangıç tanımı ifadesini kullanmışlar ve geliştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca, çeşitliliği ve kapsamı nedeniyle, siberbiyogüvenliğin kendi sistematiğinin oluşturulması gerekliliğini, böylece daha iyi iletişim kurulabileceği, organize edilebileceği ve geliştirilebileceğini belirtmişlerdir. Richardson [6], Murch ve akr.’nın tanımını siber güvenlik ve biyogüvenlik kapsamından farklılaştırmak adına genişletmeyi önermiştir; “Siberbiyogüvenlik, yaşam bilimleri ve dijital dünya ara yüzündeki değerli bilgilerin, süreçlerin ve materyallerin kötü niyetli imhası, kötüye kullanılması veya sömürülmesi potansiyelini genel olarak kötü niyetli teknoloji kullanımı tehdidi bağlamında anlaşılmasını gerektirir.”

Dünya, teknolojinin gelişme hızına göre yavaş kalsa da, bir dizi güvenlik önlemi almaya ve sorunları konuşmaya başlamıştır. Örneğin ABD de gen sentezi hizmet sağlayıcıları için tarama kılavuzları [7] geliştirilmekte ve genom düzenleme teknolojilerinin kötü kullanımı hakkında önlemler alınması gerektiği açıklanmıştır.

Yaşam Bilimlerinde yapılan çalışmalarda iyi niyetli olarak herhangi bir önlem almaksızın bilim insanlarının veri ve örnekleri paylaşması çok sık görülen bir durumdur. Fakat bu durum bazı güvenlik risklerini de beraberinde getirmektedir. Bunun yanı sıra DNA dizilerinin günümüzde, şifreleme algoritmalarında anahtar, kimlik doğrulama şemalarında OTP (One time pad) olarak kullanımı gibi kriptografik amaçlarla da kullanımı artmaktadır. Güvenli veri paylaşımı için kriptografik yöntemler mevcuttur. Paylaşılan verinin bütünlüğünün sağlanması, paylaşılan verilerin karşı tarafa eksiksiz veya değiştirilmeden gittiğinden emin olunması için en temel kriptografik yöntem verinin özet değerinin (hash value) hesaplanmasıdır. Bu sebeple bu çalışmada DNA dizilimleri için açık metin duyarlılığı ve çalışma zamanı açısından en uygun metin tabanlı özet fonksiyonunun belirlenmesi amacı ile yaygın kullanılan özet fonksiyonları karşılaştırılması yapılmıştır. DNA dizilimlerini normal bir metinden ayıran durum ise sadece dört harften oluşmasıdır.

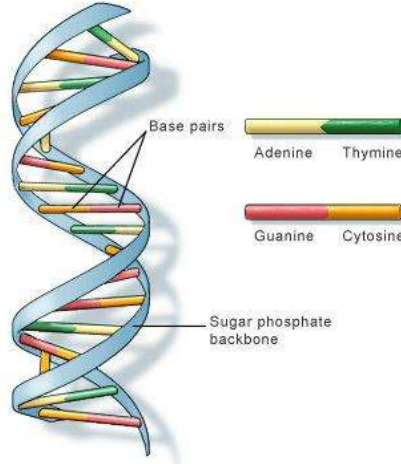
Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde öncelikle DNA yapısı ve kullanılan Özet fonksiyonları hakkında kısa bilgi verilecektir. Sonraki bölümlerde ise araştırmada izlenen metottan bahsedilecek ve analiz sonuçları ile beraber tartışma bölümü ile çalışma sonlandırılacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. DNA Yapısı

DNA (Deoxyribo Nucleic Acid), tüm organizmaların ve bazı virüslerin hayati fonksiyonları ve biyolojik evrimi için gerekli olan genetik bilgiyi taşıyan bir nükleik asittir. Bir DNA’nın tek iplikçığı (ssDNA), nükleobaz olarak adlandırılan bir molekül dizisi şeklindedir. Dört farklı DNA nükleobazı vardır: Adenin (A), Timin (T), Guanin (G) ve Sitozin (C). Bu bazlar DNA alfabesini oluşturur ve tamamlayıcı çiftler halinde gruplandırılır (A-T, G-C) (Şekil 1- Watson-Crick İkili Sarmal Yapısı [8]). DNA iplikçik dizisinin en temel özelliklerinden biri, sırasının olmasıdır: örneğin ATTCA, ACTCA 'ya eşit değildir. Alfabedeki kelimelerin kelimeleri oluşturmak üzere düzenlenmesi gibi, DNA'yı oluşturan nükleobazlar da tüm molekülün yeni bir kopyasını çıkarmak için gerekli tüm bilgileri sağlayan özel bir düzendedir. Bu özel nükleobaz sırası “genetik kod” oluşturur. Her canlının hücrelerinin içine yerleştirilmiş genetik kod, o

canlının "genom" unu oluşturur. DNA içindeki bilgi, hangi proteinden ne kadar üretilmesi gerektiğini belirler. Aynı yapıdaki bir genetik kod ile bir bakteri, bir bitki, bir hayvan veya bir insan da inşa edilebilir. Bu canlıların türünde farklılık gösteren durum, nükleobazların dizilimleri ve sayısıdır. Örneğin bu zamana kadar bilinen en uzun dizimli hayvan genomu olan *Ambystoma mexicanum* (Axolotl)'da 32 milyar nükleobaz çifti [9] bulunurken insanda sadece 3.2 milyar nükleobaz çifti [10] bulunmaktadır.



Şekil1 Watson-Crick İkili Sarmal Yapısı

2.2. Kriptografik Özet Fonksiyonları

Verilen farklı uzunluklardaki veriyi belirli uzunlukta bir bit dizisine, özet değerine, dönüştüren fonksiyonlardır. Özet değeri, girdi verinin her bir bitine bağlı olmalıdır. Girdideki bir bitlik değişim bile özet değerini değiştirebilmelidir. Kriptografik bir özet fonksiyonunun birkaç güvenlik gereksinimini sağlaması gerekir; (i) Öngörüntü direnci: Bir özete karşılık gelecek girdi mesajı oluşturulmamalı. (ii) İkinci Öngörüntü direnci: Verilen bir girdi mesajı ile özeti aynı olan farklı bir girdi mesajı bulunmaması. (iii) Çakışma Direnci: Aynı özete sahip iki farklı girdi mesajı bulunmaması. Veri bütünlüğünün sağlanması, sayısal imza protokolleri, kimlik doğrulama protokolleri, anahtar türetme gibi farklı güvenlik uygulamalarında kullanımları yaygındır.

En sık kullanılan ve en bilindik iki temel Özet fonksiyonu MD5 ve SHA'dır. Tablo1 de bu çalışma dahilinde kullanılan özet algoritmalarının özellikleri verilmiştir.

MD5 (Message Digest Algorithm), MD4'ün güvenlik seviyesinin yeterli olmadığı düşüncesi ile R. Rivest, 1991'de MD4 algoritmasının zayıflıklarının giderilmiş ve güçlendirilmiş bir versiyonu olan MD5'i önermiştir [11][12]. MD5 algoritmasında girdi mesaj 512 bitlik bloklara ayrılmakta (eğer ayrılmıyorsa mesaja ekleme -padding- yöntemi uygulanır) ve her bir blok kendi içerisinde 16x32 bitlik alt bloklar halinde işlemden geçirilmektedir. Yapılan çalışmalarda MD5 algoritmasının çakışma saldırılarına karşı zayıflığı olduğu ortaya konmuştur [13][14]. Internet standardı RFC1321 de tanımlı olan MD5 2019 itibarıyla, kanıtlanmış zayıflıklarına ve güvenlik uzmanlarının karşı çıkmalarına rağmen, yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir.

SHA (Secure Hash Algorithm), SHA özetleme fonksiyonları, NSA (United States National Security Agency) tarafından geliştirilmiş ve NIST (National Institute of Standards and Technology, ABD) tarafından Birleşik Devletler Federal Bilgi İşleme Standardı olarak yayınlanmış bir kriptografik özetleme fonksiyon ailesidir; SHA-0, SHA-1, SHA-2, SHA-3. SHA-2'nin ayrıca özet değer uzunluğu değişen ve aralarında ufak farklar içeren 224, 256, 384 ve 512 bitlik versiyonları mevcuttur. Şubat 2017'de, CWI Amsterdam ve Google, aynı SHA-1 özet değerini üreten iki farklı PDF dosyasını yayınlamaya başlayarak SHA-1'e çakışma saldırısı yaptıklarını açıklamışlardır. [15] SHA-1 algoritmasının yüksek kırılma olasılığı ile SHA-2 algoritmaları geliştirilmiştir. SHA-2 algoritmaları 2001 yılında FIPS PUB 180-2 standartlarına uygun olarak tasarlanmışlardır. SHA-0 ve SHA-1 için geliştirilmiş ataklara karşı SHA-2 versiyonları için herhangi bir zayıflık belirtmemiştir.

Tablo 1. Özet Algoritmaları Özellikleri

Algoritma	Özet Değer Uzunluğu (bits)	Blok boyutu (bits)	Tur (Round) sayısı	Kullanılan Operasyonlar	Yayın Tarihi
MD5	128	512	64	And, Xor, Rot, Add (mod 2^{32}), Or	1991
SHA-1	160	512	80	And, Xor, Rot, Add (mod 2^{32}), Or	1995
SHA2-256	256	512	64	And, Xor, Rot, Add (mod 2^{32}), Or, Shr	2001
SHA2-512	512	1024	80	And, Xor, Rot, Add (mod 2^{64}), Or, Shr	2001

2.3 Metot

Bu çalışmada Java (security.MessageDigest) kütüphanesinde tanımlı fonksiyon olan MD5, SHA1,SHA2-256, SHA2-512 algoritmaları çeşitli uzunluktaki DNA dizileri üzerinde test edilmiştir. Uygulama, Intel Core™ i7-6700HQ CPU @ 2.6 GHz işlemci ve 16GB RAM özellikli dizüstü bilgisayarda NetBeans bütünsel geliştirme ortamında gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar ise özet değerinin açık metin duyarlılığına (1) göre değerlendirilmiştir. Özet fonksiyonlarında farklı mesajlar için farklı özet değerlerinin elde edilmesi özet fonksiyonunun açık metin duyarlılığı olarak adlandırılmaktadır. Başka bir ifade ile girdi metindeki küçük değişimler özet değerinde büyük değişimlere neden olmalıdır (Avalance effect).

$$\text{Açık Metin Duyarlılığı: } \left(\frac{\text{fark}(H_0, H_i)}{S_b} \right) * 100 \quad (1)$$

H_0 : Orijinal verinin Özet değeri

H_i : i bitlik değişiklik yapılmış olan verinin Özet değeri

S_b : Özet değeri uzunluğu

Örneğin, rasgele üretilmiş 256 bp (baz çifti) DNA dizisi "M" için;

```
M:"TCTCTCCCCGCGATGAGAATTCCTACAGTTGGAAGCTGCTGGCAGAGGGGGTCCACGGCGGCTTTGTAAACGTGGC  
TACGTGGCTAATAACACCTAAATTGGTACTCCTGGCGTAAGCAATATGGAGGATGTCCCGCTAGTCGTAGAGCGGTCTAC  
ATAGTGAACAAGGTACCTTCAGTACGTCTGGGACTTTGGCTCAATAACTGGCTCAATATGCGATGGGCACTGCGCGCCAG  
GCAGTGCTGCGAACTGATA"
```

H_0 : ab9ddaf5bab8aa2190e8f6b3768d9ae0f3b7dd9c

H_2 : b5a46bd5f250a85125425b7776a669652edce7c9

S_b :40

Olduğu durumda Açık Metin Duyarlılığı: 87,5 olarak hesaplanmaktadır.

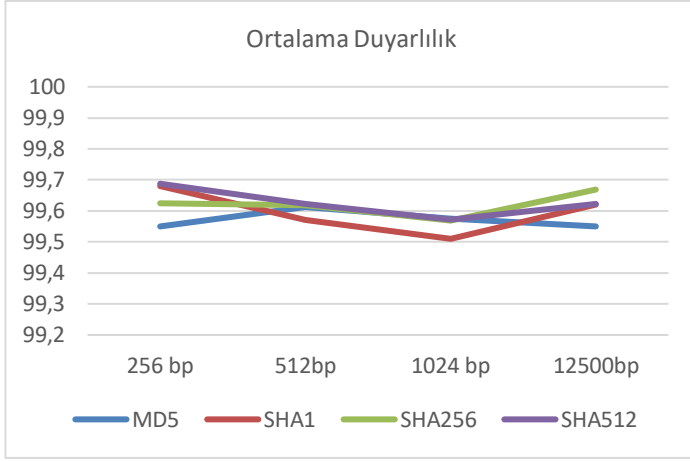
3. Analiz Sonuçları ve Tartışma

Özet fonksiyonlarını karşılaştırmak için, rasgele üretilmiş 256, 512, 1024, 12500 bp uzunluğunda farklı DNA dizileri girdi veri olarak özet fonksiyonuna tabi tutulmuştur. Farklı girdi uzunlukları seçilmesinin sebebi DNA dizilerinin farklı amaçlar için kullanımının yaygınlaşmasıdır. Örneğin DNA dizilimleri bir doğrulama şemasında Tek-Kullanımlık-Şerit (OTP, One time pad) olarak kullanıldığı gibi şifreleme algoritmalarında anahtar olarak da kullanılmaktadır [16]. Bunun yanı sıra insan genomunda bulunan genlerin ortalama uzunluğu 10.000 bp ve 15.000 pb arasında değişmektedir [17]. Araştırmacıların herhangi bir genin baz diziliminin bütünlüğünü sağlayabilecekleri bir siberbiyogüvenlik uygulamasında ihtiyaç duyulabilecek en uygun özet fonksiyonunun belirlenmesi amacı ile de 12500 bp uzunluklu DNA dizilimi seçilmiştir.

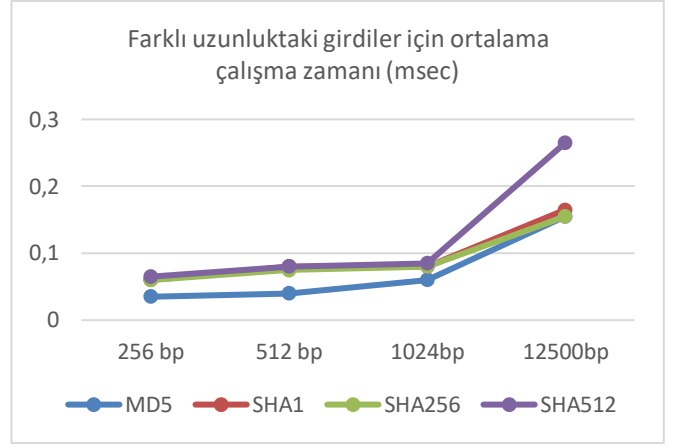
Çalışmada her bir girdi uzunluğu için 10'ar farklı DNA dizisi rasgele üretilmiş (sadece büyük harf) olup sonuçlar bu girdilere karşı alınan özet değerlerinin açık metin duyarlılığının ortalaması olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Her bir DNA dizisi için ilk 50 bp (most significant bit) de değişiklik yapılmıştır. Bunun için girdi DNA diziliminde bulunan A bazının T ile, T bazının G ile, C bazının A ile, ve son olarak G bazının C ile yerleri değiştirilmiştir.

Alınan sonuçlara göre algoritmaların, farklı uzunluktaki DNA dizileri için ortalama duyarlılığı Şekil 2 de verilmiştir.

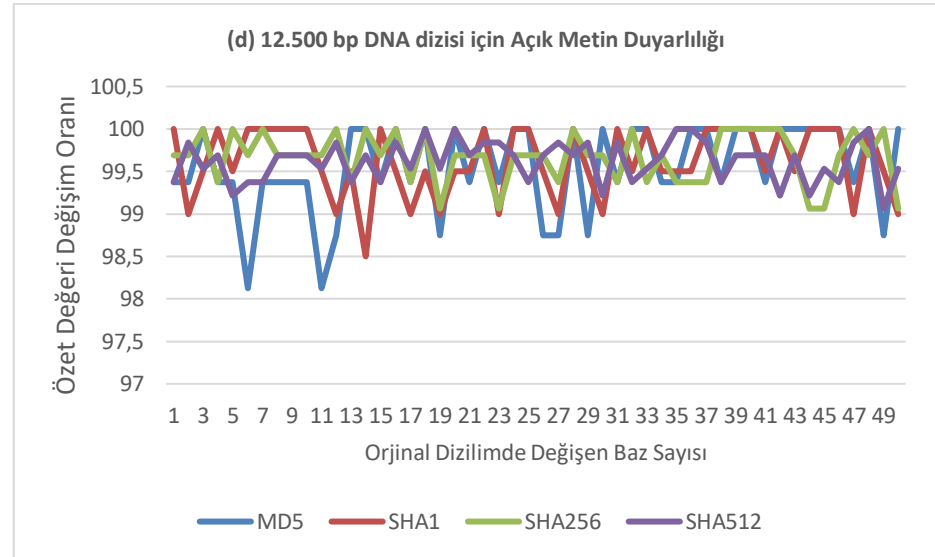
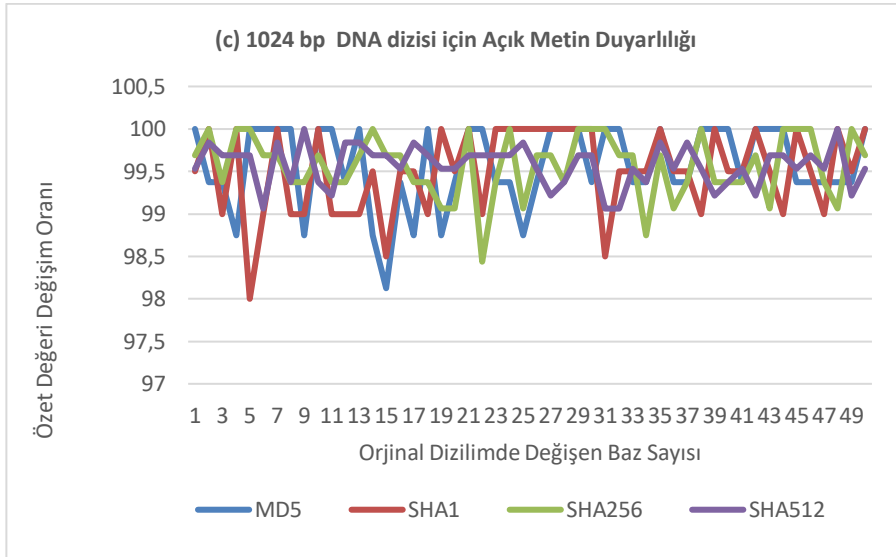
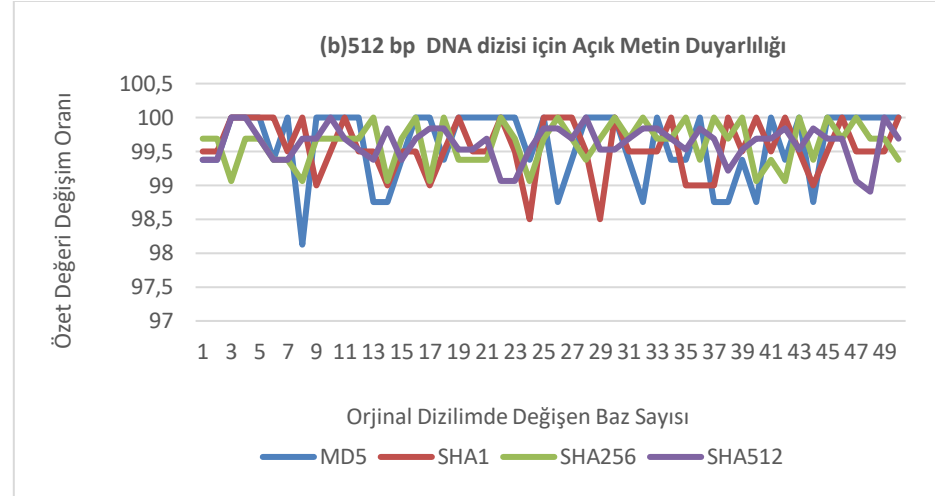
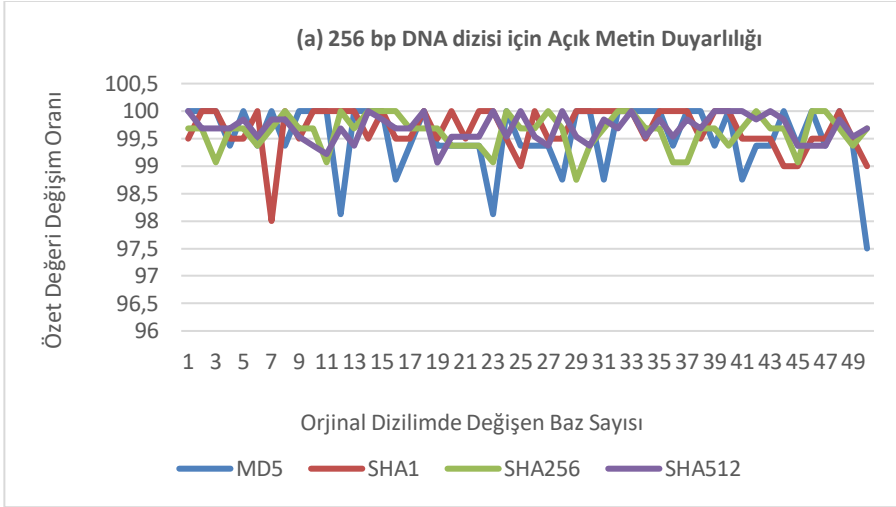
Algoritmalar farklı uzunluktaki girdiler ile 200'er kere çalıştırılmış ve ortalama çalışma zamanı hesaplanmış ve ortalama çalışma zamanları Şekil 3 de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 2 Farklı uzunlukta DNA dizileri için özet algoritmalarının ortalama açık metin duyarlılıkları



Şekil 3 Farklı uzunlukta DNA dizileri için özet algoritmalarının ortalama çalışma zamanı (200 çalışma için)



Şekil 4- Farklı DNA dizisi uzunlukları (a:256 bp,b:512 bp,c:1024 bp,d:12500 bp) için 50 bp'e kadar her bir algoritmanın hesaplanan açık metin duyarlılığı grafikleri

Siberbiyogüvenlik kapsamında herhangi bir DNA diziliminin bütünlüğünün sağlanması ciddi önem taşımaktadır öyle ki tek bir bazın değişmesi sonuçları katastrofik olabilir. Bu sebeple bu çalışmada, günümüzde birçok güvenlik uygulaması için yaygın olarak kullanılan Özet algoritmalarının, sadece 4 harften oluşan bir alfabe ile yazılan metinler yani DNA dizilimleri için en uygun olanı belirlenmeye çalışılmıştır. Algoritmaların yaygın kullanımlarına rağmen güvenlik açıkları olduğu tespit edilmiştir fakat kolay erişilebilirlikleri ve henüz DNA dizilimleri için özel tasarlanmış özet algoritmalarının var olmaması sebebi ile içlerinden en duyarlı olan araştırılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre Şekil 5 de görüldüğü gibi farklı uzunluktaki DNA dizileri için en kısa çalışma zamanı MD5 algoritmasına aittir. MD5 algoritmasının çalışma zamanı olarak en yakın rakibi ile arasındaki fark ortalama 0.02 milisaniyedir. 256bp ve 512 bp uzunluklarındaki DNA dizileri için açık metin duyarlılığı en yüksek algoritma SHA2-512 iken 1024bp için MD5, SHA2-512 den sadece 0.003 fark ile daha yüksek duyarlılığa sahiptir. 12500 bp uzunluklu DNA dizisi için en yüksek açık metin duyarlılığı SHA2-256 algoritmasına aittir. Ayrıca SHA2-256 bu uzunluktaki bir DNA dizilimi için MD5 algoritması ile aynı sürede özet değeri hesaplamıştır. Her ne kadar MD5 algoritması çalışma zamanı açısından üstünlüğe sahip olsa da bilinen güvenlik zafiyetlerinden dolayı tercih edilmemesi önerilmektedir. Yine SHA1'in DNA dizisi uzunluğu arttıkça açık metin duyarlılığının düştüğü görülmekte ve çakışma saldırısı zayıflığı mevcut olduğu için uzun DNA dizilerinde kullanımı önerilmemektedir. Genelleyecek olursak SHA2-512 algoritması test edilen tüm DNA dizisi uzunlukları için makul bir açık metin duyarlılığına sahiptir. Yukarıda verilen çalışma bulgularına göre, özet algoritması seçimi, uygulamanın hız ve güvenlik gereksinimlerine ve kullanılan DNA dizisinin uzunluğuna göre yapılmalıdır sonucu çıkmaktadır.

		256 bp DNA dizisi için				512 bp DNA dizisi için				
Çalışma Zamanı	Düşük				MD5			MD5		
			SHA1	SHA2-256			SHA2-256			
									SHA1	
	Yüksek	SHA2-512								
		Yüksek	Açık Metin Duyarlılığı		Düşük		Yüksek	Açık Metin Duyarlılığı		Düşük

		1024 bp DNA dizisi için				12500 bp DNA dizisi için				
Çalışma Zamanı	Düşük	MD5				SHA2-256			MD5	
				SHA2-256	SHA1					
								SHA1		
	Yüksek		SHA2-512				SHA2-512			
		Yüksek	Açık Metin Duyarlılığı		Düşük		Yüksek	Açık Metin Duyarlılığı		Düşük

Şekil 5- Algoritmaların farklı uzunluktaki DNA dizileri için Çalışma zamanı ve Açık metin Duyarlılıkları karşılaştırması

4. Sonuç

Siberbiyogüvenlik, dünyada henüz birkaç yıllık mazisi olan yeni bir disiplindir. Günümüzde organizmalar için genetik devrelerin ve hücre içermeyen sistemlerin tasarımı, robotiklerin, mikro-akışkanların, sentetik metabolik mühendisliğin, doku mühendisliğinin ortaya çıkması, yeni siber-güvenlik riskleri ve benzersiz tehdit alanları yaratmaktadır[18];[6], [19],[20],[2].

Bu gelişmeler, laboratuvar otomasyon tekniklerinde üretimin artırılması için geleneksel maliyetin düşürülmesi için yapay zeka, makine öğrenme, robotik alanlarına entegrasyon ile sağlanacaktır. Doğal olarak bu süreçte siberbiyogüvenlik önemli bir gereksinimdir. Siber biyogüvenliğin sağlanması için öncelikle dünyada yeni politikalar ve düzenlemeler yapılmaya başlanmıştır. Teknik açıdan ise siber güvenlik çözümlerinin siberbiyogüvenlik kapsamında adaptasyonu yeni algoritmaların önerilmesi beklenmektedir. Bu çalışmada

transfer edilen verinin bütünlüğünün sağlanması amacıyla kullanılan özet algoritmalarının sadece dört karakterden oluşan DNA dizilimleri üzerindeki duyarlılığı araştırılmıştır. Özet algoritmalarından MD5, SHA1 ve SHA2'nin iki versiyonu (SHA2-256, SHA2-512) yaygın kullanımları ve kolay erişilebilirlikleri açısından seçilmiştir. Yapılan çalışmaya göre, algoritmaların ortalama duyarlılığı % 99 un üzerinde olmasına karşın en yüksek açık metin duyarlılığı farklı uzunluktaki DNA dizilerinde farklılık göstermektedir. SHA2-512 açık metin duyarlılığında test edilen tüm DNA uzunlukları için iyi sonuç vermiştir genellemesi yapılabilir. Bunun yanı sıra SHA2-512'nin bilinen bir çakışma zafiyetinin olmaması da algoritmayı bir adım öne çıkarmaktadır. Diğer taraftan MD5 algoritması tüm farklı uzunluktaki DNA dizileri için en kısa zamanda özet değerleri hesaplamıştır. Fakat MD5 algoritmasının bilinen güvenlik zayıflığı mevcuttur. Sonuç olarak seçilecek özet algoritması uygulamanın gereksinimlerine göre farklılık göstermektedir.

Çalışmada, en yaygın kullanılan metin tabanlı özet algoritmaları test edilmiştir. Gelecek çalışmalar kapsamında bir DNA dizisini görüntüye dönüştürerek, en yaygın kullanılan görüntü tabanlı özet yaklaşımları duyarlılık açısından ele alınması planlanmaktadır.

Kaynakça

- [1] Peccoud, J., Gallegos, J. E., Murch, R., Buchholz, W. G., & Raman, S. (2018). Cyberbiosecurity: from naive trust to risk awareness. *Trends in biotechnology*, 36(1), 4-7.
- [2] Murch, R. S., So, W. K., Buchholz, W. G., Raman, S., & Peccoud, J. (2018). Cyberbiosecurity: an emerging new discipline to help safeguard the bioeconomy. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 6, 39.
- [3] Anonim (2010): Biyogüvenlik Kanunu. 26 Mart 2010 tarihli Resmi Gazete, Sayı: 27533
- [4] Tumpey, T. M., Basler, C. F., Aguilar, P. V., Zeng, H., Solórzano, A., Swayne, D. E., ... & Garcia-Sastre, A. (2005). Characterization of the reconstructed 1918 Spanish influenza pandemic virus. *science*, 310(5745), 77-80.
- [5] Turner, G. (2019, May). The Growing Need for Cyberbiosecurity. In *InSITE 2019: Informing Science+ IT Education Conferences*: Jerusalem (pp. 207-215).
- [6] Richardson, L. C., Connell, N. D., Lewis, S. M., Pauwels, E., & Murch, R. S. (2019). Cyberbiosecurity: a call for cooperation in a new threat landscape. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7.
- [7] Adam, L., Kozar, M., Letort, G., Mirat, O., Srivastava, A., Stewart, T., ... & Peccoud, J. (2011). Strengths and limitations of the federal guidance on synthetic DNA. *Nature biotechnology*, 29(3), 208.
- [8] U.S.National Library of Medicine, <https://ghr.nlm.nih.gov/primer/basics/dna> internet adresinden 11.10. 2019 tarihinde edinilmiştir.
- [9] Nowoshilow, S., Schloissnig, S., Fei, J. F., Dahl, A., Pang, A. W., Pippel, M., ... & Falcon, F. (2018). The axolotl genome and the evolution of key tissue formation regulators. *Nature*, 554(7690), 50.
- [10] National Human Genome Research Institute (NHGRI). <https://www.genome.gov/human-genome-project/Completion-FAQ> internet adresinden 11.10. 2019 tarihinde edinilmiştir.
- [11] Rivest, R.L., (1991) "The MD5 message digest algorithm," Presented at the rump session of Crypto'91.
- [12] Rivest, R.L. (1992)"The MD5 message-digest algorithm," Request for Comments (RFC) 1321, Internet Activities Board, Internet Privacy Task Force, April 1992.
- [13] Stevens, M. (2007). On collisions for MD5.
- [14] Dougherty, C. R. (2009). Vulnerability Note VU# 836068 MD5 vulnerable to collision attacks. Retrieved August, 26, 2009.
- [15] Stevens, M., Bursztein, E., Karpman, P., & Albertini, A. (2017). Announcing the first SHA1 collision (2017). URL: <https://security.googleblog.com/2017/02/announcing-first-sha1-collision.html>.
- [16] Özkoç, E. E. DNA-based user authentication schemes for wireless body area network. *e-Society* 2018, 217.
- [17] Harvard University, The Database of Useful Biological Numbers <https://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=104316&ver=1> internet adresinden 11.10. 2019 tarihinde edinilmiştir.
- [18] Nielsen, J., & Keasling, J. D. (2011). Synergies between synthetic biology and metabolic engineering. *Nature biotechnology*, 29(8), 693.
- [19] Rollin, J. A., Tam, T. K., & Zhang, Y. H. P. (2013). New biotechnology paradigm: cell-free biosystems for biomanufacturing. *Green chemistry*, 15(7), 1708-1719.
- [20] Kiss, A. A., Grievink, J., & Rito-Palomares, M. (2015). A systems engineering perspective on process integration in industrial biotechnology. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 90(3), 349-355.



Bir Makine Fabrikasında Yarı Mamul Depolama Sistemi için Etkin Raf Yerleşimi Önerisi

Yeliz Buruk Şahin^{1*}, Sinem Ekmekçi², Melek Yürekli³

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE (ORCID: 0000-0002-6215-5193)

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE (ORCID: 0000-0003-1546-6164)

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE (ORCID: 0000-0001-5064-104X)

(İlk Geliş Tarihi 7 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 19 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.686494)

ATIF/REFERENCE: Şahin, Y. B., Ekmekçi, S. & Yürekli, M. (2020). Bir Makine Fabrikasında Yarı Mamul Depolama Sistemi için Etkin Raf Yerleşimi Önerisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 664-674.

Öz

Bu çalışmada, bir makine fabrikasındaki kaynak bölümünde bulunan yarı mamuller için etkin bir yerleşim düzeninin oluşturulması hedeflenmiştir. Firmada, yarı mamuller, kaynak bölümünde uzun süre kalmaktadır. Parçaların burada belirli bir yerinin olmaması, çalışanların bunları ararken vakit kaybetmesine sebep olmakta ve tezgâha taşıma mesafesini arttırarak değer katmayan faaliyetlerden kaynaklanan ek maliyetler oluşturmaktadır. Buradaki raf alanı yerleşimi probleminin çözümü için, tamsayı matematiksel modellerden yararlanılmıştır. Bu modellerde, raf alanları ve taşıma aracı boyutları göz önüne alınarak parçaları oluşturacak yarı mamullerin raflara atanması yapılmaktadır. Yerleştirilmesi planlanan bu yarı mamullerin boyutları teknik resimler ve gerektiğinde parça üzerinden yapılan ölçümlere dayanarak belirlenmiştir. Kasa ve palet gibi taşıma araçlarının raflara yerleşimini yapmak üzere GAMS yazılımı ile iki ayrı model çözülmüştür. İlk model ile her bir raftaki parça çeşitliliğini en küçükleme, ikinci modelde ise koridorlarda bulunan parça çeşitliliğini en küçükleme hedeflenmiştir. Geliştirilen yaklaşımla, her bir parçanın yarı mamulleri için alternatif iki yerleşim düzeni önerilmiştir. Modellerin çözümüyle elde edilen sonuçlara göre ilk modelde raf doluluk oranı %76,25, ikinci modelde ise %78,47 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tamsayı Doğrusal Model, Raf Alanı Yerleşim Problemi, Üretim İçi Depolama Sistemi

An Efficient Proposal for a Semi-Finished Product Storage System Shelf Assignment in a Machine Factory

Abstract

In this study, an effective layout for semi-finished products of welding department in a machine factory is aimed. Presently, semi-finished products are stored in this department for a long time. The absence of specific places for parts in process, cause waste of time for employees and excessive transfer distances to work centers. Consequently, redundant costs due to non-value added affairs arise. Two integer mathematical programming models are utilized to solve that shelf space allocation problem. The shelf areas and container sizes are taken into consideration in these models to determine the shelf assignments. The dimensions of these semi-finished products planned to be placed are determined by using of technical drawings and by direct measurements. Two different models have been solved with GAMS software to determine the placement of transport vehicles such as containers and pallets on the shelves. The first model aims to minimize the diversity of parts in shelves and the second model aims to minimize the diversity of the parts in the corridors. With the developed approach, two alternative layout plans for semi-finished products of each part is proposed. According to the results obtained by the solution of the models, the shelf occupancy rate became 76.25% in the first model and 78.47% in the second model.

Keywords: Integer Mathematical Model, Shelf Space Allocation Problems, Storage System in Production

^{1*} Sorumlu Yazar: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0002-6215-5193, yelizburuk@ogu.edu.tr

1. Giriş

Depolama faaliyeti, yarı mamullerin ve ürünlerin stoklanması amacıyla üretim ve sevkiyat süreçlerinde meydana gelebilecek sorunların önüne geçebilmek için kullanılmaktadır. Depoların ve dağıtım sistemlerinin planlanması, eniyilenmesi ve denetlenmesi depo yönetimi olarak ifade edilmektedir. Süreçler, ürünlerin depolama tesisine gelmesiyle başlamakta ve depolama tesisinden gönderilmesiyle sona ermektedir. Depo faaliyetlerinin başarısını ölçmek, etkinliğini ve verimliliğini arttırmak için birbirleriyle uyumlu depo yönetim sistemleri oluşturulmalıdır. Kullanım şekline göre depolar; hammadde, mamul ve karma depolar olmak üzere üçe ayrılır. Hammadde depoları, tedarik noktası ve üretim noktası arasında bulunan sadece hammadde ve yarı mamullerin depolandığı tesislerdir. Mamul depoları, üretim yeri ve müşteri arasında bulunan tamamlanmış ürünlerin depolandığı tesislerdir. Karma depolar ise her iki şekilde kullanılan depolardır (Seval, 2018).

Üretim ve sevkiyat sürecinde istenilen malzemeye tam zamanında ulaşmak önemli bir faktördür. Depolama faaliyetinin etkin kullanılmaması, malzemenin istenilen zamanda tedarik edilememesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla, bu durum üretim sürecinin aksamasına neden olmaktadır. İç lojistik faaliyetlerinin periyodik ve standart olması ile bu maliyet unsurlarının azalması hedeflenir. İstenilen malzemenin, istenilen yere istenilen zamanda ve miktarda götürülmesi süreçler arası stokları düşürürken, katma değeri olmayan faaliyetleri ve bunların maliyetlerini en aza indirmektedir (Küçükkoğlu vd., 2018).

Tam zamanında üretim sisteminin temel özelliği süreç içi stokların azaltılmasını sağlamaktır. Süreç içi stoklar, üretim sistemini yavaşlatmakta, üretim sisteminin alanını işgal ederek gelişime kapatmakta ve aynı zamanda işletme sermayesinin bir kısmının atıl olarak bekletilmesi suretiyle fırsat maliyetine yol açmaktadır (Sert ve Kesen, 2019). Tam zamanında üretim sisteminden esinlenerek, depolanan malzemenin belirli bir yerinin olması, çalışanların üretim alanını etkin kullanmalarını ve malzemelere istenilen zamanda ulaşmalarını sağlamaktadır. Depolama yönetim sistemleri farklı süreçler içerir. Bu süreçler sipariş toplama, aktarma, yükleme, palet ile taşıma ve istiflemeydir. Eğer bu süreçler iyi analiz edilirse, analitik metotlar sayesinde önerilerde bulunulabilir (Yener ve Yazgan, 2019).

Bu çalışma, bir makine fabrikasının kaynak bölümünde etkin yerleşim sisteminin bulunmamasından ve yarı mamullerin dağınık istiflenmesinden kaynaklanan sorunların en aza indirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, depolama problemi firmanın en belirgin darboğaz oluşan bölümünde ve ürününde ele alınmıştır. İstifleme süreci analiz edilerek, etkin yerleşim düzeninin oluşturulmasında matematiksel modelleme kullanılmıştır. Bu model oluşturulurken yarı mamul boyutlarının ve özelliklerinin göz önüne alınması gerekmiştir. Bu çalışmada oluşturulan matematiksel modelde kırılabilirlik ve ağırlık kısıtlarına, yarı mamuller arasında belirgin bir fark olmadığından, gerek duyulmamıştır. Bu yüzden çalışmada, sadece atama için kritik öneme sahip olan boyut kısıtları dikkate alınmıştır.

Bu makalenin, ikinci bölümünde literatür taraması, problemin tanıtımı ile materyal ve yöntem yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, araştırma sonuçları ve kaynak bölümü için yerleşim önerileri sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Literatür Taraması

Depolama sistemlerinde malzemeye kolayca ulaşılması üretimin aksamaması için önemli bir ölçüttür. Literatürdeki mevcut çalışmalar; stok yerleştirme politikası, depolama sistemlerindeki başarı göstergelerinden biri olan raf alanı kullanımının en iyilenmesi ve katma değeri olmayan faaliyetlerin en küçüklenmesi yönüyle incelenmiştir.

Frazelle ve Sharp (1989)'a göre, grup tabanlı stoklama politikası, ürünler arasındaki olası ilişkileri göz önünde bulunduran bir stok atama politikasıdır. Petersen (1997)'e göre, paletler halinde ya da belirli miktarlarda gelen benzer ürün tipleri uygun olan boş depolama alanlarına eşit olasılıkla, rasgele yerleştirilir. Le-Duc (2005)'e göre en yakın boş alana yerleştirme politikası ile depoya gelen malzemeler ilk başta depodaki en yakın boş alana yerleştirilir. Atanmış veya sabit stok yerleşim politikasında, her bir ürün kendine ait olan alana yerleştirilir. Heragu vd. (2005) ürün yerleşimi ve depo tasarımı konusunda, her bir alanın boyutuna uygun ürün dağılımını belirleyen matematiksel bir model ile sezgisel bir algoritma geliştirmiştir. Tunç vd. (2008), depo raf sistemindeki sipariş çekme politikasını en iyileme konusunu ele almışlardır. İlk olarak, parçaların raflar içerisindeki konumlarını incelemiş ve en uygun toplama işlemi için mümkün olacak rotaları belirlemişlerdir. Taşıma zamanlarını ve maliyetlerini en küçüklemeyi hedefleyen en iyi rotalar için yeni bir depo yerleşimi önermiş ve sipariş toplama zamanlarını iyileştirmişlerdir.

Surjandiri vd. (2012), perakende sektöründe raf alanı yerleştirme problemini, ürün kategorileri ve fiyatları arasındaki ilişkiden yola çıkarak veri madenciliği tekniğiyle çözmek üzere 0-1 tamsayı bir matematiksel modelden yararlanmışlardır. Kırış (2013)'e göre, ABC sınıflandırması uygulayan bir inşaat firmasında bulanık analitik ağ süreci (ANP) yaklaşımı ve geleneksel ABC analizini karşılaştırmıştır. Bulanık ANP yaklaşımı, ANP yönteminin belirsizliğini gidermek için uygulanmış ve belirsiz ortamlarda daha esnek karar verilmesi sağlanabilmiştir. Chabot vd. (2015), sipariş toplama problemini ağırlık, kırılabilirlik ve kategori kısıtları altında incelemiş, parçalar arası mesafenin en küçüklenmesini hedeflemişlerdir. Çözüm için, iki matematiksel model geliştirilmiş ve dört ayrı sezgisel model kullanılmıştır. Tekil ve Özkır (2016), bir filtre fabrikasının lojistik işlemlerini inceleyerek, ticari araçların ve konteynerlerin karmaşık yük ve yükleme planlarının en iyilenmesi için sezgisel bir algoritma kullanmışlardır. Gül vd. (2016), müşteri talepleri karşısında etkin depolamanın sağlanabilmesi amacıyla mamul ambarında en büyük depolama hacmi ve alanı sağlayacak şekilde, kasa tipleri ve hacimlerine göre ambarda ayrılacak alanları tespit etmişlerdir. Bu doğrultuda, farklı amaçlar çerçevesinde, problemin değişik versiyonları ardışık matematiksel modeller ile çözdürülmüştür. Problemin büyük boyutları için ise sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Çolak vd. (2016), bir kimya firmasında kimyasal hammadde deposunun etkin yerleşimini sağlamak amacıyla iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önermiştir. İlk aşamada, çok ölçütlü ABC analizi yardımıyla en çok hareket eden hammaddeler belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, bir matematiksel model geliştirilerek hammaddelerin taşınmasının en aza indirilmesi için, ABC analizi sonuçları kullanılarak bir

yerleşim önerilmiştir. Zhou vd. (2017), çalışmalarında alan ve kapasite kısıtlarını dikkate almış, raf yerleşiminde RFID (Radio Frequency Identification) kullanan bir sistem önermişlerdir. RFID tarafından üretilen verilerle sağlanan gerçek zamanlı karar destek sistemine dayanan yeni bir esnek depolama tasarımı önerilmiştir. Petersen ve Aase (2017) tarafından yapılan çalışmada, çapraz toplama alanlarının sipariş toplama operasyonlarındaki yeri ve bunun çeşitli depolama faaliyetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, eşit ve düzensiz çapraz koridor yerleşiminin istatistiksel olarak farklılık göstermediğini ve çapraz koridorların eklenmesinin toplayıcı hareketini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Küçüköğlü vd. (2018) ise, makinelere malzeme tedarik ederken, hat yanı stok miktarlarını ve taşıma maliyetlerini en küçükleme hedeflemiştir. Bu amaç doğrultusunda, dolaşım mesafesini en küçükleyecek araç rotası oluşturulmuş, araç ve hat yanı stok miktarı kısıtlarını dikkate alan bir karışık tam sayılı doğrusal model geliştirilmiştir. Öztürkoğlu ve Hoşer (2018), depolarda sıklıkla kullanılan doğrusal düz orta ana koridorları, kesikli tüneller olarak tanımlayarak depolardaki ana koridorların yerleşim düzeni ile ilgili yeni bir tasarım geliştirmişlerdir. Tasarım problem için en iyi sipariş toplama rota uzunluğunu hesaplayabilmek amacıyla polinomsal zamanda dinamik programlama esaslı yeni bir algoritma önermişlerdir. Öztürkoğlu vd. (2018), depolamada zaman yönüyle en önemli faaliyet olan ürünlerin yerleştirilmesi ve toplanması konusunu ele alarak koridor tasarımı konusunda çalışmışlardır. Bu konuda Chevron tasarımını birçok farklı durumda inceleyerek geleneksel yerleşim ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma için problem, sürekli depo uzayında ve ayrık depo uzayında modellenmiş ve her iki uzaydaki depolar için ortalama seyahat mesafeleri belirlenmiştir. Öztürk vd. (2019), bir seramik fabrikasında ele alınan iki depo ve dört fabrika arasındaki taşıma mesafesini ve depodaki raf sayısını en aza indirmeyi hedefleyen bir depo yerleşim problemi ele almışlardır. Problemin çözümünde, çok amaçlı karma tamsayı matematiksel model ve sezgisel algoritma kullanılmıştır. Kulaç ve Çağıl (2019), fabrika içerisindeki yarı mamul dağıtım işlemini araç rotalama problemine benzetmiştir. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi Clarke ve Wright tasarruf algoritması ve matematiksel model kullanılarak çözdürülmüştür. Sonuç olarak yarı mamul dağıtım operatörünün en kısa sürede çevrimini tamamlayacağı dağıtım rotaları belirlenmiştir. Yılmaz Yalçiner ve Can (2019), gıda ambalajı üreten bir firmada yarı mamul deposunun kapasitesinin artırılması ve ürünlerin boyutları göz önüne alınarak en iyi yerleşimin yapılması amaçlanmıştır. Verimli raf tipini belirlemek için sırt çantası modelinden, en iyi raf sayısını tespit etme üzere tam sayılı programlama tekniğinden yararlanılmışlardır. ProModel simülasyon programı ile mevcut ve önerilen sistem karşılaştırılmıştır. Denizhan ve Menşur (2019), bir lastik üretici firmasında, depodaki stok kapasitesi ve kapasite kullanımını etkin bir hale getirmeyi amaçlamışlar. Adresleme işlemini statikten dinamik düzene geçirmek amacıyla dinamik adresleme için bir algoritma önermişlerdir. Sonuç olarak, tedarik zinciri yönetiminin önemli bir parçası olarak; çeşitli ürünlerin dağıtılması, toplanması veya taşınmasının yanı sıra depolama sistemlerinin planlaması için de araştırmacılar çözüm önerileri geliştirmektedir.

2.2. Problemin Tanıtılması

Çalışma, yapılan gözlemler sonucunda firmada darboğaz oluşturduğu tespit edilen kaynak bölümünde gerçekleştirilmiştir. Üzerinde çalışılan ürün, talebi ve firmaya olan kazancı yüksek olması itibarıyla seçilmiştir. Firmada kaynak bölümünde, sürekli bir besleme sistemi olmayıp kaynaktaki yarı mamul bittikçe şekillendirme bölümünden yarı mamul beslemesi beklenmektedir. Gelen yarı mamuller belli bir taşıma aracıyla ve belirli bir rafa gelmemektedir. Mevcut sistemde, kaynak bölümüne gelen yarı mamuller, boyutlarına dikkat edilmeden boşta olan taşıma aracıyla (kasa veya palet ile) depolanmaktadır. Taşıma araçlarının üzerinde barkod veya KANBAN kartları gibi ürünün özelliğini belirtecek açık bir sistem bulunmamaktadır. SAP işlem çıktısı parçaların üzerine koyularak taşıma yapılmaktadır. Bu süreç, işçinin kaynak alanındaki yarı mamulün hangi rafa yerleşmesi gerektiğini anlaması için ciddi bir zaman kaybı oluşturmaktadır. Bu sürecin zorluğu ve yerleşimin belirsizliği nedeniyle, işçi gelen yarı mamulü ilk bulduğu boş rafa yerleştirmektedir. Şekillendirme bölümünden gelen yarı mamuller, kaynak bölümünde sekiz ayrı hücrede işlenmektedir. Son hücre olan dokuzuncu hücrede ise, son kaynak işlemleri yapılarak kaynak bölümündeki süreç sonlanmaktadır.

Hücrelere gelen yarı mamullerin doğru olması, üretim sürecinin başarısı için önemli bir ölçüttür. Ancak, gelen yarı mamullerin sabit bir yerleşim düzeninin bulunmaması üretim içerisinde zaman kaybına, yanlış yarı mamulün kaynak işlemine tabi tutulmasına ve sonuç olarak yarı mamul kayıplarına yol açmaktadır. Firmada, parçaların karışık yerleşiminin engellenmesi için ihtiyaç duyulan alan ve raf gereksinimine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Yerleşemeyen parçalar raf önlerinde ya da kaynak hücrelerinde yerde beklemektedir. Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan esinlenerek mevcut probleme çözüm önerileri sunulmuştur. Firmada mevcut durumda, yerleşimde kullanılabilecek taşıma araçlarının boyutlarına Tablo 1'de yer verilmiştir. Parçaların yarı mamulleri fabrika bünyesinde bulunan dört tip taşıma aracı boyutları göz önüne alınarak Excel'de listelenmiştir.

Tablo 1. Taşıma Araçları Boyutları (mm)

Mevcut taşıma araçları	X (En)	Y (Boy)
Kasa tipi 1	195	150
Kasa tipi 2	390	150
Kasa tipi 3	390	300
Palet	1200	500

Raf alanı yerleşim probleminin çözümü için ilk aşamada, son ürün için gerekli parçalar ve her bir parçanın yarı mamulleri ürün ağacı üzerinden çekilerek listelenmiştir. Tablo 2'de her bir parçanın taşıma araçlarına göre dağılımına yer verilmiş olup, görüldüğü gibi toplam 155 yarı mamul bir araya gelerek son ürünü oluşturmaktadır. Bu yarı mamuller, işlem görecekları hücreler doğrultusunda 9 gruba ayrılmıştır. Yarı mamullerin boyutları teknik resimler yardımı ile x (en) ve y (boy) olmak üzere belirlenmiştir.

Tablo 2. Parçaların Taşıma Araçları Temelinde Dağılımı

Parça no	Taşıma Araçları				
	Toplam yarı mamul	Kasa 1	Kasa 2	Kasa 3	Palet
1	5	3	0	1	1
2	16	8	0	8	0
3	16	7	0	9	0
4	9	3	3	2	1
5	15	6	0	9	0
6	7	3	0	4	0
7	28	18	1	8	1
8	22	13	0	8	1
9	37	13	1	16	7
Toplam yarı mamul	155	74	5	65	11

Bu gözlemden yola çıkılarak tek bir ürünün üretimi için gerekli yarı mamul/taşıma aracı ataması, teknik resimlerden elde edilen boyutlar ve yapılan ölçümler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Yerleşimde dikkate alınan yarı mamullerin büyüklüklerinin taşıma aracı boyutlarını aşmadığı gözlemlenmiştir. Problemin çözümünde yarı mamullerin taşıma araçlarına atanmasından sonra yarı mamul boyutları göz ardı edilerek, yerleşimde taşıma araçları boyutları kullanılmıştır. Yerleşim yapılırken, rafların ve taşıma araçlarının boş olduğu varsayılmaktadır. Yarı mamullerin ağırlıkları arasında anlamlı fark bulunmamaktadır, bu sebeple ağırlık kısıtı göz ardı edilmiştir.

2.3 Materyal ve Yöntem

Mevcut taşıma aracı sayısı göz önüne alınarak raf yerleşimi, literatürde önerilen modellerden hareketle geliştirilen matematiksel modeller yardımıyla çözülmüştür. İlk modelde, raflardaki parça çeşitliliğinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Parçaların günlük yerleşimi ve taşıma mesafesi göz önüne alınarak geliştirilen ikinci modeldeki amaç ise, koridorlardaki parça çeşitliliğinin en küçüklenmesidir.

2.3.1. Kasa-raf Yerleştirme Modeli

Firmada sabit bir yerleşim düzeni bulunmadığından taşıma araçlarının bir kısmı üretimin içerisinde işçilerin çalışma alanını kısıtlayacak şekilde hücre kenarlarında depolanmıştır. Bu durumun önüne geçmek amacıyla, bütün taşıma araçlarının raflarda depolanması öncelik taşımaktadır. Parça tabanlı kasa-raf yerleştirme modeli ile her bir raftaki parça çeşitliliği en küçüklenerek sabit bir yerleşim düzeninin oluşturulması amaçlanmıştır. Modelin çözümünde, Tablo 2'deki taşıma aracı sayıları girdi olarak kullanılmıştır.

İndisler

$$p = \text{parça} \quad (1, \dots, P)$$

$$k = \text{koridor} \quad (1, \dots, K)$$

$$i = \text{taşıma aracı tipi} \quad (1, \dots, I)$$

$$j = \text{raf} \quad (1, \dots, J)$$

Parametreler

$$RG_{kj} = k. \text{koridorun } j. \text{rafının genişliği}$$

$$KG_{pi} = p. \text{parçanın } i. \text{tip taşıma aracının genişliği}$$

$$C = \text{üst üste yerleştirilme adedi (3 adet)}$$

$$KS_{pi} = p. \text{parçanın } i. \text{tip taşıma aracından depolanması gerekli miktar}$$

$$M = \text{çok büyük bir sayı}$$

Karar Değişkenleri

İkili (Binary) Değişken

$$MK_{pj} = \begin{cases} 1, & p. \text{ parça } j. \text{ rafa yerleştiriliyorsa} \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

Tam Sayılı Değişken

$$X_{pikj} = p. \text{ parçanın } i. \text{ tip taşıma aracının } k. \text{ koridorun } j. \text{ rafına yan yana yerleştirilme adedi}$$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J MK_{pj} \quad (2.1)$$

Kısıtlar

$$RG_{kj} - \sum_{i=1}^I KG_{pi} * X_{pikj} \geq 0 \quad \forall_{k,j} \quad (2.2)$$

$$MK_{pj} * M \geq \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K X_{pikj} \quad \forall_{p,j} \quad (2.3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (C * X_{pikj}) \geq KS_{pi} \quad \forall_{p,i} \quad (2.4)$$

Modeldeki C parametresi firmada depolama amacıyla kullanılan raflar 3 katlı olduğu için “3” olarak alınmıştır. Üst üste koyulma sayısı rafların katlarını belirtmektedir. Modelde amaç, raflardaki parça çeşitliliğinin en küçüklenmesidir (2.1). Kısıt (2.2), her tip taşıma aracının toplam genişliğinin raf genişliğini aşamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (2.3), eğer bir tip parçaya ait bir taşıma aracı bir rafa yerleştiriliyorsa, o rafta o parçaya ait atanmış yarı mamullerin sayısını ifade etmektedir. Kısıt (2.4) ise raflara atanması gereken taşıma aracı adet hedefini sağlamaktadır.

Matematiksel model GAMS yazılımı CPLEX çözücüsü kullanılarak çözdürülmüştür. Ek 1 ve Ek 2’ de görüldüğü gibi, ele alınan modelde koridor-raf ilişkisi 1. koridorda 4 raf, 2. koridorda 2 raf, 3. koridorda 4 raf olarak alınarak kurulmuştur.

2.3.2. Kasa-koridor Yerleştirme Modeli

Kasa- raf yerleştirme modelinde raflardaki parça çeşitliliği en küçüklenmiş ancak parçaların taşıma araçları farklı koridorlara da yerleştirilebildiği gözlenmiştir. İlk modelin sonucu olarak işçiler yarı mamullerin yerini kolayca bulabilmektedir. Ancak, farklı koridorlarda depolanan yarı mamulleri hücelere aktarırken taşıma mesafesini arttırabildiği gözlenmiştir. Bu gözlemden yola çıkarak koridordaki parça çeşitliliğinin en küçüklenmesi amaçlanarak parça tabanlı kasa- koridor yerleştirme modeli oluşturulmuştur.

Kullanılan iki model amaç fonksiyonları dışında birebir benzerlik göstermektedir. Bu nedenle indis, parametre ve tam sayılı değişken tanımlamaları yenilenmemiştir.

Karar Değişkenleri

İkili (Binary) Değişken

$$MK_{pk} = \begin{cases} 1, & p. \text{ parça } k. \text{ koridora yerleştiriliyorsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K MK_{pk} \quad (2.5)$$

Kısıtlar

$$RG_{kj} - \sum_{i=1}^I KG_{pi} * X_{pikj} \geq 0 \quad \forall_{k,j} \quad (2.6)$$

$$MK_{pk} * M \geq \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K X_{pikj} \quad \forall_{p,j} \quad (2.7)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (C * X_{pikj}) \geq KS_{pi} \quad \forall_{p,i} \quad (2.8)$$

Modelde amaç, koridorlardaki parça çeşitliliğinin en küçüklenmesidir (2.5). Kısıt (2.6), her tip taşıma aracının toplam genişliğinin raf genişliğini aşamayacağını ifade etmektedir. Kısıt (2.7), eğer bir tip parçaya ait bir taşıma aracı bir koridora yerleştiriliyorsa, o koridorda o parçaya ait atanmış yarı mamullerin sayısını ifade etmektedir. Kısıt (2.8) ise rafa atanması gereken taşıma aracı adet hedefini sağlamaktadır. Bu durumda, koridorda bulunan parça çeşitliliği azaldığından işçinin, bir parça için farklı koridorlardan yarı mamul almasına gerek kalmamış ve taşıma mesafesi azalmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Her iki modelin GAMS çıktılarına göre, taşıma araçlarının raflara yerleşimleri, bu bölümde örneklenerek açıklanacaktır.

3.1. Kasa-raf Yerleşim Modeli

Her bir parçanın raflara yerleştirilmesine dayanan modelde; 1. koridorun 1. rafına Şekil 1’de gösterildiği gibi 1. 7. ve 9. parçalar yerleştirilmiştir. Sözü edilen birinci raf yerleşiminde, kasaların yatay ekseninde kapladığı uzunluk 2340 mm’dir. (Katlar aşağıdan yukarıya doğru 1.kat, 2. kat ve 3. kat olarak isimlendirilmektedir).

Taşıma araçlarının boyut toplamının raf boyutunu aşmadığı doğrulanmış olup kapasitenin aşılmadığı, verilerden yararlanarak doğrulanmıştır. Rafların doluluk oranına bakıldığında ise birbirine yakın değerler olduğu ve bu durumda olabildiğince az raf sayısının kullanıldığı gözlenmiştir. Raflardaki boş alanlar uygun taşıma aracı bulunamadığından oluşmaktadır.

1.KORİDORUN 1.RAFI							DOLULUK (%)	
P7(K3)	P7(K3)	P7(K3)	P7(K1)	P7(K3)	P7(K3)	P9(K1)	2340 (%97,5)	
P7(K3)	P7(K3)	P7(K3)	P7(K1)	P7(K1)	P7(K1)	P7(K1)	P7(K1)	P9(K1)
P1(Palet)			P7(K1)	P7(K1)	P7(K1)	P7(K1)	P7(K1)	P7(K1)
							2370 (%98,75)	

Şekil 1. 1.Koridor Yerleşimine Ait Parça Bazlı Yerleşim Düzeni

Raf ve koridor temelinde elde edilen doluluk oranları Ek-1’de gösterilmiştir. Doluluk oranları, yerleştirilen taşıma araçlarının genişlikleri ve raf genişliği göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Yapılan yerleşimde, model sonuçlarına göre %76,25’lik ortalama doluluk oranı bulunmuştur.

Tablo 3. Parça Bazlı Kasa-Raf Yerleşimi Doluluk Oranları

Parça No	(Koridor No, Raf No)
1	(1,1), (2,1)
2	(1,3)
3	(3,3)
4	(1,2), (2,2)
5	(1,2), (2,2)
6	(1,3), (3,3)
7	(1,1), (2,1)
8	(2,2), (3,2), (1,1)
9	(1,4), (3,1), (3,4)

Tablo 3’ teki yerleşimler incelendiğinde parçaların koridorlardaki raflara dağılımı görülmektedir. Örneğin 1. parçaya ait taşıma araçları iki ayrı koridorda yer almaktadır. 9. parçanın ise iki ayrı koridorda farklı raflara yerleşimi görülmektedir. Bunun sebebi 9. parçanın bağlantı elemanı olması ve birçok alt işlemden uygulanan yarı mamullerden oluşmasıdır. Kasa-Raf yerleşim model çözüm raporuna göre yapılan atamaların tamamı Ek 1’de sunulmuştur.

3.2. Kasa- Koridor Yerleşim Modeli

Her bir parçanın koridorlardaki raflara yerleştirilmesine dayanan modelde 1. koridorun 1. rafına ait olan yerleşim düzeni GAMS modelinin çıktılarına göre Şekil 2’de verildiği gibidir.

1.KORİDORUN 1.RAFI							Doluluk (%)
P1 (K 1)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P8 (K 1)	P8 (Palet)			2370 (%98,75)
P1 (K 1)	P5 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P8 (K 1)	P5 (K 3)	2340 (%97,5)
P1 (K 1)	P5 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P8 (K 1)	P5 (K 3)	2340 (%97,5)

Şekil 2. 1.Koridorun 1.Rafına Parçaların Yerleşimi

Raflara yerleşim Tablo 2’de verilen parça isimleri kullanılarak yapılmıştır. Parça tabanlı kasa-koridor yerleşimi doluluk oranları Ek 2’de verilmiştir. Yerleşim sonuçlarına bakıldığında, ortalama %78,47’lik raf doluluk oranı sağlanmıştır. İlk modelle karşılaştırıldığında ortalama raf doluluk oranının arttığı gözlenmektedir. İkinci model aracılığıyla elde edilen çıktı sonucu koridorlara yerleşen parçalar Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Koridorlara Yerleşen Parça Tipleri

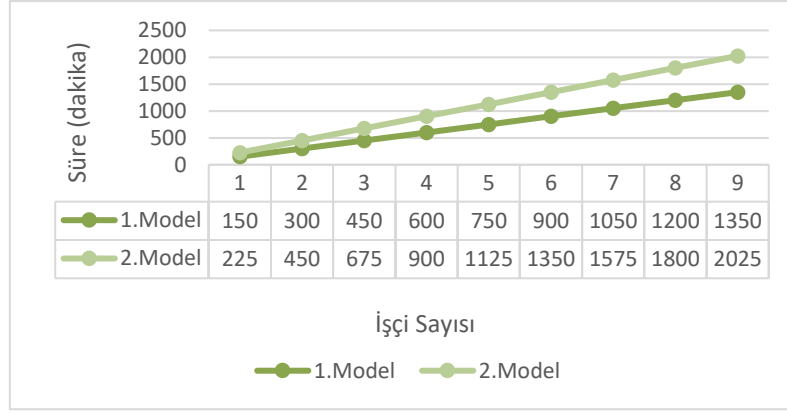
Koridor No	Parça Tipi
1	1, 5, 7, 8
2	2, 3, 6
3	4, 9

Tablo 4 incelendiğinde, parçaların yarı mamullerinin aynı koridorda bulunduğu gözlenmiştir. Bu modelin amacı koridorlardaki parça çeşitliliğini en küçükleme olduğundan bir koridorda bulunan parça diğer koridorlara yerleştirilmemiştir. Bu yerleşim düzeni ile işçinin hem taşıma aracını aramasından kaynaklı zaman kaybı hem de taşıma aracının üretim alanına taşınmasından kaynaklı zaman kaybı önlenmiş olacaktır. Raflarda boşlukların oluşmasının önemli nedeni bu durumdur. Siparişe dayalı üretim yapıldığı için, parçalara ek yarı mamuller eklenmesi durumunda taşıma araçlarına yerleşememe durumu engellenmiştir. Kasa-Koridor yerleşim model çözüm raporuna göre yapılan atamaların tamamı Ek 2’de sunulmuştur.

Parça tabanlı kasa-raf yerleştirme modeline göre mevcut sistemde, bir işçinin günde ortalama 30 dakikasını parça aramak için geçirdiği gözlemlenmektedir. Bu gözlemler sonucunda, fabrikada haftada 5 gün çalışıldığı göz önüne alınarak işçinin haftalık 2 saat 30 dakikalık çalışma süresinin parça aramakla geçtiği hesaplanabilmektedir. Her bir ana parçanın kaynaklanması için hücrede 1 işçinin çalıştığı, toplamda son ürün için 9 işçinin çalıştığı göz önüne alınarak haftada 22 saat 30 dakikalık bir süre parça aramakla geçtiği söylenebilir. Belirtilen süreler, haftalık çalışma saatinin 40 saat olduğu bir işletme için büyük kayıplardır. Yapılan çalışma ile bu kayıpların büyük kısmının önleneyeği görülmektedir. Yapılan çalışma sonucunda, gelen yeni sipariş veya parça adetlerinde artış olma durumunda yarı mamullerin rafların dışında kalması engellenerek esnek bir yerleşim düzeni oluşturulmuştur.

Parça tabanlı kasa-koridor yerleştirme modeline göre ise mevcut sistemde, bir işçinin günde ortalama 30 dakikasını parça aramak için geçirdiği ve işçinin taşıma aracını bulduktan sonra parçayı kendi kaynak kolaylığının bulunduğu alana taşınması için günde ortalama 15 dakikasını geçirdiği gözlemlenmektedir. Bu gözlemler sonucunda, işçinin uygun parçayı aramak için geçirdiği zamana ek olarak, işçinin raf alanından üretim hücresine yarı mamulleri taşınması için geçen süre günlük 15 dakika olarak gözlenmiştir. Bu süre doğrultusunda, haftada 5 iş gününde 1 saat 15 dakikalık çalışmanın boşa geçtiği hesaplanmaktadır. 9 işçi için bu süre 10 saat 35 dakika olarak hesaplanmaktadır. Toplamda, işçi hem parçayı arayıp hem de uygun alana taşınmayı gerçekleştirdiği için 33 saat 5 dakikalık bir zaman kaybı oluşması öngörülmektedir. Önerilen parça tabanlı kasa-koridor yerleşiminin yapılması sonrasında aynı tip parçaların raf ve koridorlarda sabit yerleşiminin sağlanması ile yukarıda hesaplanan zaman kayıplarının büyük çoğunluğunun önüne geçilebileceği söylenebilir.

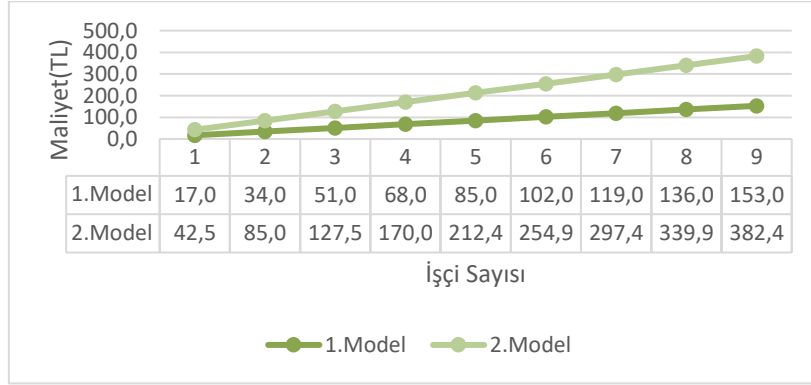
İki model kazanılabilir süre yönüyle karşılaştırıldığında Şekil 3’teki grafik elde edilmiştir. Grafikte, x ekseninde işçi sayıları, y ekseninde ise dakika cinsinden süreler verilmiştir.



Şekil 3. Modellerin Süre Yönüyle Karşılaştırılması

Grafiğe göre, 1. model ile her bir taşıma aracı için sabit bir yerleşim sonucunda işçinin parçayı araması için kaybettiği sürelerin büyük çoğunluğunun önüne geçileceği öngörülmektedir. 2. model aracılığıyla, hem her bir taşıma aracının sabit bir yerleşimi sağlanmış, hem de parçaların dağınık yerleşimin önüne geçilerek işçinin parça arama ve taşıma sürelerinden kaynaklı kayıpların büyük çoğunluğunun önüne geçileceği öngörülmektedir.

İki model maliyet yönüyle karşılaştırıldığında ise Şekil 4'teki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4. Modellerin Maliyet Yönüyle Karşılaştırılması

Şekil 4' teki grafikte x ekseninde işçi sayıları, y ekseninde ise işçilerin zaman kayıplarından oluşan işçilik maliyetleri verilmiştir. 1. model ile her bir taşıma aracı için sabit bir yerleşim sonucunda bir son ürün için haftalık 153 TL'lik işçilik maliyetinin büyük çoğunluğundan tasarruf sağlanacağı belirlenmiştir. 2. model vasıtasıyla hem her bir taşıma aracının sabit bir yerleşimi hem de parçaların dağınık yerleşimi sebebiyle taşımadan kaynaklı süre kayıpları önlenerek toplamda haftalık 382,4 TL'lik işçilik maliyetinin büyük çoğunluğundan tasarruf sağlanacağı hesaplanmıştır. Kasa-raf ve kasa-koridor modellerinin sonucunda, koridorlar için elde edilen doluluk oranları Tablo 5'te belirtildiği gibidir. Raf doluluk oranı yönlü yapılan kıyaslamada, Model 2 ile ortalama %78,47'lik yüksek bir doluluk oranı sağlanmıştır.

Tablo 5. Kasa-Raf ve Kasa-Koridor Modelleri İçin Doluluk Oranları

	Doluluk Oranları (%)			
	1.Koridor	2.Koridor	3.Koridor	Ortalama
Model 1	87,19	76,04	65,52	76,25
Model 2	74,79	86,67	73,96	78,47

4. Sonuç

Bu çalışmada, her iki modelin çözümüyle de sabit bir yerleşim düzeni oluşturmak amaçlanmıştır. İlk model ile raflardaki parça çeşitliliği en küçüklenerek işçinin aynı parçaya ait taşıma araçlarını bulması kolaylaştırılmıştır. İkinci modelde ise, parçalara ait taşıma araçlarının aynı koridorda yer aldığı bir yerleşim sistemi ile işçinin hem taşıma aracını bulması kolaylaşmış hem de taşıma mesafesi en küçüklenmiştir. İlk modelin yerleşim düzeni incelendiğinde, taşıma araçlarının tüm koridorlara dağıldığı dikkati çekmektedir. İkinci model yerleşiminde ise, bu durumun önüne geçildiği açık bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle, önerilen ikinci model ile daha etkin bir yerleşim düzeni oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, %78,47'lik doluluk oranıyla ikinci modelin daha etkin olduğu görülmektedir. Bu yerleşim düzeni ile yalın üretim kapsamında firmada yapılacak çalışmalara örnek teşkil edecek bir sistem oluşturulmuştur. Aynı zamanda üretim içinde belirli bir yerleşim düzeninin sağlanacağı ve kullanılmayan parçaların üretim içerisinde bulunması engelleneceği için 5S çalışmalarına önemli bir katkı sağlamıştır. Mevcut durumda barkod sistemi bulunmadığı için parçaya istenilen zamanda ulaşılamazken, önerilen sistem ile bu eksikliğin dezavantajları giderilmeye çalışılmıştır. Geliştirilecek kart sistemi ile her bir parçanın kimliği oluşturularak taşıma araçlarının depolanacağı noktalara yerleştirilmesi düşünülmektedir. Bu kimlikler, hem parçanın taşıma aracında hem de raflarda yer almalıdır bu sayede işçinin taşıma araçlarını raflara yerleştirirken oluşacak zaman kaybı en aza indirilebilecektir.

Kaynakça

- Chabot, T., Lahyani, R., Coelho, L.C., & Renaud J. (2015). Order Picking Problems under Weight, Fragility and Category Constraints. CIRRELT- 2015- 49, 1-29.
- Çolak M., Aydın Keskin G., Günel G., & Akkaya D. (2016). Bir kimya firmasında hammadde deposunun etkin yerleşimi için bir model önerisi. Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 55-76.
- Denizhan B., & Menşur Ş. (2019). Bir lastik fabrikasında dinamik adresleme yaklaşımı ile depoya yerleştirme. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(3), 481-488.
- Frazelle, E. H., & Sharp, G. P. (1989). Correlated assignment strategy can improve any order picking operation. Industrial Engineering, 21, 33-37.
- Gül, G., Erol, B., Öngelen, G., Eser, S., Çetinkaya Ç., Özmutlu, H. C., Özmutlu, S., Gökçedağlıoğlu, M., & Erhuy, C. G. (2016). Ambar depolama maksimizasyonu. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 27(4), 26-38.
- Heragu, S.S., Du L., Mantel, R.J. & Schuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. International Journal of Production Research, 43(2), 327-338.
- Kırış Ş. (2013). Multi-criteria inventory classification by using a fuzzy analytic network process (ANP) approach. Informatica, 24(2), 199-217.
- Kulaç S., & Çağıl G. (2019). Bir iç lojistik sistem probleminin, araç rotalama çözüm yöntemleri ile iyileştirilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11(2), 528-541.
- Küçüköğlü, İ., Yağmahan, B., Çağlıyan, M.S., Yıldız, A., & Aktokluk D. (2018). İç lojistik sisteminde malzeme tedarigi için geliştirilmiş matematiksel modelleme yaklaşımı: Bir uygulama. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23(4), 159-173. doi: 10.17482/uumfd.455198.
- Le-Duc, T. (2005). Design and control of efficient order picking processes. Doktora Tezi, Erasmus Research Institute of Management, Rotterdam, 12-16.
- Öztürk, Z. K., Akyol Özer, E., Gülen Ç., Çiçek, A., & Serttaş, M. D. (2019) Mathematical and heuristic solution approaches for shelf assignment problem in multiple warehouses. Endüstri Mühendisliği, 30(1), 63-74.
- Öztürkoğlu Ö., & Hoşer D. (2018). Yeni bir depo tasarım problemi ve polinomsal zamanlı optimal sipariş toplama algoritması önerisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), 1569-1588.
- Öztürkoğlu Ö., Kocaman Y., & Gümüšoğlu Ş. (2018). Çok kapılı birim yük depolarda Chevron koridor tasarımının değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(3), 793-807.
- Petersen C. G. (1997). An Evaluation of Order Picking Routing Policies. International Journal of Operations and Production Management, 17(11), 1098-1111. doi/ 10.1108/01443579710177860.
- Petersen C. G., & Aase G. R. (2017). Improving Order Picking Efficiency with the Use of Cross Aisles and Storage Policies. Open Journal of Business and Management, 5, 95-104. doi: 10.4236/ojbm.2017.51009.
- Sert, M., & Kesen, S.E. (2019). Tam zamanında üretim felsefesine dayalı bir seri üretim hattının simülasyon tekniğiyle performans analizi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 115-134. doi: 10.15317/Scitech.2019.186.
- Seval, İ. (2018). Lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde talep hacmi, depo ve filo işletme planlaması. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 57-59.
- Surjandari, I., Rachman, A., & Lusiani, M. (2012). Optimization of products shelf space allocation based on product price using multilevel association rules. 2nd International Conference on Industrial Technology and Management, IPCSIT. 49, 62-65. doi: 10.7763/IPCSIT.2012.V49.12
- Tekil, S., & Özkır, V.Ç. (2016). Konteyner yükleme problemlerinin incelenmesi ve lojistik sektöründe bir uygulama. Toros Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 3(5), 213-223.
- Tunç, S., Kutlu B., Zincidi, A., & Atmaca, E. (2008). Depo sisteminde sipariş toplama sürecinin iyileştirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(2), 357-364.
- Yener, F., & Yazgan, H.R. (2019). Optimal warehouse design: Literature review and case study application. Computers & Industrial Engineering, 129, 1-13. doi: 10.1016/j.cie.2019.01.0

Yılmaz Yalçınar A., & Can B. (2019). Tam sayılı programlama ve simülasyon ile raf alanı optimizasyonu: bir ambalaj firmasında uygulama. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı, 375-388.

Zhou W., Piramuthu S., & Chu F. (2017). RFID enabled flexible warehousing. Decision Support Systems, 98, 99-112.

EK-1: Model-1 Sonuçlarına Göre Elde Edilen Yerleşim Ataması

1.KORİDORUN 1.RAFI							DOLULUK (%)	
P7(K 3)	P7(K 3)	P7(K 3)	P7(K 1)	P7(K 3)	P7(K 3)	P9(K 1)	2340 (%97,5)	
P7(K 3)	P7(K 3)	P7(K 3)	P7(K 1)	P7(K 1)	P7(K 1)	P7(K 1)	2340 (%97,5)	
P1(Palet)			P7(K 1)	P7(K 1)	P7(K 1)	P7(K 1)	2370 (%98,75)	
1.KORİDORUN 2.RAFI							DOLULUK (%)	
P5(K 3)	P5(K 3)	P4(K 2)	P5(K 3)	P4(K 2)			1950 (81,25)	
P5(K 3)	P5(K 3)	P4(K 2)	P5(K 3)	P5(K 3)			1950 (81,25)	
P4(Palet)			P5(K 3)	P5(K 3)			1980 (82,5)	
1.KORİDORUN 3.RAFI							DOLULUK (%)	
P2(K 3)	P2(K 3)	P2(K 1)	P2(K 1)	P2(K 3)	P2(K 3)			1950 (81,25)
P6(K 3)	P6(K 3)	P2(K 3)	P2(K 3)	P2(K 1)	P2(K 1)	P2(K 1)	2145 (%89,38)	
P6(K 3)	P6(K 3)	P2(K 3)	P2(K 3)	P2(K 1)	P2(K 1)	P2(K 1)	2145 (89,38)	
1.KORİDORUN 4.RAFI							DOLULUK (%)	
P9(Palet)			P9(K 1)	P9(K 1)			1590 (%66,25)	
P9(Palet)			P9(K 1)	P9(K 1)	P9(K 1)	P9(K 1)	1980 (%82,5)	
P9(Palet)			P9(K 1)	P9(K 1)	P9(K 1)	P9(K 2)	2370 (%98,75)	
2.KORİDOR 1.RAFI							DOLULUK (%)	
P7(K 1)	P1(K 3)	P7(K 1)					780 (%66,25)	
P7(K 1)	P7(K 2)	P7(K 1)	P1(K 1)	P7(K 1)	P1(K 1)	P7(K 1)	1560 (%65,0)	
P1(K 1)	P7(Palet)			P7(K 1)			1590 (%32,5)	
2.KORİDORUN 2.RAFI							DOLULUK (%)	
P8(K 1)	P8(K 3)	P8(K 3)	P8(K 1)	P4(K 1)	P8(K 1)	P8(K 3)	2340 (%97,5)	
P4(K 1)	P4(K 3)	P5(K 1)	P5(K 1)	P8(K 1)	P8(K 3)	P8(K 3)	2340 (%97,5)	
P4(K 3)	P5(K 1)	P5(K 1)	P8(K 1)	P8(K 3)	P8(K 3)	P8(K 1)	2340 (%97,5)	
3.KORİDORUN 1.RAFI							DOLULUK (%)	
P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)				1560 (%65,0)	
P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)			2340 (%97,5)
P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)	P9(K 3)			2340 (%97,5)
3.KORİDORUN 2.RAFI							DOLULUK (%)	
							0 (%0)	
							0 (%0)	
P8(K 1)	P8(K 1)	P8(K 1)	P8(K 1)	P8(Palet)		P8(K 1)	2370 (%98,75)	
3.KORİDORUN 3.RAFI							DOLULUK (%)	
P3(K 3)	P3(K 3)	P3(K 3)					1170 (%48,75)	
P6(K 1)	P3(K 3)	P3(K 3)	P3(K 3)	P6(K 1)	P3(K 1)	P6(K 1)	1950 (%81,25)	
P3(K 1)	P3(K 1)	P3(K 1)	P3(K 3)	P3(K 3)	P3(K 1)	P3(K 1)	2340 (%97,5)	
3.KORİDORUN 4.RAFI							DOLULUK (%)	
							0 (%0)	
P9(Palet)			P9(Palet)					2400 (%100)
P9(Palet)			P9(Palet)					2400 (%100)

EK-2: Model-2 Sonuçlarına Göre Elde Edilen Yerleşim Ataması

1.KORİDORUN 1.RAFI										Doluluk (%)	
P8 (Palet)										2370 (%98,75)	
P1 (K 1)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P8 (K 1)								2370 (%98,75)
P1 (K 1)	P5 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P8 (K 1)	P5 (K 3)				2340 (%97,5)	
P1 (K 1)	P5 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P7 (K 3)	P8 (K 1)	P5 (K 3)				2340 (%97,5)	
1.KORİDORUN 2.RAFI										Doluluk (%)	
P5 (K 3)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P8 (K 1)	P8 (K 1)	P5 (K 3)		2340 (%97,5)
P5 (K 3)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P8 (K 1)	P8 (K 1)	P8 (K 1)	P8 (K 1)	2340 (%97,5)
P5 (K 3)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P7 (K 1)	P8 (K 1)	P8 (K 1)	P8 (K 1)	P8 (K 1)	2340 (%97,5)
1.KORİDORUN 3.RAFI										Doluluk (%)	
										0 (%0)	
P5 (K 1)	P5 (K 1)	P5 (K 1)	P5 (K 1)								780 (32,5)
P1 (K 3)	P5 (K 1)	P7 (K 2)	P7 (Palet)						P5 (K 1)		2370 (%98,75)
1.KORİDORUN 4.RAFI										Doluluk (%)	
P8 (K 3)	P8 (K 3)										780 (%32,5)
P8 (K 3)	P8 (K 3)	P8 (K 3)									1170 (%48,75)
P8 (K 3)	P8 (K 3)	P8 (K 3)	P1 (Palet)								2370 (%98,75)
2.KORİDOR 1.RAFI										Doluluk (%)	
P2 (K 1)	P2 (K 1)	P6 (K 1)	P2 (K 3)	P3 (K 1)	P6 (K 3)	P6 (K 3)					1950 (%81,25)
P2 (K 1)	P2 (K 1)	P2 (K 1)	P2 (K 3)	P3 (K 1)	P6 (K 1)	P6 (K 3)	P6 (K 3)				2145 (%89,38)
P2 (K 1)	P2 (K 1)	P2 (K 1)	P2 (K 3)	P3 (K 1)	P6 (K 1)	P6 (K 3)	P6 (K 3)				2145 (%89,38)
2.KORİDOR 2.RAFI										Doluluk (%)	
2 (K 3)	3 (K 3)	3 (K 3)	3 (K 3)								1560 (%65,0)
2 (K 3)	2 (K 3)	3 (K 1)	3 (K 1)	3 (K 3)	3 (K 3)	3 (K 3)				2340 (%97,5)	
2 (K 3)	2 (K 3)	3 (K 1)	3 (K 1)	3 (K 3)	3 (K 3)	3 (K 3)				2340 (%97,5)	
3.KORİDORUN 1.RAFI										Doluluk (%)	
P9 (K 3)	P9 (K 3)	P9 (K 3)									1170 (%48,75)
P4 (K 2)	P4 (K 3)	P4 (K 2)	P9 (K 3)	P9 (K 3)	P9 (K 3)					2340 (%97,5)	
P4 (K 2)	P4 (K 3)	P9 (K 2)	P9 (K 3)	P9 (K 3)	P9 (K 3)					2340 (%97,5)	
3.KORİDORUN 2.RAFI										Doluluk (%)	
P9 (K 3)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 3)					1560 (%65,0)	
P9 (K 3)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 3)					1560 (%65,0)	
P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 1)	P9 (K 3)	P9 (Palet)						2370 (%98,75)
3.KORİDORUN 3.RAFI										Doluluk (%)	
										0 (%0)	
P9 (Palet)					P9 (Palet)						2400 (%100)
P4 (Palet)					P9 (Palet)						2400 (%100)
3.KORİDORUN 4.RAFI										Doluluk (%)	
P4 (K 1)	P9 (K 3)										585 (%24,38)
P4 (K 1)	P9 (K 1)	P4 (K 1)	P9 (K 3)	P9 (Palet)							2175 (%90,63)
P9 (Palet)					P9 (Palet)						2400 (%100)



Low Cost Hand Gesture Recognition System Design

Cihan Yıldırım¹, Veysel Gökhan Böcekçi^{2*}

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3462-8723)

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4559-7173)

(First received 11 February 2020 and in final form 20 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.687860)

ATIF/REFERENCE: Yıldırım, C. & Böcekçi, V. G. (2020). Low Cost Hand Gesture Recognition System Design. *European Journal of Science and Technology*, (18), 675-682.

Abstract

Today, hand gesture recognition attracts and is used in terms of computer vision, pattern recognition and human computer interaction applications. Popular sensor types used in hand gesture recognition detection are Kinect, Leap motion and time of flights sensors. In this study, a compact system designed to detect hand movements in real time and transform them into commands using ToF based optical sensor, microcontroller and bluetooth module. The sensor unit is particularly important in the recognition of movements. Glove-based motion interfaces typically require the user to plug in a bulky device and carry a cable load that connects the device to a computer. This prevents the ease and naturalness of the user's interaction with the computer. Vision-based systems are less immune to physical effects. In order for the system to work stable, the user must be in the correct position in front of the sensor and must make hand movements under sufficient light. This makes it difficult to use as well as introduces various restrictions. Optical sensor based systems are preferred with their affordable cost, low power consumption and easy-to-apply features. The optical sensor used in our study can measure up to 20cm with 1mm sensitivity. Hand and finger movements are monitored by the optical sensor and sensing can be done without the need for hardware equipment such as instrumented gloves or video cameras. Microcontroller unit is used to define and classify hand movements. Control signals are sent to other devices via the Bluetooth module. The realized system translates four different hand gestures it detects into commands defined as *Close/Open*, *Next*, *Previous* and *Click/Select*.

Keywords: Gesture recognition, Time of flight sensor, Real time tracking.

Düşük Maliyetli El Jestleri Tanıma Sistem Tasarımı

Öz

Günümüzde el jestleri tanıma; bilgisayarlı görü, örüntü tanıma, insan bilgisayar etkileşimi uygulamaları açısından ilgi çekmekte ve kullanılmaktadır. El jestleri algılamada kullanılan popüler sensör tipleri, Kinect, Leap motion ve uçuş süresi (ToF) sensörleridir. Bu çalışmada uçuş süresi temelli çalışan optik sensör, mikrodenetleyici, bluetooth modül kullanılarak el hareketlerini gerçek zamanlı olarak algılayarak komuta dönüştüren kompakt bir sistem tasarlanmıştır. Hareketlerin tanınmasında algılayıcı birim özellikle önem taşımaktadır. Eldiven tabanlı hareket arabirimleri tipik olarak kullanıcının hantal bir aygıt takmasını ve genellikle aygıtı bir bilgisayara bağlayan bir kablo yükü taşımasını gerektirir. Bu, kullanıcının bilgisayarla etkileşiminin kolaylığını ve doğallığını engeller. Vizyon tabanlı sistemlerin ise fiziksel etkilere karşı bağışıklığı daha zayıftır. Sistemin kararlı çalışabilmesi için kullanıcının algılayıcı önünde doğru pozisyonda bulunması ve yeterli ışık altında el hareketlerini yapması gerekmektedir. Bu da kullanımı zorlaştırdığı gibi çeşitli kısıtlamalar da getirmektedir. Optik sensör tabanlı sistemler, uygun maliyet, düşük güç tüketimi ve kolay uygulanabilir özellikleri ile tercih edilmektedir. Çalışmamızda kullanılan optik sensör 1 mm hassasiyette, 20cm'ye kadar ölçüm yapabilmektedir. El, parmak hareketleri optik sensör tarafından izlenmekte ve enstrümantal eldiven veya video kamera gibi donanım ekipmanlarına gerek olmaksızın algılama yapılabilmektedir. Mikrodenetleyici birimi el hareketlerini tanımlamada ve sınıflandırmada kullanılmaktadır. Bluetooth modül üzerinden diğer aygıtlara kontrol sinyalleri gönderilmektedir. Gerçekleştirilen sistem algıladığı dört farklı el hareketini *Kapatma/Açma*, *İleri gitme*, *Geri gitme* ve *Tıklama/Seçme hareketi* olarak tanımlanan komutlara çevirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jest tanıma, Uçuş süresi sensörü, Gerçek zamanlı izleme.

* Corresponding Author: Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4559-7173, vgbocekci@marmara.edu.tr

1. Giriş

Hareket tanıma, insan-bilgisayar etkileşiminin gelişen araştırma alanındaki ana bileşenlerinden biridir. Farklı el ve kol hareketlerinin tanınması, elektronik cihazlarla akıllı etkileşimler sağladığı için, giderek daha önemli hale gelmektedir (Pigou ve ark, 2018).

Hareketler uzun zamandır bilgisayarlarımızla iletişim kurmanın daha doğal, yaratıcı ve sezgisel yollarını sunabilen bir etkileşim tekniği olarak kabul edilmektedir (Rautaray & Agrawal, 2015). Yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak el hareketlerini tanımlayan çalışmalar mevcuttur. EMG sinyallerinin analizine dayalı test düzeneğinde ANN ve Bulanık mantık sınıflandırıcıları kullanılmış ve 7 farklı hareket için %90'ların üzerinde başarımlar sağlanabilmiştir (Başpınar ve ark, 2012).

Hareket tanımadaki, el hareketi tanıma gerek uygulama alanlarının fazlalığı gerekse de kolay uygulanabilir olmasından dolayı en popüler alanlardan biridir. Bu alanda kullanılan başlıca yöntemler, Kinect, Leap motion, ve uçuş süresi (ToF) şeklinde listelenmektedir (Cheng ve ark, 2015).

Her algılama teknolojisi, doğruluk, çözünürlük, gecikme süresi, hareket açıklığı, kullanıcı rahatlığı ve maliyet gibi çeşitli boyutlarda değişiklik gösterir. Eldiven tabanlı hareket arabirimleri tipik olarak kullanıcının hantal bir aygıt takmasını ve genellikle aygıtı bir bilgisayara bağlayan bir kablo yükü taşımasını gerektirir. Bu, kullanıcının bilgisayarla etkileşiminin kolaylığını ve doğallığını engeller. Vizyon temelli teknikler, bunun üstesinden gelmekle birlikte, kullanıcının vücudunun bölümlerinin tıkanması ile ilgili diğer problemlerle mücadele etmeleri gerekir. İzleme cihazları, kullanıcının eli hareket ederken parmakların hızlı ve ince hareketlerini algılayabilsede, vizyon tabanlı bir sistem, parmak hareketinin tipini genel olarak algılar. Yine, görmeye dayalı cihazlar, bir hareketi analiz etmek için doku ve renk gibi özellikleri işlerken, izleme cihazları da yapamaz (Mitra & Acharya, 2007). Ayrıca vizyon temelli teknikler kullanılan çeşitli algoritmalar kimi zaman gerçek zamanlı uygulamalar için yavaş kalırken kimi zamanda arkaplan ayırmada yetersiz kalmaktadırlar (Fang ve ark, 2007).

Vizyon tabanlı sistemlerin fiziksel etkilere karşı bağımsızlığı daha zayıftır. Sistemin kararlı çalışabilmesi için kullanıcının algılayıcı önünde doğru pozisyonda bulunması ve yeterli ışık altında el hareketlerini yapması gerekmektedir. Bu da kullanımı zorlaştırdığı gibi çeşitli kısıtlamalar da getirmektedir.

El hareketlerini tanıma, otomobillerde temassız arayüzler tasarlamak için önemlidir. Bu arayüzler sürücülerin ses ve klima gibi diğer kontrollerle etkileşime girerken sürüşe odaklanmalarını sağlar ve böylece sürücülerin güvenliğini ve konforunu artırır. 3D evrişimli sinir ağları ile dinamik el hareketi tanıma etkili bir yöntemdir ve %77.5 sınıflandırma başarısına ulaşabilmiştir (Molchanov ve ark, 2015).

Dinamik el hareketi tanıma, örüntü tanıma ve bilgisayar görme topluluklarında çok önemli ama zorlayıcı bir görevdir. Wei ve arkadaşları, dinamik el hareketlerini temsil etmek için uygun olan ve sadece bir Leap Motion kontrol cihazı (LMC) ile dinamik el hareketlerini tanımak için yeni bir özellik vektörü önermişlerdir. Tanıma doğruluğu LeapMotion-Gesture 3D veri kümesi için %89,5 ve el hareketleri veri kümesi için %95,0 oranları elde edilmiştir (Lu ve ark, 2016).

Cheng ve arkadaşlarının Kinect, Leap motion ve ToF sensörlerin başarısını inceledikleri makalelerinde leap motion sensörlerinin Kinect'e göre çözünürlük, doğruluk, mesafe gibi başlıklarda öne geçtiği raporlanmıştır. Kinect sensörler daha çok bedene odaklanmışken leap motion sensörler ise el hareketlerine odaklanmaktadır. Aynı çalışmada statik el duruşu tanıma ile ilgili olarak, ToF sensörlerinin elin yönüne, büyüklüğüne ve karmaşık arka planlarına göre oldukça verimli ve sağlam olduğu bildirilmiştir. Mesafe ölçüm görevi için doğruluğu ve sağlamlığı nedeniyle işaret dili tanıma gibi çalışmalarda da etkin olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Cheng ve ark, 2015).

Fang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada video tabanlı el hareketleri tespit ve izleme sistemi gerçekleştirmişlerdir. Video tabanlı çalışmalarda arka plan problemine dikkat çekmişlerdir. El tanıma ve izlemede optik akış ve renk işaretleme metodlarını kullanmışlardır. Kullandıkları çoklu algoritmalar ile 6 adet el hareketini başarılı bir şekilde tanımlamışlardır (Fang ve ark, 2007).

Kurakin ve arkadaşları derinlik kamerası kullanarak yaptıkları çalışmada 12 adet Amerikan işaret dili (ASL) hareketinden oluşan bir veri seti oluşturmuşlardır. Önerdikleri Saklı Markov Modeli (HMM) başarı oranında diğer çalışmalara benzerlik göstermekle birlikte daha az eğitim verisine ihtiyaç duymaktadır (Kurakin ve ark, 2012).

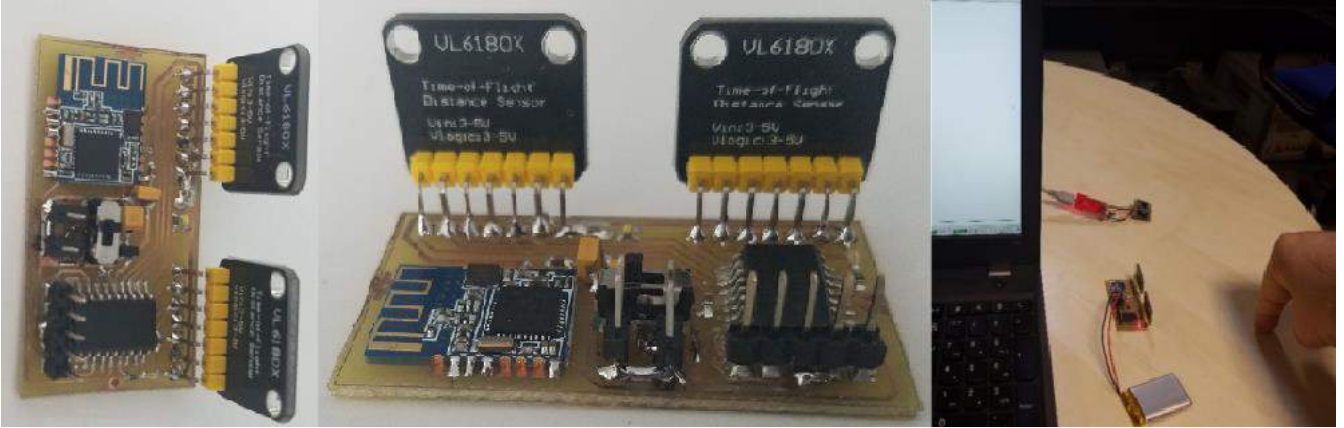
Gerçekleştirdiğimiz çalışmada kullanıcı konforunu düşüren eldiven tabanlı veya çeşitli hız ve arkaplan algılama problemleri oluşan ve bunları aşmak için daha kompleks algoritmalar kullanım gereği olan video tabanlı sistemler yerine ToF sensörleri temel alan bir sistem gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde isteğe bağlı belirlenen hareketler algılanarak bilgisayar başta olmak üzere sayısal sistemlere kontrol işareti üretmektedir. Çalışmamızda donanım modülü kompakt ve düşük maliyetli olacak şekilde seçilmiştir. Gerçek zamanlı çalışmalarda hızlı ve etkin şekilde cevap verebilmektedir.

Sadece iki adet ToF sensör ile birkaç tane el hareketi çok rahat algılanabilmek ile birlikte bu durum maliyet, güç tüketimi ve donanımın kapladığı yer açısından diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır. Özellikle küçük boyutlara ve düşük güç tüketimine sahip olması, giyilebilir cihazlar için kritik önem arz etmektedir. Kablosuz çalışan giyilebilir cihazların bir diğer avantajı da kullanıcının kamera önünde ya da belirli bir bölge içinde bulunma zorunluluğu almaksızın serbestçe hareket edebilmesine imkân sağlamasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Donanım

El hareketi tanıma sistemi donanım bileşenleri, ToF sensör, bluetooth modül, mikrodenetleyici ve güç katından oluşmakta olup Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. El hareketi tanıma sistemi donanımı

2.1.1. VL6180 Modül

VL6180 modülü yaklaşım dedektörü ve ortam ışık şiddetinin ölçümü amacıyla tasarlanmış bir sensördür. Üzerinde infrared alıcı verici ve ortam ışığının parlaklığını ölçen yapıyı barındırmaktadır. Bu çalışmada sensörün kullanım amacı yaklaşım sensörü özelliğidir. Sensör 1mm hassasiyetle yaklaşık 20cm mesafeye kadar ölçüm yapabilmektedir.

2.1.2. Bluetooth Modül

HM-11, Bluetooth modül BLE 4.0 protokolü ile çalışmaktadır. Üzerinde TI CC2541 bluetooth entegresi bulunmaktadır. BLE Modül ön tanımlı olarak 9600bps hızında, 8 bit data modunda, eşlik biti olmadan ve 1 bit durma biti ile (8,N,1 modunda) TTL seviyede üniversal asenkron seri (UART) data haberleşmesi üzerinden AT komutları ile kontrol edilebilen bir bluetooth modülüdür.

2.1.3. Mikrodenetleyici

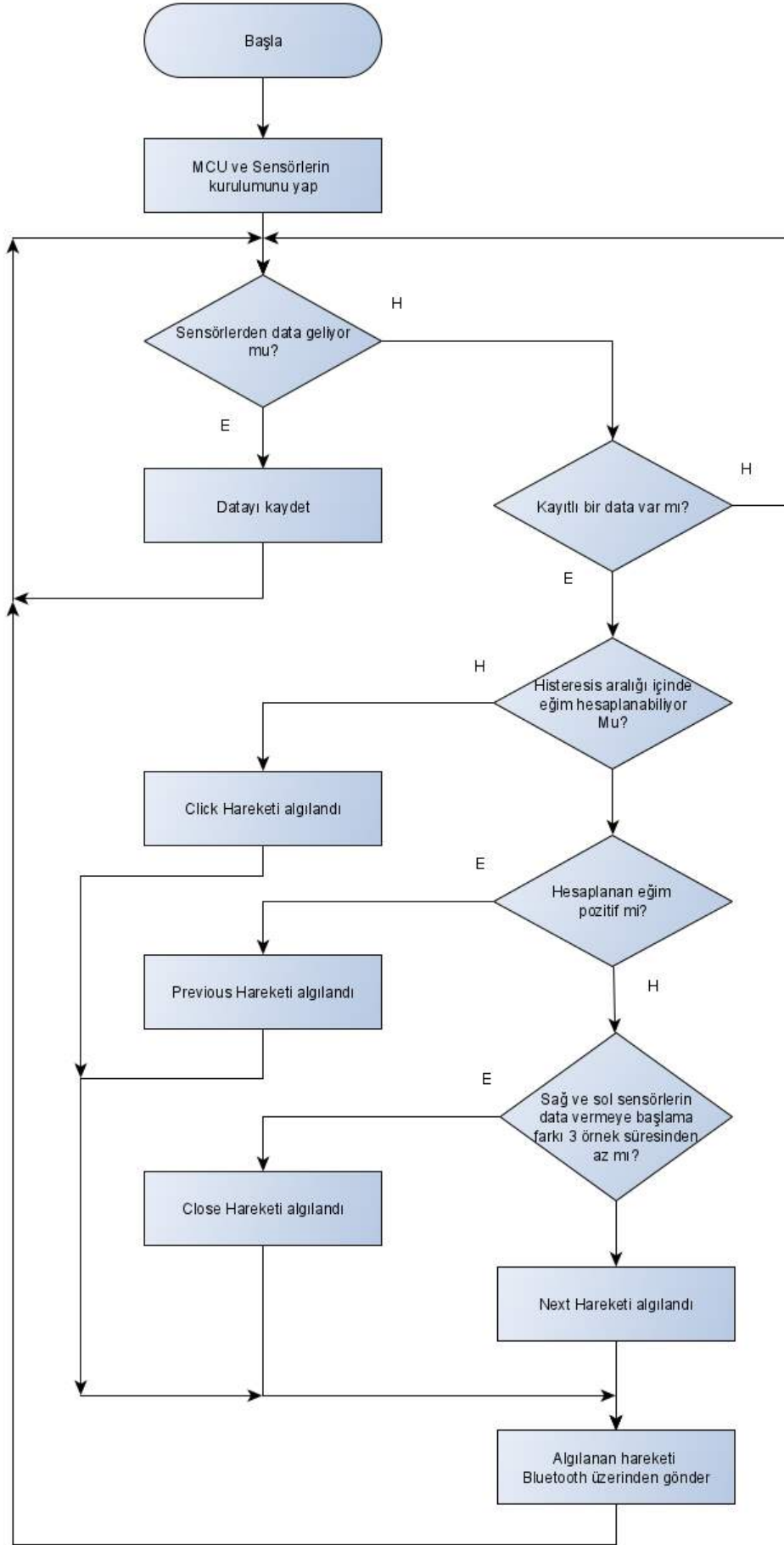
Microchip PIC serisindeki PIC16F1829 mikrodenetleyicisi 20 pinli MCU’ları arasında en yüksek ram ve flash hafızaya sahip MCU’lardan birisidir. Bu MCU ekstrem düşük güçlü (XLP serisi) bir MCU olduğu ve kapasite olarak yeterli olduğu için projede tercih edilmiştir. MCU, maksimum çalışabildiği frekans olan 32Mhz hızında çalışmakta olup Bluetooth modül için UART donanımı ve ToF sensörler için de I2C arabirimleri kullanılmıştır.

2.1.4. Güç Katı

Bu çalışma için gerçekleştirilen devre, li-ion pil veya usb voltajı ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu da değişken voltaj aralığının olması sebebiyle bir voltaj regülatörü kullanma ihtiyacı doğurmuştur. Kısıtlı pcb alanı olduğundan ve maliyetleri düşürme maksadıyla basit bir lineer regülatör kullanılmıştır. Bluetooth modülün tipik çalışma voltajı 3.2V olduğu ve diğer bütün komponentler (PIC ve ToF modülleri) bu voltajda çalışabildiği için devrenin çalışma voltajı 3.2V olarak seçilmiştir. Tek hücreli li-ion piller boşken 3.6V’a kadar inebilmektedir. Dolayısıyla bu durumda regülatörün giriş ve çıkış voltajı arasındaki en küçük fark 400mV ‘lara kadar düşeceği için LDO özellikli bir lineer regülatör kullanmak regülasyonun kalitesi açısından önem arz etmektedir. Bu özelliği ile birlikte çalışabilmek için az kompanete ihtiyacı duyması, yeterli akımı verebilmesi ve boyutunun küçük (Sot-23 kılıf) olması sebebiyle MCP1700 LDO regülatörü devrede kullanılmak üzere seçilmiştir. MCP1700-3.3 Versiyon maksimum 6V’a kadar giriş kabul eder ve çıkışını 3v3 değerinde sabitler. Ayrıca oldukça düşük bir çalışma akımına sahiptir. Maksimum çıkış akımı ise 250mA’ya kadar çıkabilmektedir. Devremiz sürekli çalışma halinde ortalama 100mA civarı bir akım harcadığı için bu regülatör rahatlıkla işimizi görecektir.

2.2. Yazılım

Bu çalışma için oluşturduğumuz yazılımın akış şeması Şekil 2’de verilmiştir. MCU ve çevrebirimlerinin kurulum işlemi yapıldıktan sonra yazılım sensörlerden veri bekler. Sensörlerden okunan ilk data ile birlikte yazılım datayı 10mS aralıklarla 512 baytlık bir diziye kaydeder. Bu kayıt işlemi dizi boyutu dolana ya da sensörler veri vermeyi bırakana kadar devam eder. Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra veri analiz kısmı başlar. Analiz sonucu BLE modül üzerinden gönderilerek yazılım tekrar başa döner ve yeni bir ölçüm için sensörlerden data bekleme devam eder. Analiz ile ilgili kısımların detayları ilerleyen kısımlarda anlatılacaktır.

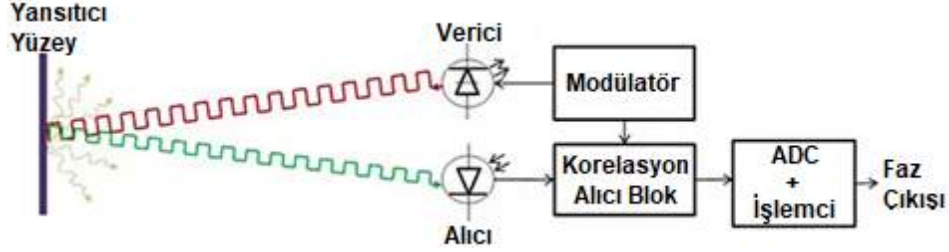


Şekil 2. Oluşturulan programın akış diagramı

2.3. Metot

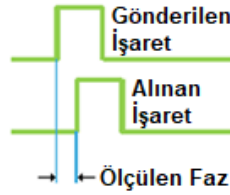
2.3.1. Uçuş Süresi Tekniği Prensihi

Şekil 3’de görüldüğü gibi, ToF kameralar ışık palsleri gönderme esasına göre çalışmaktadır. Bu palsler ile sensörün verici ledinden çok kısa süreli ışık darbeleri çıkar. Bu ışık darbeleri karşıdaki nesneden yansyarak infrared alıcı detektöre ulaşır.



Şekil 3. ToF sensör algılama prensibi

Aradaki mesafeye göre ışık darbelerinin detektöre ulaşmasında bir gecikme oluşmaktadır. Bu durum iki sinyal arasında faz farkı meydana getirmektedir. Bu faz farkı Şekil 4’de görüldüğü gibi oluşmaktadır. Gönderilen ışık palsi ile gelen ışık palsi arasında oluşan faz farkına göre mesafe hesaplanabilmektedir.



Şekil 4. Gönderilen ve alınan dalga arasında oluşan faz farkı

Gönderilen ışık palsi ile gelen ışık palsi arasında oluşan faz farkına göre denklem 1 ile mesafe hesaplanmaktadır.

$$d = \frac{t_p}{2} c \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

d: ölçülen mesafe,

t_p , foton seyahat süresi,

c, ışık hızını

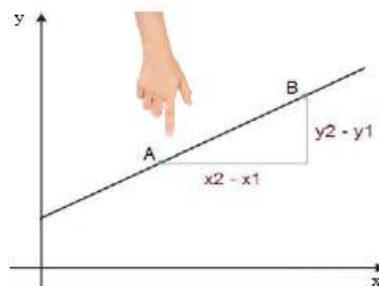
ifade etmektedir.

2.3.2. El Hareketi Algılama Sistemi Prensihi

Gerçekleştirilen sistem sırasıyla, Kurulum, veri yakalama ve depolama, elde edilen verilerin özelliklerinin çıkarılması ve analiz edilmesi, verilen kararların bluetooth üzerinden bir başka aygıtta gönderilmesi aşamalarına göre işlemektedir.

Algılamada kullanılan ToF sensörleri 2 tanedir. Bu sayede x ve y eksenini olmak üzere iki boyutlu bir alan elde edilmektedir. Bu sayede 2D tarama alanına giren önceden tanımlı belirli el hareketlerinin tespiti ve sınıflandırması yapılabilmektedir.

Çalışmamızda el hareketlerine bağlı olarak x ve y eksenini oluşturacak şekilde diziler oluşturulmuştur. Özellik çıkartımı bu verilerden yola çıkılarak yapılmıştır. Bu özellikler el hareketlerini ayırtırmakta kullanılmıştır. Şekil 5’de görüldüğü gibi x eksenini örnek sayısını ve y eksenini ise parmağın sensörden uzaklaşma ve yaklaşma miktarını göstermektedir.



Şekil 5. Veri toplama prensip şeması

Her 20mS’de bir sensörlerden veri okunmakta ve kaydedilmektedir. Kaydedilen x ve y verilerinden Denklem 2 kullanılarak eğim bulunmakta, ardışık iki kayıt arasındaki eğim parmağın hareketini tanımlamakta kullanılmaktadır.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

- y₂: parmak hareketinin düşeyde ulaştığı son nokta,
- y₁: parmak hareketinin düşeyde başladığı ilk nokta,
- x₂: parmak hareketinin yatayda ulaştığı son nokta,
- x₁: parmak hareketinin yatayda başladığı ilk noktayı ifade etmektedir.

Çalışmamızda Sensörden uzaklaşmanın olduğu *ileri gitme* ve *kapatma* gibi hareketlerde eğim negatif çıkarken sensöre yaklaşmanın olduğu hareketlerde eğim pozitif çıkmaktadır. Yani sadece iki nokta arasındaki değişimin yönüne bakarak *geri gitme* hareketi tanımlanabilmektedir. Ancak kararlı ve güvenli bir çalışma için bundan daha fazlasına bakmak gerekmektedir. Çünkü *seçme hareketi* yanıltıcı olabilmektedir. *Seçme hareketinde* parmak sensör bölgesine indirilip kaldırılır. Bu esnada biraz açılı bir hareket yapılırsa eğim pozitif de negatif de olabilmektedir. Bunu önlemek için bir takım güvenlik önlemleri alınmıştır.

Bunlardan en önemlisi; ayrıık zamanlı ölçümlerdeki her bir noktasal değişimin işleme sokulması için bu değişimin mutlak değerinin 10’ dan büyük olma koşulu koyulmuştur. Yani 10mm’den küçük yer değiştirmeler sensör yanılıgısı veya *seçme hareketini* yaparken ki parmak açısı olabilir olarak kabul edilmiştir. Bu değer Debug modundaki test ölçümlerinin incelenmesi ile bulunmuş bir değerdir.

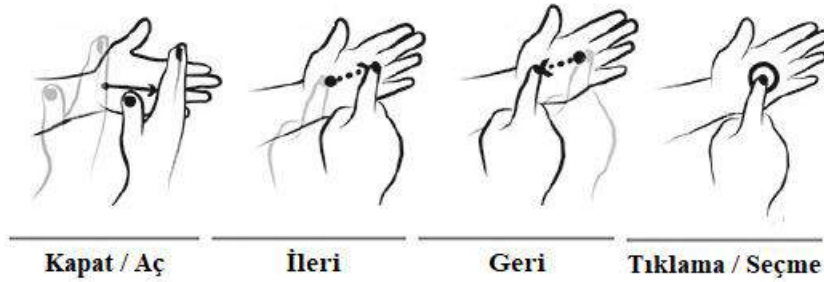
Geri gitme hareketini tanımlamak için ardışık iki ölçüm arasındaki yer değiştirme 10mm’den büyük olan noktaların eğimlerine bakılmakta en az 2 veya daha fazla pozitif eğimli noktanın varlığında bundan daha az sayıda negatif eğimli nokta varsa hareket yönü *geri gitme* olarak belirlenmektedir.

İleri gitme ve *kapatma* hareketlerinde ise bu yazılan koşulların eğimlerinin tam tersi olduğu durumlar geçerlidir. *Kapatma hareketini ileri gitme* hareketinden ayıran durum ise *kapatmada* hareket başlangıcında iki sensör birden kapatılırken *ileri gitme* de başlangıçta sensörlerden biri kapatılarak başlanmaktadır. Bu ayrıma bakılarak hareketin hangisi olduğuna karar verilmektedir. Bu üç harekete de uymayan bir hareketlilik tespit edildiğinde ise bu hareket *seçme hareketi* olarak değerlendirilmektedir.

Bir önceki fazda tespit edilen işaretin tanımlı komut değeri seri port üzerinden bluetooth vasıtasıyla bağlı bulunulan diğer BLE4.0 aygıtına gönderilerek süreç tamamlanmakta ve döngünün başına dönülmektedir.

2.4. Hareketlerin Tanımı ve Sensörlerin Yerleşimi

Şekil 6’da soldan sağa doğru sırasıyla *Kapatma/Açma*, *İleri gitme*, *Geri gitme* ve *Seçme hareketi* olarak tanımlanan hareketlerin temsilli görselleri bulunmaktadır (CHI '16, 3944--3955).



Şekil – 6 üzerinde çalışma yapılan 4 temel jest hareketi

Kapatma / Açma hareketi sol el avuç içi yukarı bakacak şekilde konumlandırıldıktan sonra sağ elin sol eli şeklindeki gibi dik keserek ok yönünde sürülmesi ile yapılan harekettir. Sağ elin parmakları birleşik ve düz konumda olmalıdır.

İleri ve geri gitme hareketleri sol el avuç içi yukarı bakacak şekilde konumlandırıldıktan sonra sağ elin işaret parmağının şekildeki gibi ok yönünde sürülmesi ile yapılan harekettir. İleri giderken sağ elin hareket yönü parmak uçlarına doğru olurken geri gelme hareketinde ise tam tersi yöndedir.

Tıklama / Seçme hareketleri sol el avuç içi yukarı bakacak şekilde konumlandırıldıktan sonra sağ elin işaret parmağının şekildeki gibi sol elin avuç içi bölgesine yukarıdan dik olarak indirilip kaldırılması ile elde edilen harekettir. Bir sefer indirilip kaldırıldığında tek tıklama, ardışık olarak belli bir süre içerisinde iki sefer indirilip kaldırıldığında çift tıklama olarak yorum yapılabilir. Böylece her bir hareket için farklı fonksiyon atamaları yapmak mümkün olmaktadır.

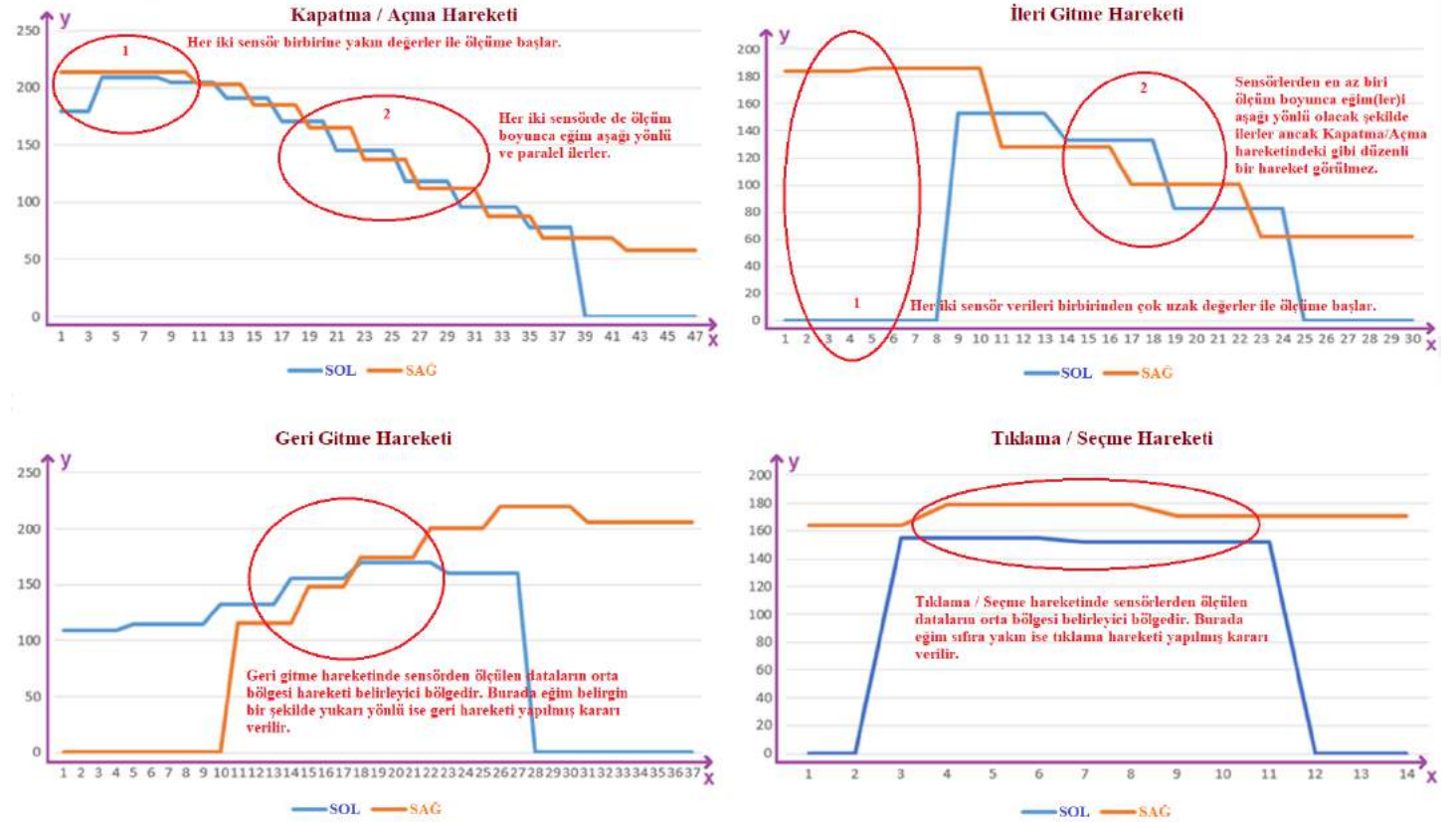
Devre bilek altına gelecek şekilde bir bileklik şeklinde sol el bileğine takılabilir. Sensörlerin sol elin avuç içini tarayacak şekilde konumlandırılması önemlidir. Böylece sol elin üzerinde hareket ettirilen sağ elin hareketleri net bir şekilde takip edilebilecektir. Kullanıcı kendi isteğine göre sol ve sağ el kullanımını yer değiştirebilir.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Sonuçlar

Hareketlerin sinyal grafikleri:

Şekil 7’de sağ ve sol sensörlerden 10mS aralıklarla örneklenen 4 adet jeste ait veri setinin grafikleri görülmektedir. Bu grafikler hareket esnasında doğrudan sensörlerden alınan örneklerin BLE modül üzerinden bilgisayara aktarılması ile elde edilmiştir. Hareket sinyallerinin analizinde temel olarak iki tane kritik bölge vardır. İlki ölçüme başlanan zaman dilimini kapsar. Bu bölge Şekil 7’de *kapatma ve ileri gitme* hareketleri için 1 nolu bölge olarak gösterilmiştir. İkincisi ise Jest verilerinin orta bölgesidir. Şekil 7’deki *kapatma ve ileri gitme* hareketleri için belirtilen 2 nolu bölge ile *geri gitme ve seçme* hareketlerindeki daire içine alınan bölgeler ise orta bölge alanını tanımlamaktadır. *Geri gitme ve seçme* hareketlerinde sadece orta bölgedeki verileri incelemek yeterlidir çünkü eğimi yukarı yönlü veya sıfır olan başka Jest sisteme tanıtılmamıştır. Bu da karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. *Kapatma hareketi* ile *ileri gitme hareketini* birbirinden ayıran en temel özellik 1 numara ile gösterilen başlangıç bölgesidir. *Kapatma hareketinde* her iki sensör verisi de birbirine çok yakın değerler ile başlarken *İleri gitme hareketinde* sensörlerden toplanan (en az) ilk üç örneğin birbirine çok uzak değerler ihtiva ettiği görülmüştür. Bununla birlikte 2 numara ile gösterilen orta bölgede *Kapatma hareketindeki* aşağı yönlü eğim içeren paralellik her iki sensörde de yakın değerlerde seyrederken *ileri gitme hareketinde* bu bölge de sensörlerden herhangi birinde aşağı yönlü eğim görmek bu hareketi anlamak için yeterli olmaktadır.



Şekil – 7 El hareketlerinden alınan sensör verileri

Sensörlerden toplanan veriler analiz edilmeden önce MCU içerisinde 512 baytlık bir diziyeye kaydedilir. Kayıt işlemi, takip edilecek elin sensörün taradığı bölgeye girmesi ile başlatılır ve parmağın çekilmesi ya da hareketin 5 saniyeden uzun sürmesi durumunda dizinin dolması ile bitirilir. Dolayısıyla tüm jestler en fazla 5 saniye içinde tamamlanacak şekilde seçilmiştir. Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra özellik çıkarma işlemine başlanır ve tanımlanan 4 adet jeste ait belirgin özellikler kayıt alınan veriler içinde yukarıda bahsedilen yöntemler doğrultusunda analiz edilir.

3.2. Tartışma

Tanımlanacak jest sayısı artırılması istenilen durumda daha çok belirleyici özellik çıkartmak ve daha derin analizler yapmak gerekecektir. Sensör verilerine ortamdan kaynaklanan sebeplerden dolayı gürültü karışma durumu olursa örnekleme periyodunu düşürüp birim zamanda daha çok veri toplayarak bunların ortalaması sonucunda işlem yapmak daha doğru sonuçlar üretecektir. Ortalama sonucunu daha kararlı hale getirmek için birim zamanda toplanan veri gurubu içindeki en büyük ve en küçük veriyi ortalama dışında bırakmak daha kararlı sonuçlar verebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada el hareketlerine göre komut oluşturan gerçek zamanlı olarak çalışan bir sistem gerçekleştirilmiştir. Maliyet ve kurulum kolaylığı gibi avantajlarından dolayı el hareketlerini algılamak için ToF sensörleri tercih edilmiş olup hata riskini en aza indirmek için iki adet optik sensörle net olarak algılanabilecek basitlikteki el hareketleri seçilmiştir. Bu sayede düşük maliyet ve yüksek kararlılık ile sistem çalıştırılabilmektedir. Yapılan denemelerde el pozisyonu ve sensör yerleşimi doğru konumlandırıldığı takdirde ortalama olarak %87 'nin üzerinde doğru çalışma oranı kaydedilmiştir. İki adet ToF sensörün kullanılmasıyla birlikte sensörlerin taradığı yüzey üzerinde 10cm x 20cm 'lik tarama alanı oluşturulmuştur.

Yazılım kısmında oluşturulan kural tabanı ile farklı el hareketleri sınıflandırılmıştır. El hareketlerinin karıştırılmaması ve yanlış algılamaya meydan verilmemesi için eksen dizileri oluşturulmuştur. Eksen dizilerinden elde edilen veriler ile eğim ve mesafe algılama ve sınır değer belirleme işlemleri yapılmıştır. Sınıflandırılan el hareketlerinden uygulamada sıklıkla kullanılan *Kapatma/Açma*, *İleri gitme*, *Geri gitme* ve *Seçme* komutları üretilmiştir. Yazılım için yeterli ram ve flash hafızaya sahip küçük boyutlu MCU birimi kullanılmıştır. Kontrol edilecek cihaza erişim bluetooth modül ile sağlanmıştır. Tanımlı jest sayısı artırılmak ya da kişisel jest tanımlaması yapılmak istendiğinde kararlılığı artırmak için bulanık mantık algoritmalarını kullanmak daha başarılı sonuçlar sağlayabilir.

Sensör sayısı artırılarak çözünürlüğün artması ve daha çok jestin algılanabilmesini mümkündür. Çok sayıda sensör kullanılmak istendiğinde fiziksel sınırların zorlayıcı olduğu yerlerde ToF sensörü yerine üzerinde mikron seviyesinde yüzlerce foton algılayıcı barındıran lineer imaj sensörleri özellikle maliyet baskısının önemli olmadığı çalışmalarda tercih edilebilir. Genellikle barkod okuyucularda da kullanılan bu sensörler yakın mesafede yüksek çözünürlüklü görüntü aldığından jestlerin algılanmasında iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Liner görüntü sensör dizilerinin IR duyarlı algılayıcı hücrelere sahip olan modellerinin tercih edilmesi özellikle gün ışığının yoğun olduğu ortamlarda sağlıklı bir çalışma yapılabilmesi açısından faydalı olacaktır. Zira ToF sensörleri IR tabanlı çalıştığı için görünür ortam ışığına karşı bağımsızlığa sahiptir.

Referanslar

- Pigou, L., Van Den Oord, A., Dieleman, S., Van Herreweghe, M., & Dambre, J. (2018). Beyond temporal pooling: Recurrence and temporal convolutions for gesture recognition in video. *International Journal of Computer Vision*, 126(2-4), 430-439.
- Rautaray, S. S., & Agrawal, A. (2015). Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. *Artificial intelligence review*, 43(1), 1-54.
- Baspinar, U., Varol, H. S., & Yildiz, K. (2012, July). Classification of hand movements by using artificial neural network. In *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* (pp. 1-4). IEEE.
- Cheng, H., Yang, L., & Liu, Z. (2015). Survey on 3D hand gesture recognition. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, 26(9), 1659-1673.
- Mitra, S., & Acharya, T. (2007). Gesture recognition: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(3), 311-324.
- Fang, Y., Wang, K., Cheng, J., & Lu, H. (2007, July). A real-time hand gesture recognition method. In *2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo* (pp. 995-998). IEEE.
- Molchanov, P., Gupta, S., Kim, K., & Kautz, J. (2015). Hand gesture recognition with 3D convolutional neural networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 1-7).
- Lu, W., Tong, Z., & Chu, J. (2016). Dynamic hand gesture recognition with leap motion controller. *IEEE Signal Processing Letters*, 23(9), 1188-1192.
- Kurakin, A., Zhang, Z., & Liu, Z. (2012, August). A real time system for dynamic hand gesture recognition with a depth sensor. In *2012 Proceedings of the 20th European signal processing conference (EUSIPCO)* (pp. 1975-1979). IEEE.
- Oğuz Turan Buruk and Oğuzhan Özcan. GestAnalytics: Experiment and Analysis Tool for Gesture-Elicitation Studies. *Proc. DIS '17 Companion*.
- Mert Canat, Mustafa Ozan Tezcan, Celalettin Yurdakul, Eran Tiza, Buğra Can Sefercik, Idil Bostan, Oğuz Turan Buruk, Tilbe Göksun, and Oğuzhan Özcan. 2016. Sensation: Measuring the Effects of a Human-to-Human Social Touch Based Controller on the Player Experience. *Proc. CHI '16*, 3944--3955.



Yakın Histogramlar Temelli Yeni Bir Hibrit Veri Gizleme Yöntemi

Harun Kurnaz¹, Mehmet Zeki Konyar^{2*}, Adnan Sondaş³

¹Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği A.B.D., Kocaeli, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8914-5553)

³Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4559-3463)

(İlk Geliş Tarihi 1 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 19 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.695672)

ATIF/REFERENCE: Kurnaz, H., Konyar, M. Z. & Sondaş, A. (2020). Yakın Histogramlar Temelli Yeni Bir Hibrit Veri Gizleme Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 683-694

Öz

Sayısallaşan dünyada veri aktarım hızlarının artması, iletişim yöntemlerinin çeşitlenmesi gibi özellikler sonucunda bilgi gizleme çalışmalarının önemi artmıştır. Gizli bilginin üçüncü şahıslar tarafından algılanamaması, sadece istenen kişilerin ilgili gizli veriyi ortaya çıkarabilmesi bu çalışmalarda temel amaçtır. Gizlenen veri kapasitesinin artırmak, örtü görüntüsündeki değişimi azaltmak ve gizli verinin tespitini zorlaştırmak veri gizleme (steganografi) uygulamalarındaki en önemli hedeflerdir. Histogram, sayısal bir resmin renklerinin hangi tonlarda olduğunu gösteren bir dağılım grafiğidir. Verinin gizlenmesi farklı ortamlar üzerinde sıklıkla yapılmakta ve bu alanda ki çalışmalar oldukça ilgi görmektedir. Önerilen yöntem, histogram dağılımını kullanarak veri gizleme yapılacak piksel değerlerini tespit etmektedir. Veri üzerindeki değişimi minimize ederek histogram değerlerinin korunması sağlanmıştır. Önerilen yöntemde veri gizleme için kullanılacak görüntünün histogram dağılımındaki tepe noktası tespit edilmektedir. Tepe noktasının tek veya çift olmasına göre veri gizleme için kullanılacak komşu değer çiftleri belirlenmektedir. Görüntü taranarak ilgili piksel çiftlerine gizleme yapılmaktadır. Önerilen çalışmada kapasite ve dayanıklılık artırılarak görüntü üzerindeki değişikliğin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla gizleme kapasitesinin daha fazla olması istendiğinde görüntüdeki kırmızı, mavi ve yeşil renk kanallarının tamamı kullanılabilir. Veri gizleme işlemi sonucunda histogram dağılımının çok fazla değişmemesi oldukça önemlidir. Önerilen yöntem ile yapılan veri gizlemede elde edilen taşıyıcı (stego) görüntünün görsel kalitesi oldukça yüksektir. Görsel kalitenin bu kadar iyi olmasının en önemli sebebi geliştirilen yaklaşımdan kaynaklanmaktadır. Daha önceki histogram tabanlı yöntemlerde tepe noktasının etrafını boşaltmak için histogramda tepe değeri hariç tüm pikseller ötelenmektedir. Diğer bir deyişle geçmiş histogram temelli yöntemlerde bir harf bile gizlemek istendiğinde histogram da bir boşluk açılması ve tüm piksellere müdahale edilmesi gerekmektedir. Oysaki önerilen yöntemde herhangi bir öteleme ihtiyacı duyulmadığı için stego görüntülerin görsel kalitesi büyük oranda korunmaktadır. Önerilen yöntem görsel kalite, gizli mesajın çıkartımı, kapasite, görünmezlik ve dayanıklılık açısından, literatürdeki benzer çalışmalara göre üstünlük sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit yöntem, Histogram, LSB, Stego Görüntü, Veri Gizleme.

A New Hybrid Data Hiding Method Based on Near Histograms

Abstract

As a result of features such as increased data transfer rates and diversification of communication methods in the digital world, the importance of data hiding has increased. The main purpose in data hiding studies is that the secret information could not be detected by third parties, only the desired people can extract secret data. The most important goals in steganography applications are increasing the hidden data capacity, reducing the change in the cover image and making it difficult to detect hidden data. The histogram is a distribution that showing the shades of a digital image. Data hiding is often done on different cover media datas, and studies in this area attract much attention. The proposed method determines the pixel values by histogram distribution to hide data. Histogram values were preserved by minimizing the change in the cover data. In the proposed method, the peak value is determined in the histogram distribution of the

* Sorumlu Yazar: Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8914-5553)
mzeki.konyar@kocaeli.edu.tr

image to be used for data hiding. Depending on whether the peak value is odd or even, adjacent pairs of values are determined for data hiding. The image is scanned and data hiding is done to the respective pixel pairs. In the proposed study, it is aimed to minimize the change in the image by increasing the capacity and durability. For this purpose, when it is desired to increase the hiding capacity, all the red, blue and green color channels in the image can be used. It is very important that the histogram distribution does not change much after data hiding. The visual quality of the carrier (stego) image obtained by hiding data with the proposed method is quite high. The most important reason why the visual quality is so good is because of the developed method. Previous histogram-based methods open a space around the peak value of the histogram by shifting all pixels except the peak. In other words, when it is desired to hide even a letter in previous histogram-based methods, a gap must be opened in the histogram and all pixels must be intervened. However, since no shifting is required in the proposed method, the visual quality of stego images is largely preserved. The proposed method provides superiority over similar studies in the literature in terms of visual quality, secret message extraction, capacity, invisibility and durability.

Keywords: Data Hiding, Histogram, Hybrid method, LSB, Stego Image.

1. Giriş

Steganografi ya da gizli yazı, bir görünmez haberleşme yöntemidir. Veri gizlemede, gizli mesajın ekleneceği bir taşıyıcı nesneye (ortam/medya) ihtiyaç duyulmaktadır. Taşıyıcı nesne verinin gizleneceği dosyadır ve örtü (cover) nesnesi olarak isimlendirilir. Örtü nesnesine gizlenecek olan veri (gözü verisi) metin, görüntü ya da ses dosyası olabilir. Örtü nesnesi içine veri gömüldükten sonra elde edilen yeni taşıyıcı nesne ise stego nesnesi (örtülü nesne) olarak adlandırılmaktadır (Patel & Gadhiya, 2015; Konyar vd., 2018).

Günümüzde sayısal verinin çeşitlenmesiyle birlikte gizleme işlemi için görüntü ve grafik dosyalarının yanı sıra, IP paketleri, exe uygulamaları, html ve xml dosyaları, videolar gibi birçok farklı yapı tercih edilmektedir. Günümüzde, medya dosyaları (video, ses) büyük boyutları ve yüksek oranda bilgi içermeleri nedeniyle en sık tercih edilen saklama alanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Steganografik tekniklerin başarılı olabilmesi için üç önemli gereksinimi sağlaması gerekmektedir. Bunlar; gizli haberleşmenin güvenliği, veri gizleme kapasitesi ve kasıtlı veya kasıtsız olarak yapılan saldırılara karşı dayanıklılık olarak sıralanabilir. Yapılan çalışmalarda, daha fazla veri gizleme kapasitesine sahip olan, taşıyıcı görüntü de daha az değişim oluşturan ve görsel ataklara karşı dayanıklı bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Yalman vd, 2014; Kurnaz & Sondaş, 2018).

Görüntüye veri gizlemek için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Görüntünün renk (RGB) kanallarına ağırlık tabanlı (Chrysochos vd., 2007) veya RGB kanalları rastgele değiştirilerek (Gutup vd., 2008) veri gizlenmektedir. Histogram değerlerini kullanan diğer bir çalışmada (Ni vd., 2006), histogram bilgisinin dairesel bir çevrimde dizilimi esas olarak veri gizleme yapmaktadır. Bu çalışmada görüntü histogramının en yüksek frekanslı değeri boşaltılmakta ve boşaltılan bu bölgeye gizli bilgiyi içeren yeni veriler eklenmektedir. Alıcı tarafta gizli veri çıkartıldıktan sonra histogram eski haline getiren tersinir bir yöntem önerilmektedir. Meiamai vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada, görüntüyü oluşturan renk bileşenlerinin histogram değerleri ayrı ayrı oluşturularak bileşenler üzerine veri gizleme işlemi yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde piksel kanalındaki pikseller için ortalama hesaplanarak en az önemli bit (LSB) kullanılarak gizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. LSB kullanan diğer bir çalışmada (Mohammed vd., 2015) orijinal örtü görüntüsünün ve stego görüntüsünün histogramları arasındaki farkları en aza indirmek için görüntüdeki her bir renk değerinin frekansına zıt değişiklikler yaparak renklerin değişmeden korunmasını sağlayan yöntem önerilmektedir.

Histogram değişikliğiyle kayıpsız bir veri gizleme öneren Xuan vd., (2007) oluşturulan algoritma ile belli aralıktaki histogram parlaklık değerlerini algoritmanın çalıştırılmasında kullanmışlardır. Görüntüdeki parlaklık değerinin histogramının tekrarlanma sayısına (frekansına) göre veri gizleyen bir yöntem de mevcuttur (Yalman & Ertürk, 2009). Oradaki yöntemde görüntü histogramı oluşturularak parlaklık değer aralığı ve tekrarlanma sayıları belirlenir. Daha sonra gömülecek bit değerine göre tekrarlanma sayıları kullanılarak veri gizleme işlemi gerçekleştirilir. Chang vd, (2008) tarafından önerilen yöntemde histogram bilgisi oluşturularak, en fazla tekrar eden parlaklık değerine göre bir algoritma oluşturularak veri gizlenmektedir. Benzer biçimde farklı veri gizleme yöntemleri de histogram dağılımını kullanarak veri gizlenmektedirler (Lin & Li, 2011; Kuo vd., 2008; Hwang vd., 2006).

Veri gizlemede histogram dağılımını kullanan İslamy & Ahmad (2019) yönteminde gizli mesaj doğrudan tepe noktasına veya tepe noktasının sağındaki değere gizlenmektedir. Wu vd. (2015) çalışmasında karşıtlık düzeltme yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Önerilen çalışmada ilk olarak görüntünün histogramı çıkartılmaktadır. Görüntüdeki en yüksek iki histogram değeri alınıp, onlardan büyük olanın sağ, küçük olanın solu boşaltılır. Gizli mesaj işte bu iki histogram değerine eklenir. Bu iki değer bilgisi de resimdeki ilk piksellere eklenmektedir. Veri çıkartımı ise bu iki değere bakılarak yapılır. Kapasiteyi arttırmak için bütün bu işlemler oluşan yeni görüntüde yeniden tekrar edilir. Böylece veri gizleme yapılırken karşıtlık azaltma da yapılmış olur. Bu yöntemde hem gizleme yerlerinin alıcıya gönderilmesine ihtiyaç duyulmakta, hem de histogramda kaydırma işlemi yapılmaktadır. Chen vd. (2015) histogram kaymasından dolayı ortaya çıkan hatayı düzeltmek için bir yöntem önermişlerdir. Bu amaçla, gradyan ayarlı tahmin ve histogram kaymasına dayanarak bir yönlendirilmiş tahmin şeması tasarlanmıştır. Böylece hem gizleme kapasitesi artırılmakta hem de kaymadan dolayı oluşan hata azaltılmaktadır. Pan vd. (2015) çalışmasında varlık frekansı en fazla olan histogram değeri yerine onun sağ ve sol komşularına gizleme yapılır. Böylece anahtar bilgisi göndermeye gerek kalmamaktadır. Ayrıca düşük kapasite problemini aşmak için de örtü resmi bloklara bölünerek oradaki histogramlara bakılarak veri gizlenmektedir. Bu yöntemde kapasite artırılmış olmakla beraber yine histogramda kaydırma işlemi yapılmaktadır.

Literatürdeki mevcut histogram temelli veri gizleme yöntemlerinin büyük bir kısmı histogramda boşluk oluşturmayı önermektedirler ve tepe değerini alıcıya göndermeyi zorunlu kılmaktadırlar. Tepe değerini göndermeyen çalışmalarda ise histogramdaki

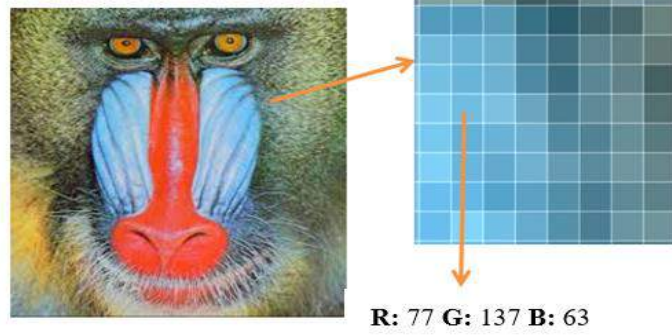
tepe değerinin sağında ve solunda boşluklar oluşturmak için resime müdahale etmek gerekmektedir. Kaydırma yapmayan ve tepe değeri gönderim ihtiyacı duymayan yöntemler de ise ya düşük kapasite problemi ya da tepe değerinin değiştirilmesi problemi öne çıkmaktadır.

Bütün bunlar göz önüne alınarak bu makalede önerilen yöntemin en önemli üstünlükleri ve literatüre katkısı değerlendirildiğinde çeşitli özellikler öne çıkmaktadır. İlk olarak önerilen yöntem, tepe noktasına müdahale etmemektedir. Ayrıca gizleme sonrası değişen piksellerin histogram değerinin tepe değerini aşması önlenmektedir. Böylece alıcıya bir tepe değeri bilgisi gönderme zorunluluğu ortadan kalmaktadır. Çalışmanın ikinci katkısı ise histogram dağılımında boşluk oluşturma ihtiyacını ortadan kaldırmaktır. Çalışmanın üçüncü katkısı ise benzer yöntemlere göre düşük kapasite problemini gidermektir. Bu amaçla tepe noktasının sağ veya sol tarafına veri gizlenmesi önerilmektedir. Ayrıca yüksek kapasite ihtiyacı için renkli görüntüdeki tüm renk kanallarının histogram dağılımları kullanılabilir. Dolayısıyla veri gizleme kapasitesi artırılmaya uygundur. Son olarak önerilen yöntem bütün bu katkıları sağlarken stego görüntünün görsel kalitesini önemli ölçüde korumaktadır. Bu özellikler göz önüne alındığında, önerilen yöntemin benzerlerine göre belirgin üstünlükleri vardır.

Sunulan çalışmanın 2. Bölümünde histogramın görüntü steganografisinde kullanımı, 3. Bölümünde önerilen komşuluk temelli hibrit yöntem anlatılmaktadır. Deneysel çalışmalar ve literatür çalışmalarıyla karşılaştırma sonuçları 4. Bölümde, steganaliz ve görünmezlik testleri ise 5. Bölümde verilmektedir. 6. Bölümde önerilen çalışmanın sonuçları verilmektedir.

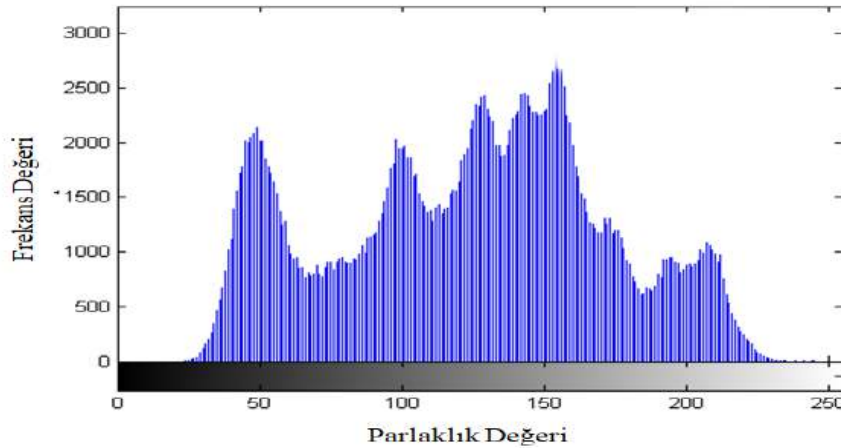
2. Görüntülerde Veri Gizlemede Histogram Kullanımı

Sayısal renkli görüntülerin en küçük üçlü nokta grubuna piksel denir. Gri seviyeli görüntülerde her piksel, 0 ile 255 arasında (8 bitlik) parlaklık seviyesi değerleri alırken, renkli görüntülerde ise her pikselin rengi Kırmızı (Red), Yeşil (Green), Mavi (Blue) olmak üzere üç ana renkten (RGB) elde edilir. Her renk değeri 0 ile 255 arasında değişen 8 bitlik değere sahiptir ve her renkli piksel değeri 24 bitten (3-Byte) meydana gelmektedir. Şekil 1’de renkli piksellerin farklı oranlarda RGB bileşiminden oluştuğu görselleştirilmiştir.



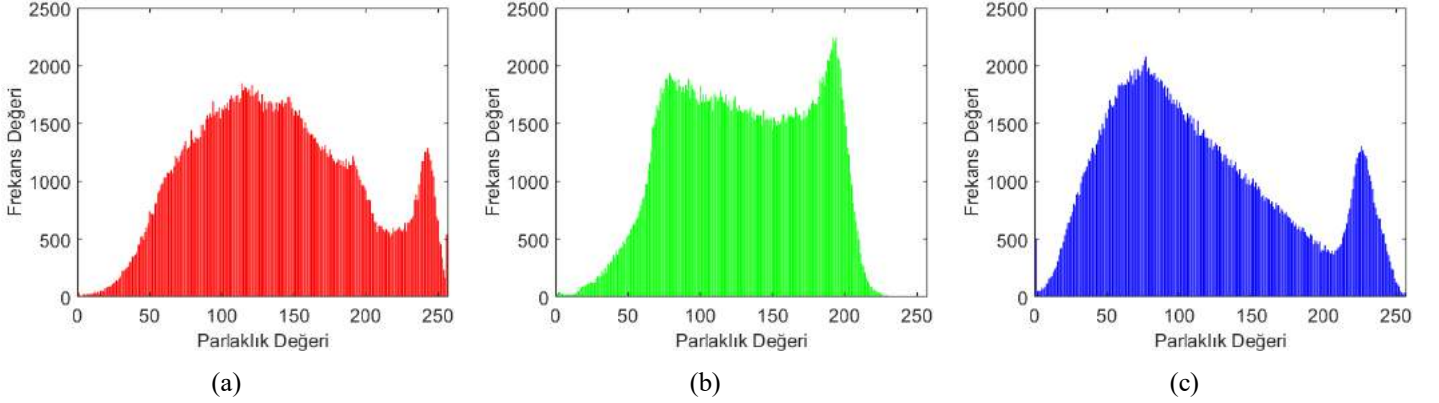
Şekil 1. 24-bit bir resmin piksel haritasındaki renk değerleri

Histogram, görüntüdeki piksel değerlerinin dağılımını ifade etmektedir. Her değer görüntü içerisinde ne kadar bulunduğu bilgisi varlık frekansı olarak tutulmaktadır ve histogram dağılımı görüntü hakkında bilgi vermektedir. Örneğin histogram değerlerinin farklı noktalarda dağılımı görüntünün o kadar fazla renk veya ton içermekte olduğunu belirtir. Renk aralığının daralması ise yakın tonların ağırlıkta olduğu bilgisini vermektedir. Şekil 2’de örnek bir görüntü histogramı gösterilmektedir.



Şekil 2. Örnek bir histograma ait parlaklık ve frekans değerleri

Histogram grafikleri her renk değeri için elde edilebileceği gibi ortak renk karışımı değerlerine göre de oluşturulabilmektedir. Renkli görüntülerde R, G, B bileşenleri göz önüne alınarak üç adet ayrı histogram dağılım grafiği elde edilebilir. Şekil 3'te Baboon test görüntüsü için üç ayrı renk kanalının histogram dağılımları verilmiştir. Kullanılan yöntemlerde histogram değerleri R, G, B bileşenleri için ayrı ayrı oluşturulup uygun bileşen belirlenmiştir.



Şekil 3. Baboon görüntüsüne ait renk kanallarının histogram dağılımları. (a) R kanalı, (b) G kanalı, (c) B kanalı

Görüntüler üzerinde gerçekleşen steganografi uygulamaları, resmin sayısal değerlerinde küçük değişimler yapılarak gerçekleştirilmektedir. Sayısal değerlerdeki farklılıklar ya da bozulmalar insan gözü tarafından algılanamayacak seviyelerdedir.

Klasik veri gizleme yöntemlerinde histogram tabanlı veri gizleme çalışmalarından daha farklı bir bakış açısı kullanılmaktadır. Örtü dosyası olarak alınan görüntünün gri değerlerinin histogramı oluşturulmaktadır. Histogramda tepe (P) noktası tespit edilip P+1 ile 254 arasındaki değerlerin tamamını bir arttırarak histogramda bir boşluk oluşturulmaktadır. Örneğin P=120, ise [121-254] değerleri [122-255] aralığına kaydırılmaktadır. Daha sonra görüntü en baştan taranmaya başlayarak her P değerindeki piksellere gizli mesajın bir biti gizlenmektedir. Eğer gizli bit 0 ise P değerli piksel değişmez. Eğer gizli bit 1 ise, P değerli piksel P+1 yapılır. Zaten ilgili piksel değeri olan P+1 boş olduğu için (yukarıdaki örnekte 121 değeri) gizleme işlemi diğer pikselleri bozmamaktadır (Ni vd., 2006; Yalman & Ertürk, 2009).

Veri gizlerken alıcı tarafa P değerinin de gönderilmesi gerekmektedir. Alıcı tarafta stego görüntüden veri çıkartırken yine benzer şekilde piksel değerlerinde tarama yapılır. Öncelikle P değeri çıkartılır. Daha sonra pikseller içerisinde P değerine sahip olanlardan 0, piksel değeri P+1 olanlardan ise 1 çıkartılarak veri çıkartma tamamlanır. Son olarak sağa kaydırılan pikseller (P+2 ile 255 arasında olan pikseller) yeniden sola (P+1 ile 254 aralığına) geri çekilir ve görüntü eski haline çevrilir. Bu şekilde yapılan veri gizleme yönteminde maksimum veri gizleme kapasitesi başlık bilgileri dâhil olmak üzere P kadar olmaktadır (Ni vd., 2006).

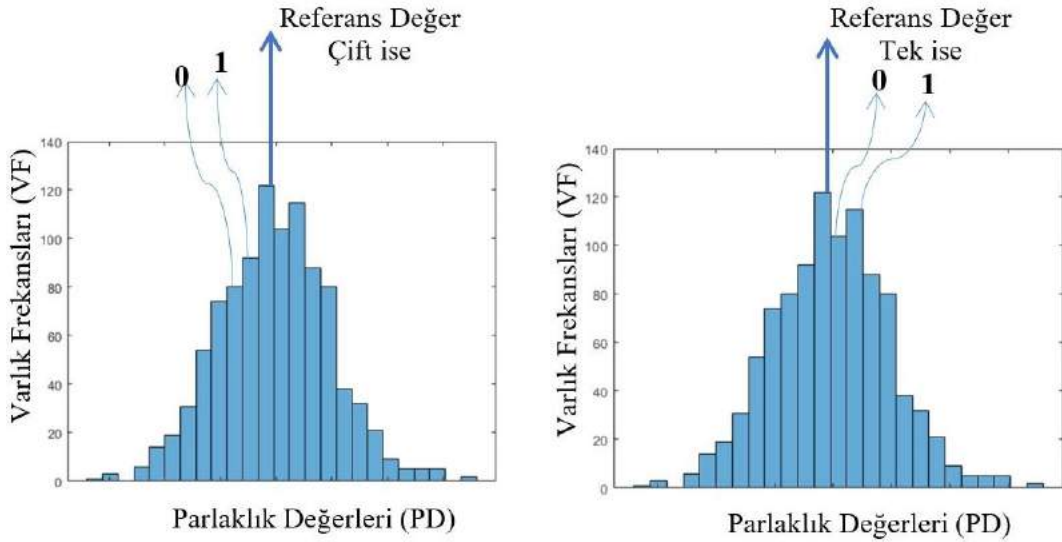
3. Önerilen Komşuluk Temelli Hibrit Veri Gizleme Yöntemi

Bu çalışmada önerilen yöntem histogram dağılımını kullanarak geliştirilen yeni bir hibrit algoritmaya dayanmaktadır. Verinin gizleneceği alanların tespiti için görüntünün histogram bilgisinden yararlanılmaktadır. Histogram değerinde değişiklik yapmak için daha önceki çalışmalarda olduğu gibi en düşük anlamlı bit (LSB) yöntemi kullanılmaktadır (Akbay vd., 2018). Hibrit yapıda olan bu yöntemin algoritmasında öncelikle histogram dağılım grafiği taranmakta ve LSB yöntemi ile gizleme işlemi yapılmaktadır. Önerilen çalışmada kapasite ve dayanıklılık artırılarak görüntü üzerindeki değişikliğin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Veri gizleme işlemi sonucunda histogram grafiğinin mümkün olduğunca az bozulması önemlidir. Gizleme işlemi sonucunda oluşan görüntü üzerindeki değişikliğin histogram üzerine yansımaması temel amaçlardandır.

Önerilen yöntemde öncelikle görüntü histogramında varlık frekans değeri en yüksek parlaklığın (P) değeri tespit edilmektedir. Referans alınan P değerine göre verinin gizleneceği piksel parlaklık değerleri tespit edilmektedir. Eşitlik (1)'de veri gizleme için kullanılacak piksellerin (p_g) seçimi verilmiştir. Veri gizleme işleminde referans P değerinin parlaklık değeri çift ise histogramın sol tarafındaki 2 parlaklık değeri, tek ise sağ tarafındaki 2 parlaklık değeri verinin gizlenmesi için kullanılmaktadır.

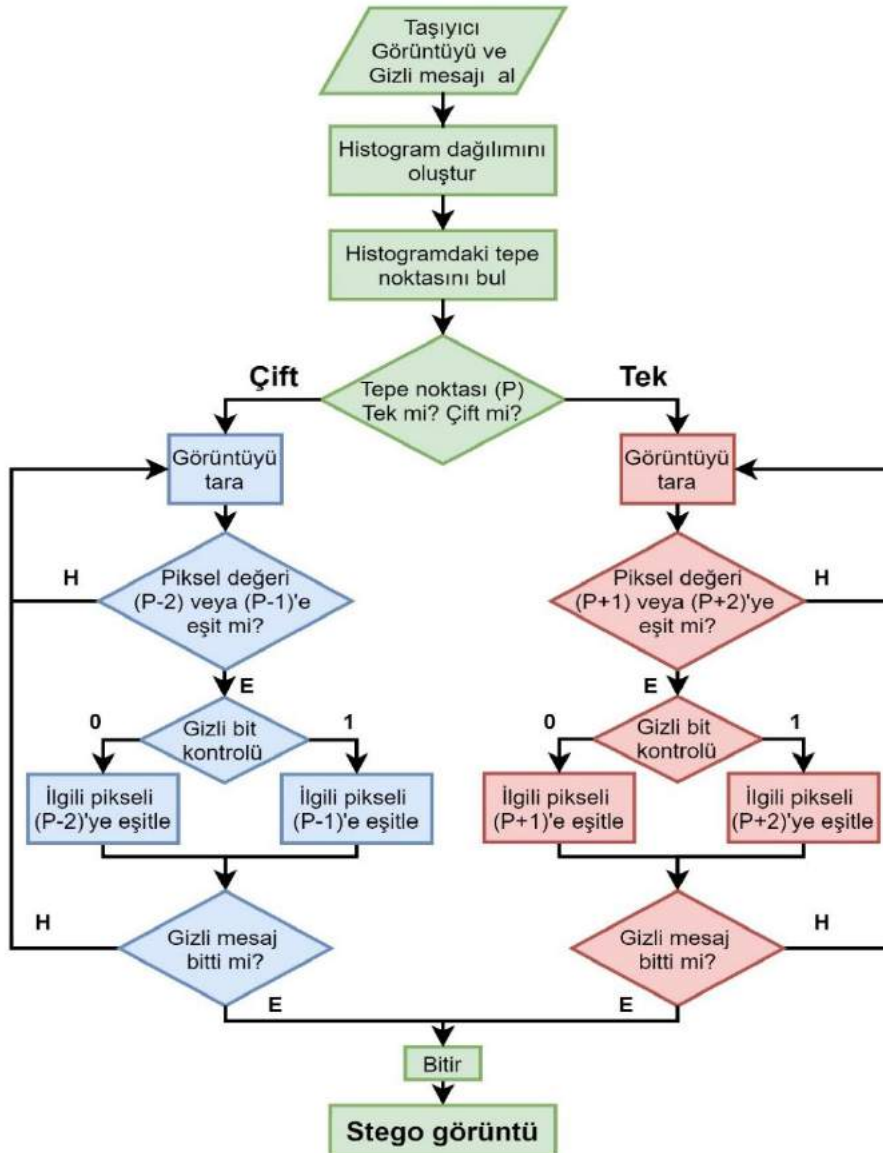
$$p_g = \begin{cases} P - 1 \text{ ve } P - 2, & \text{eğer } P \bmod(2) = 0 \\ P + 1 \text{ ve } P + 2, & \text{eğer } P \bmod(2) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Referans değerin çift veya tek olma durumunda gizlenecek veri için kullanılacak parlaklık değerleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Referans olarak seçilen P değerine göre önerilen algoritma gizleme yapılacak pikselleri tespit etmektedir. Histogram bilgileri kullanılarak en fazla tekrar eden parlaklık değerinin çift veya tek olma durumuna göre gömülecek verilerin hangi parlaklık değerlerine gizleneceği tespit edilir. Önerilen yöntemin en önemli özelliklerinden birisi, P değerinin alıcıya gönderilme ihtiyacını ortadan kaldırmasıdır.



Şekil 4. Önerilen yöntemde gizleme için kullanılacak bitlerin parlaklık değerinin tespiti

RGB gibi üç kanallı görüntülerde bu algoritma her kanal için histogram dağılımları hesaplanarak aynı işleme tabi tutulması ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 5'te önerilen yakın histogramlar yöntemiyle veri gizlemenin akış şeması verilmiştir.



Şekil 5. Yakın histogramlar yöntemi veri gizleme akış şeması

Önerilen yöntemle gömülen veri içerisindeki her karakterin ASCII karşılığı ikili sayı sistemine çevrilir. Türkçe karakterlerin olma durumu göz önünde bulundurularak her karakter 10 bitlik sayılarla ifade edilir. Önerilen yöntemde veri gizlemek için kullanılan yakın histogramlar yöntemi (YHY) için uygulanan işlem adımları aşağıdaki gibidir:

- Adım 1. Taşıyıcı görüntünün histogramı oluşturulur.
- Adım 2. Histogram dağılımından yararlanılarak en fazla tekrarlanma sayısına (varlık frekansına) sahip değer olan P elde edilir.
- Adım 3. P değerinin tek veya çift olma durumuna bakılır.
- Adım 4. Eşitlik 1'den yararlanılarak gizleme için kullanılacak olan pikseller tespit edilir.
- Adım 5. P'nin tek olduğu durumlarda P+1 ve P+2 parlaklık değerine sahip olan pikseller, P'nin çift olduğu durumlarda ise P-1 ve P-2 parlaklık değerine sahip olan pikseller gizleme için kullanılır.
- Adım 6. Gizlenecek bit değeri alınır.
- Adım 7. Görüntü piksel değerleri taranmaya başlanır.
- Adım 8. Gizlenecek bit değeri 1 ise karşılaşılan ilk komşuluk (P+1, P+2 veya P-1, P-2) değerinin P-1 veya P+2 olması sağlanır. Eğer piksel değeri P-1 veya P+2 ise değiştirilmez. Eğer piksel değeri P-2 veya P+1 ise ilgili pikselin değeri bir artırılarak P-1 veya P+2 elde edilir.
- Adım 9. Gizlenecek bit değeri 0 ise karşılaşılan komşuluk (P+1, P+2 veya P-1, P-2) değerinin P-2 veya P+1 olması sağlanır. Eğer piksel değeri P-2 veya P+1 ise değiştirilmez. Eğer piksel değeri P-1 veya P+2 ise ilgili pikselden ilgili pikselin değeri bir azaltılarak P-1 veya P+2 elde edilir.
- Adım 10. Gömü verisi sonlanıncaya kadar sonraki gizli bit değeri için görüntüde son gizlemenin yapıldığı piksel adres bilgisi alınıp tekrar Adım 6'ya gidilir.
- Adım 11. Gömü verisi sonuna NULL (0000000000)₂ kodu eklenerek stego görüntü elde edilir.

Gizlenmek istenen mesajın ilk harfi için 10 bit değeri (1011101110)₂ olarak kabul edilsin. Veri gizleme için Şekil 2'de verilen örnek histogram dağılımına sahip görüntüyü kullandığımızı varsayalım. Örtü dosyası olarak kullanılacak bu görüntünün histogramı incelendiğinde, varlık frekansı en yüksek olan parlaklık değeri ve komşu değerlerinin tekrarlanma sayıları Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Örnek görüntüdeki maksimum histogram değeri ve komşu değerleri

	P-2	P-1	P	P+1	P+2
Parlaklık Değeri	158	159	160	161	162
Varlık frekansı	2420	2575	2730	2550	2480

Önerilen yöntemde ilk olarak görüntünün histogramından yararlanılarak en fazla tekrarlanan değer P=160 olarak tespit edilir. P değeri çift olduğundan veri gizlemek için solda kalan parlaklık değerine (158 ve 159) sahip olan pikseller kullanılacaktır. Bu değerlikli pikseller sırayla ele alınır ve gizlenecek olan değer "0" ise ilgili pikselin değeri "158" olarak, gizlenecek değer "1" ise piksel değeri "159" olarak ayarlanır. İlk olarak gömü verisinin (yani (1011101110)₂) ilk biti olan 1 değerinden başlanır. İlk bit değeri olan "1" alınarak örtü görüntüsündeki piksel değeri "158" veya "159" olan piksellerden herhangi birine ulaşıncaya kadar görüntü okunur. Karşılaşılan ilk değer "159" ise değişiklik yapılmaz, "158" ise parlaklık değeri "159" olarak değiştirilir. Sonraki gizli bit olan "0" değeri için kaldığı yerden itibaren görüntü okunmaya devam edilir. Karşılaşılan ilk "158" veya "159" parlaklık değeri için, piksel değeri "158" ise değişiklik yapılmaz. Piksel değeri "159" ise "158" olarak piksel parlaklık değeri değiştirilir. Gömü verisi sonlanıncaya kadar bu döngü devam eder. Gizleme bitince stego görüntü elde edilerek alıcıya gönderilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, gizleme işlemi sonucunda en fazla tekrarlanan parlaklık değerinin (P) değişmemiş olması gerekmektedir. P değerinin aşılması için bir sayac kullanılmaktadır. Bu sayac verinin gizleme sonrası komşu histogram değerlerinin P'den küçük değerlerde kalması sağlanmaktadır.

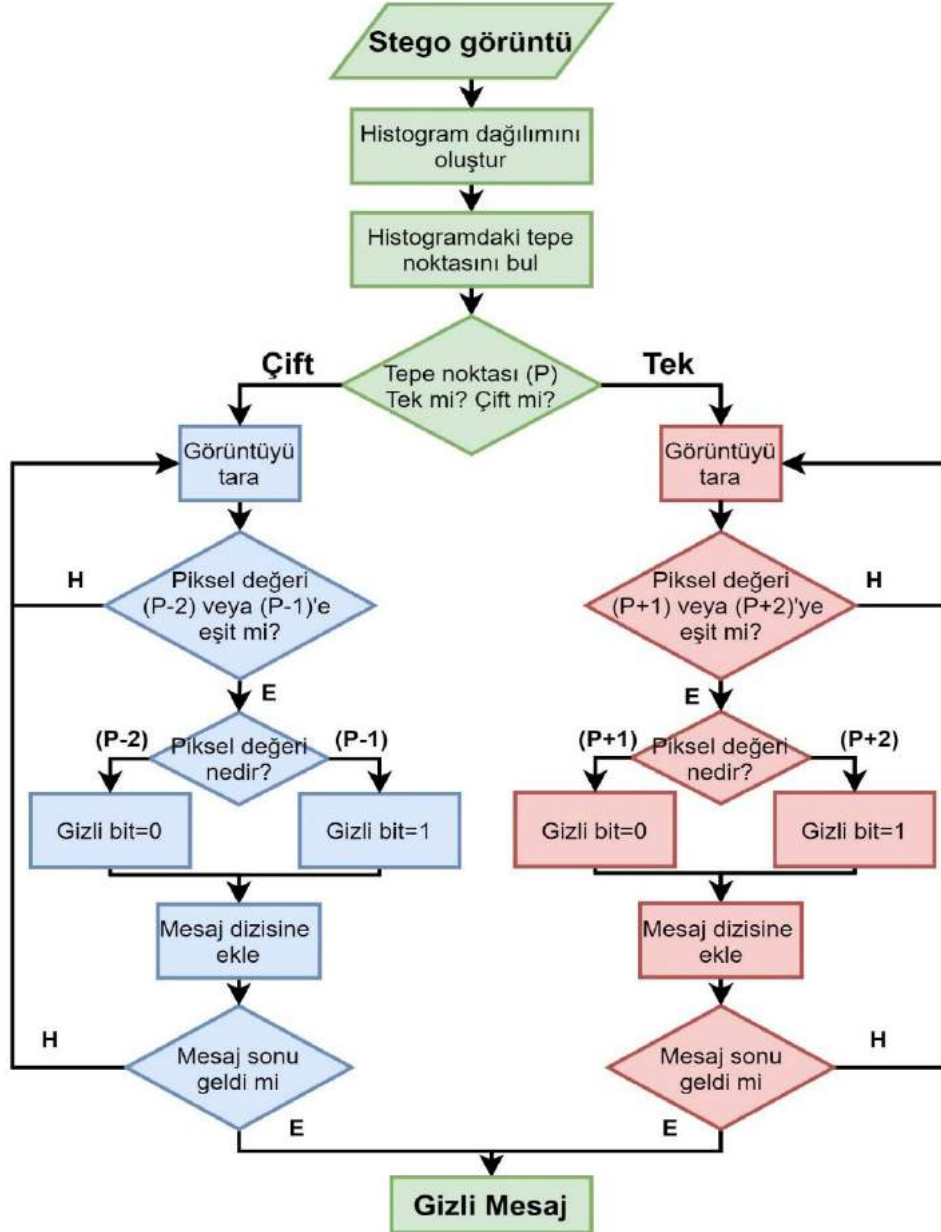
Alıcı tarafında, sadece stego görüntü ve gizleme algoritmasına uyumlu veri çıkartma algoritması kullanılarak gizli bit dizisi tekrar elde edilebilmektedir. Şekil 6'da önerilen yakın histogramlar yöntemiyle veri çıkartmanın akış şeması yer almaktadır. Gizli bit dizisinin i. sırasındaki elemanı b_i ve tarama sırasında karşılaşılan piksel değeri p_t olmak üzere veri çıkartımı Eşitlik (2)'ye göre yapılmaktadır.

$$b_i = \begin{cases} 0, & \text{eğer } P \text{ çift ve } p_t = P - 2 \text{ ise} \\ 1, & \text{eğer } P \text{ çift ve } p_t = P - 1 \text{ ise} \\ 0, & \text{eğer } P \text{ tek ve } p_t = P + 1 \text{ ise} \\ 1, & \text{eğer } P \text{ tek ve } p_t = P + 2 \text{ ise} \end{cases} \quad (2)$$

Önerilen yakın histogramlar yönteminde veri çıkartmak için uygulanan işlem adımları aşağıdaki gibidir:

- Adım 1. Alıcıya gelen, gizli mesajı içeren stego görüntünün histogramı oluşturulur.
- Adım 2. Histogram dağılımında varlık frekansı en yüksek değer olan tepe değeri P elde edilir.
- Adım 3. P değerinin tek veya çift olma durumuna bakılır.
- Adım 4. Eşitlik (1)'den yararlanılarak gizli mesajı içeren pikseller tespit edilir.

- Adım 5. P'nin tek olduğu durumlarda gizli bitler P+1 ve P+2 parlaklık değerinde olan piksellerde, P'nin çift olduğu durumlarda ise gizli bitler P-1 ve P-2 parlaklık değerine sahip olan piksellerde bulunur.
- Adım 6. Görüntü piksel değerleri taranmaya başlanır.
- Adım 7. Eşitlik (2)'ye göre gizli bitler çıkarılır ve bit dizisine sırayla eklenir.
- Adım 8. Gömü verisi sonu kodu olan NULL (0000000000)₂ değeri elde edilince kadar Adım 5'e gidilir.
- Adım 9. Elde edilen metin dizisi 10 bitlik gruplara ayrılarak gizli mesaj elde edilir.



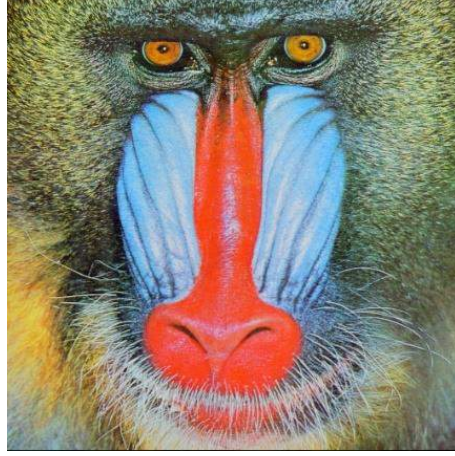
Şekil 6. Yakın histogramlar yöntemi gizli veriyi çıkarma akış şeması

4. Deneysel Çalışmalar

Önerilen yöntem çeşitli örtü dosyaları üzerinde test edilmiştir. Standart örtü dosyaları olarak kullanılan 512×512 boyutundaki renkli görüntülerden Airplane, Baboon, Fruits, House, Peppers ve Sailboat Şekil 7'de verilmektedirler. Yapılan testlerde gizli mesaj olarak çeşitli uzunluklardaki metinler kullanılmıştır.



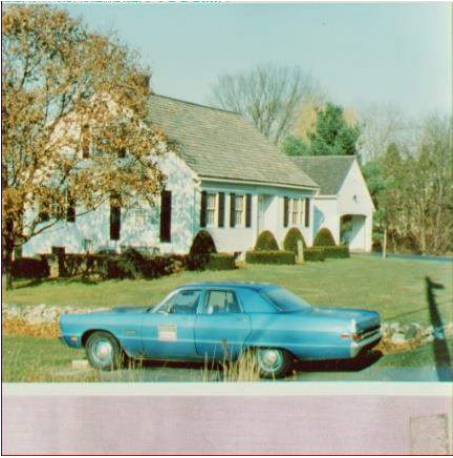
Airplane



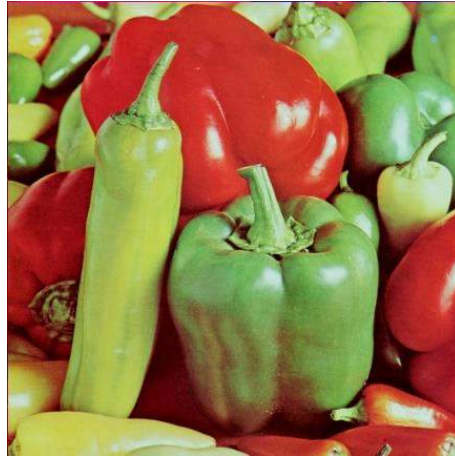
Baboon



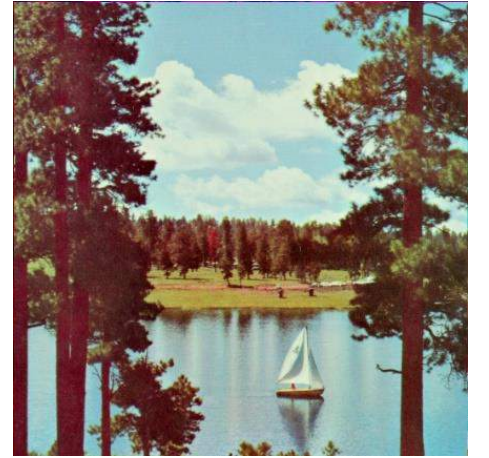
Fruits



House



Peppers



Sailboat

Şekil 7. Örtü dosyası olarak kullanılan bazı test görüntüleri.

Önerilen veri gizleme yönteminin sonuçları kapasite ve görsel kalite üzerinden değerlendirilmiştir. Stego görüntülerin görsel kalitelerini değerlendirmek için tepe sinyal-gürültü oranı (peak signal to noise ratio-PSNR) sonuçlarına bakılmaktadır.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE(I_0, I_S)} \right) \quad (3)$$

$$MSE(I_0, I_S) = \frac{1}{M \times N} \times \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} [I_0(m, n) - I_S(m, n)]^2 \quad (4)$$

Eşitlik (3) ve (4)'teki I_0 ve I_S sırasıyla orijinal ve stego görüntülerini, M ve N ise görüntü boyutlarını göstermektedir. Ortalama karesel hata (Mean squared error, MSE), işlem sonucu stego görüntüdeki piksellerin değişmesinden kaynaklanan karesel hatayı göstermektedir. Eğer iki görüntü aynı ise MSE değeri sıfır olmakta, en yüksek bozulma durumunda ise MSE değeri 1 olmaktadır (Sencar vd., 2004).

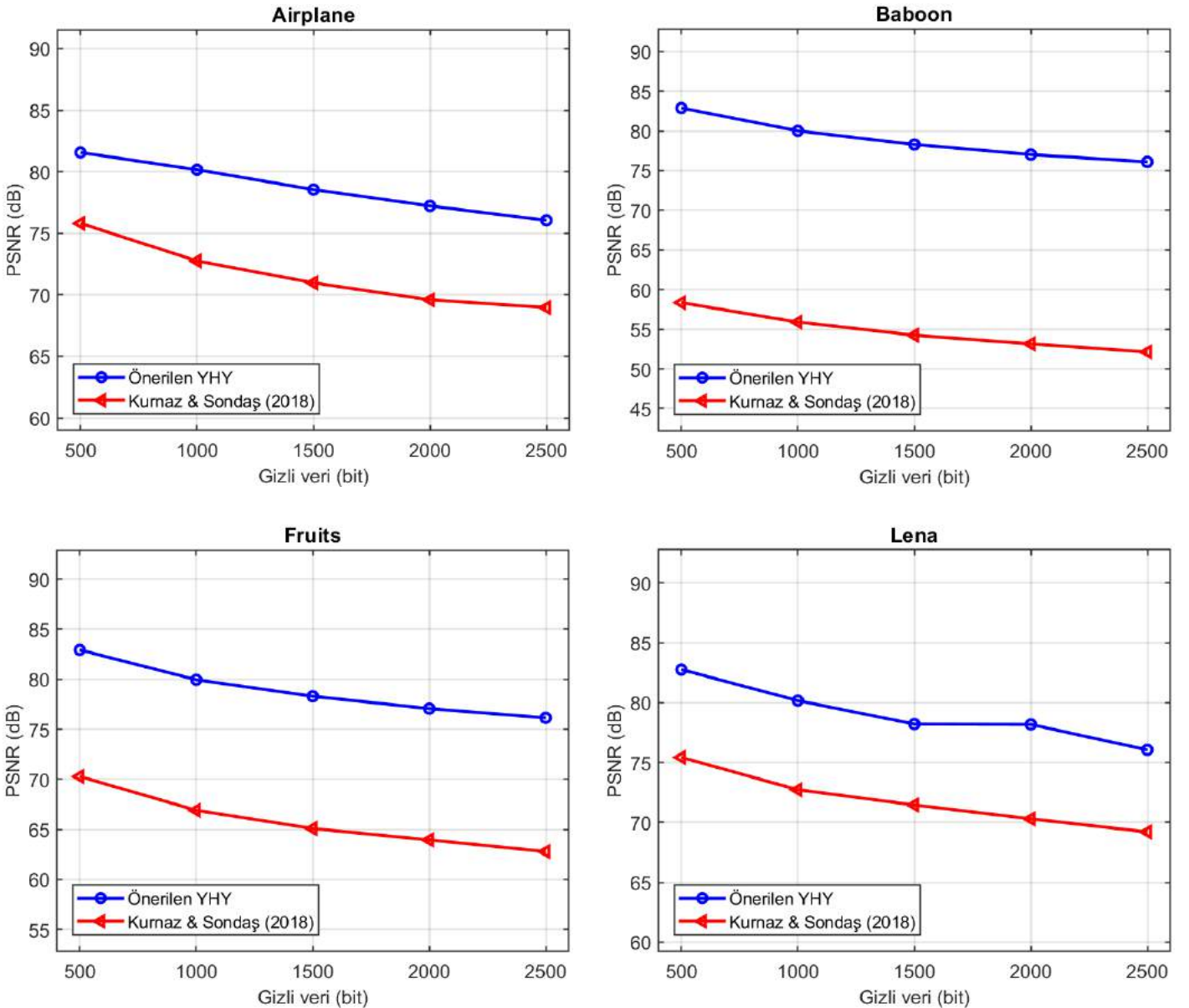
PSNR değeri görsel kaliteyi ifade etmekte olup MSE ile arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Düşük MSE daha az hata yani daha yüksek kalite anlamına gelmektedir. İki görüntü arasındaki benzerlik arttıkça PSNR değeri de yükselmektedir. Orijinal ve stego görüntüleri aynı olduğunda PSNR değeri sonsuz olmaktadır.

Önerilen yakın histogramlar temelli veri gizleme yönteminin taşıyıcı görüntüde meydana getirdiği görsel kalite değişimi daha önce geliştirilen benzer bir çalışmayla (Kurnaz & Sondaş, 2018) birlikte gösterilmektedir. Tablo 2'de önerilen yöntemin PSNR başarımı verilmiştir.

Tablo 2. Önerilen yöntemin PSNR değerleri

Görüntü	PSNR(dB)	
	Önerilen YHY	Kurnaz & Sondaş (2018)
Airplane	79,87	72,62
Baboon	79,99	55,84
Fruits	79,94	66,90
House	80,27	70,19
Peppers	80,16	70,27
Sailboat	80,19	72,65

Önerilen yöntemin görsel kalitesi taşıyıcı görüntülere farklı miktarlardaki veri gizleme sonucunda tekrar incelenmiştir. Şekil 8’de önerilen yöntemin benzer yöntemle göre çok daha iyi görsel kaliteye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Önerilen yöntemin farklı kapasitedeki gizli veriler için görsel kalite değerlendirmesi.

Göndericinin yolladığı stego nesneden gizli mesajın doğru çıkartılması gerekmektedir. Aksi durumda gizli mesajda hatalar ortaya çıkmaktadır. Gömülen ve çıkarılan iki mesaj arasındaki hata miktarını kontrol etmek için kullanılan bit hata oranı için BER (bit error rate) değeri eşitlik (5)’teki gibi hesaplanmaktadır.

$$BER(\%) = \sum_{k=1}^K \frac{[M_g(k) \oplus M_c(k)]}{K} \times 100 \quad (5)$$

burada M_g ve M_c gizlenen ve çıkarılan gizli mesajları göstermektedir. K gizli mesaj uzunluğu, \oplus ise özel veya (ex-or) mantıksal ifadesidir. BER değeri en iyi durumda 0 olmaktadır. BER değeri gizli mesajın alıcı tarafından ne kadar hangi oranda bozulduğunu göstermektedir. Tablo 3'te dört test görüntüsü için değişik uzunluklarda gizlenen mesajın BER değerleri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, gizlenen mesaj alıcı tarafında herhangi bir bozulmaya uğramadan elde edilebilmiştir.

Tablo 3. Önerilen yöntemin BER değerleri

	500 bit	1000 bit	1500 bit	2000 bit	2500 bit
Airplane	%0	%0	%0	%0	%0
Baboon	%0	%0	%0	%0	%0
Fruits	%0	%0	%0	%0	%0
Lena	%0	%0	%0	%0	%0

Bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntemin literatür yöntemlerine göre önemli oranda üstünlüğü bulunmaktadır. Tablo 4 ve Tablo 5'te veri gizleme sonucu elde edilen Lena ve Baboon stego görüntülerinin literatürdeki çalışmalarla kıyaslanması gösterilmektedir.

Tablo 4. Önerilen yöntemin literatür çalışmalarıyla PSNR karşılaştırma sonuçları (2500 bitlik gizli mesaj için)

PSNR(dB)		
Veri gizleme yöntemi	Baboon	Lena
Önerilen YHY	76,10	76,06
Islamy & Ahmad (2019)	68,81	66,77
Solak (2019)	53,69	50,47
Kurnaz & Sondaş (2018)	52,13	69,21
Lin & Li (2011)	52,75	50,51
Ni vd. (2006)	53,67	57,94
Kuo vd. (2008)	48,20	48,20
Hwang vd. (2008)	48,20	48,20

Tablo 4'te verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, önerilen yöntem benzer yöntemlere göre ciddi oranda görsel kapasiteyi korumaktadır. Benzer gizleme kapasiteleri için önerilen yöntem en yakın PSNR değerine sahip çalışma olan Islamy & Ahmad (2019) yönteminden yaklaşık 8 dB daha üstün PSNR değerine sahiptir. Tablo 5'te 1000 bitlik veri gizleme için önerilen yöntem en yakın değerlere sahip yöntemler olan Kurnaz & Sondaş (2018) ve Yalman & Ertürk (2009) çalışmalarından çok daha yüksek PSNR değerlerine sahiptir. Önerilen yöntemdeki PSNR değerlerinin bu derece yüksek olmasının en önemli sebebi, geliştirilen hibrit yaklaşımdan kaynaklanmaktadır. Daha önceki histogram tabanlı yöntemler tepe noktasının etrafını boşaltmak için histogramda tepe değeri hariç tüm pikselleri ötelemekteydi. Oysaki önerilen yöntemde herhangi bir ötelemeye ihtiyaç duyulmadığı için stego görüntülerin görsel kalitesi büyük oranda korunmaktadır.

Tablo 5. Önerilen yöntemin literatür çalışmalarıyla PSNR karşılaştırma sonuçları (1000 bitlik gizli mesaj için)

PSNR(dB)		
Veri gizleme yöntemi	Baboon	Lena
Önerilen YHY	79,99	80,17
Kurnaz & Sondaş (2018)	55,84	72,73
Yalman & Ertürk(2009)	59,25	62,75
Lin & Li (2011)	53,33	53,43
Ni vd. (2006)	53,78	58,08
Kuo vd. (2008)	51,35	51,21
Hwang vd. (2008)	48,20	48,20

5. Steganaliz ve Görünmezlik Testleri

Veri gizleme yöntemlerinin kalitesinin kontrol edildiği bir başka yön ise steganaliz testleri ve istenmeyen kişiler tarafından tespit edilemezlik durumudur. Tablo 6’da ilk olarak önerilen yöntemin orijinal histogram dağılımında herhangi bir öteleme ve değişim meydana getirip getirmediği incelenmektedir.

Tablo 6. Baboon görüntüsü için histogram test sonuçları

Veri gizleme yöntemi	Histogram Değişimi
Önerilen YHY	Dağılım değişmez (sadece 2 değerin dağılımı değişir)
Yalman & Ertürk(2009)	Dağılım Değişir
Klasik LSB	Dağılım Değişir

Piksel bozulma oranı için görüntüde değişen piksellerin tüm piksellere oranına bakılmaktadır. Piksel bozulma oranlarını karşılaştırması Tablo 7’de verilmektedir. Önerilen yöntemin pikselleri bozma oranı diğer çalışmalara göre oldukça düşük düzeyde kalmaktadır.

Tablo 7. Baboon görüntüsü için piksel değişim oranları

Veri gizleme yöntemi	Piksel bozulma oranı
Önerilen YHY	$2,1 \times 10^{-5}$
Kurnaz & Sondaş (2018)	$11,8 \times 10^{-5}$
Yalman & Ertürk(2009)	$11,9 \times 10^{-5}$
Klasik LSB	$10,9 \times 10^{-5}$

Son olarak önerilen yöntemle elde edilen stego görüntülerin görünmezlik durumları kontrol edilmiştir. Görünmezlik veri gizleme yöntemlerini tespit etmek için hazırlanan iki farklı uygulama ile test edilmiştir. Tablo 8’de “StegSpy” ve “StegDetect” uygulamalarının sonuçları verilmektedir. Her iki uygulama da stego görüntü içerisinde yakın histogram temelli yöntemle gizlenen verinin varlığını tespit edememiştir.

Tablo 2. Baboon görüntüsü için steganaliz test sonuçları

Veri gizleme yöntemi	StegSpy testi	StegDetect testi
Önerilen YHY	Tespit Edilmedi	Tespit Edilmedi
Kurnaz & Sondaş (2018)	Tespit Edildi	Tespit Edildi
Yalman & Ertürk(2009)	Tespit Edildi	Tespit Edildi
Klasik LSB	Tespit Edildi	Tespit Edildi

6. Sonuç

Bu çalışmada, görüntülere veri gizlemek için kullanılacak yakın histogramlar temelli bir veri gizleme yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntemde, histogram dağılımındaki tepe noktasının tek veya çift olma durumuna göre gizli mesaj görüntü içerisine gizlenmektedir. Böylece histogram dağılımında herhangi bir kaydırmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte histogramdaki tepe noktası bilgisini alıcıya gönderme ihtiyacını ortadan kaldırmak için tepe noktasının komşularına gizleme yapılmaktadır. Ayrıca yüksek kapasiteli gizlemeye uyumlu olması için tüm renk kanallarının histogramı ayrı ayrı kullanılabilir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde önerilen yöntemle veri gizlenen görüntülerin görsel kalitesinin literatürdeki çalışmalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi önerilen yöntemin histogramda boşluk açmaya ihtiyaç duyulmamasıdır. Dolayısıyla histogram dağılımında çok fazla bir değişiklik olmamaktadır. Önerilen yöntemde farklı oranlarda gizlenen veri miktarlarında da görsel kalite korunmaktadır. Başarılı bir veri gizleme uygulamasında stego nesnenin görüntü kalitesi, gizlenen mesajın haberleşme kanalında tespit edilememesi ve gizli mesajın alıcı tarafından doğru çıkartılması önemlidir. Önerilen yakın histogramlar temelli yöntemin kullanılması kapasite, dayanıklılık ve taşıyıcıdaki değişim ilişkisini iyi koruduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca gizli mesaj herhangi bir bozulmaya uğramamakta ve alıcıda tamamen doğru bir biçimde elde edilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, örtü dosyasının bloklara ayrılması sonucunda yapılacak gizlemeler önerilen yöntemin kapasitesinin daha da artırılmasını sağlayacaktır. Ayrıca geliştirilen uygulamada veriler şifrelenmeden görüntü üzerine gömülmektedir. Daha güvenli biçimde veri gizleme ihtiyacı olduğunda gömü verisinin şifrelenip gömülmesi dayanıklılığa katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Chang C. C., Tai W. L. & Chen K. N. (2008). Lossless Data Hiding Based on Histogram Modification for Image Authentication, *IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, Shanghai, 506-511.
- Chen, X., Sun, X., Sun, H., Xiang, L. & Yang, B., (2015). Histogram shifting based reversible data hiding method using directed-prediction scheme, *Multimed Tools Appl*, 74, 5747–5765.

- Chrysochos E., Fotopoulos V., Skodras A. & Xenos M. (2007, May). Reversible Image Watermarking Based on Histogram Modification, *11th Panhellenic Conference on Informatics with international participation*, Patras, Greece.
- Gutub A., Ankeer M., Abu-Ghalioun M., Shaheen A. & Alvi A. (2008, March). Pixel Indicator High Capacity Technique for RGB Image Based Steganography, *WoSPA 2008 – 5th IEEE International Workshop on Signal Processing and its Applications*, University of Sharjah, Sharjah, U.A.E.
- Hwang, J. H., Kim, J. W. & Choi, J. U. (2006). A reversible watermarking based on histogram shifting. In: Y.Q. Shi, B. Jeon. (Eds.) *Digital Watermarking. IWDW 2006. Lecture Notes in Computer Science*, (4283, 348-361) Berlin, Heidelberg: Springer
- Islamy, C. C. & Ahmad, T. (2019). Histogram-based multilayer reversible data hiding method for securing secret data, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 8(3), 1128-1134.
- Konyar, M. Z., Akbulut, O., & Öztürk, S. (2018, Sept). Matrix Encoding Based Data Hiding in HEVC, *2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, Sarajevo, 662-665.
- Kuo, W. C., Jiang, D. J. & Huang, Y. C. (2008). A reversible data hiding based on block division, *Congress on Image and Signal Processing*, Sanya, Hainan, 365-369.
- Kurnaz H. & Sondaş A. (2018, Nov). Histogram Temelli Bir Veri Gizleme Yönteminin Uygulanması, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye.
- Lin, Y. C. & Li, T. S. (2011). Reversible Image Data Hiding Using Quad-tree Segmentation and Histogram Shifting, *Journal of Multimedia*, 6(4), 349-358
- Meiamai V., Minu A. & Anushia Devi R. (2013). Histogram Technique with Pixel Indicator For High Fidelity Steganography, *International Journal of Engineering and Technology*, 3(5), 0975-4024.
- Mohammed A. & Al-Husainy F. (2015). Image Steganography Method Preserves the Histogram Shape of Image, *European Journal of Scientific Research*, 1(130), 101-106.
- Ni Z., Shi Y.Q., Ansari N., Su W. (2006). Reversible Data Hiding, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 16(3), 354-362.
- Pan, Z., Hu, S., Ma, X. & Wang, L., (2015). Reversible data hiding based on local histogram shifting with multilayer embedding, *J. Vis. Commun. Image R.*, 31, 64-74.
- Patel Z. V. & Gadhiya S. A. (2015). A Survey Paper on Steganography and Cryptography, *International Multidisciplinary Research Journal (RHIMR)*, 2(5), 1-5.
- Sencar H.T., Ramkumar M., & Akansu A.N. (2004). *Data Hiding Fundamentals and Applications*, New York: Elsevier, Academic Press.
- Solak, S. (2019, April). Görüntü Histogramında Yer Alan En Yüksek Değere Verilerin Kayıpsız ve Geri Dönüşümlü Gizlenmesi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi Bildiriler Kitabı*, Cilt I, 323-327, Kocaeli, Türkiye.
- StegSpy, Erişim Adresi: <http://www.spy-hunter.com/stegspy> (Son Erişim tarihi: 20.12.2019)
- StegDetect, Erişim Adresi: <https://stegdetect.apponic.com/> (Son Erişim tarihi: 20.12.2019)
- Xuan G., Shi Y. Q., Chai P., Cui X., Ni Z. & Tong X. (2007, 3- 5 December). Optimum Histogram Pair Based Image Lossless Data Embedding, in Proc. *Int. Workshop Digit. Watermarking Ser. Springer Lect. Notes Comput. Sci.*, Guangzhou, China.
- Yalman, Y., Çetin, Ö., Ertürk İ. & Akar, F. (2014). Veri gizleme. İstanbul: Beta Yayınevi.
- Yalman Y., Ertürk İ. (2009, February). İmge Histogramı Kullanılarak Geometrik Ataklara Dayanıklı Yeni Bir Veri Gizleme Tekniği Tasarımı ve Uygulanması, *XI. Akademik Bilişim Konferansları*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Wu, H., Dugelay, J & Shi, Y. (2015). Reversible Image Data Hiding with Contrast Enhancement, *IEEE Signal Processing Letters*, 22(1), 81-85.



Seydikemer İlçesi (Muğla) Topraklarının Özellikleri ve Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme

Recep Bozyiğit^{1*}

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi, Konya, Türkiye (ORCID:0000-0002-9790-1168)

(İlk Geliş Tarihi 12 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 19 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.702654)

ATIF/REFERENCE: Bozyiğit, R. (2020). Seydikemer İlçesi (Muğla) Topraklarının Özellikleri ve Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 695-706.

Öz

Seydikemer İlçesi Topraklarının Özellikleri ve Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme, adlı çalışma yöredeki toprakların fiziksel, kimyasal ve kullanım özelliklerini ortaya çıkarmayı hedeflemektedir. İlçe toprakları hem yerinde tetkik edilmiş, hem de farklı noktalardan toprak örnekleri alınmıştır. Daha sonra alınan toprak örneklerinin laboratuvar ortamında analizleri yapılarak fiziksel ve kimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır.

Seydikemer İlçesi toprakları, pedogenetik özelliklerine göre yapılan sınıflamada üst kategori tasnifine tabi tutulmuştur. Buna göre yörede altı büyük toprak grubu yer almaktadır. Bu topraklardan en yaygın olanı kırmızı Akdeniz topraklarıdır. Bunu kahverengi orman, kolüvyal, kireçsiz kahverengi orman, alüvyal ve kırmızı kahverengi orman toprakları takip eder. Yöre topraklarında ana kaya, iklim ve topoğrafyanın etkileri görülmektedir. Ofiolitlerin yaygın olduğu sahalarda kireçsiz kahverengi orman; kalkerin yaygın olduğu yerlerde kırmızı Akdeniz toprakları; topoğrafyanın düz veya hafif eğimli yerlerinde ise alüvyal ve kolüvyal topraklar yer alır.

Seydikemer İlçesi'nin farklı yerlerinden alınan toprak örneklerinde: kil %14-42, mil % 13.4-40.8, kum %27.2-60.8, toplam tuz 0.01-0.06, pH 7.5-7.8, kireç(CaCO₃) 4.0-44.2, fosfor (P₂O₅) 0.45-8.47, organik madde 0.70-2.61 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre ilçe topraklarında organik madde ve fosfor azlığı, kireç ve yer yerde kil oranlarının yüksekliği dikkati çekmektedir. Fosfor ve organik madde miktarının yetersiz olduğu yerlerde, yetiştiriciliği düşünülen bitkilere makro ve mikro besin elementi takviyesi(gübreleme) önerilir. Ayrıca kil oranı yüksek arazilerde drenaj sorunu da görülebileceğinden bahçe kurulumu öncesi drenaj sorununun giderilmesi gerekir. Seydikemer İlçesi topraklarının jeodinamik problemleri arasında erozyon, heyelan, taşkın ve kıyı kumulları yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Seydikemer, Toprak, Fiziksel, Kimyasal, Özellik

An Evaluation on the Properties and Use of Soils of Seydikemer District (Muğla)

Abstract

An evaluation on the Properties and Use of Soils of Seydikemer District aims to reveal the physical, chemical and usage properties of the soils in the region. District lands were investigated on site, and soil samples were taken from different points. Later, the soil samples were analyzed in a laboratory environment, and their physical and chemical properties were revealed.

Seydikemer District lands were subjected to the upper category classification in the classification made according to their pedogenetic features. Accordingly, there are six large soil groups in the region. The most common of these lands is the red Mediterranean lands. This is followed by brown forest, colluvial, limeless brown forest, alluvial and red brown forest soils. In the territory of the region, the effects of bedrock, climate and topography can be seen. Lime-free brown forest in areas where ophiolites are common; red Mediterranean soils where limestone is common; alluvial and colluvial soils are located on the flat or slightly sloping parts of the topography.

The soil samples taken from different parts of Seydikemer District range as follows: Clay 14-42%, mil 13.4-40.8%, sand 27.2-60.8%, total salt 0.01-0.06, pH 7.5-7.8, lime (CaCO₃) 4.0-44.2, Phosphorus (P₂O₅) 0.45-8.47, and organic matter 0.70-2.61. According to these values, the scarcity of organic matter and phosphorus in the district lands, high levels of lime and clay in places are noteworthy. In places where the amount of phosphorus and organic matter is insufficient, macro and micro nutrient supplements (fertilization) are recommended to the plants that are considered to be cultivated. In addition, since the problem of drainage can be observed in the lands with high clay rate, drainage problem should be eliminated before the garden installation.

Some of the geodynamic problems of the territory of the Seydikemer District are erosion, landslide, flood and coastal dunes.

Key Words: Seydikemer, Soil, Physical, Chemical, Properties

* Sorumlu Yazar: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi, Konya, Türkiye, ORCID:0000-0002-9790-1168, fethiye.kemer@gmail.com

1. Giriş

Toprak; oluşumu, özellikleri, kullanım ve korunması ile her geçen gün önem kazanan taşkürenin önemli bir parçasıdır. Toprak, “arzın dışını ince bir tabaka halinde kaplayan, kayaların ve organik maddelerin türlü ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, içerisinde ve üzerinde geniş canlılar alemi barındıran, bitkilere durak yeri ve besin kaynağı olan, belli oranlarda su ve hava kapsayan üç boyutlu bir varlıktır” şeklinde tanımlanmaktadır (Akalan, 1983). Toprağı oluşturan farklı görüşler olmasına karşın (Dokuchaev, 1886; Jeny, 1941; Crocker, 1952; Mückenhausen, 1962) ortak görüş iklim, ana materyal, topoğrafya, canlılar ve zamandır (Mater, 1998-14-15; Efe 2010:179). Bunlardan ana materyal, topoğrafya ve zaman pasif; iklim ve canlılar ise aktif faktörlerdir (Efe, 2010:179).

Tüm bu süreçler dikkate alındığında farklı toprak tipleri ortaya çıkmaktadır. Bu toprak tiplerini ortaya koyan çeşitli sistem ve sistemlerin geliştirildiğini görmekteyiz (Dokuchaev, 1882-1900; Marbut, 1927; Baldwin, M-Kellog, C.E.-Thord, J., 1938; FAO ve UNESCO, 1971-1981; Atalay, 2011; Atalay, İ.-Gökçe Gündüzoğlu, A., 2015): Çeşitli faktörleri dikkate alınsa da Seydikemer toprakları pedogenetik ve fiziksel özelliklerini esas alan üst kategoride; büyük toprak grupları düzeyinde adlandırılarak incelenmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bk., Topraksu Gn. Müd. 1984:2).

Toprak değişkenliği farklı zaman ve mekan ölçeğinde etkili olan doğal ve antropolojik süreçlerin bir sonucudur. Topraklardaki bu doğal değişkenlik, jeolojik ve toprak oluşum süreçlerinden kaynaklanmaktadır (Efe, 1999). Antropojenik değişkenlik ise insanların arazi kullanımının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Toprak kaynakları potansiyelinin korunmasında en önemli konu mevcut durumun tespiti ve ileri projeksiyona yönelik tutumların saptanarak alınabilecek önlemlerin ortaya konulmasıdır (Bağdatlı, M.C.-İstanbuluoğlu, A.-Bayar, N.A. 2014:17). Toprakları koruma ve kullanma, toprağın özelliklerini iyi kavramaktan geçer. Bu açıdan Seydikemer İlçesi toprakları araştırma konusu olarak seçilmiştir. Seydikemer İlçesi, Türkiye'nin güneybatısında Muğla İli'ne bağlı bir ilçedir. Toprakları Akdeniz Bölgesi'nin Antalya Bölümü'nde yer almaktadır (Harita 1). Seydikemer İlçesi'nin kuzeyinde Altınyayla, kuzeydoğusunda Korkuteli ve Elmalı; güneydoğusunda Kaş, güneyinde Akdeniz, batısında Fethiye ve kuzeybatısında da Çameli yer alır. İlçe, 36° 17' - 37° 02' kuzey enlemleri ile 29° 07' - 29° 48' doğu boylamları arasında, 2028,37 km² yüz ölçümüne sahiptir.



Harita 1. Seydikemer İlçesi'nin Yeri

2. Materyal ve Metot

Seydikemer İlçesi Topraklarının Özellikleri ve Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme konulu çalışmada esas metot, gezi-gözlem metodu olmuştur. Farklı tarihlerde gerçekleşen arazi çalışmalarında alınan toprak örneklerinin laboratuvar ortamında analizleri yapılarak bir takım bulgulara ulaşılmıştır. Daha sonra elde edilen bulgular ve Topraksu Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan haritalar ışığında Seydikemer İlçesi'nin büyük toprak tipleri, özellikleri ve kullanımı değerlendirilmiştir.

Bu çalışma da: 1/100 000 topoğrafya haritalarının O 22, O 23, P 22, P 23 ile 1/25 000 ölçekli O 22 (a₃, b₃, b₄, c₁, c₂, c₃, c₄, d₂, d₃), O 23 (a₁, a₄, d₁, d₂, d₄), P 22 (a₂, a₃, b₁, b₂, b₃, b₄, c₁, c₂) Fethiye paftaları; 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasının Fethiye L8, M8 paftaları (Şenel, 1997a, 1997b) ve büyük toprak tiplerinin dağılışımı gösteren T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Topraksu Genel Müdürlüğü'nün 1/100 000 ölçekli haritasının ilgili paftaları kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Toprak Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Seydikemer İlçesi'ni oluşturan arazide Likya Napları ile tanımlanan allokon konumlu litolojik birimler, farklı ortamda birikmiş tortul kayalar ve nispeten yaygın olan ofiolitik birimler görülür. Yüksek kesimlerde yaygın olarak kalker, dolomitik kalker, ofiolitik melanj, e-ISSN: 2148-2683

harzburgit, dünit; ova ve vadi tabanı ile çevresinde kilitaşı, kumtaşı, konglomera ve kalkerler yer almaktadır(Şenel vd., 1989, 1995). İlçe sahasında karbonatlı kayaların fazlalığı toprakların kireç oranlarının yüksek olmasında etkili olmuştur.

Seydikemer İlçesi'ni oluşturan arazi, aynı zamanda tektonik hatlarla parçalanmıştır. Genel doğrultuları kuzey-güney olan ana fayların yanında tali faylar da yer almaktadır(Şenel vd., 1995). Eşen Çayı Vadisi'nin güney kesimlerinde basamaklı bir özellik gösteren bu faylar, aynı zamanda büyük toprak gruplarının dağılışını da etkilemektedir.

Seydikemer İlçesi'nin en yüksek kesimleri, kuzeyinde ve doğusunda bulunmaktadır(Harita 2). Kuzeyinde, Boncuk Dağları ve onun uzantıları yer almaktadır. Eşen Çayı vadi tabanından oldukça eğimli bir şekilde yükselen Boncuk Dağları'nın güneybatı uzantıları Karadağ (2233 m), Yüylükbaşı T.(2418 m), Kocaeren T. (2295 m), Karadiş T.(2235 m) ve Teşnekçibaşı T. (1722 m)'dir. Doğusunda yer alan Akdağ üzerindeki önemli yükseltiler ise Ziyaret T. (2591 m), Oluklusivrisi T.(2156 m), Elbisdağı (2596 m), Erendağı (2677 m), Çatal T. (2534 m), Dumlu T. (2458 m), Atkuyruksalmaz T. (2879 m) ve Uyluk T. (3024 m)'dir. Yüksek kesimler aynı zamanda eğim değerlerinin fazla olduğu yerlerdir. Bu kesimlerde eğim 11° 18' 35" ile 30° 57' 49" arasında değişmektedir. Toprak oluşumunun son derece yavaş olduğu bu kesimler genellikle çıplak kayalık yüzeyler olarak dikkati çeker(Harita 3). İlçenin kuzeybatı kesimi kuzey-güney istikametinde, Çaldağ (2184 m), Rahat Dağı (1259 m), Haticeana Dağı (1079 m) ve Dokuzkızlan T. (924 m) uzanmaktadır. Özellikle Söğütlüdere Mahallesi'nin kuzey ve kuzeydoğusunda eğimi 30° 57' 49" ile 38° 39' 35" arasında değişen sahalara yer almaktadır. Bu kesimler de de çıplak kayalık sahalara görülmektedir(Harita 3). Seydikemer'in güneybatısında Babadağ (1975 m), Almacık Dağı, Avdankaya T. (1152 m) ve Sandakdağı (1009 m) yer almaktadır. Yükseltinin en az olduğu yerler ilçenin güneyindeki delta ovası boyunca uzanan kıyı bölgesidir. Eğim buralarda da 00° 00' 00" ile 02° 51' 44" arasında değişmektedir. Seydikemer İlçesi'nde delta sahası dışında eğimin en az olduğu kesimler Yukarı Seki Ovası, Aşağı Seki Ovası, Ortaköy Ovası, Seydikemer Ovası, Kabağağaç-Kadıköy ovalarıdır. Bu ovalarda alüvyal ve kolüvyal topraklar görülmektedir.

Seydikemer İlçesi'ni oluşturan arazi, genelde engebeli bir özellik göstermekle beraber yukarı ve aşağı olmak üzere iki bölümde tetkik edilebilir (Harita 2). Yukarı bölümde; Seki Platosu, aşağı kesimde de Eşen Çayı Vadisi yer almaktadır. Seki Platosu sahasında kalan Karanlık Dere Kanyon Vadisi'nin devamı olan Eşen Çayı Vadisi, birbirinden eşik sahalara ile ayrılan ovaların yer aldığı bir oluşum olarak dikkat çeker. Kuzey-güney istikametinde, Ortaköy, Seydikemer, Kabağağaç-Kadıköy, Delta(Kumluova ve Karadere) ovaları yer almaktadır(Harita3). Birer birikim alanı olan ovaların kenar kesimlerindeki alüvyal yelpazelerde, kanal dolgularına rastlanmaktadır(Kazancı, N-Uysal, F., 2008:28).

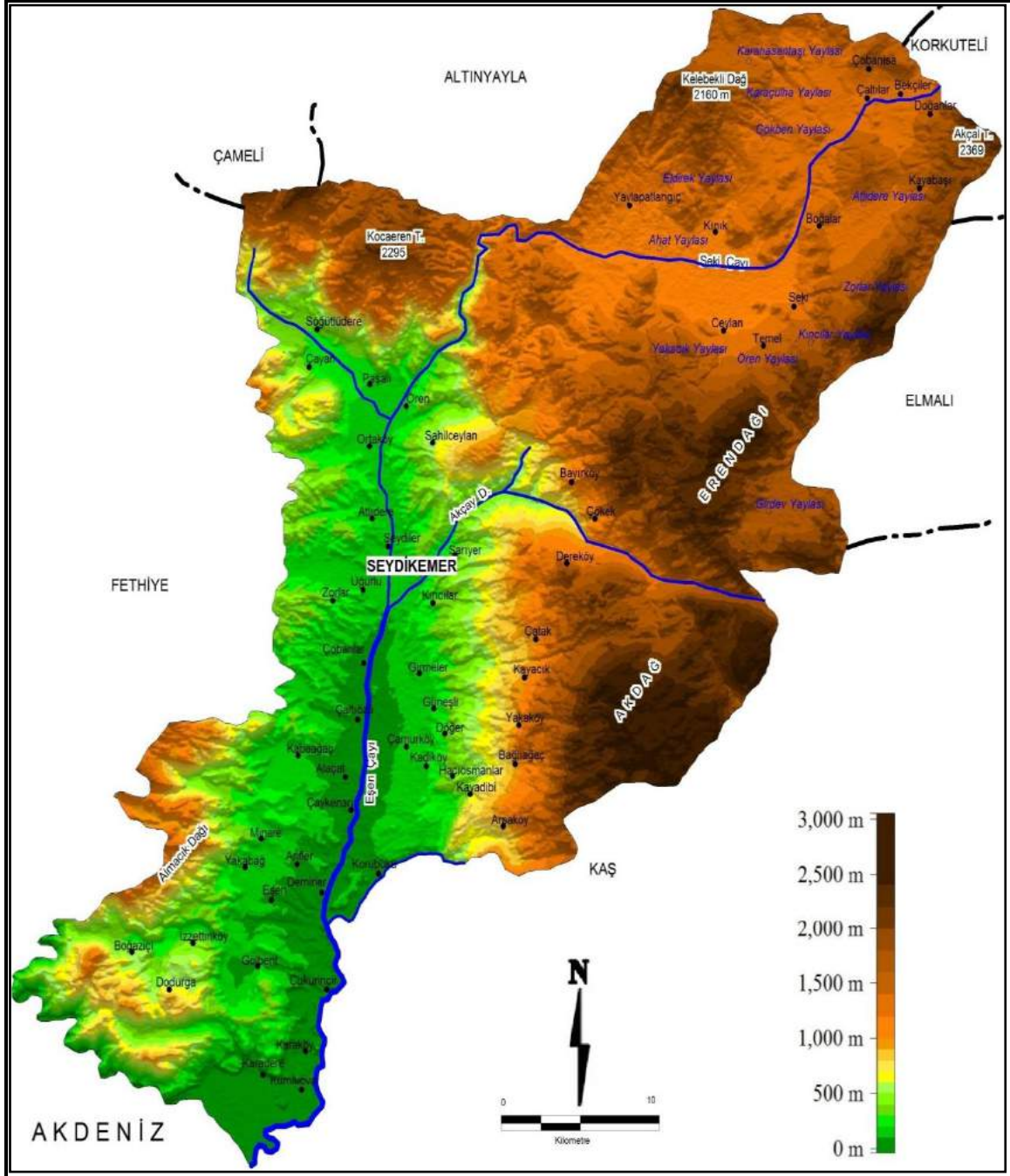
İlçe topraklarının bugünkü özellikleri kazanmasında etkili olan bir diğer unsur da hidrografik faktörlerdir. Bunların başında da yüksek kesimleri sık bir şekilde vadilerle yarmış olan Eşen Çayı ve kolları gelir. Eşen Çayı ve kolları, toprakların kum oranının fazlalığında, erozyon, taşkın ve hareketli kumulların oluşumunda etkilidir. Etüt sahasının kuzeyinde Yazır, güneyinde de Girdev gölleri bulunmaktadır.

Seydikemer İlçesi, her ne kadar Akdeniz Bölgesi sınırları içinde kalsa da sahile yakın kesimlerde Akdeniz iklimi etkili olmakta, iç bölgelere doğru karasal iklime geçiş görülmektedir. İlçede yağışlar, yüksek dağlık alanlar ve platolarda genellikle kar; diğer yerlerde yağmur şeklindedir. Etüt sahasının engebeli olmasından dolayı ortalama sıcaklık ve yağış değerleri farklılık göstermektedir. Kıyıya yakın kesimlerde yıllık ortalama sıcaklık (Eşen 18.2 °C, Seydikemer'de 17.4 °C) ve yağışın (Eşen, 915.3 mm, Seydikemer 812.5 mm) yüksek; iç kesimlerde ise (Seki'de yıllık ortalama sıcaklık 12.7 °C; yıllık ortalama yağış 453.6 mm) düşük olduğu tespit edilmiştir (D.M.İ., 2015). Rüzgâr yönü mevsimlere göre değişmekle beraber hakim rüzgâr yönü kuzey sektörlüdür. İklimin ilçe toprakları üzerindeki etkisi; fazla yılanma sonucunda; toplam tuz ve organik maddenin azlığına yol açması şeklinde kendini göstermektedir.

Etüt sahasının ova ve vadi tabanlarında maki bitki toplulukları yer almaktadır. 1000 metrenin üzerindeki yükseltilerde makiler ortadan kalkmakta; bunların yerine kızılçam (*Pinus brutia*), köknar(*Abies cilicica*) ve meşe(*Quercus ssp.*) türleri almaktadır. 1300-1450 metrelerde karaçam (*Pinus nigra*), meşe(*Quercus ssp.*), karma ormanı; 1450-2000 m arası sedir (*Cedrus libani*); 2000-2200 m arasında da adi ardıç (*Juniperus communis*) toplulukları bulunmaktadır. Yörede doğal bitki örtüsünün gür ve örtülülük oranının yüksek olmasının (%71.12), yüzey erozyonunun etkisini azalttığı görülmektedir.

Seydikemer İlçesi topraklarında, 65 mahalle yerleşmesinde toplam 61 653 kişi (TÜİK, 2019) yaşamaktadır. Bu nüfusun geçim kaynakları arasında tarım ve hayvancılık önemli yer tutmaktadır. İlçede toplam arazinin %25.47'si (51 665 Ha) tarım, % 71.12'si (144 247 Ha) orman ve çayır-mera arazisi ve % 3.41'i (6 915 Ha) ürün getirmeyen arazilerden oluşmaktadır (Seydikemer İlçe Tarım Müd. 2014). Tarım arazilerinin büyük çoğunluğu Eşen Çayı Vadi Tabanı ile Seki Ovası'nda yer almaktadır. Ancak vadi yamaçlarında yer alan Bekçiler, Yayla Karaçulha, Doğanlar, Yayla Zorlar, Yayla Ören, Kınık, Söğütlüdere, Dereköy, Çökek, Kayacık, Yakaköy, Bağlıağaç, Arsaköy, Kayadibi, Kabağağaç mahalleleri tarım faaliyetleri için orman ve çayır-mera arazisi üzerinde baskı oluşturmaktadır.

Günümüzde Seydikemer İlçesi topraklarının karşı karşıya kaldığı sorunlar arasında erozyon, hareketli kumullar, heyelanlar, taşkın ve arazi kullanımındaki yanlışlıklar yer almaktadır.



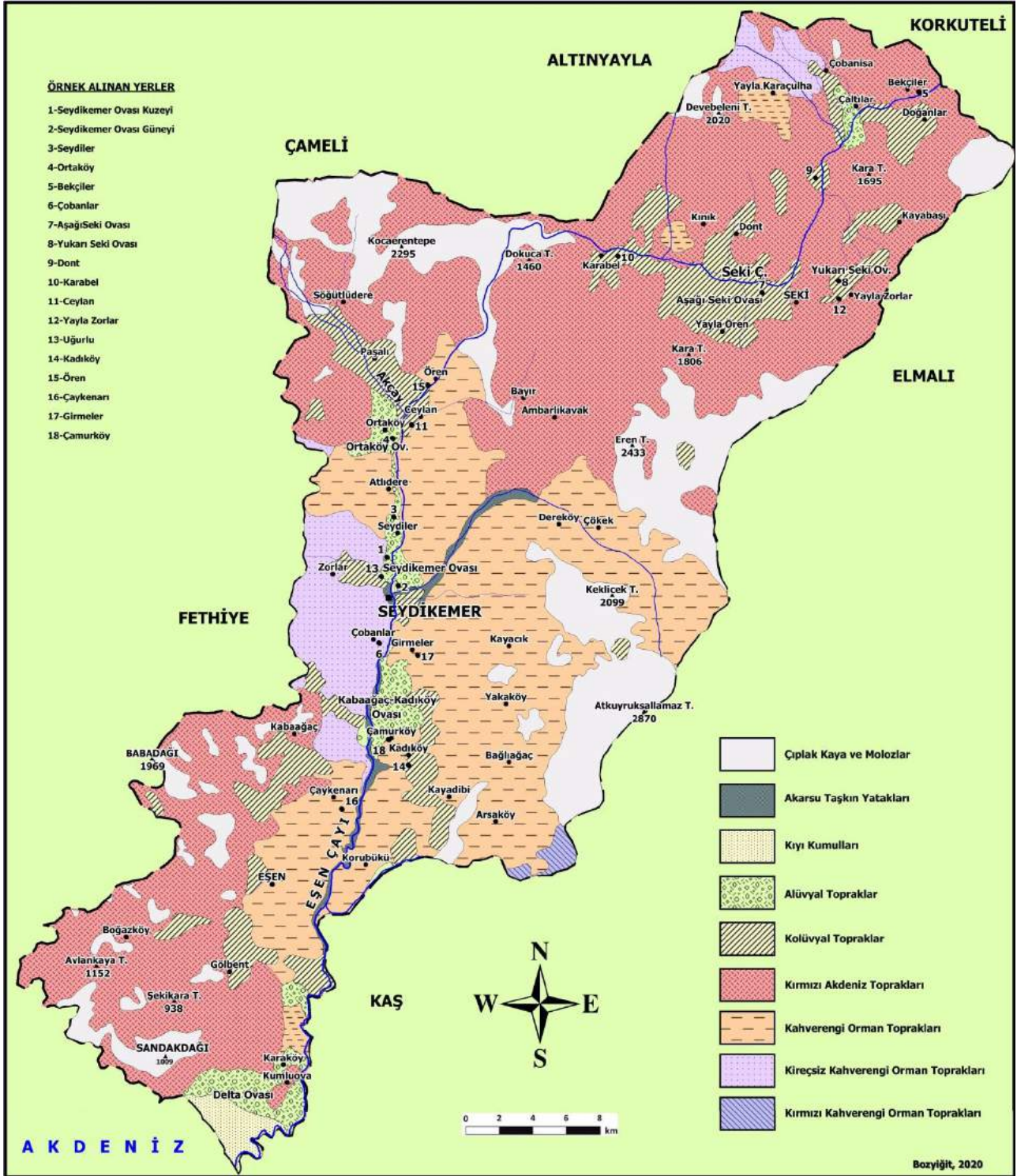
Harita 2. Seydikemer İlçesi'nin Yeryüzü Şekilleri Haritası

3.2. Toprak Tipleri ve Kullanımı

Seydikemer İlçesi'ndeki topraklar, pedogenetik özelliklere göre yapılan sınıflamada üst kategori tasnifine tabi tutulmuştur. Üst kategori tasnifi büyük toprak grubu seviyesinde olmuştur. Tasnifi yapılan büyük toprak gruplarının fiziksel ve kimyasal analizlerine göre bölge topraklarının genel karakterleri tespit edilmiştir. Buna göre yörede altı büyük toprak grubu yer almaktadır (Harita 3).

3.2.1. Alüvyal Topraklar

Alüvyal topraklar, akarsu orijinli depozitlerden meydana gelen, profilinde çeşitli katlar bulunduran genç ve derin topraklardır. A ve C horizonlarına sahiptirler. Eşen Çayı'nın oluşturduğu alüvyonlar; delta sahasında, diğer tali derelerin oluşturduğu alüvyonlar ise; birikinti koni ve yelpazelerinde bulunur.



Harita 3. Seydikemer İlçesi'nin Toprak Haritası (T.C., Tarım Orman ve Köy İşleri Bak., Topraksu Gn. Müd. Yay. 1984'den değiştirilerek).

Akarsuların oluşturduğu alüvyonlar; düz, düze yakın eğimli sahalar ile düzgün topografyada yer alırlar. Bu nedenle alüvyaller genellikle geçirgenlikleri normal olan, iyi drenajlı, tuzluluk ve alkalilik problemleri olmayan, kuru ve sululu tarım topraklarıdır. Bunlarda kaba bünye bazı hallerde problem teşkil edebilir. Bu toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini, alüvyonun kaynaklandığı ana materyalin özelliği, taşıma ve birikme esnasında meydana gelen değişimler etkilemektedir. Alüvyal topraklar gerek yatay, gerekse dikey yönde devamlı bir değişime göstermektedir. Özellikle dikey yönde farklı horizonlar kendini belli etmektedir. Kumlu bir seviyeden killi bir seviyeye, kireçli bir kattan kireçsiz bir diğer kata geçilmesi gibi. Profil dâhilinde, karbonat dağılışı, pH durumunu, organik madde miktarı, kation değişim kapasitesi ve tekstür düzensiz bir dağılışı göstermemektedir (T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bak., Topraksu Gn. Müd. Yay. 1984).

Seydikemer İlçesi'ndeki alüvyal topraklarda; kum miktarlarının oldukça fazla, bünye yönünden killi-tın (CL), kumlu-tın (SL) ve kumlu-killi-tınlı (SCL) oldukları tespit edilmiştir. Bu topraklarda kum oranının fazla olması, akarsu kökenli olmalarından kaynaklanmaktadır. Sahadaki alüvyal toprakların permeabilitesi yüksek, su tutma kapasitesi düşüktür. Su tutma kapasitesinin düşük olması, kil ve organik madde azlığından kaynaklanmaktadır(Bozyiğit, 1997:17).

Bu toprakların geniş yayılım gösterdiği sahalardan alınan örneklerin (Harita 3) analiz sonuçlarına göre; kil yüzdesinin en fazla olduğu yer, Seydikemer Ovası kuzeyindeki (Killik Mevkii) topraklardır. Organik madde miktarının en fazla olduğu yerin ise Seydiler toprakları olduğu anlaşılmıştır(Tablo 1). Kil ve organik madde fazlalığı, söz konusu sahalarda toprağın su tutma miktarını olumlu yönde etkilemiştir. Bu toprakların diğer bir özelliği ise bazik karakterde olmalarıdır. pH 7,8'dir. Kireç oranı değişkendir. Kireç oranı Seydiler ile Seydikemer Ovası kuzeyindeki (Killik Mevkii) topraklarda yüksek olmasına karşın Seydikemer Ovası güneyinde düşüktür. Kireç oranının yüksek olması ana kayadan kaynaklanmaktadır.

İlçede alüvyal topraklar; Eşen Çayı'nın akış istikametinde Çaltılar, Ortaköy, Seydiler, Seydikemer, Çukurincir, Karaköy, Kumluova ve Karadere çevresinde(Fotoğraf 1) önemli yayılış gösterir. Bu topraklarda, sebze, meyve, örtü altı yetiştiricilik, pamuk, susam, mısır, zeytin, nar ve buğday tarımı yaygın olarak yapılmaktadır.



Fotoğraf 1. Eşen Çayı Deltası'ndaki Alüvyal Topraklar(Kumluova-Karadere), Örtü Altı Yetiştiriciliğin Yoğun Olarak Yapıldığı Sahalardan Birisidir.

Tablo 1. Seydikemer İlçesi'nde, Örnek Alınan Yerlerin Toprak Özellikleri

Toprak Örneği Alınan Yerler	Rakım (m)	Kil %	Mil %	Kum %	Bünye	Toplam Tuz	pH	Kireç (CaCO ₃)	Fosfor (P ₂ O ₅)	Organik Madde
Seydikemer Ov. Kuzeyi	160	32.0	40.8	27.2	CL	0.05	7.8	30.8	8.01	1.06
Seydikemer Ov. Güneyi	155	21.6	24.0	54.4	SCL	0.02	7.8	6.7	2.75	0.70
Seydiler	186	14.0	26.2	59.8	SL	0.01	7.8	26.8	4.58	1.24
Ortaköy	215	28.0	31.6	41.0	CL	0.03	7.8	13.4	0.45	0.89
Bekçiler	1310	32.8	26.2	41.0	CL	0.05	7.7	21.4	8.47	2.61
Çobanlar	11	35.6	25.6	38.8	CL	0.05	7.7	24.1	0.45	1.6
AşağıSeki Ov.	1150	42.0	18.0	40.8	C	0.06	7.7	44.2	0.45	0.89
Yukarı Seki Ov.	1420	25.6	14.0	60.8	SCL	0.06	7.7	5.3	3.10	0.70
Dont	1230	31.6	15.4	53.8	SCL	0.05	7.5	8.0	3.20	0.70
Karabel	1100	14.0	23.2	62.8	SCL	0.01	7.7	38.8	2.75	0.77
Ceylan	255	27.2	25.8	47.0	CL	0.03	7.8	41.2	2.29	1.35
Yayla Zorlar	1150	30.0	23.0	47.2	SCL	0.04	7.7	32.7	6.87	1.35
Uğurlu	160	20.0	26.0	54.8	SCL	0.03	7.9	18.7	0.45	0.77
Kadıköy	110	34.8	31.8	33.4	CL	0.04	7.7	37.5	2.75	1.06
Ören	111	24.0	23.4	52.6	SCL	0.02	7.8	4.0	0.45	0.77
Çaykenarı	95	27.6	13.4	59.0	SCL	0.05	7.7	33.5	1.14	0.95
Girmeler	151	37.2	21.4	41.4	CL	0.06	7.7	26.8	2.29	0.90
Çamurköy	120	33.6	23.6	42.8	CL	0.05	7.7	13.4	3.20	0.70

3.2.2. Kolüviyal Topraklar

Kolüviyal topraklar sahada, yüzeysel akışla ve yan derelerin kısa mesafelerden taşıyarak eğimin azaldığı yerlerde depo ettiği materyallerden ibarettir.

Kolüviyal topraklar, alüviyal topraklara bitişik olarak alüviyallerle yüksek arazi toprakları arasında yer almaktadır. Tabii meylin çok az olduğu sahalarda bu iki toprak grubunun birbirine geçiş yaptığı görülür. Kolüviyal topraklar özellikle dağlık ve tepelik araziler içerisinde yer alan küçük depresyon sahalarda görülmektedir. Ayrıca dik yamaçların eteklerinde ve dar vadilerde az topraklı, taşlı ve molozlu olarak da görülürler (Fotoğraf 2).



Fotoğraf 2. Dont Yaylası Kuzeyindeki Yarmada, Kesit Vermiş Kolüviyal Topraklar

Kolüviyal toprakların ana maddeleri, içinde bulunduğumuz jeolojik zamana ait muhtelif orijinli kolüviyumlardır. Yakın mesafelerden taşınarak geldiğinden bilhassa alt katlarda orta ve kalın bünyelere sahiptir. Fizyolojik derinlikleri çok fazla olan bu topraklarda kil oranı değişken olmakla beraber ve kum miktarları (Yukarı Seki Ovası %60,8, Karabel %62,8, Dont 53,8, Uğurlu %54,8) oldukça fazladır. Buna istinaden bu topraklarda bünye kumlu-killi-tın (SCL) veya killi-tın (CL) şeklindedir (Tablo 1). Kum miktarının fazla olması fiziksel parçalanma ve sürtünmenin etkisinden kaynaklanmaktadır. Drenajları iyi, permeabilitesi düşüktür. İnfiltrasyon hızı bu topraklarda çok hızlıdır. Organik madde miktarı en az değerini Yukarı Seki Ovası ile Dont Yaylası (%0,70) topraklarında gösterir. Kolüviyal toprakların hemen hepsinde bazla doygunluk tamdır ve pH: 7,7 civarındadır. Tuz ve fosfor yönünden fakir olan bu topraklar, kireç yönünden oldukça zengindir. Fosfor yönünden Dont Yaylası (3,20 kg/dek) ile Yukarı Seki Ovası (3,10 kg/dek.) orta, Yayla Zorlar (6,8 kg./dek) iyi, Uğurlu Ovası ise fakirdir (0,45 kg/dek).

Kolüviyal topraklar kuru tarıma elverişliliği yanında su kanallarının yapımı ile sulu tarıma açılmıştır. Bu toprakların görüldüğü yerler: Aşağı ve Yukarı Seki ovaları, Dont, Karabel, Kayabaşı, Paşalı, Kıncılar, Uğurlu, Gölbent ve Kabağağaç ovalarıdır(Harita 3). Kolüviyal topraklarda; arpa, buğday, mısır, tütün, zeytin, nar, meyve, sebze, susam, pamuk, fasulye yetiştirilmektedir.

3.2.3. Kırmızı Akdeniz Toprakları

Bu toprakları oluşturan ana materyal, Tersier'e ait sert kalkerlerin ayrışma ürünleridir. Topografya; dağlık ve arızalı, eğim ise; çok sarp ve diktir. Doğal bitki örtüsünü, orman ve makiler oluşturmaktadır. A horizon; çoğunlukla 10 cm kalınlıkta, nemli iken kırmızımsı, kahverengi, sarımsı, kırmızı veya kırmızı, kuru iken sarımsı, kırmızı veya kırmızı renk vermektedir. Bu topraklarda CaCO₃ miktarı çok az bulunmaktadır. Bu durum horizontunda genel bir yıkanmanın olduğunu gösterir. Kolayca bulunan A horizonuna karşılık fazla eğimli, şiddetli erozyon ve taşlılık sebebiyle yok olan veya çok ince kalan B horizonunu tespit çoğunlukla mümkün görünmemektedir. Ped yüzeylerinde biriken kilin oluşturduğu parlak kil zarlarını görmek mümkündür. Profilde taş, çakıl ve mangan lekeleri görülmektedir. Bu toprakların C horizonunun ana materyalini sahadaki kil, konglomera ve ultrabazik kayalar oluşturmaktadır (T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bak., Topraksu Gn. Müd. Yay. 1984).

Bu toprakların geniş yayılım gösterdiği sahalardan alınan örneklerin analiz sonuçlarına göre: bünye, genellikle kumlu (S), killi-tın (CL); kum oranı oldukça fazladır. Bekçiler civarından alınan toprak örneğinden çıkan sonuçta su tutma kapasitesi % 55 civarındadır. Bunda kil ve organik madde miktarının fazla olması etkili olmuştur.

Kırmızı Akdeniz toprakları, Seydikemer yöresinde Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü sahalarda kızılçam, kızılçamların tahrip edildiği alanlardaki maki vejetasyonunun hakim olduğu alanlarda gelişme göstermişlerdir. Bu topraklara Seki ovalarını çevreleyen yüksek

sahalarda(Fotoğraf 3), Kınık, Bekçiler, Ambarkavak, Boğazköy, Söğütlüdere ve çevresinde rastlanmaktadır (Harita 3). Ayrıca karstik çözülme sonucu gelişmiş olan dolin, uvala ve polyelerin tabanlarında karstlaşmanın ilerlemesine engel olan killi kireçtaşı veya marn tabakalarının üzerinde gelişme göstermiştir. Seydikemer İlçesi'nde bitki örtüsünün daha çok tahrip edilmesi ile açığa çıkan kırmızı Akdeniz topraklarında buğday, arpa, anason, patates ve meyve yetiştiriciliği yapılmaktadır.



Fotoğraf 3. Akçal Tepe (2369 m) Güneyinde, Üst Kretase Yaşlı Çatlaklı Kalkerler Üzerinde Oluşmuş Kırmızı Akdeniz Toprakları

3.2.4. Kahverengi Orman Toprakları

Genellikle yıllık ortalama yağışın 600-700 mm, sıcaklığın 12°C'nin üzerinde bulunduğu sahalarda görülmektedir. Doğal bitki örtüsü; özellikle yaprağını döken meşe, karaağaç, bodur meşe ve yaprağını dökmeyen çam türlerinden oluşmaktadır. Ana maddeleri çoğunlukla; Tersiyer'e ait kireçtaşı, marn, kalkerli kilttaşları ve kil çimentolu konglomeralardır. Eğim ve jeomorfolojik yapı toprak işlemlerini kısıtladığından çoğunlukla orman ve mera olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sahalarda eğim şartlarının elverdiği, orman ve fundadan açılmış sahalarda kuru tarım, Eşen Çayı vadi tabanında ise sulu tarım yapılmaktadır (T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bak. Topraksu Gn. Müd. Yay. 1984).

Kahverengi orman topraklarının önemli problemleri ise; sıklık, fazla eğim, taşlılık ve erozyondur. Mekanik analiz sonuçlarına göre bünye; killi tın (CL) ve kumlu-killi-tın (SCL)'dir. Bu topraklarda kil yüzdesi diğer fraksiyon üyelerine göre biraz fazladır. Bundan dolayı bu toprakların suyu bağlama kuvvetleri fazla olup, yüzde su miktarları iyidir. Permeabilitesi normal olup, infiltrasyon hızları iyi, organik madde miktarları düşüktür. PH: 7,7 civarında ve baziktir. Tuz ve fosfor yönünden de fakir olan bu toprakların suni gübre ile takviye edilmesi uygundur.

Seydikemer İlçesi'nde kahverengi orman toprakları; Ören, Atlıdere, Girmeler (Fotoğraf 4), Kadıköy, Korubükü, Eşen, Çaykenarı, Arsaköy, Bağlıağaç, Yakaköy, Yayla Karaçulha, Dereköy ve Kayacık mahalleleri çevresinde yaygındır(Harita 3). Kahverengi orman topraklarında; sebze, meyve, örtü altı yetiştiricilik, pamuk, susam, mısır, zeytin, nar ve buğday tarımı yaygın olarak yapılmaktadır.



Fotoğraf 4. Girmeler Mahallesi, Çetildüz Mevkiindeki Kahverengi Orman Toprakları

3.2.5. Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları

Bu topraklar, topoğrafyanın dağlık ve tepelik, eğimin %12-30° arasında olduğu kesimlerde görülmektedir. Eğim değerlerinin yüksek olması, toprağın tarım yönünden işlenmesini güçleştirmektedir. Genellikle bu topraklar üzerinde orman, funda ve maki formasyonları yer alır. Kuru tarım ve bağ-bahçe olarak kullanılan arazi az bir kısımda mevcuttur. Bu alanlar, toprak şartlarının elverdiği orman açmalarıdır. ABC horizonuna sahip zonal topraklardır. Eğimin fazlalığı ve bitki örtüsünün yetersizliği nedeniyle A horizonunun üzerinde organik horizonları her zaman görmek mümkün değildir. Bünye; tınlı veya siltli tın, yapı; orta derecede teşekkül etmiş bloktur. Kireç bu topraklara sekonder olarak gelmektedir. B horizonu 15-20 cm kalınlıkta olup renk nemli ve kuru iken grimsi kahverengidir. Oluşum faktörlerinden ziyade ana kayanın özelliğini taşıyan C horizonunun rengi nemli iken sarımsı kahverengi, kuru iken açık gridir. Bu topraklarda kil ve kum yüzdesi yüksek, bünye killi-tın (CL)'dir. Agregasyon olmadığından yapısızdır. En önemli özellikleri; eğim, sıklık, taşlılık ve erozyondur. Bundan dolayı bazı problemler görülmektedir (T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bak. Topraksu Gn. Müd. Yay. 1984).

Kireçsiz kahverengi orman topraklarının bulunduğu sahalardan alınan numuneler sonucunda toprağın su tutma oranının yüzde 55 olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kil ve mil oranı ile ilgilidir. Çünkü aynı topraklarda organik madde %1,06 ile orta seviyenin altındadır. pH: 7,7 ve baziktir (Tablo 1). Fosfor dekara 0,45 kg olup zirai yönden fakirdir. Toprağın fosforlu gübrelerle takviye edilmesi gerekir.

Bu topraklara; Yayla Karaçulha Mahallesi'nin kuzeyi, Seydikemer İlçe merkezi ile Çobanlar Mahallesi'nin batı kesimlerinde rastlanır (Harita 3). Kireçsiz kahverengi orman topraklarında kızılçam, kızılçamın tahrip edildiği sahalarda maki bitki topluluğuna ait türler, sebze, meyve, örtü altı yetiştiricilik kısmen mısır, susam yetiştirilmektedir.

3.2.6. Kırmızı Kahverengi Orman Toprakları

Bu topraklar, Arsaköy'ün güneydoğusunda oldukça dar bir sahada görülürler. Kalker, kumtaşı, silttaşı yer yer de konglomera ana kayası üzerinde oluştuğu görülmektedir. A (B) C profilli topraklar olmasına karşın saha çalışmalarında ince A horizonu ve onun altında B horizonu olduğu gözlenmiştir. Oldukça eğimli topoğrafyadaki topraklar üzerinde seyrek adı ardıç topluluğu görülmektedir.

3.3. Seydikemer Topraklarının Sorunları

Seydikemer İlçesi topraklarının jeodinamik problemleri arasında; erozyon, heyelan, taşkın ve kıyı kumulları yer almaktadır.

3.3.1. Erozyon

Seydikemer İlçesi'nde düz veya düze yakın vadi ve ova tabanlarındaki topraklar daha az erozyona uğrarken; bu kesimlerin çevresindeki yüksek kesimlerde daha şiddetli erozyon görülmektedir.

İlçenin yüksek dağlık kesimler ve platoların farklı litolojik birimlerden oluşması erozyona hız vermiş, farklı aşınım alanları meydana gelmiş, çözülme enkazı materyal akarsularla taşınarak erozyona süreklilik kazandırmıştır. Ayrıca çeşitli sebeplere bağlı olarak orman yangınları ve buna ilaveten yakacak ihtiyacının karşılanması bir sonucu olarak doğal zemin gevşetilmiş, erozyona hazır hale getirilmiştir. Eşen Çayı, Deliçay (Akçay) ve Akçay (Kıncılar D.)'ın mansap kısımlarındaki klastik depolar erozyonal faaliyetin en belirgin delili olarak görülmektedir (Bozyiğit, 2018:423).

3.3.2. Heyelânlar

Seydikemer'de heyelânlı sahalara; yüksek kesimlerle ova ve vadi tabanları arasındaki eğimin fazla olduğu yamaçlarda rastlanmaktadır. Bunlar pek yaygın değildir. Bugüne kadar meydana gelmiş heyelânların büyük bir kısmının yol yarmaları (Fotoğraf 5) ile

ormandan yer kazanmak üzere açılmış sahalarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Seydikemer-Ceylan yolunun 8. km'sindeki yol yarmasında Kretase yaşlı kalkerler üzerinde yer alan flişli serinin yer yer batıya doğru kaydığı gözlenmiştir. Ayrıca Seydikemer'i Antalya'ya bağlayan karayolunun 5. km'sindeki Sarıyer mevkiinde denge açısı bozulan Eosen fliş serileri ana kayadan doğudaki Akçay Deresi'ne doğru kaymakta ve zaman zaman karayolu trafiğini aksatmaktadır. Seydikemer-Antalya karayolunun 12. km'sinde Bayır Mahallesi'ne bağlı Kırsecik Mevkii'ndeki bir bölüm arazide, 1978-79 kışında meydana gelen heyelânda can kaybı olmamakla beraber, bazı evlerin hasar gördüğü tespit edilmiştir. Seydikemer-Antalya devlet yolunun 11. kilometresinde heyelan enkazı yolun tek şeritten sağlanmasına yol açmıştır (Bozyiğit, 1997). Seki Mahallesi'nin güneybatısındaki Kara T.(1806 m)'nin kuzey yamaçları kademeli faylarla parçalanmıştır. Aynı zamanda altta ofiolitler, üstte ise kalker tabakaların yer aldığı sahada dalgalı kayma yüzeyleri görülmektedir.

Havzada yüksek dağlık sahanın eteklerinde kurulmuş olan; Dereköy, Çökek, Kayacık, Yakaköy, Bağlağaç, Arsaköy, Seki, Yayla Ören ve Söğütüldere mahalleleri heyelân riski taşıyan toprakların üzerinde yer almaktadır.



Fotoğraf 5. Seydikemer-Antalya Devlet Yolu Üzerinde Heyelan Enkazı

3.3.3. Taşkınlar

Seydikemer İlçesi'nde Ören-Kumluova mahalleleri arasındaki vadi tabanı ovaları(Harita 3), gerek sık sık kendilerini kat eden akarsuların; gerekse onların kollarını teşkil eden ve ovaların kenarında yer alan yüksek sahalardan doğan akarsuların taşkınlarına maruz kalırlar. Taşkın sonucunda bir kısım arazi su altında kalmakla birlikte siltasyon nebati toprağı maskeleymiştir.

Taşkınların meydana gelmesinde; havzanın topoğrafik özellikleri, jeolojik yapı, iklim ve insan faktörünün etkili olduğu görülür. Bu güne kadar taşkın yaşanan ovalar, Aşağı Seki Ovası, Ortaköy Ovası, Seydikemer Ovası, Kabağaç-Kadıköy Ovası, Çukurincir Ovası ve Kumluova'dır.

3.3.4. Kıyı Kumulları

Seydikemer'de yer alan Eşen Çayı Delta Ovası'nın kıyısı boyunca kumullar yer alır(Harita 3). Batıda Zeytin Burnu'ndan, doğudaki Çayağzı'na kadar uzanan 6 km'lik mesafede bulunur. Hareketli kumullar, delta sahasının batı yakasında 4 km kadar içeriye sokulmuşlardır (Harita 3).

Kumul sahasını meydana getiren kumların kaynağı Eşen Çayı'nın getirdiği kum, silt ve kil boyutundaki malzemenin denize bırakılması, daha sonrada dalgalarla da delta cephesinin her iki tarafına doğru dağıtılarak biriktirilmesi sonucunda teşekkül etmiştir (Fotoğraf 6). Zaman zaman hareketli olan kumulların yer değiştirmesini önlemek amacı ile T.C. Orman Bakanlığı tarafından 1961 yılında erozyon önleme çalışmaları başlatılmış ve bu çalışmalar başarılı sonuçlar vermiştir(Bozyiğit, 2018:435).



Fotoğraf 6. Eşen Çayı Deltası'nda Yer Alan Kumullar, Zaman Zaman Hareketli Hale Geçebilmektedir. Bu Durum Yöredeki Tarım Arazilerini Tehdit Etmektedir.

4. Sonuç

Seydikemer İlçesi toprakları, pedogenetik özelliklerine göre yapılan sınıflamada üst kategori tasnifine tabi tutulmuştur. Buna göre yörede altı büyük toprak grubu yer almaktadır. Bu topraklardan en yaygın olanı, kırmızı Akdeniz topraklarıdır. Bunu kahverengi orman, kolüvyal, kireçsiz kahverengi orman, alüvyal ve kırmızı kahverengi orman toprakları takip eder. Yöre topraklarında ana kaya, iklim ve topoğrafyanın etkileri görülmektedir. Ofiolitlerin yaygın olduğu sahalarda kireçsiz kahverengi orman, kireçtaşının yaygın olduğu yerlerde kırmızı Akdeniz toprakları, topoğrafyanın düz veya hafif eğimli yerlerinde alüvyal ve kolüvyal topraklar yer alır. Organik madde bakımından fakir olan topraklarda en yüksek değere, Bekçiler Mahallesi topraklarında (2.61) rastlanmaktadır.

Seydikemer İlçesi'nin farklı yerlerinden alınan toprak örneklerinin laboratuvar analizlerinde: kil %14-42, mil % 13.4-40.8, kum %27.2-60.8, toplam tuz 0.01-0.06, pH 7.5-7.8, kireç(CaCO_3) 4.0-44.2, fosfor (P_2O_5) 0.45-8.47, organik madde 0.70-2.61 arasında değişmektedir. Elde edilen veriler ışığında Seydikemer İlçesi topraklarının yüksek kireçli ve düşük organik maddeye sahip oldukları görülmektedir. Bölgedeki akarsular tarafından teşekkül ettirilen alüvyal toprakların tekstür analizleri incelendiğinde; genelde kumlu killi tın, killi tın bünyeye sahip oldukları görülmekte olup geçirgenlikleri yeterli, su tutma kapasitelerinin ise iyi derece de olduğu; tuzluluk problemi olmadığı anlaşılmaktadır. Alüvyal topraklar etkin toprak derinliği yeterli olan, çok yıllık bahçe bitkileri ve tarla bitkileri yetiştiriciliğine uygun topraklardır.

İlçe topraklarının genelinde organik madde eksikliğinin olduğu ve pH'nın yüksek olduğu görülmekte, kireç miktarının fazlalığından dolayı mikro besin elementi eksiklikleri ve azot eksikliğinin görülmesine sebep olmaktadır. Ayrıca fosfor miktarının yetersiz olduğu ve yetiştiriciliği düşünülen bitkilere makro ve mikro besin elementi takviyesi yani gübreleme yapılması zorunludur. Kil oranı yüksek arazilerde drenaj sorunu da görülebileceğinden bahçe kurulumu öncesi drenaj sorununun giderilmesi gerekir.

Bölgedeki yüksek eğime sahip dik vadi ve tepe yamaçlarından yerçekiminin etkisiyle ve yüzey akışla tabana doğru biriken materyalin oluşturduğu kolüvyal topraklar etkili toprak derinliği genellikle sığ, organik maddece zayıf; fosfor, azot gibi makro besin elementlerince zayıf, kireç miktarı fazla topraklardır. Bu arazilerde bitkisel üretim verimini arttırmak için toprak strüktürünü geliştirici uygulamalar yapılmalı, özellikle organik maddenin artırılması için yanmış ahır gübresi, humik asit vb. organik gübre takviyesi gerekir. Sığ toprak derinliği olan arazilerde ağaç dikimi yapmadan önce derin fidan çukurları açılarak fidan dikimi sonrası bu çukurlar toprakla doldurulmalı; eğimli yamaç arazilerde teraslama uygulaması yapılarak kök derinliği yüzlek olan zeytin, nar, badem gibi bahçe bitkileri ve tarla bitkileri yetiştirilebilir. Analiz sonuçlarına göre bu araziler yüksek kireç oranı içerdiğinden ve pH değerleri bazik karakterde olduğundan söz konusu arazilerde azot eksikliğini gidermek için amonyum sülfat gibi asidik karakterde gübreler kullanılması önerilebilir.

Seydikemer İlçesi topraklarını tehdit eden süreçler arasında erozyon, heyelan, taşkın, hareketli kumullar ve yanlış arazi kullanımı gelmektedir. Yörede su erozyonuna yol açan Eşen Çayı ve kolları aynı zamanda da taşkınlara sebebiyet vermektedir. Bu konuda taşkın kontrolü, baraj ve ağaçlandırma çalışmaları sürdürülmektedir. İlçe toprakları üzerinde heyelana uğramış ve uğrama riski bulunan sahalık mevcuttur. Bu sahalık lokal olmakla beraber zemin etütleri detaylı bir şekilde hazırlanmalı, riskli Yayla Ören, Söğütlüdere, Kayacık, Çökek, Dereköy mahalleleri sağlam zeminli yerlere çekilmelidir. Hareketli kıyı kumulları için T.C. Orman Bakanlığı tarafından 1961 yılında başlatılan çalışmalar neticesinde 3.5 milyon ağaç dikilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır(Bozyiğit, 1991:57). Ancak ağaçlandırma sahasının yangın, kaçak kesim gibi riskler taşıması, zaman zaman Akdeniz üzerinden gelen hava kütlelerinin kumulları havalandırdığı görülmektedir. Bu konuda kumulların hareketlerinin izlenmesi ve üzerlerinin kumul şartlarına göre örtü bitkileri ile kaplanması önerilmektedir. Seydikemer İlçesi'nde mahalle yerleşmelerinin bir kısmı orman içi veya orman yakınında yer almaktadır. Bu mahallelerde

yaşayan halkın yakacak ihtiyacı, örtü altı yetiştiricilik ya da tarım faaliyetlerinden doğal bitki örtüsü zarar görebilmektedir. Bu durum eğimli sahalarda yer alan arazilerde toprak kayıplarına yol açmaktadır.

5. Kaynakça

- Akalan, İ. (1983), *Toprak Bilgisi*, Ank., Üniv., Ziraat Fak., Yay no:878, Ankara.
- Atalay, İ. (2011), *Toprak Oluşumu, Sınıflandırması ve Coğrafyası*, (5.Baskı), Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Atalay, İ.-Gökçe Gündüzoğlu, A. (2015), *Türkiye'nin Ekolojik Koşullarına Göre Arazi Kabiliyet Sınıflandırması*, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Bağdatlı, M.C.-İstanbuluoğlu, A.-Bayar, N.A. (2014), Toprak ve su Kaynakları Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Belirlenmesi: Tekirdağ-Çerkezköy İlçesi Uygulaması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, Sayı:14, 17-25, Afyon.
- Baldwin, M.-Kellogg, C.E.-Thord, J. (1938), *Soil Clasification. Soil and Man*, U.S. Dept. Agric. Ybk 979-1001 pp.illus.
- Bozyiğit, R. (1991), Eşençay (Kocaçay) Deltasının Jeomorfolojisi ve Coğrafik Özellikleri, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Konya.
- Bozyiğit, R. (1997), Eşen Çayı Havzası'nın Jeomorfolojisi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü (Basılmamış Doktora Tezi), İstanbul.
- Bozyiğit, R. (2018), An Evaluation on the Hydrogeomorphological Properties of the Eşen Stream Basin, *International Journal of Eurasia Social Sciences*, Vol:9, Issue:32, pp.394-439.
- Crocker, R.L. (1952), *The plant factor in soil formation Australia.*, J.Sci. 21, 180-193.
- D.M.İ. (2015): Fethiye ve Çevresindeki Meteorolojik İstasyonlarına Ait:
*Yıllık Meteoroloji Bültenleri.
*Günlük ve Aylık Meteoroloji Bültenleri.
- Dokuchaev, V. V.,(1883), *Russian Chernozem*. Israel Program for Scientific Translations Ltd. (for USDA-NSF), S. Monson,
- Dokuchaev, V.V. (1886), *The Russian Steppes.*, Dept. Agric. Min. Of Crown Domains for the World's Columbian Exposition St. Petesburg, Rusia.
- Efe, R. (1999), Güney Marmara Bölümü Batısında Toprak Oluşumunu etkileyen Coğrafi Faktörler ve Toprak Özellikleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı 34, 193-209, İstanbul.
- Efe, R.(2000), *Biyocoğrafya*, MKM Yayıncılık, Bursa.
- FAO-UNESCO, (1971-1981), *Soil map of the world*. 1: 5 000 000. Volume I. Legend. Prepared by the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Unesco - Paris.
- Jeny, H. (1941), *Factors of Soil Formation A System of Quantitative Pedology*, Dover Publications, Inc., New York.
- Kazancı, N.-Uysal, F. (2008), Eşen Vadisi Pleistosen Tortularının Sedimentolojik İncelemesi, Ankara Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi, Kesin Raporu, Ankara.
- Marbut, C.F.(1927), *A Scheme for Soil Classification*, First International Congress. Soil Scien, Protect 4, 1-31
- Mater, B.,(1998): *Toprak Coğrafyası*, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Mückenhausen, E.(1962), *Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Boden der Bundesrepublik Deutschland*. Frankfurt.
- Seydikemer İlçe Tarım Müdürlüğü, (2014), Tarım ve Hayvancılık Verileri, Seydikemer.
- Şenel, M.-Selçuk, H.- Bilgin, Z.R.-Şen, M.A.-Karaman, T.- Dinçer, M.A.- Durakan, E.- Arbaş, A.- Örcen, S.-Bilgin, C. (1989), Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve Dolayının Jeolojisi, MTA Rap no:9429 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Şenel, M.-Akdeniz, H.-Öztürk, E.M.-Özdemir, T.-Kadınkız, G.-Metin, Y.-Öcal, H.- Serdaroğlu, M.-Örcen, S. (1995), Fethiye(Muğla-Kalkan (Antalya) ve Kuzeyinin Jeolojisi, MTA, Enst. Jeo. Etüt, Dairesi Yayını, Ankara.
- Şenel, M. (1997a), 1/100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:2, Fethiye-L 8 Paftası, MTA, Jeoloji Etüt Dairesi, Ankara.
- Şenel, M.(1997b), 1/100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:4, Fethiye- M 8 Paftası, MTA, Jeoloji Etüt Dairesi, Ankara.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Topraksu Gn. Müd.,(1984), Muğla İli Verimlilik Envanteri ve Gübre İhtiyaç Raporu, TOVEP Yayın No 15, Gn. Yayın no:15, Ankara.
- TÜİK (2020): Nüfus İstatistikleri, Ankara.



Bazı Küflerin Toprak Bazlı Mikrobiyal Yakıt Hücresindeki Potansiyellerinin İncelenmesi

Gamze Karanfil^{1*}

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7941-9853)

(İlk Geliş Tarihi 2 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 19 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.669422)

ATIF/REFERENCE: Karanfil, G. (2020). Bazı Küflerin Toprak Bazlı Mikrobiyal Yakıt Hücresindeki Potansiyellerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 707-710.

Öz

Fosil yakıt tüketimi, artan enerji talepleri ve sera gazı emisyonlarına ilişkin endişeler sürdürülebilir ve yeşil enerji alternatifleri arayışını büyük ölçüde arttırmıştır. Organik atıkların geri dönüşümü en az enerji kadar önemli bir konudur. Herhangi bir işlem görmeyen organik atıklar su kirliliği veya koku problemleri gibi ciddi çevresel problemlere neden olmaktadır. Organik atıkların geri dönüşümü hem çevrenin korunması hem de enerji geri kazanımı konusunda önem taşımaktadırlar. Organik atıkların atık olarak değerlendirilmesi yerine, kaynak geri kazanımı için değerli biyokütle olarak düşünülmesi gerekmektedir. Mikrobiyal yakıt hücreleri özellikle son yıllarda organik maddeleri elektriğe dönüştürme sistemleri olarak büyük ilgi görmektedirler. Mikrobiyal yakıt hücreleri, organik madde gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen substratları kullanarak eş zamanlı elektrik üretimi ile zararsız yan ürünlere dönüştürürler. Toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücreleri ise toprakta doğal olarak bulunan mikroorganizmalardan ve organik maddelerden faydalı elektrik üretebilen çekici bir karbon-nötr enerji dönüşüm teknolojisidir. Yapılan çalışmada, küf içeren organik maddelerin biyodegradasyonu ile biyoelektrik üreten toprak bazlı bir mikrobiyal yakıt hücresi geliştirilmiştir. Farklı küflerin elektrik üretme potansiyellerini inceleyebilmek için ekme küfü, peynir küfü, limon küfü ve salça küfü olacak şekilde farklı küf çeşitleri incelenmiştir. Toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücresi sistemi aynı miktarlarda toprak+solucan gübresi+küf+su olacak şekilde kurulmuştur. Ekme küfü 193 μ W ile en yüksek değeri göstermiştir. Sonuç olarak, farklı küf çeşitlerinin birbirinden farklı güç üretim potansiyellerinin ve profillerinin olduğu gözlemlenmiştir. Toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücrelerinin organik atıklardaki küfleri kullanarak elektrik üretim potansiyellerinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücrelerinin yeşil elektrik üretimi için iyi bir yol olduğu ve aynı zamanda sağlıklı ve kirlilik içermeyen bir çevre sağlamak için organik atıkların geri dönüşümü için kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Küf, Mikrobiyal Yakıt Hücresi.

Investigation of Potential of Some Molds in Soil Based Microbial Fuel Cell

Abstract

Concerns about fossil fuel consumption, increasing energy demands and greenhouse gas emissions have greatly increased the search for sustainable and green energy alternatives. Recycling of organic wastes is as important as energy. Untreated organic wastes cause serious environmental problems such as water pollution or odor problems. Recycling of organic wastes is important for both environmental protection and energy recovery. Organic wastes should be considered as valuable biomass for resource recovery rather than waste. In recent years, microbial fuel cells have attracted great interest as systems for converting organic matter into electricity. They convert substrates into harmless by-products using simultaneous generation of electricity using substrates from renewable sources such as organic matter. Soil-based microbial fuel cells are an attractive carbon-neutral energy conversion technology that can generate beneficial electricity from naturally occurring microorganisms and organic matter in the soil. In this study, a soil based microbial fuel cell producing bioelectricity by biodegradation of mold containing organic materials was developed. In order to examine the potential of different molds to produce electricity, different mold types such as bread mold, cheese mold, lemon mold and tomato paste mold were examined. The soil-based microbial fuel cell system has been installed with the same amounts of soil+vermicompost+mold+water. Bread mold showed the highest value with 193 μ W. As a result, it was observed that different mold types have different power generation potentials and profiles. It was concluded that soil based microbial fuel cells have high electricity generation potential by using molds in organic wastes. It has been found that soil-based microbial fuel cells are a good way to generate green electricity and can also be used to recycle organic waste to ensure a healthy and pollution-free environment.

Keywords: Energy, Mold, Microbial Fuel Cell.

* Sorumlu Yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7941-9853), gamzekaranfil@kmu.edu.tr, gamzekaranfil86@gmail.com

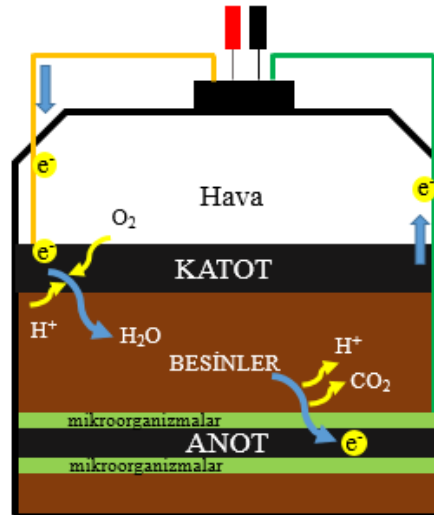
1. Giriş

Sera gazı emisyonları ve fosil yakıtların tükenmesi ile ilgili endişelerin yanı sıra artan enerji talepleri, dünya çapında sıkı bir şekilde yenilenebilir enerji politikası hedeflerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Örneğin Avrupa'da, 2020 yılına kadar yenilenebilir kaynaklarından % 20 enerji üretimi hedefi belirlenmiştir. Bu hedefler, yenilikçi enerji teknolojilerinin geliştirilmesine olan ilgiyi arttırmaktadır (Castresana vd., 2019).

Enerji kadar önemli olan başka bir konu organik atıkların geri dönüşümüdür. Katı fazdaki organik atıklar çevrede büyük bir endişe kaynağıdır. Organik atıkların yaratmış olduğu kirlilik, büyük miktarlarda tarımsal atık birikimi, hayvan dışkı, şehir çöpü vb. yüzleşilmesi gereken ve çözülmesi zor olan çevresel konuların başında gelmektedir (Wang vd., 2013). Gelişmekte olan birçok ülkenin katı atıklarının karakteristik analizleri, toplam katı atığın büyük bir kısmının (% 80'den fazla), genellikle geri dönüşüm veya kaynak geri kazanımı için çok fazla dikkat çekmeyen organik atıklardan oluştuğu belirlenmiştir (Moqsud vd., 2013). Küresel bir bakış açısına göre, organik atıklar karlı olabilecek ve atıktan enerji konseptine uyan değerli bir kaynak olarak görülmelidir (Khudzari vd., 2016).

Mikrobiyal yakıt hücreleri (MYH); katalizör olarak mikroorganizma kullanan umut verici bir anaerobik atık arıtma cihazı olarak, çeşitli organik atıklardan elektrik üreten biyo-elektrokimyasal dönüştürücülerdir (Jia vd., 2013; Moqsud vd., 2015). Bakteriler tarafından üretilen elektrik akımı, 1911'de Potter tarafından gözlenmiş olmasına rağmen, bu alanda sonraki 50 yıl boyunca sınırlı uygulanabilir sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte 1990'ların başlarında, yakıt hücrelerinin üzerindeki ilginin artmasıyla birlikte, MYH de gelecek vaat eden teknolojiler arasında kabul edilmiştir. Geleneksel bir MYH, bir proton değişim membranı (PEM) ile fiziksel olarak ayrılmış anot ve katot bölmelerinden oluşur. Anottaki aktif biyokatalizör organik substratları okside eder ve elektronlar ve protonlar üretir. Protonlar, katot bölgesine PEM yoluyla iletilir ve elektronlar dış devre boyunca taşınır. Protonlar ve elektronlar, katot bölmesinde, oksijenin suya paralel olarak indirgenmesiyle reaksiyona girer (Rahimnejad vd., 2015).

Toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücreleri (bitki mikrobiyal yakıt hücreleri olarak da adlandırılmaktadır), toprakta doğal olarak bulunan organik maddede depolanan kimyasal enerjiyi, elektrokimyasal olarak aktif mikroorganizmaların etkisi ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Özellikle anottaki mikroorganizmalar, toprak içinde bulunan organik maddeyi okside eder, böylece elektron alışverişi yapar ve protonları aktarır. Elektronlar, harici bir devre boyunca katoda ilerler, elektrik üretir, protonlar ise katoda toprak yoluyla iletilir. Katotta oksijen, H₂O üretmek için elektron ve protonlarla reaksiyona girer (Castresana vd., 2019). Toprak bazlı MYH'nin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



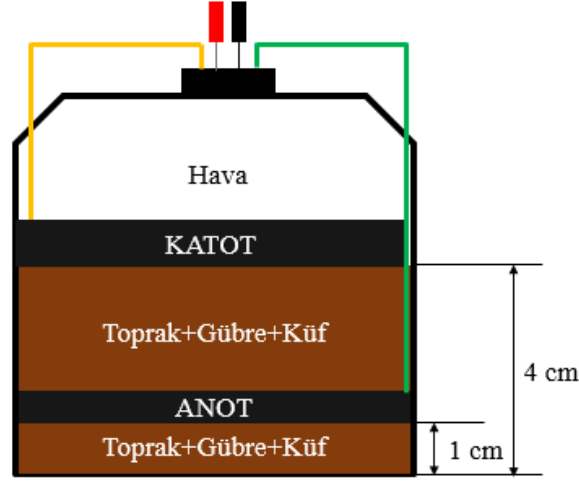
Şekil 1. Toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücrenin şematik gösterimi

Tüm mantarlar gibi küfler de yaşadıkları organik maddeden heterotrofi kullanarak fotosentez yoluyla olmadan enerji üretirler. Tipik olarak küfler, esasen hiphal uçlarından hidrolitik enzimler salgırlar (Karanfil, 2019).

Yapılan çalışmada organik atığa neden olan küf çeşitlerinden bazılarının toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücrelerinde kullanımının potansiyeli incelenmiştir. Küf çeşitleri seçilirken evsel atıklara en çok neden olan ekmekek küfü, peynir küfü, limon küfü ve salça küfü belirlenmiş ve bu küflerin toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücrelerinde elektrik üretim potansiyelleri izlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

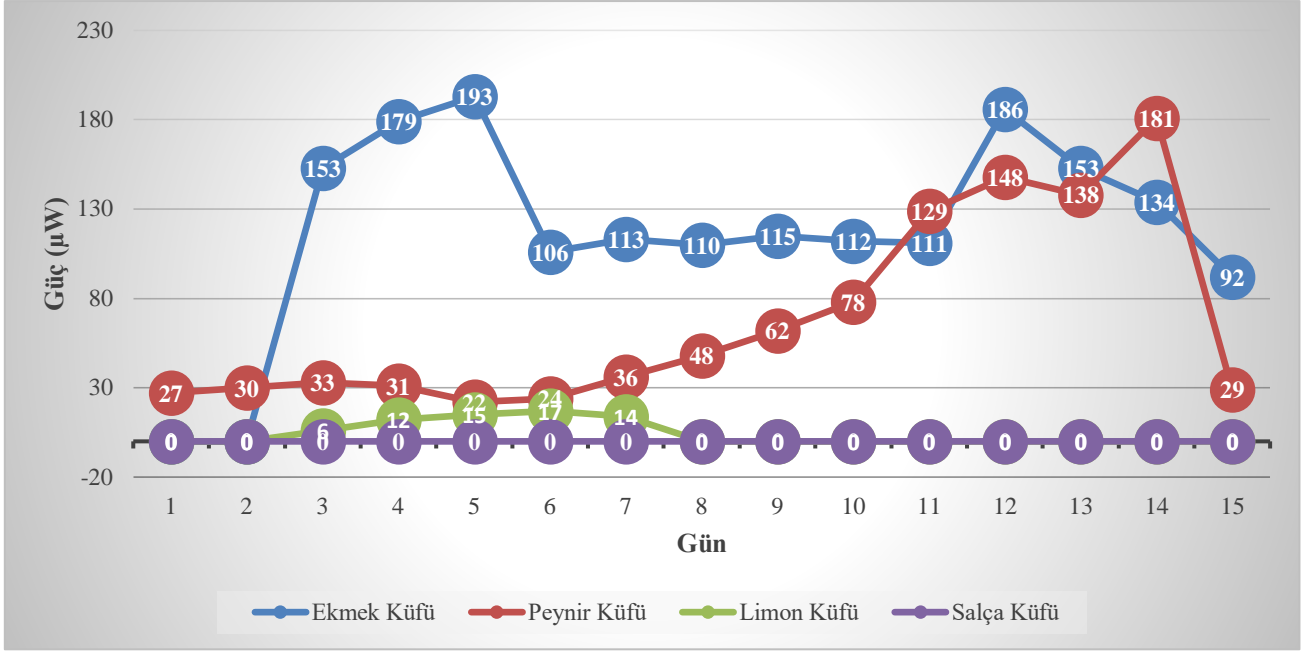
Seçilen küflerin toprak bazlı MYH'inde elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi için FuelCell Store'dan satın alınan MudWatt Microbial Fuel Cell kiti kullanılmıştır. Aynı miktarlarda toprak, solucan gübresi, küf ve su ile bir karışım hazırlanarak kitin içerisine 1 cm yüksekliğinde eklenmiştir. Anot ve katot elektrotları aralarında 2.5 cm toprak karışımından olacak şekilde yerleştirilmiştir. Toprağa daldırılmış anot ve havaya maruz kalan katot titanyum tel ile bağlanmıştır. Anot (Yeşil, 8 cm çap ve 0,5 cm kalınlıkta) ve katot (Turuncu, 8.5 cm çap ve 1 cm kalınlıkta) grafit elyaf keçeden yapılmıştır. Kapasitörlü ve LED'li küçük bir devre kartı, elektriğin üretildiğinin görünür göstergeleridir. Ayrıca, MudWatt Explorer App uygulaması yanıp sönme sayısını LED ışığından üretilen (mikroWatt'ta (μW)) akıma dönüştürmek için kullanılmıştır. Ölçümler 15 gün boyunca günde bir kez yapılmıştır. Toprak bazlı-MYH'nin tasarımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Toprak bazlı mikrobiyal yakıt hücresi tasarımı

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Seçilen küf çeşitlerinin toprak bazlı MYH'inde gücündeki değişikliklerin 15 günlük izlenen sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Ölçülen sonuçlarda ani güç değişiklikleri gözlenmiştir. Güç düşüşü olgusu, karbon kaynağının toprak bazlı MYH'nin anaerobik bölgesi içindeki bakterilerin metabolizmasını sınırladığı için gerçekleştiği düşünülmektedir. Başka bir deyişle, organik maddeler her tükenmeye başladığında, toprak bazlı MYH'inde düşük mikrobiyal metabolizma nedeniyle elektrik üretimi azalacaktır (Barua ve Deka, 2010). Mevcut çalışmada bulunan güç değişimleri profili farklı MHY sistemleri için literatür ile benzerlik göstermektedir (Jia ve ark., 2013; Moqsud ve ark., 2015; Khudzari ve ark., 2016; Yu ve ark., 2019). Ekmek ekme küf, peynir küf, limon küf ve salça küf elektrik üretim potansiyelini belirlemek için, toprak bazlı MYH sistemi toprak+solucan gübresi+küf olarak kurulmuştur. Şekil 3'ten de görüleceği üzere ekme küf ile kurulan sistemde 3. gün sonunda güç elde edilmiş ve 15 günlük ölçüm süresinde maksimum 193 μW güç üretimi gözlenmiştir (Karanfil, 2019). Peynir küf ile kurulan toprak bazlı MHY sisteminde ilk günden itibaren güç üretimi gözlenmiştir ve 14. güne kadar lineer bir artış mevcuttur. 14. günde en yüksek güç değeri (181 μW) elde edildikten sonra ani bir düşüş görülmüştür. Limon küf ile kurulan toprak bazlı MHY sisteminde sadece 5 gün ve çok küçük değerlerde güç üretimi gözlenmiştir. Son olarak salça küf ile kurulan toprak bazlı MYH sisteminden elektrik üretimi gözlenmemiştir.



Şekil 3. Seçili küflerin toprak bazlı MYH performansları

4. Sonuç

Mevcut çalışmada evsel atıklarında en çok organik atığa neden olan küflerin toprak bazlı MYH elektrik üretme potansiyelleri belirlenmiştir. Farklı küf çeşitlerinin birbirinden farklı güç üretim potansiyellerinin ve profillerinin olduğu sonuçlardan açıkça görülmektedir. Sonraki çalışmalarda farklı küf çeşitleri ile bu küflerin birlikte kullanımı incelenecektir. Ayrıca ölçümlerin hassaslığını arttırmak için çeşitli sensörler eklenerek sürekli izleme sistemi oluşturulacaktır. Ayrıca küf kullanılan toprak bazlı MYH sisteminin seralardaki kullanımına ilişkin çalışmalara öncülük etmesi adına bitki yetiştirilmesindeki etkisi de incelenecektir.

Teşekkür

Ekmek küfüyle ilgili öncü çalışmaları yaparak küf potansiyellerini araştırma alanı olarak belirlememizi sağlayan bitirme tezi öğrencim Hakan Benlioğlu'na teşekkür ederim.

Kaynakça

- Barua, P.K. ve Deka, D., 2010. "Electricity generation from biowaste based microbial fuel cells", International Journal of Energy, Information and Communications 1 (1), 77.
- Castresana, P.A., Martinez, S.M., Freeman, E., Eslava, S., Lorenzo, M.D. 2019. "Electricity generation from moss with light-driven microbial fuel cells", Electrochimica Acta, 298, 934-942.
- Jia, J., Tang, Y., Liu, B., Wu, D., Ren, N., Xing, D. 2013. "Electricity generation from food wastes and microbial community structure in microbial fuel cells", Bioresource Technology, 144, 94-99.
- Karanfil, G. 2019. "Investigation Of The Effect Of Bread Mold On Soil Based Microbial Fuel Cell", 4th International Energy & Engineering Congress, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, 775-778.
- Khudzari, J. Md., Tartakovsky, B., Raghavan, G.S.V. 2016. "Effect of C/N ratio and salinity on power generation in compost microbial fuel cells", Waste Management, 48, 135-142.
- 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, 2465-2469.
- Moqsud, M.A., Yoshitake, J., Bushra, Q.S., Hyodo, M., Omine, K., Strick, D. 2015. "Compost in plant microbial fuel cell for bioelectricity generation", Waste Management, 36, 63-69.
- Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., Oh, S.-E. 2015. "Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review", Alexandria Engineering Journal, 54, 745-756.
- Wang, C.-T., Liao, F.-Y., Liu, K.-S. 2013. "Electrical analysis of compost solid phase microbial fuel cell", International Journal of Hydrogen Energy, 38, 11124-11130.
- Yu, B., Li, Y., Feng, L. 2019. "Enhancing the performance of soil microbial fuel cells by using a bentonite-Fe and Fe₃O₄ modified anode", Journal of Hazardous Materials 377, 70-77.



Klinoptilolit Dolgulu PVA Membranların Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Pervaporasyon ile Desalinasyon Çalışmaları

Berk Tırnakçı¹, Yavuz Salt^{2*}, İnci Salt³, Seyfullah Keyf⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4391-6364)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1375-6953)

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2702-5991)

⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8846-0674)

(İlk Geliş Tarihi 2 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.682928)

ATIF/REFERENCE: Tırnakçı, B. Salt, Y., Salt, İ. & Keyf, S. (2020). Klinoptilolit Dolgulu PVA Membranların Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Pervaporasyon ile Desalinasyon Çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 711-718.

Öz

Membran prosesleri; son yıllarda birçok alanda kendine uygulama alanı bulduğu gibi, tuzlu sudan temiz su eldesine dair çalışmalarda da dikkatleri üzerine çekmektedir. Desalinasyon uygulamalarında büyük oranda termal işlemler kullanılmaktadır. Bununla beraber membran uygulamaları su kıtlığının önüne geçebilmek amacıyla büyük önem kazanmaktadır. Membran prosesleri arasında pervaporasyon (yarı seçici buharlaşma), desalinasyona yönelik olarak büyük potansiyele sahiptir ve yoğun membranlar kullanılarak sıvı karışımları ayırmak için kullanılan bir membran prosesidir. Poli(vinilalkol) (PVA) mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan toksik olmayan, suda çözünebilir, biyobozunur, yarı kristalin sentetik bir polimerdir ve pervaporasyon desalinasyon çalışmalarında yüksek performanslı membranların hazırlanmasında yüksek hidrofilitésinden dolayı önemli bir seçenektir. Membranlar genellikle üç ana kategoriye göre sınıflandırılabilir: organik membranlar, inorganik membranlar ve kompozit membranlar. Polimerik matrislere zeolit gibi inorganik malzeme dolgulamaları ile kompozit karışık matrisli membranların (MMM) hazırlanması mümkündür ve bu sayede membran polimer matris ile inorganik dolgu malzemesinin olumlu yönleri polimer membranın fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerini iyileştirmek amacıyla tek bir yapıda birleştirilebilir.

Bu çalışma kapsamında dolgusuz ve klinoptilolit dolgulanmış (ağırlıkça %10) çapraz bağlı PVA kompozit membranlar çözelti-döküm tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan membranların farklı sıcaklıklarda (30, 40, 50°C) saf su sorpsiyonları belirlenmiş ve pervaporasyon ile desalinasyon çalışmaları 30°C sıcaklıkta 35 g/L NaCl içeren sentetik deniz suyu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan membranlar; taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), termogravimetrik analiz (TGA) yöntemleriyle karakterize edilmiştir. Dolgusuz PVA ve klinoptilolit dolgulu PVA membranlar için sırasıyla; 1,1712 kg/m²h ve 0,8271 kg/m²h akı ve permeat numunelerinin iletkenlikleri ölçülerek %99,83 ve %99,89 tuz alıkoyma değerleri elde edilmiştir. Hazırlanan membranların desalinasyon uygulamalarında umut verici özelliklere sahip olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pervaporasyon, poli(vinilalkol), klinoptilolit, desalinasyon.

Preparation and characterization of clinoptilolite incorporated PVA membranes and desalination with pervaporation studies

Abstract

In recent years, membrane processes has found itself a wide practice area for many applications and has been promising for the treatment of saline water sources. Desalination applications are usually performed with thermal processes. However, membrane applications are gaining importance in order to prevent water scarcity. Pervaporation has great potential among membrane processes for desalination. Pervaporation (permselective evaporation) is a membrane process used to separate the liquid mixtures by using dense

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1375-6953, salt@yildiz.edu.tr

membranes. Poly(vinylalcohol) (PVA) is a non-toxic, water-soluble, bio-degradable and semi crystalline synthetic polymer used in a wide of engineering applications, and it is an important option due to its hydrophilicity for the preparation of high-performance membranes in pervaporation desalination studies. Membranes can be classified into three main category: organic membranes, inorganic membranes and composite membranes. It is possible to prepare mixed matrix membranes (MMM) with inorganic material incorporation such as zeolite into polymeric matrices, so that the advantages of polymer matrix and inorganic filler can be combined in a single structure to improve the physical, chemical and thermal properties.

In this study, cross-linked unfilled PVA and clinoptilolite-filled PVA (10% wt.) composite membranes were prepared using solution-casting method. Pure water sorptions in the prepared membranes at different temperatures (30, 40, 50°C) were determined and pervaporation desalination experiments were carried out using synthetic sea water (35 g/L) at 30°C. Membranes were characterized by scanning electron microscopy (SEM), thermogravimetric analysis (TGA), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). Fluxes of 1,1712 kg/m²h and 0,8271 kg/m²h for unfilled PVA and clinoptilolite-filled PVA membranes were obtained, respectively, and also salt rejection values of 99,83% and 99,89% were determined by measuring conductivity of permeate samples. Unfilled PVA and clinoptilolite-filled PVA membranes had promising properties in desalination applications.

Keywords: Pervaporation, poly(vinyl alcohol), clinoptilolite, desalination.

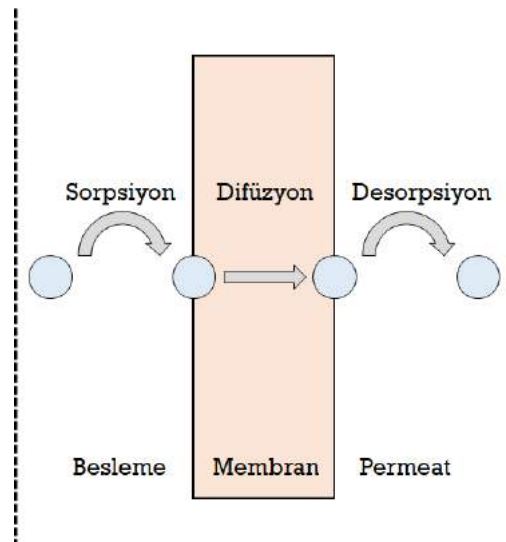
1. Giriş

Dünyada yaşamın temel kaynağı olan su, 21. yüzyılın en büyük problemlerinden biri haline gelmiştir. Hızla artan nüfus, kontrolsüz endüstrileşme ve iklim değişiklikleri içilebilir ve kullanılabilir su kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Özellikle su fakiri olan bir ülke olan Türkiye’de 2040 yılı projeksiyonları incelendiğinde, ciddi temiz su sorunları yaşanacağı görülmektedir (Ahmed ve ark., 2019). Bu su krizinin etkilerinin azaltılabilmesi amacıyla, sürdürülebilir su teknolojilerinin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Dünya yüzeyinin büyük bir bölümünü tuzlu suların oluşturması, bu kaynakların temiz su eldesi amacıyla kullanımı doğrultusunda dikkat çekmektedir. Tuzlu suyun özelliklerinin çeşitli teknolojilerle istenen özelliklere getirilmesi “desalinasyon” olarak adlandırılır. Günümüzde desalinasyon çalışmaları genellikle ısı işlemler olan çok aşamalı ani distilasyon (MSF) ve çok işlemlili distilasyon (MED) ile bir membran prosesi olan ters osmoz (RO) ile gerçekleştirilmektedir (Humplik ve ark., 2011).

Desalinasyon uygulamalarında membran proseslerinin; yüksek ayırma performansı, enerji tasarrufu, endüstriyel sistemlere kolay entegrasyon gibi avantajları mevcuttur ve bu membran prosesleri arasında pervaporasyon önemli bir konumdadır (Drioli ve ark., 2011). Pervaporasyon (PV) yoğun yapılı membranların kullanıldığı, permeasyon ve evaporasyon adımları ile ayırmanın gerçekleştirildiği bir membran prosesidir. PV; basınç sürücülü olmayan ayırma mekanizması, sağladığı enerji tasarrufu, kirliliklere karşı dayanıklı olması, akı ve tuz alıkoyma oranları göz önüne alındığında yüksek ayırma performansına sahip olması ile desalinasyon uygulamalarında önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Wang ve ark., 2016).

Pervaporasyonda ayırmanın gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan itici kuvvet, bileşenlerin kısmi basınçları arasındaki farktır ve bu fark genellikle bir vakum yardımı ile sağlanır (Huang, 1991). PV’nin ayırma mekanizması çözünme-difüzyon modeli ile açıklanır. Çözünme-difüzyon modeline göre membran üzerinden taşınım üç adımda gerçekleşir: (i) beslemenin membran tarafından sorpsiyonu, (ii) bileşenlerin membran üzerinden difüzyonu, (iii) membranın diğer tarafından buhar faza desorpsiyonu (Noble & Stern, 1995). Çözünme-difüzyon modelinin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Çözünme-Difüzyon modeli (Noble & Stern, 1995).

Pervaporasyon ile desalinasyon uygulamalarında; tuzlu su ayırma hücresine beslenir, membran tuzun geçmesini engellerken, su membran boyunca taşınır ve temiz su eldesi sağlanır. Bu noktada yüksek ayırma performansına sahip membranların hazırlanması için hidrofilik yapıya sahip malzemelerin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Polivinil alkol (PVA), yapısında bulundurduğu hidroksil (-

OH) gruplarının sağladığı güçlü hidrofilik yapısı dışında; kolay ulaşılabilir ve işlenebilir olması, yüksek termal, mekanik ve kimyasal dayanıma sahip olması, toksik etki göstermemesi ve biyobozunur olması özellikleri ile PV ile desalinasyon uygulamalarında tercih edilebilecek önemli bir polimerik membran malzemesidir (Huang, 1991; Yilman ve ark., 2018).

Zeolitler üç boyutlu kristalin yapıda aluminosilikat minerallerdir (Dong ve ark., 2015) ve polimerik membran matrislerine dolgulandığında ayırma performanslarında artışlar sağladığı bilinmektedir (Kosinov ve ark., 2016). Genel formülü $(Na, K)_6Al_6Si_{30}O_{72} \cdot 20H_2O$ olan ve Si/Al oranı 4 ila 5,3 arasında değişen klinoptilolit de zeolitler arasında; yüksek gözenekli ve sağlam yapısının yanında seçici difüzyon ve moleküler elek özellikleri ile ayırma işlemlerinde büyük avantajlara sahiptir ve bu avantajları sayesinde pervaporasyon ile desalinasyon çalışmalarında da yüksek potansiyele sahiptir (Kowalczyk ve ark., 2006; Koohsaryan & Anbia, 2016).

An ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, klinoptilolit kullanılarak doğal zeolit membranlar hazırlanmış ve 25-95°C arasındaki sıcaklıklarda pervaporasyon ile desalinasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 1400 ppm tuzluluğa sahip besleme kullanılarak 95°C sıcaklıkta 15 kg/m²h su akısı ve % 95'in üzerinde tuz alıkoyma değeri elde edilmiştir.

Swenson ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada (2012) ise klinoptilolit membranlar hazırlanarak pervaporasyon ile desalinasyon çalışmaları sentetik deniz suyu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen veriler ile besleme bileşiminin membran performansına etkisi ortaya konmuştur. 93°C'de yapılan performans analizleri sonucu, 100 mg/L Na⁺ ve 5500 mg/L Na⁺ besleme bileşimleri için sırasıyla 2,5 kg/m²h ve 0,39 kg/m²h akı ile %95'in üzerinde tuz alıkoyma değeri elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında dolgusuz ve klinoptilolit dolgulu PVA membranlar çözelti-döküm yöntemi ile hazırlanarak sorpsiyon ve PV ile desalinasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan membranların saf su sorpsiyon davranışlarının sıcaklık ile ilişkisi incelenmiş dolgusuz ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların pervaporasyon desalinasyon performansı dolgusuz PVA membranlar ile karşılaştırılmıştır. PV ile desalinasyon çalışmaları 35 g/L NaCl bileşiminde sentetik deniz suyu ile farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Membranların karakterizasyonu SEM, TGA ve FT-IR ile yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan Fluka'dan temin edilen PVA %99 hidroliz derecesine ve 72 kg/mol molekül ağırlığına sahiptir. Klinoptilolit, Manisa-Gördes bölgesinden elde edilen doğal zeolittir. PVA membran hazırlanırken çapraz bağlayıcı olarak tartarik asit (C₄H₆O₆) kullanılmıştır ve Merck'den temin edilmiştir. 35 g/L NaCl sentetik deniz suyu, laboratuvarında hazırlanmış olup, NaCl Merck'den temin edilmiştir.

2.2. Membranların Hazırlanması

Bu çalışmada, membranların hazırlanmasında çözelti-döküm yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak %10'luk PVA çözeltisi, saf su içerisinde 90°C'de 3 saat karıştırılmıştır. Bu karıştırma işlemi esnasında karışım içerisine belirlenen miktarda klinoptilolit eklenerek homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Daha sonra karışıma belirlenen oranda hazırlanmış %10'luk tartarik asit çözeltisi eklenmiş ve karışım ultrasonik su banyosunda oda sıcaklığında belirli bir süre tutularak, karışım esnasında oluşan hava kabarcıklarının uzaklaştırılması sağlanmıştır. Hazırlanan karışım cam plakalara dökülerek, 40°C'de 24 saat kurutulmuş, 24 saat sonunda plakalardan sıyrılarak alınmış ve 150°C'de 1 saat boyunca çapraz bağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Membranlar, çapraz bağlama işlemi sonrasında saf su içerisinde bir gün bekletilerek kalıntılar uzaklaştırılmış ve 105°C'de 2 saat kurutulduktan sonra kullanıma hazır hale getirilmiştir.

2.3. Karakterizasyon Çalışmaları

2.3.1. Taramalı elektron mikroskopu (SEM)

Hazırlanan membranların kesit morfolojileri Carl Zeiss EVO LS 10 marka SEM cihazı ile 10 kV voltaj altında incelenmiştir. SEM analizlerinden önce membranlar sıvı azot içerisinde kırıldıktan sonra altın kaplanmıştır.

2.3.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

Membranların fonksiyonel kimyasal yapıları Perkin-Elmer Spectrum 100 FT-IR cihazı ile incelenmiştir. Çalışmalar 4000-650 cm⁻¹ dalgaboyu aralığında gerçekleştirilmiştir.

2.3.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

Dolgusuz ve dolgulu membranların termal özellikleri Exstar TG/DTA 6300 markalı cihaz ile azot atmosferinde, 10°C dk⁻¹ ısıtma hızında 25-800°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir.

2.4. Sorpsiyon Çalışmaları

PV’de ayırma; sorpsiyon, difüzyon ve desorpsiyon adımları ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle sorpsiyon çalışmaları, pervaporasyon deneylerinde kullanılacak olan membranların, ilgili besleme bileşimleri ve çalışma sıcaklıklarındaki davranışlarına dair bilgiler sağlayabilmektedir. Sorpsiyon deneyleri gerçekleştirilirken şu adımlar izlenmektedir:

- Kuru tartımları alınan membranların ilgili sıvı içerisine daldırılması
- Sorpsiyon dengesine ulaşılan kadar, membranların belirli zaman aralıkları ile tartılarak ağırlık değişiminin takip edilmesi
- Sorpsiyon dengesine ulaşıldığında elde edilen veriler doğrultusunda sorpsiyon değerinin hesaplanması

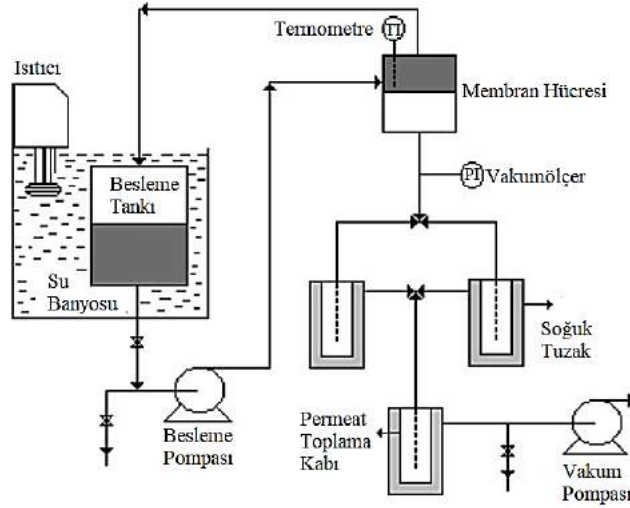
Sorpsiyon dengesine ulaşıldıktan sonra toplam sorpsiyon değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Sorpsiyon (\%)} = \left(\frac{W_s - W_d}{W_d} \right) \times 100 \quad (1)$$

Burada; W_s , sorpsiyon dengesine ulaşan membranın ağırlığını, W_d ise kuru membran ağırlığını ifade etmektedir.

2.5. Pervaporasyon Deneyleri

Pervaporasyon ile desalinasyon çalışmaları şematik gösterimi Şekil 2’de verilen pervaporasyon sisteminde gerçekleştirilmiştir. (Salt ve ark., 2005; Salt ve ark., 2014).



Şekil 2. Pervaporasyon sisteminin şematik gösterimi (Salt ve ark., 2005; Salt ve ark., 2014).

Pervaporasyon ile desalinasyon deneyleri 30, 40 ve 50°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Besleme tankı bir su banyosu içerisinde sabit sıcaklıkta tutularak, besleme karışımı peristaltik pompa yardımıyla paslanmaz çelik membran hücresine beslenmiştir. Membran hücresinde efektif membran alanı 23 cm²’dir. Vacuubrand RZ-5 marka vakum pompası yardımıyla ayırmanın gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan ≤ 1 kPa vakum oluşturulmuş ve Vacuubrand DVR-2 marka vakumölçer yardımıyla kontrol edilmiştir. Soğuk tuzaklar içerisindeki numune kaplarında toplanan permeat miktarı belirli aralıklarla tartılarak saf su akışı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$J = \frac{w}{A \times t} \quad (2)$$

Burada, J saf su akışını (kg/m²h), w permeat ağırlığını (kg), A efektif membran alanını (m²) ve t zamanı (h) ifade etmektedir. Hazırlanan membranlar ile gerçekleştirilen, pervaporasyon ile desalinasyon çalışmaları sonucu elde edilen tuz alıkoyma değerleri ise iletkenlik testleri (İnoLab 730) ile belirlenmiştir ve şu şekilde hesaplanmıştır.

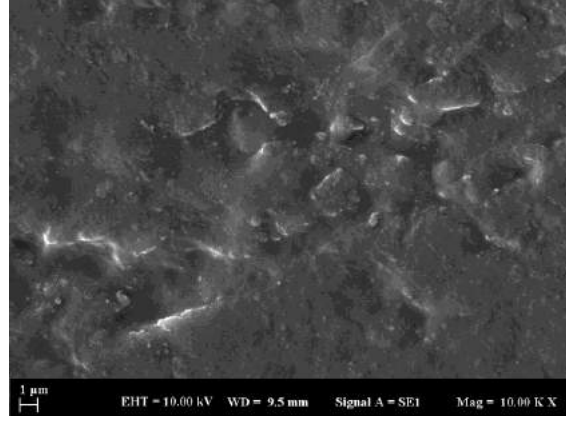
$$R (\%) = \left[\frac{C_f - C_p}{C_f} \right] \times 100 \quad (3)$$

Burada R tuz alıkoyma değerini (%), C_f ve C_p sırasıyla, beslemedeki ve permeattaki tuz konsantrasyonlarını (ppm) ifade etmektedir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. SEM Sonuçları

Klinoptilolit dolgulu PVA membranların SEM analizi sonucu elde edilen görüntü Şekil 3’te verilmektedir.

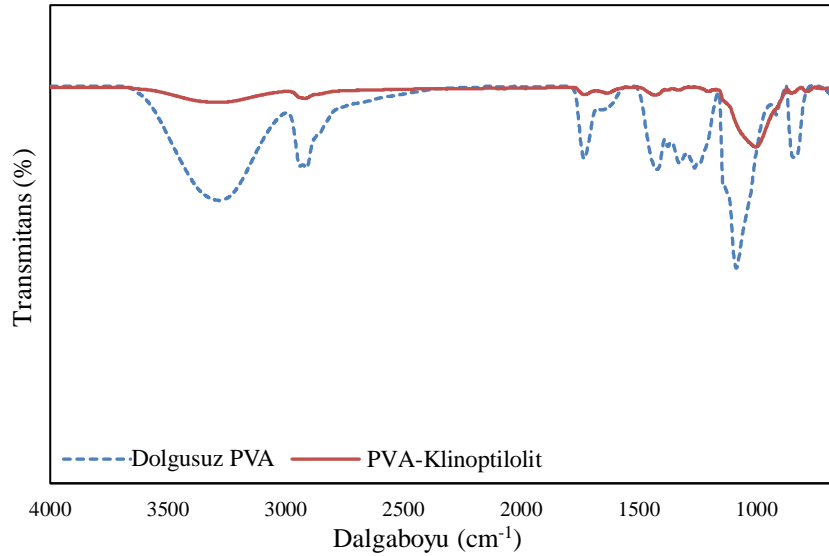


Şekil 3. Klinoptilolit dolgulu PVA membranın SEM görüntüsü.

Klinoptilolit dolgulu PVA membranın SEM görüntüleri klinoptilolitin, polimer matrise homojen bir şekilde dağılımının sağlandığını göstermektedir.

3.2. FT-IR Sonuçları

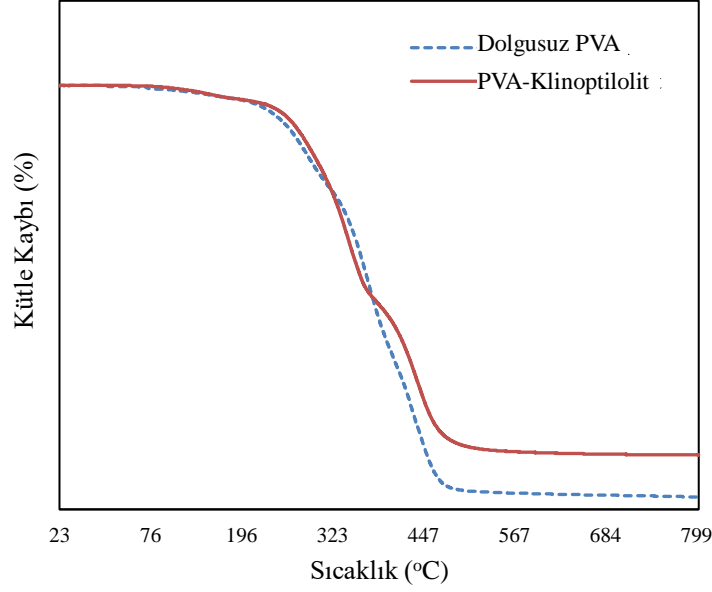
Dolgusuz ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların FT-IR spektrumları Şekil 4'te gösterilmektedir. Elde edilen spektrumlarda her iki membran için $3000-3600\text{ cm}^{-1}$ dalgaboyları arasında görülmekte olan geniş bant, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağları sonucu ortaya çıkmış olan hidroksil grupları (-OH) gerilimi sonucu oluşmuştur. $2800-2900\text{ cm}^{-1}$ ve 1430 cm^{-1} dalgaboyları arasında ortaya çıkan titreşim bantları PVA'nın ana zincirinde bulunan -CH gerilmeleri sonucu oluşmuştur (Zhu ve ark., 2011). $1650-1710\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki gerilme asetat gruplarından gelen C=O ve C-O titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. $1000-1150\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pikin yoğunluğu polimer zincirinin kristalin oranı ile belirlenmektedir. Bu pik simetrik C-C gerilmesi sonucu ya da karbon zincirinin aynı tarafında bulunan komşu OH grupları arası moleküller içi hidrojen bağlarının oluşması sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir (Reis ve ark., 2006). Klinoptilolit dolgulaması ile spektrumda ortaya çıkmış gerilmelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. Dolgusuz PVA ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların FT-IR spektrumları.

3.3. TGA Sonuçları

Dolgusuz ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların termogravimetrik analizleri sonucu elde edilen, ısıl bozunma davranışları Şekil 5'te verilmiştir. Her iki membran için de kütle kaybının üç adımda gerçekleştiği görülmektedir.

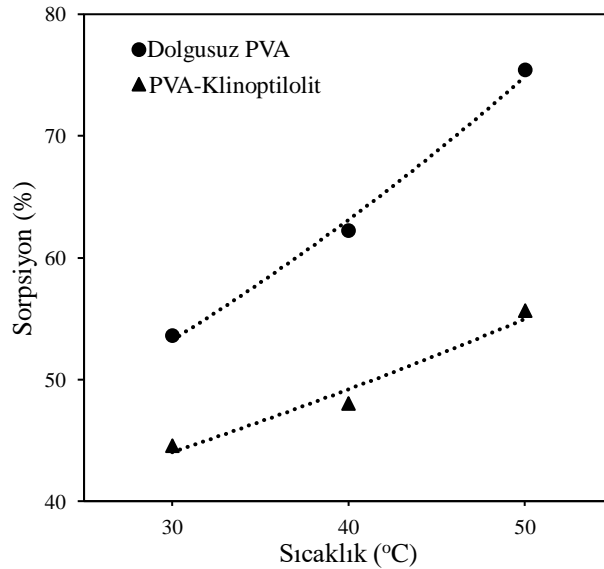


Şekil 5. Dolgusuz PVA ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların termal analiz sonuçları.

Şekil 5'te verilen termal analiz sonucu incelendiğinde ilk kütle kaybı adımının 80-160°C arasında, yapıdaki suyun uzaklaşması sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. PVA zincirinin bozunmasının, yaklaşık 250°C'de ilk olarak, zincir üzerindeki yan grupların elimine edilmesi ile başladığı görülmektedir (Yang ve ark., 2011). Bu adımdaki kütle kaybı yaklaşık olarak 400°C'de sona ermiştir. Bu adımı PVA ana zincirinin bozunmaya başladığı son kütle kaybı takip etmiş ve yaklaşık 500°C'de bozunma süreci durmuştur (Yang ve ark., 2007). Hem PVA hem de PVA-Klinoptilolit membran için kütle kaybı profillerinin benzer olduğu görülmektedir. İki termogramın arasındaki temel fark kalıntı miktarlarıdır. Çalışılan sıcaklık aralığında klinoptilolit inorganik yapısı bozunmayacağı için ortaya çıkan kalıntı miktarı, örneklerdeki yaklaşık klinoptilolit oranını vermektedir. Ayrıca klinoptilolit dolgusunun membranın termal dayanımını az da olsa arttırdığı görülmektedir.

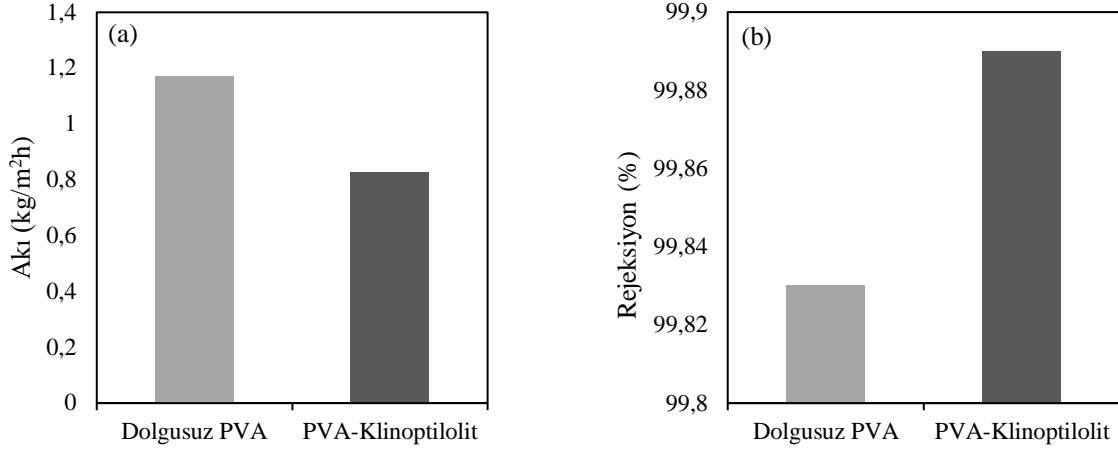
3.4. Sorpsiyon ve Pervaporasyon Deneyleri Sonuçları

Hazırlanan dolgusuz ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların sorpsiyon deneyleri 30, 40 ve 50°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta, pervaporasyon çalışmaları ise 30°C'de gerçekleştirilmiştir. Membranların saf su sorpsiyonlarının sıcaklık ile değişimi Şekil 6'da gösterilmektedir. Sorpsiyon grafikleri incelendiğinde artan sıcaklık ile polimer segmental hareketlerinin artması sonucunda toplam sorpsiyon değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 6. Dolgusuz PVA ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların saf su sorpsiyonlarının sıcaklık ile değişimi.

Dolgusuz ve klinoptilolit dolgulu PVA membranların 35 g/L NaCl içeren besleme karışımı ile 30°C'de gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilmiş akı ve alıkoyma değerleri Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Dolgusuz ve klinoptilolit dolgulu PVA membranlar için 30°C’de akı (a) ve alıkoyma (b) değerleri.

Grafikte dolgusuz PVA ve klinoptilolit dolgulu PVA membran için akı ve alıkoyma değerleri sırasıyla; 1,1712; 0,8271 kg/m²h ve %99,83; %99,89 olduğu görülmektedir. Veriler incelendiğinde %10 oranında klinoptilolit dolgulamasının membran üzerinden su geçişini baskılayarak; akı değerlerinde düşüğe neden olduğu görülmektedir. Klinoptilolit içeren membranlar desalinasyon uygulamalarında göreceli olarak düşük akı değerlerine sahip olsa da; Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ve K⁺ gibi katyonların giderilmesine yüksek potansiyele sahiptir (An ve ark., 2014). Bu durum, 30°C’de gerçekleştirilen PV deneyleri sonucu elde edilen tuz alıkoyma değerleri ile de örtüşmektedir. Klinoptilolit dolgulaması ile tuz alıkoyma oranı % 99,83’den yaklaşık olarak % 99,89’a yükselmiştir.

4. Sonuç

Membran teknolojisi, birçok farklı alanda hızla ilerlemesinin yanında su arıtımı uygulamalarında da büyük umut vadetmektedir. Bu çalışma kapsamında klinoptilolit dolgulu PVA membranlar hazırlanarak farklı sıcaklıklarda sorpsiyon davranışları incelenmiş ve pervaporasyon ile desalinasyon uygulaması ile performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan sorpsiyon çalışmaları sonucu artan sıcaklık ile her iki membran için de sorpsiyon değerlerinin arttığı ortaya konmuştur. Bununla beraber 30°C’de, 35 g/L besleme bileşiminde gerçekleştirilen pervaporasyon deneyleri sonucu, klinoptilolit dolgulaması ile su akısının düşüş gösterirken; tuz alıkoyma oranının zeolit dolgulaması ile daha yüksek değerlere ulaştığı ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında hazırlanıp, kullanılan membranların pervaporasyon ile desalinasyon uygulamalarında potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

- Ahmed, F.E., Hashaikah, R., & Hilal, N. (2019). Solar powered desalination-Technology, energy and future outlook. *Desalination*, 453, 54-76.
- An, W., Zhou, X., Liu, X., Chai, P.W., Kuznicki, T., & Kuznicki, S.M. (2014). Natural zeolite clinoptilolite-phosphate composite Membranes for water desalination by pervaporation. *Journal of Membrane Science*, 470, 431-438.
- Dong, J., Xu, Z., Yang, S., Murad, S., Hinkle, K.R. (2015). Zeolite membranes for ion separation from aqueous solutions. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 8, 15-20.
- Drioli, E., Stankiewicz, A.I., & Macedonio F. (2011). Membrane engineering in process intensification—an overview. *Journal of Membrane Science*, 380, 1-8.
- Huang R.Y.M. (1991). *Pervaporation Membrane Separation Process*, Amsterdam: Elsevier.
- Humplik, T., Lee, J., O’Hern, S.C., Fellman, B.A., Baig, M.A., Hassan, S.F., Atieh, M.A., Rahman, F., Laoui, T., Karnik, R., & Wang E.N. (2011). Nanostructured materials for water desalination. *Nanotechnology*, 22, 292001.
- Koohsaryan, E., & Anbia, M. (2016). Nanosized and hierarchical zeolites: A short review. *Chinese Journal of Catalysis*, 37, 447-467.
- Kosinov, N., Gascon, J., Kapteijn, F., & Hensen, E.J.M. (2016). Recent developments in zeolite membranes for gas separation. *Journal of Membrane Science*, 499, 65-79.
- Kowalczyk, P., Sprynskyy, M., Terzyk, A.P., Lebedynets, M., Namiesnik, J., & Buszewski, B. (2006). Porous structure of natural and modified clinoptilolites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 297, 77-85.
- Noble R. D., & Stern S. A. (1995). *Membrane Separations Technology, Principles and Applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Reis, E.F., Campos, F.S., Lage, A.P., Leite, R.C., Heneine, L.G., Vasconcelos, W.L., Mansur, H.S. (2006). Synthesis and characterization of poly(vinyl alcohol) hydrogels and hybrids for rMPB70 protein adsorption. *Materials Research*, 9, 185-191.
- Salt Y., Arçevik E., Ekinçi B. (2014). Sorption and Pervaporation Results of Clinoptilolite Filled Poly(vinylalcohol) Membrane Prepared for Dehydration of Aqueous Organic Mixtures, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 92(3), 503-510.
- Salt, Y., Hasanoğlu, A., Salt, İ., Keleşer, S., Özkan, S., & Dinçer, S. (2005). Pervaporation separation of ethylacetate-water mixtures through a crosslinked poly(vinylalcohol) membrane. *Vacuum*, 79, 215-220.
- Swenson, B., Tanchuk, B., Gupta, A., An, W., & Kuznicki, S.M. (2012). Pervaporative desalination of water using natural zeolite membranes. *Desalination*, 285, 68-72.
- Wang, Q., Li, N., Bolto, B., Hoang, M., & Xie Z. (2016). Desalination by Pervaporation-A review. *Desalination*, 387, 46-60.

- Yang C.-C. (2007). Synthesis and characterization of the cross-linked PVA/TiO₂ composite polymer membrane for alkaline DMFC. *Journal of Membrane Science*, 288, 51-60.
- Yang C.-C., Li Y.J., & Liou T.-H. (2011). Preparation of novel poly (vinyl alcohol)/SiO₂ nanocomposite membranes by a sol-gel process and their application on alkaline DMFCs. *Desalination*, 276, 366-372.
- Yilman, B., Nigiz, F.U., Aytac, A., & Hilmioglu, N.D. (2018). Multi-walled carbon nanotube doped PVA membrane for desalination. *Water Supply*, 19, 1229-1237.
- Zhu, L., Wang, J., Guo, L., & Shen J. (2011). Study on the preparation and properties of the PVA/SiO₂ hybrid coating on BOPP film via sol-gel process. *Advanced Materials Research*, 239-242, 1956-1959.



Lojistik Regresyon ve CART Yöntemlerinin Tahmin Edici Performanslarının Yaşam Memnuniyeti Verileri için Karşılaştırılması

Arzu Yavuz¹, Özgül Vupa Çilengiroğlu^{2*}

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2059-2635)

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0181-8376)

(İlk Geliş Tarihi 21 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 20 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.691215)

ATIF/REFERENCE: Vupa Çilengiroğlu, Ö. & Yavuz, A. (2020). Lojistik Regresyon ve CART Yöntemlerinin Tahmin Edici Performanslarının Yaşam Memnuniyeti Verileri için Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 719-727.

Öz

Makine öğrenimi içinde yer alan sınıflandırma ve regresyon, veri sınıflarını ortaya koyan ve değişkenler arasındaki ilişkileri modelleyen yöntemlerdir. Sınıflama ve regresyon yöntemlerinden karar ağaçları, eğitim verisini kullanarak sınıflandırma kurallarını oluşturup test verisinde bu kuralları dener ve algoritma başarısını belirler. Lojistik regresyonda kurulan model ile sınıflandırma yapıp performanslar bulunur. Bu yöntemler, yorumunun kolay olması, büyük veri setlerine uygulanabilirliği ve varsayım gerektirmemesi sebebi ile son zamanlarda birçok farklı disiplinlerde kullanılmaktadır. Yaşam memnuniyeti kavramı, günümüzde birçok farklı disiplinlerin ilgi alanına giren bir konudur. Yaşam memnuniyeti, bireyin sürdürmekte olduğu yaşamdan ne kadar zevk aldığına bir bütün olarak ele alınmasıdır. Bu çalışmanın amacı, karar ağacı yöntemlerinden olan CART ve lojistik regresyon çözümlerinin performanslarının Türkiye İstatistik Kurumuna ait (TÜİK) 2017 dönemini kapsayan yaşam memnuniyeti verilerini (n=8430) kullanarak yapılmasıdır. Bu amaçla yapılan çalışmada, yaşam memnuniyetini açıklayan en iyi modelin performans kriterlerine (doğruluk, duyarlılık, seçicilik, kesinlik, F-skor, ROC eğrisi R²) bağlı olarak lojistik regresyon modeli olduğuna karar verilmiştir. Bu modelde yaşam memnuniyeti; cinsiyet, medeni durum, okul durumu, gelir, sosyal hayat, sağlık ve ulaşım değişkenleri ile açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenimi, CART Algoritması, Lojistik Regresyon, Yaşam Memnuniyeti

Comparison of Predictive Performance of Logistic Regression and CART Methods for Life Satisfaction Data

Abstract

Classification and regression in machine learning are methods that reveal data classes and model the relationships between variables. Decision trees, one of the classification and regression methods, create the classification rules by using the training data, test these rules in the test data and determine the algorithm success. Classification is made with the model established in logistic regression and performances are found. These methods have been used in many different disciplines recently due to their easy interpretation, application to large data sets and no assumptions. The concept of life satisfaction is an issue of many different disciplines today. Life satisfaction is a consideration of how much the individual enjoys the life the individual lives. The purpose of this study, the performance of the CART and logistic regression analysis of the decision tree method of Turkey Statistical Institute (TSI), covering the period 2017 to life satisfaction data (n = 8430) is made using. In this study, it was decided that the best model that explains life satisfaction is the logistic regression model based on performance criteria (accuracy, sensitivity, selectivity, precision, F-score, ROC curve R²). In this model, life satisfaction; It is explained by variables of gender, marital status, school status, income, social life, health and transportation.

Keywords: Machine Learning, CART Algorithm, Logistic Regression, Life Satisfaction

* Sorumlu Yazar: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0181-8376, ozgul.vupa@deu.edu.tr

1. Giriş

Büyük veri kavramı ve problemleri, ilk kez Cox ve Ellsworth (1997) tarafından kullanılmıştır. Büyük veri, geleneksel veri yöntemlerinin kullanılması ile işlenmesi mümkün olmayan, farklı büyüklüklerdeki heterojen veriyi tanımlayan ve çeşitli elektronik içeriklerden oluşan bir kavram olarak tanımlanmaktadır (Gani vd., 2016). Büyük veri, “veri madenciliği” içerisinde yer almaktadır. Veri madenciliği, “istatistik”, “veritabanı teknolojisi”, “örüntü tanıma”, “makine öğrenme” ile etkileşimli ve ham verinin tek başına sunamadığı bilgiyi çıkararak, veri analizi sürecini içeren yeni bir disiplin olarak tanımlanmaktadır (Hand, 1998). Veri madenciliği tanımına bilgisayar kavramı da eklenerek veri madenciliği, büyük veri setleri arasında gelecekle ilgili tahminde bulunabilecek bilgisayar programlarını kullanma işi olarak da değerlendirilmektedir (Doğan&Türkoğlu, 2007).

Veri madenciliğinin kullanım alanı çok geniştir. Veri madenciliği, pazar araştırmalarında (benzerlik saptanması, müşteri profilinin belirlenmesi, kampanya analizi, satış tahmini...), risk analizlerinde (kalite kontrol, rekabet analizi, öngörü ve sahtekarlığın saptanması, bankacılık ve sigorta analizleri, müşteri kredi risk araştırmaları...), kurum ve insan kaynakları analizlerinde (kaynakların ve kişilerin en optimal biçiminde kullanımı...), tıp araştırmalarında (hastalıkların anlık tespiti...) ve sosyo-demografik özelliklerin değerlendirilmesinde (sınıf özelliklerinin belirlenmesinde, ölçeklerin analizinde...) kullanılır.

Bir süreç çalışması olan veri madenciliğinde izlenen adımlar şu şekilde sıralanabilir. (1) Problemin tanımlanması, (2) Verilerin hazırlanması (toplama, birleştirme temizleme ve seçim), (3) Modelin kurulması ve değerlendirilmesi, (4) Modelin kullanılması ve (5) Modelin izlenmesi.

Veri madenciliği ile etkileşimli olan makine öğrenmesinde çeşitli algoritmalar ve yöntemler kullanarak bu süreci kullanmaktadır. Bu algoritmalar ve yöntemler, sınıflandırma (k-en yakın komşuluk, karar ağaçları (CART: Classification and Regression Trees, CHAID,...), yapay sinir ağları, Bayesian yöntemi, rassal orman, genetik algoritma), regresyon (doğrusali lojistik, çok terimli) ve kümeleme olarak sıralanmaktadır.

Veri madenciliğinin kullanım alanı içerisinde yer alan sosyo-demografik özelliklerin incelenmesinde, yaşamın genel değerlendirilmesi bulunmaktadır. Literatürde yaşamın genel değerlendirmesi “yaşam memnuniyeti” olarak incelenmektedir (Doğan&Sapmaz, 2012; Tümlü&Recepoğlu, 2011; Akın&Yalnız, 2015; Korkmaz vd., 2015; Kanbur&Özdemir, 2017). Yaşam memnuniyeti, bireylerin yaşama gösterilen duygusal tepkiler ile kendi yaşadıkları ve çevreleri ile ilgili olduğundan birçok durumdan etkilenebilmektedir. Çalışma hayatı, gelir ve sağlık durumu, eğitim seviyesi, çevre faktörleri, sosyal, fiziki ve ekonomik güvenlik bu durumlardan sayılabilmektedir (Kanbur&Özdemir, 2017). Bireylerin yaşama karşı besledikleri pozitif hisler yaşam memnuniyeti artırırken, negatif hisler yaşam memnuniyetini azaltmaktadır (Korkmaz vd., 2015). Türkiye'nin veri tabanlarının en geniş ve önemlilerinden biri olan TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), yaşam memnuniyetini, kişinin sürdürmekte olduğu hayatı bir bütünlük içinde olumlu olarak değerlendirmesi anlamında kullanmaktadır (TÜİK, 2018).

Yaşam memnuniyeti kavramı literatürde temel olarak geçerlilik ve doğruluk çalışmaları ile, daha sonra tanımlayıcı istatistikler ve temel hipotez testleri ile çalışılmıştır. İleri düzeyde analizler için korelasyon ve regresyon modelleri kullanılırken, son yıllarda makine öğrenimi kavramı içerisinde sınıflandırma ve karar ağaçları ile modellenmesi ile incelenmiştir.

Akın&Yalnız (2015), yaşam memnuniyeti ölçeğinin geçerliliğini ve güvenilirliğini doğrulayıcı faktör analizi, cronbach alpha katsayısı ve madde analizi ile; Dağlı&Baysal (2016), Diener ve arkadaşlarının yaşam memnuniyeti ölçeğinin Türkçe'ye uyarlanmasını Cronbach alfa ve doğrulayıcı faktör analizi yöntemleri ile yapmışlardır. Yaşam memnuniyeti ile ilgili istatistiksel dağılımların (t, z, ki-kare ve F) kullanıldığı çıkarısal istatistik son yıllarda birçok alanda kullanılmıştır. Saygılı vd. (2017), yaşam memnuniyetinin A ve B tipi kişilik özellikleri açısından farklılaşıp farklılaşmadığını bağımsız iki örneklem t testi ile; Bölükbaşı&Şentürk (2017), sigorta şirketinde çalışanların yaşam memnuniyeti ve bazı demografik özellikleri ilişkisi ki-kare ilişki testi ile; Demir&Murat (2017) ve Taşlıyan vd. (2018), yaşam memnuniyeti ve bazı demografik özellikler ile bağımsız iki örneklem t testi ve ANOVA ile ve Tuncay & Fertelli (2018), yaşam aktiviteleri ile yaşam doyumu arasındaki ilişkiyi ki-kare ile incelemişlerdir.

Makine öğreniminde yer alan yöntemlerden Güler&Emeç (2006), regresyon analizi ve tanımlayıcı istatistikleri kullanarak akademik başarıda yaşam memnuniyetini, Demir (2011), korelasyon ve regresyon analizini kullanarak kimlik işlevleri ve yaşam memnuniyeti arasındaki ilişkileri, Tümlü&Recepoğlu (2013), regresyon analizi ile psikolojik dayanıklılık ve yaşam memnuniyeti arasındaki ilişkiyi, Korkmaz vd. (2015), birim kök, granger nedensellik ve regresyon analizler ile yaşam memnuniyetini incelemişlerdir.

Farklı makine öğrenim yöntemleri ile TÜİK verileri kullanılarak bireylerin yaşam memnuniyetini Gürsakaç&Öngen (2008) diskriminant analizi ile; Beşel (2015), il bazlı olarak tanımlayıcı istatistiklerle; Berker (2015), zorunlu göç ile ilişkisini regresyon analizi ile; Arı&Yıldız (2016), sıralı lojistik regresyon analizi ile ve son olarak Şehribanoğlu&Diler (2018), karar ağacı algoritmalarından CART ve CHAID analizi ile incelemişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, sınıflandırma ve karar ağacı yöntemlerinden olan CART ve lojistik regresyon çözümlerinin performanslarının Türkiye İstatistik Kurumuna ait (TÜİK) 2017 dönemini kapsayan yaşam memnuniyeti verilerini kullanarak karşılaştırılmasıdır. Buna bağlı olarak sonraki bölümlerde materyal ve metot, bulgular ve sonuçlar yer almaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yöntem

Veri madenciliğinde kullanılan istatistiksel yöntemlerden en çok kullanılanları karar ağaçları, sınıflandırma modellerinde yer alırken, lojistik analizi, regresyon modelleri içinde yer almaktadır. Bu bölümde lojistik regresyon modeli, CART analizi ve performansların hesaplanması yer almaktadır.

2.1.1. Lojistik regresyon yöntemi

Basit ve çoklu doğrusal regresyonda bağımlı (sonuç) değişken sayısal ölçektir. Ancak bağımlı değişkenin kategorik ya da sınıflayıcı&sıralayıcı ölçekte olduğu durumlarda doğrusal regresyonda parametre kestirimleri için kullanılan en küçük kareler yöntemini kullanmak bazı varsayımların (normal dağılıma uymayan hata terimi, sabit olmayan hata varyansı ve sonuç değişkeni üzerine kısıtlar) sağlanamadığından dolayı uygun olmamaktadır. Bu durumda lojistik regresyon kullanılmaktadır.

İkili lojistik regresyonda, Y_i , Bernoulli rassal değişkeninin olasılık dağılımı: $Y_i = 1$, π_i olasılıkla ve $Y_i = 0$, $1 - \pi_i$ olasılıkla yazılır. Bağımsız değişkenler $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ ile gösterildiğinde, ikili sonuç değişkeninin regresyon modeli, $Y_i = 0,1$ olduğu durumda $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$ şeklindedir. $E\{\varepsilon_i\} = 0$ olduğundan Y_i rassal değişkeninin olasılığı $E\{Y_i\} = \beta_0 + \beta_1 X_i$ yazılabilir. Y_i rassal değişkeni Bernoulli dağıldığı için, Y_i 'nin beklenen değeri, başarı olasılığı modellemiş olur.

Sonuç değişkeni ikili olduğu zaman sonuç değişkeni üzerindeki en büyük kısıt Y_i 'nin beklenen değeri üzerindedir ($0 \leq E(Y_i) = \pi_i \leq 1$). Bu kısıtın çözümlenmesi için lojit dönüşüm uygulanması gerekmektedir. Lojistik fonksiyonu ve bu fonksiyonu doğrusal hale getirmek için yapılan lojit dönüşüm (LF) aşağıdaki gibidir ($-\infty < LF(\pi(x_i)) < \infty$).

$$\pi(x_i) = E(Y = 1|x_i) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_i)}$$

$$\ln \left[\frac{\pi(x_i)}{1 - \pi(x_i)} \right] = \ln \left[\frac{E(Y = 1|x_i)}{E(Y = 0|x_i)} \right] = \ln(e^{\beta_0 + \beta_1 x_i}) = \beta_0 + \beta_1 x_i$$

Lojistik regresyon modelinde değişkenlere ait katsayıların kestirimi “en çok olabilirlik” yöntemi ile yapılır. En çok olabilirlik yöntemi ile kestirilen katsayıların anlamlılığı, olabilirlik fonksiyonlarına dayanan “olabilirlik oran testi, G istatistiği” veya ilgilenilen test istatistiğinin dağılımının standart normal dağılıma yaklaşımını kullanan “Wald testi” ile yapılır.

Lojistik regresyon modelinde değişkenlere ait katsayıların yorumu için odds oranından (OR)’den yararlanılır ($0 < OR < \infty$). Lojistik fonksiyonda yer alan “olmanın”, “olmamaya” oranı $\pi(x_i)/(1 - \pi(x_i))$ ile gösterilip “odds” olarak bilinir. OR değeri 0 ile 1 değeri arasında olursa risk faktörünün sonuç değişkeni için “koruyucu” olduğu, OR değeri 1 olursa risk faktörü ve sonuç değişkeni arasında bir fark olmadığı ve OR değeri 1’den büyük olursa risk faktörü ve sonuç değişkeni arasında bir fark olduğu ve bu farkın matematiksel olarak bir kat ile açıklanacağı şeklindedir. Ayrıca OR’a ait güven aralığı 1 değerini kapsamamalıdır.

2.1.2. Karar Ağacı ve CART Algoritması

Karar ağaçları, kurulması ve yorumlanması kolay, veri tabanı sistemleri ile kolayca elde edilebilir ve güvenilirliklerinin yüksek olması ile tercih edilen bir yöntemdir (Vahaplar, 2003). Karar ağacı yöntemini kullanarak verinin sınıflandırmasındaki ilk adım öğrenme basamağıdır. Burada önceden bilinen bir eğitim verisinde sınıflandırma algoritması kullanılarak model kurulur. Öğrenilen model, karar ağacı olarak gösterilir. İkinci adım ise eğitim verisinin karar ağacının doğruluğunu belirlemek amacıyla test edilerek kullanıldığı sınıflamadır. Eğer doğruluk kabul edilebilir oranda ise, kurallar yeni verilerin sınıflandırılması amacıyla kullanılır (Güner, 2014).

Karar ağaçlarının yapısı ağaç (kök, dallar, yapraklar) şeklindedir. Karar ağaçları, verideki tüm gözlemleri kapsayan kök ile başlar ve aşağıya doğru gittikçe veriyi alt gruplara ayıran dallara bölünür. Bu kökten dallara doğru büyüyen ağaç yapısında her boğum “düğüm” adını alır (Pehlivan, 2006). Düğümler üzerinde risk faktörlerin test işlemi yapılmakta ve test işleminin sonucu ağacın veri kaybetmeden dallara ayrılmasına neden olmaktadır. Her düğümde test ve dallara ayrılma işlemleri ardışık olarak gerçekleşmekte ve sonuç olarak ağaç sınıflar ile son bulmaktadır. Ayrılma işlemi bittikten sonra grup içindeki gözlemlerin kategorileri için oranlara bakılarak yorum yapılmaktadır (Lyn, 2000).

Karar ağacı oluşturmak için birçok algoritma kullanılmaktadır Bunlar; CHAID (Chi-Squared Automatic Interaction Detector), Exhaustive CHAID, CART (Classification and Regression Trees), ID3, C4.5, MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines), QUEST (Quick, Unbiased, Efficient Statistical Tree), C5.0, SLIQ (Supervised Learning in Quest), SPRINT (Scalable Parallelizable Induction of Decision Trees) olarak sıralanabilir.

CART algoritması, 1984 yılında Breiman vd. tarafından önerilmiştir. Bu algoritma Morgan ve Sonquist’in AID (Automatic Interaction Detection) adlı karar ağacı algoritmasının devamı şeklindedir. Makine öğreniminin denetimli öğrenmesi içinde olan CART,

hem kategorik hem de sürekli değişkenleri kullanan sınıflandırma ve regresyon ağacı algoritmasıdır. CART algoritması üç adımdan oluşmaktadır.

a. Maksimum ağacın oluşturulması

Ağaç oluşturulması, ilgilenilen kümeyi kendinden daha homojen olan iki alt kümeye bölen bir yapıdır. Ağacın kökü, veri seti içerisindeki tüm risk faktörlerini kapsamaktadır. Ayrıca bu kök, her bir seviyede kendine özgü iki alt düğüm halinde bölünen bir ana düğüm olarak düşünülmektedir. Sonraki adımda, her alt grup bir ana grup olmaktadır. Her bölünme bir alt gruptaki tüm risk faktörlerin benzer sonuç değişkeni değerlerine sahip olacak şekilde seçilen bir açıklayıcının değeri ile tanımlanmaktadır (Kurt vd., 2008, Kıran, 2010).

En önemli risk faktörü, safsızlık (impurity) ölçütleri (Gini Diversity Index, Twoing, Chi-square, G-square) kullanılarak seçilir. Gini ölçütü her adımda en büyük veri kümesini elde eder. Böylece en iyi bölme durumu elde edilmiş olur. Ayrıca bölme işleminden sonra ilgilenmeyen kısım tek başına bırakılmış olur. Twoing ölçütü ise, Gini'ye göre daha dengeli bir yapı sunar. Bunun nedeni ise her defasında ana ve alt düğümlerin %50' sini içermeye çalışmasıdır. Bundan dolayı Gini'ye göre daha yavaştır (Bozan, 2010, Yücel, 2017).

b. Ağaç budama

Maksimum ağaç yapıldıktan sonra bu ağaç aşırı öğrenme (overfitting) eğilimi göstermektedir. Yani CART algoritması, herhangi bir durma kuralı olmaksızın sürekli olarak bölünerek büyümektedir. Diğer modelleme yöntemlerinde olduğu gibi ağacın karmaşıklığı ve tahmin gücü arasında denge sağlamak için budama işlemi gerekmektedir. Artık yeni bir bölünmenin gerçekleşmeyeceği durumda, bu sefer, uçtan köke doğru budama işlemi başlatılır. Budama işlemi esnasında maksimum ağaçtan türetilen bir seri daha küçük alt ağaçlar arka arkaya gelen uç dallardan elde edilmekte böylece farklı alt ağaçlar en uygun olanla karşılaştırılmaktadır (Kıran, 2010; Sezer, 2010).

c. Optimum ağacın seçimi

Elde edilmiş alt ağaçlar arasından optimal olan seçilmek zorundadır. Bu seçim işlemi tahmin hatasının değerlendirilmesi üzerine kuruludur. Tahmin hatası ise çapraz geçerlilik testi kullanılarak değerlendirilmektedir (Kıran, 2010). Optimal karar ağacı, her ağaç budama sonrasında, seçilen bir test verisi kullanılarak belirlenmeye çalışılır.

2.1.3. Performansların Karşılaştırılması

Bu çalışmada model performans değerlendirme ölçümü için ikili sınıflandırmaya dayalı performans değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçütler doğruluk (accuracy), duyarlılık (sensitivity), seçicilik (specificity), kesinlik (precision) ve F-skor olarak belirlenmiştir. Ölçütler için kullanılacak sınıflandırma ve ölçütlerin hesaplanması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Performanslar ve Hesaplamaları

	Gerçek Model		Performanslar
	1	0	
Kestirim Modeli	1 DP	0 YP	Duyarlılık DP/(DP+YN)
	0 YN	DN	Seçicilik DN/(DN+YP)
			Kesinlik DP/(DP+YP)
			Doğruluk (DP+DN)/(DP+YP+YN+DN)
			F-skor 2*(Kesinlik*Duyarlılık)/(Kesinlik+Duyarlılık)

“Duyarlılık”, gözlenen modelin pozitif (1) olması durumunda kestirilen modelin de pozitif (1) olması, “seçicilik” ise gözlenen modelin negatif (0) olması durumunda kestirilen modelin de negatif (0) olması olasılığıdır. Kurulan çapraz tabloda duyarlılık ve seçicilik olasılıklarının aynı anda yüksek olması beklenir. ROC eğrisi ile değişik kesim noktalarında modelin duyarlılığının, modelin (1- seçicilik) oranına karşı noktalaması elde edilir. Her sınıflandırma işleminde yapıldığı gibi yöntemler, duyarlılık ve seçicilik arasındaki dengeyi kurmakla uğraşmaktadır. ROC eğrisi altında kalan alan AUC(area under curve) olarak tanımlanabilir ve bu AUC modelin pozitiflerle negatifleri ayırt edebilme başarısının en iyi göstergesi olarak kabul edilir. Bu alan 1 olduğunda pozitifler mükemmel bir şekilde negatiflerden ayrılmış demektir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada kullanılan veriler, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2017 “yaşam memnuniyeti” veri tabanından elde edilmiştir. “Yaşam memnuniyeti” veri tabanında 8430 (M=6408, %76; MD=2022, %24) kişiye ait yaşam memnuniyet skorları sınıflayıcı ölçekte verilmiştir (M: Yaşamdan Memnunum (1); MD: Yaşamdan Memnun Değilim (0)). Bu ölçek için 239 adet bağımsız değişken (risk faktörü) bulunmaktadır. Bu değişkenler; cinsiyet, yaş, çalışma durumu, çalışılan yer, işteki sorun, medeni durum ve memnuniyet ölçekleri (sağlık, evlilik, gelir, sosyal hayat, ulaşım, eğitim, konut, semt, iş, kazanç, kişisel bakım, trafikte geçirilen zaman, su, yeşil alan, akraba, arkadaş ve komşu ilişkileri, asayiş, adli durum, hastane, belediye, polis, kamu hizmetleri ve ülke durumu vb...) gibi başlıklarda toplanmaktadır. Yaşam memnuniyeti ile ilişkili olduğu düşünülen değişkenlerin bazılarının benzer ve birbiri ile ilişkili olmasından dolayı değişken sayısı korelasyon matrisine bakılarak azaltılmıştır. Bu matrise göre çalışmaya “cinsiyet”, “medeni durum”, “çalışma durumu”, “sektör”, “okul durumu”, “yaş” kategorik değişkenleri ile “sağlık”, “evlilik”, “gelir”, “sosyal hayat” ve “ulaşım” memnuniyetlerine ait ölçek değişkenlerinin alınmasına karar verilmiştir. Veri setinin istatistiksel özellikleri, veri analizi ve ön işleme için önemli olduğundan, seçilen kategorik değişkenlerin frekansları ve memnuniyet değişkeni ile ilişki durumunu gösteren ki-kare p değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 3’de ise likert ölçeğindeki memnuniyet ölçeklerinin frekansları ve ki-kare p değerleri gösterilmiştir. Yapılan tüm analizler R programlama dili ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Bağımsız Değişkenler için Tanımlayıcı İstatistikler ve Ki-Kare p-değerleri

	M n(%)	MD n(%)	Toplam n(%)	p değeri		M n(%)	MD n(%)	Toplam n(%)	p değeri
Cinsiyet					Okul				
Erkek	2983	954	3937(46.7)	0.034	1: Gitmiyor	816	412	1228(14.6)	0.000
Kadın	3492	1001	4493(53.3)		2: İlkokul	2047	765	2812(33.4)	
Medeni Durum					3: Ortaokul	838	300	1138(13.5)	
1:Evli Değil	1299	404	1703(20.2)	0.009	4: Lise	1326	324	1650(19.5)	
2:Evli	4720	1456	6176(73.3)		5: Önlisans	393	91	484(5.7)	
3:Dul	389	162	551(6.5)		6: Lisans	858	117	975(11.6)	
Çalışma Durumu					7: Yl.-Dr.	130	13	143(1.7)	
Çalışıyor	2920	810	3686(43.7)	0.000	Yaş				
Çalışmıyor	3488	1212	4744(56.3)		1: (-, 25)	1025	280	1305(15.5)	0.004
Sektör					2: (26,35)	1191	336	1527(18.1)	
Özel	2373	719	3092(82.9)	0.000	3: (36,45)	1262	387	1649(19.6)	
Kamu	547	93	640(17.1)		4: (46,55)	1061	380	1441(17.1)	
					5: (56,65)	852	310	1162(13.8)	
					6: (66, -)	1017	329	1346(16.0)	

Ki-kare ilişki testine göre, %95 güvenle tüm değişkenler ile yaşam memnuniyeti arasında istatistiksel olarak ilişki bulunmuştur (p değerleri $\alpha=0.05$, H_0 : değişkenler arasında ilişki yoktur).

Tablo 3. Memnuniyet Ölçekleri için Frekanslar ve Ki-Kare p-değerleri

Ölçekler	S: Sağlık (M-MD)	G: Gelir (M-MD)	SH: Sosyal Hayat (M-MD)	U: Ulaşım (M-MD)
5	374-95	121-25	115-37	172-45
4	4363-1083	3172-642	3396-764	4513-1380
3	1038-361	1391-301	1380-368	879-241
2	571-405	1514-841	1359-721	721-274
1	62-78	210-213	158-132	123-82
p-değeri	0.000	0.000	0.000	0.000

Tablo 3'e göre, yaşam memnuniyeti ile sağlık (S), gelir (G), sosyal hayat (SH) ve ulaşım (U) ölçekleri arasında %95 güvenle ilişki olduğu tespit edilmiştir (p değerleri <0.05)(5: Çok Memnun(ÇM), 4: Memnun(M), 3: Orta(O), 2: Memnun Değil(MD), 1: Hiç Memnun Değil(HMD)).

Yaşam memnuniyeti verileri, makine öğreniminin denetimli öğrenmesi içerisinde olan regresyon adımı için geriye doğru lojistik regresyon modeli ile anlamlı bulunan değişkenlerle kurulmuştur. Verilerin %80'i eğitim ve %20'si test verisi olacak şekilde kurulan lojistik regresyon modelinde, kadınların erkeklere göre yaşamdan memnun olma şansı, %18 daha fazla olarak elde edilmiştir (OR=1.18). Okul durumlarında, ilkokuldan(2) başlayarak, YL&Dr(7)'a kadar tüm kategorilerin, okula gitmeyenlere göre daha çok memnun oldukları bulunmuştur. YL&Dr'sı olanların okula gitmeyenlere göre yaşamdan memnun olma şansı yaklaşık olarak 3.39 kat daha fazla tespit edilmiştir. Evli ya da boşanmış olanların, evlenmeyenlere göre yaşamdan memnun olma şansı sırasıyla %31 ve %21 daha fazladır. Sağlık memnuniyetinde, M olanların, HMD'e göre yaşam memnuniyetinin olma şansı yaklaşık olarak 2.75 kat daha fazla olarak elde edilmiştir. Gelir memnuniyetinde, MD olanların, HMD'e göre yaşam memnuniyeti'nin olma şansı yaklaşık olarak %50 daha fazla olarak bulunmuştur. Sosyal hizmet memnuniyetinde, ÇM ile MD'in OR değerlerine ait güven aralığı 1'i içerdiğinden yorumlama yapılamaz. Ancak sosyal hizmet memnuniyetinde, M olanların, HMD'e göre yaşamdan memnun olma şansı %96 daha fazla olarak görülmüştür. Ulaşım memnuniyetinde, ÇM olanların, HMD'e göre yaşam memnuniyeti'nin olma şansı yaklaşık olarak 2.82 kat daha fazla tespit edilmiştir. Bu odds değerlerinin hepsinin 1'i içermemesi de yorumlara destekleyici olarak ifade edilmiştir.

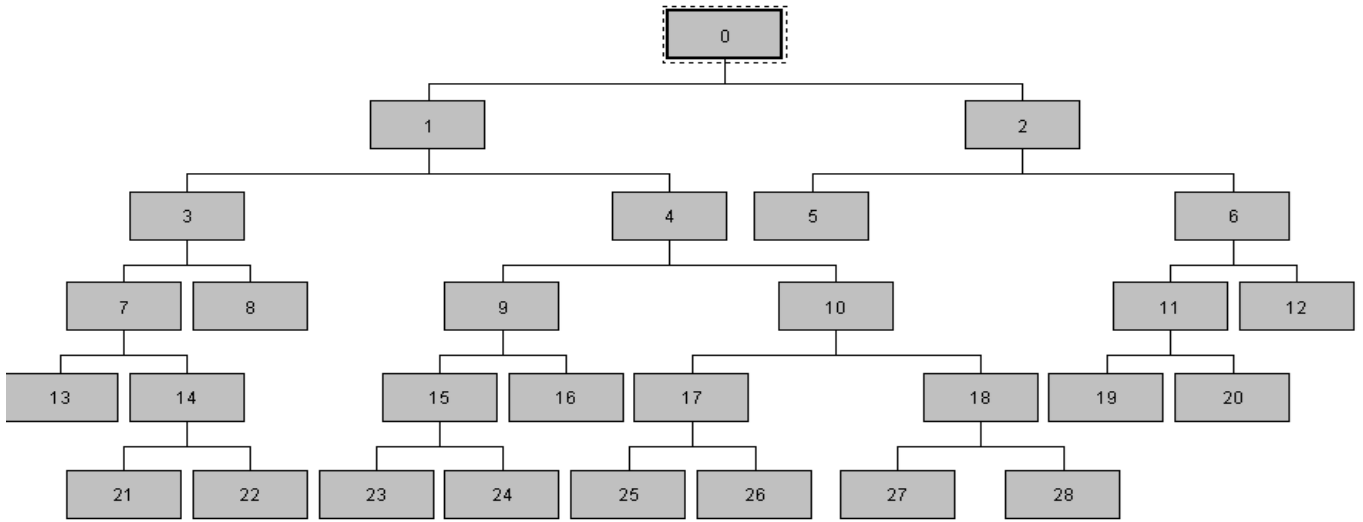
Yaşam memnuniyeti verileri, makine öğreniminin denetimli öğrenmesi içerisinde olan sınıflama ve regresyon ağaçları algoritmalarından CART ile maksimum ağaç oluşturulup, budama algoritması ile en uygun ağaç yapısı oluşturulmuştur. Veri setinin %80'i eğitim %20'si test verisi olarak ayrılan lojistik regresyon model için kullandığımız veri seti CART algoritmasında Gini ayırma kriteri ile kullanılmıştır. Şekil 1'de bu ağacın ilk bölünmesi gösterilmiştir. Tablo 5'de ise bu ağaca ait terminal ve alt düğümler, sonuç değişkenleri, dallar ve bu düğümlere ait yorumlar verilmiştir. Düğümler 0'dan 28'e kadar numaralandırılmıştır. Gini indeksi kullanılarak yapılan CART analizi ile bağımsız değişkenlere ait hem alt düzeyler belirlenmekte hem de alt düzeyler arasındaki ilişkiler elde edilmiştir. Yaşam memnuniyeti üzerinde en önemli değişkenin "gelir" olduğu CART ağacı ile bulunmuştur. Gelir değişkeni iki alt düğüme (1. alt düğüm= HMD,MD; 2. alt düğüm=O, M, ÇM) bölünmüştür. 1. alt düğümden yaşamdan memnun olanların oranının %61.6, memnun olmayanların ise %38.4 olduğu tespit edilmiştir. Gelir değişkeninde 1. alt düğüm, iki alt düğüme (3. alt düğüm= HMD, M, O; 4. alt düğüm=M, ÇM) daha bölünmüştür. 4. alt düğümden yaşamdan memnun olanların oranının %69.0, memnun olmayanların ise %31.0 olduğu tespit edilmiştir. CART analizinde bu işlem 28. Alt düğüme kadar devam etmiştir.

Tablo 4. Lojistik Regresyon Modeli (%80 Eğitim Verisi): Wald Ki-Kare p-Değeri ve Odds Oranı Güven Aralıkları

Değişkenler	p-değeri	OR(GA)	Değişkenler	p-değeri	OR(GA)
Cinsiyet	0.009	1.18 (1.042-1.336)	Gelir	0.000	
Medeni Durum	0.005		5: ÇM	0.000	2.79 (1.601-4.877)
Evli	0.001	1.31 (1.111-1.534)	4: M	0.000	3.03 (2.317-3.964)
Dul	0.182	1.21 (0.914-1.608)	3: O	0.000	3.15 (2.379-4.178)
Okul	0.000		2: MD	0.002	1.50 (1.158-1.943)
2: İlkokul	0.001	1.34 (1.123-1.609)	Sosyal Yaşam	0.000	
3: Ortaokul	0.002	1.41 (1.131-1.771)	5: ÇM	0.627	1.14 (0.665-1.968)
4: Lise	0.000	2.04 (1.637-2.547)	4: M	0.000	1.96 (1.420-2.693)
5: Önlisans	0.000	2.19 (1.593-3.006)	3: O	0.000	2.01 (1.443-2.789)
6: Lisans	0.000	3.09 (2.353-4.071)	2: MD	0.063	1.35 (0.984-1.851)
7: Yl.-Dr.	0.000	3.39 (1.802-6.408)	Ulaşım	0.000	
Sağlık	0.000		5: ÇM	0.000	2.82 (1.661-4.778)
5: ÇM	0.000	2.39 (1.466-3.882)	4: M	0.000	2.07 (1.464-2.928)
4: M	0.000	2.75 (1.829-4.147)	3: O	0.000	2.61 (1.790-3.807)
3: O	0.000	2.17 (1.423-3.308)	2: MD	0.004	1.73 (1.193-2.521)
2: MD	0.117	1.40 (0.918-2.146)	Sabit	0.000	0.08

Referans: Erkek, Evli değil ve memnuniyet ölçeklerinde HMD

Ölçekler: 5: Çok Memnun(ÇM), 4: Memnun(M), 3: Orta(O), 2: Memnun Değil(MD), 1: Hiç Memnun Değil(HMD)



Şekil 1. CART Analizi (%80 Eğitim Verisi) Karar Ağacı Numaralandırılması

Cart analizi sonucunda yaşam memnuniyeti üzerine etkili değişkenin karar ağacına göre “gelir” olduğu bulunmuştur. Ancak CART ağacında görülmeyen önem seviyeleri için “normalleştirilmiş önemlilik (normalized importance)” değerleri ile önem sıraları Tablo 6’da gösterilmiştir. Bu değerleri göre “gelir” değişkenini sırasıyla “sosyal hayat(%86)” ve “sağlık durumu(%73.4)” değişkeninin takip ettiği görülmüştür.

Tablo 6. CART Analizi Normalleştirilmiş Önemlilik Değerleri

Bağımsız Değişkenler	Önem Değerleri	Normalleştirilmiş Önemlilik Değerleri (%)
Gelir	0.023	100.0
Sosyal Hayat	0.020	86.0
Sağlık	0.017	73.4
Eğitim	0.007	28.1
Ulaşım	0.002	9.8
Cinsiyet	0.001	4.0
Medeni Durum	0.001	3.1

Veri setini eğitim ve test set olarak ayırmamızın amacı, olası aşırı uyma’dan (overfitting) kaçınmak ve modelin daha önceden görmediği veri seti üzerinde nasıl performans gösterdiğini anlamak içindir. Ancak modelin dağılımdan kaynaklı bazı hatalar olabilir. Bu çalışmada TÜİK verilerindeki hataları minimum seviyeye indirmek için “k-katlamalı çapraz geçerlilik (k-fold cross validation)” yöntemi kullanılmıştır. Bunun için eğitim verisi, rasgele 10 parçaya bölünmüş ve 9 parça eğitim için 1 parçada test verisi için kullanılmıştır. Bu işlem 10 kez tekrarlanmıştır. Her tekrardan elde edilen değerlerin ortalaması ile sınıflandırıcımızdan gelen performanslar değerlendirilmiştir.

Tablo 5. CART Analizi (%80 Eğitim Verisi)

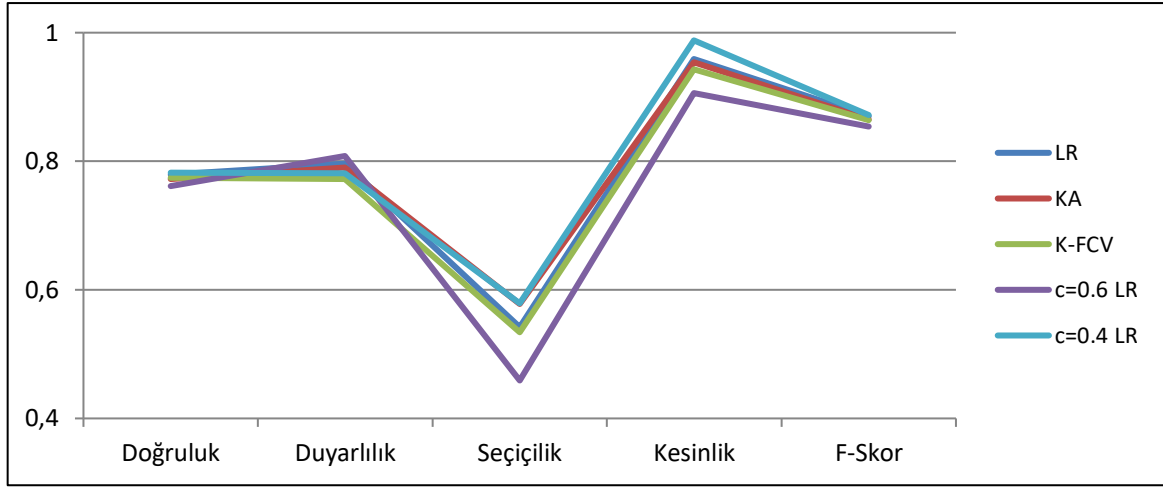
Düğüm	Değişken	Sınıflar	Memnun(M)		Memnun Değil(MD)	
			n	%	n	%
0			5080	75.7	1631	24.3
1	Gelir	MD, HMD	1370	61.6	855	38.4
2	Gelir	ÇM, M, O	3710	82.7	776	17.3
3	Sağlık	O, MD, HMD	444	50.3	438	49.7
4	Sağlık	M, ÇM	926	69.0	417	31.0
5	Okul	İlkokul, Ortaokul, okula gitmedi	2029	78.1	569	21.9
6	Okul	Önlisans, Lise, Lisans, YL-Dr	1681	89.0	207	11.0
7	Sosyal Hayat	MD, HMD	220	41.0	316	59.0
8	Sosyal Hayat	ÇM, M, O	224	64.7	122	35.3
9	Ulaşım	MD, HMD	152	57.8	111	42.2
10	Ulaşım	ÇM, M, O	774	71.7	306	28.3
11	Sosyal Hayat	M, O, MD, HMD	1631	89.6	190	10.4
12	Sosyal Hayat	ÇM	50	74.6	17	25.4
13	Gelir	MD, HMD	36	28.1	92	71.9
14	Gelir	ÇM, M, O	184	45.1	224	54.9
15	Gender	Erkek	70	49.3	72	50.7
16	Gender	Kadın	82	67.8	39	32.2
17	Sosyal Hayat	MD, HMD	329	66.1	169	33.9
18	Sosyal Hayat	ÇM, M, O	445	76.5	137	23.5
19	Okul	Önlisans, Lise	981	88.0	134	12.0
20	Okul	Lisans, YL-Dr	650	92.1	56	7.9
21	Ulaşım	MD, HMD	28	34.1	54	65.9
22	Ulaşım	ÇM, M, O	156	47.9	170	52.1
23	Okul	Lise, Lisans, Okula gitmedi	23	38.3	37	61.7
24	Okul	Önlisans, İlkokul, Ortaokul, YI-Dr	47	57.3	35	42.7
25	Gender	Erkek	167	62.1	102	37.9
26	Gender	Kadın	162	70.7	67	29.3
27	Okul	İlkokul, Ortaokul, Okula gitmedi.	266	71.7	105	28.3
28	Okul	Önlisans, Lise, Lisans, YL-Dr	179	84.8	32	15.2

Kurulan bir lojistik regresyon modelinin sonuçlarını özetlemek için en iyi yol sınıflandırma tablosu oluşturmaktır. Bu tablo, sonuç değeri Y'nin düzeyleri ile kestirilen lojistik olasılıklar tarafından üretilen ikili bir değişkenin çarpaz sınıflandırmasıyla elde edilir. Üretilen bu ikili bağımsız değişkeni elde etmek için c kesim noktası belirlenir ve kestirilen her bir olasılık değeri c ile karşılaştırılır. Eğer kestirilen olasılık, c değerini geçerse, türetilen ikili değişken 1'e eşit olur, diğer durumlarda 0'a eşittir. c'nin en yaygın kullanılan değeri 0.5'dir. Buna bağlı olarak lojistik regresyonda değiştirilen yeni c değerleri, CART ve k-katlamalı çarpaz geçerlilik yöntemleri için performans değerlendirmeleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Modellerin Algoritmalarına Göre Performans Değerlendirmesi

Algoritma	Doğruluk	Duyarlılık	Seçicilik	Kesinlik	F-Skor	R ²
Lojistik Regresyon (c=0.5)	0.779	0.796	0.552	0.961	0.870	0.671
Karar Ağacı	0.780	0.790	0.578	0.964	0.875	0.543
k-Katlamalı Çağraz Doğrulama	0.774	0.772	0.534	0.943	0.864	0.544
Lojistik Regresyon (c=0.6)	0.761	0.808	0.459	0.906	0.854	0.643
Lojistik Regresyon (c=0.4)	0.782	0.781	0.579	0.988	0.872	0.675

Yaşam Memnuniyeti TUİK veri seti için doğruluk değerleri incelendiğinde c değeri 0.4 iken yapılan lojistik regresyon modeli en yüksek değere sahiptir. Duyarlılık değerleri olarak karşılaştırıldığında c değeri 0.6 olan lojistik regresyon modeli en yüksek sonuç vermiştir. Seçicilik ve kesinlik değerlerine bakıldığında c değeri 0.4 olarak belirlenen lojistik regresyon modeli en yüksek sonuç vermiştir. F-skoru için en yüksek sonuç veren algoritma karar ağacıdır. Bu algoritmaların çalıştırılması sonucunda elde edilen performans değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Modellerin Performans Değerlendirilmesi

4. Sonuç

Bilgi özellikle son yıllarda her alanda ve herkes için çok önemli bir kavram haline gelmiştir. Ancak çok fazla verinin olması ve bu verilerin kullanılabilir bilgiye dönüştürülmesi iyi yönetilmesiyle mümkün olabilir. Bilgi haline dönüştürülmeyen ham verinin bulunduğu alana katkısı olmaz. Teknolojik gelişmelerle birlikte varolan verilerin kullanılması, çözümlenmesi ve yorumlanması alanda yer alan şirket ya da kişiler için önem oluşturmaktadır. Bununla birlikte yapılan veri madenciliği çalışmalarında verinin hazırlanma aşamasının süreç içerisinde en çok zaman alan kısım olması, veri kalitesi ve bütünlüğünün önemini göstermektedir. Verilerin yapılarındaki bozukluk, farklı kullanıcıların farklı biçimlerde ya da eksik veri girişi, tutarlı olmayan ya da işlevsel olmayan veri yapıları, veri kalitesini ve bütünlüğünü bozan unsurlar olarak gösterilebilir. Bunların tamamının veri ve verinin bilgiye dönüşüm süreciyle ilgili eksikliklerden kaynaklandığını söylenebilir.

Her alanın kendine özgü bir veri yapısı bulunmaktadır. Birçok alanda da ilgilenilen değişkenler kategorik yapıda kendini göstermektedir. Bugüne kadar kategorik verilerin sınıflandırılmasında ve çözümlenmesinde daha çok kümeleme, diskriminant ve lojistik regresyon analizi gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Ancak teknolojik gelişmelerin varlığında veri büyüklüğünün artması ile bu yöntemlere göre daha yeni ve popüler olan karar ağacı algoritmaları kullanılmaya başlanmıştır.

Uygulamaya konu olan veri kümesi 2018 yılı TÜİK “Yaşam memnuniyeti” anketine katılan kişilerdir. Bu amaçla literatürde yapılan çalışmalarda TÜİK ve yaşam memnuniyeti birlikte incelendiğinde, Gürsakal&Öngen (2008) 2007 yılı TÜİK yaşam memnuniyetini inceledikleri çalışmada diskriminant analizini kullanarak cinsiyet, kır-kent durumu, sağlık, konut, gelir, akraba ve komşu ilişkileri değişkenlerini anlamlı bulmuşlardır. Beşel (2015), 2013 TÜİK verilerini kullanarak yaşam memnuniyetlerini tanımlayıcı istatistiklerle incelemiş ve mutlu&mutсуz illeri sosyal ve siyasal açıdan karşılaştırmıştır. Arı&Yıldız (2016), sıralı lojistik regresyon yöntemi ile 2014 yılına ait TÜİK yaşam memnuniyetini incelemişlerdir. Kısmi orantısız oran modeline göre cinsiyet, medeni durum, çalışma durumu, sağlık, gelir ve arkadaş değişkenlerini anlamlı bulmuşlardır. Son olarak Şehribanoğlu&Diler (2018), karar ağacı algoritmalarından CART ve CHAID analizini kullanarak 2013 yılına ait TÜİK yaşam memnuniyetini incelemişlerdir. Bu çalışmada CHAID analizi ile gelir, CART analizi ile gelir, umut, sağlık, evlilik ve sosyal güvenlik değişkenlerinin anlamlı olduklarını bulmuşlardır. Ancak model performanslarını karşılaştırmayıp, modele giren değişken sayısına göre CHID algoritmasının daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada 2018 yılı TÜİK “Yaşam memnuniyeti” anketine katılan 8430 kişiye ait yaşam memnuniyeti sınıflayıcı ölçekte elde edilmiştir. Bu ölçek için veri hazırlama aşamasında yürütülen işlemlerle modellere 7 değişken alınmıştır. İlk olarak modeldeki risk faktörleri için tahmin edilen odds oranları yardımıyla yorumlamanın yapıldığı lojistik regresyon analizi uygulanmıştır. $c=0.5$ kesim noktasına göre yapılan lojistik regresyon analizinde cinsiyet, medeni durum, okul durumu, gelir, sosyal hayat, sağlık ve ulaşım değişkenlerinin anlamlı bulunduğu tespit edilmiştir. Bu modele göre kadınların, evli veya dul olanların, okuyanların ve ölçekte HMD kategorisinin dışındaki diğer kategorilerin çoğunun yaşamdan memnun oldukları sonucu elde edilmiştir. CART analizi uygulamasında yaşam memnuniyeti üzerine en etkili değişkenin karar ağacına göre gelir olduğu bulunmuştur. Ayrıca normalleştirilmiş önemlilik değerlerine göre gelirden sonra önemli bulunan değişkenlerin sosyal hayat ve sağlık durumu olduğu saptanmıştır. TÜİK verilerindeki hataları minimum seviyeye indirmek için k-katlamalı çapraz geçerlilik yöntemi de kullanılmıştır. Sınıflandırma ve karar ağaçları içerisinde yer alan lojistik regresyon, CART ve k-katlamalı çapraz geçerlilik yöntemleri için yapılan performans değerlendirilmesinde, $c=0.4$ kesim noktası olan lojistik modeli tercih edilmelidir.

Bu çalışma ile TÜİK verilerinde yer alan demografik ve ölçek verilerinin çözümlenmesi ve yorumlanması için makine öğreniminde yer alan algoritmaların kullanımı gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan sınıflandırma ve karar ağaçları yöntemleri ile aynı özellikteki veriler kullanılarak yapılabilecek performans karşılaştırmaları belirlenmiştir. Ayrıca aynı türde yeni veriler ortaya çıktığında bu verilerin hangi sınıfta yer alması gerektiğine ilişkin ileriye yönelik tahminler makine öğrenimi yöntemleri ile kolaylıkla yapılabilecektir.

Kaynakça

- Akın, A. & Yalnız, A. (2015). Yaşam Memnuniyeti Ölçeği Türkçe Formu: Geçerlilik ve Güvenilirlik Çalışması, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(54): 95-102.
- Arı, E. & Yıldız, Z. (2016). Bireylerin Yaşam Memnuniyetini Etkileyen Faktörlerin Sıralı Lojistik Regresyon Analizi ile İncelenmesi, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(42): 1362-1374.
- Berker, A. (2015). Zorunlu Göçün Yol Açtığı Refah Kaybının İncelenmesi: Yaşam Memnuniyeti Yaklaşımı, Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü, 1-30.
- Beşel, F. (2015). 2013 Yılı Yaşam Memnuniyeti Araştırma Sonuçlarının İl Bazlı Ekonomik, Sosyal ve Siyasi Analizi, *Karabük Ün. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(2): 227-236.
- Bozan, F. (2010). www.farukbozan.com/2010/01/cartclassification-and-regression-tree/. Son Erişim Tarihi: 18 Şubat 2020.
- Bölükbaşı A. & Şentürk, Ö. (2017). Sigorta Sektöründe Çalışanların Yaşam Memnuniyeti Üzerine Bir Araştırma, *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 9(17): 2017.
- Cox, M. & Ellsworth, D. (1997). Application-Controlled Demand Paging for Out-of-core Visualization, *Proceedings of the 8th Conference on Visualization, IEEE*.
- Dağlı, A. & Baysal, N. (2016). Yaşam Doyumu Ölçeğinin Türkçe'ye Uyarlanması: Geçerlilik ve Güvenilirlik Çalışması, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(59): 1250-1262.
- Demir, İ. (2011). Gençlerde Yaşam Doyumu ile Kimlik İşlevleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(38): 99-113.
- Demir, R. & Murat, M. (2017). Öğretmen Adaylarının Mutluluk, İyimserlik, Yaşam Anlamı ve Yaşam Doyumlarının İncelenmesi, *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 7(13): 347-378.
- Doğan, Ş. & Türkoğlu, İ. (2007). Hypothyroidi and Hyperthyroidi Detection from Thyroid Hormone Parameters by Using Decision Trees, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 5(2): 163-169.
- Doğan, T. & Sıpmaz, F. (2012). Oxford Mutluluk Ölçeği Türkçe Formunun Psikometrik Özelliklerinin Üniversite Öğrencilerinde İncelenmesi, *Düşünen Adam Psikiyatri ve Nörolojik Bilimler Dergisi*, 25: 297-304.
- Gahi, Y., Guennoun, M., Mouffah, H. T. (2016). Big Data Analytics: Security and Privacy Challenges. 2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC), Messina, Italy, 953.
- Güler, B.K. & Emeç, H. Yaşam Memnuniyeti ve Akademik Başarıda İyimserlik Etkisi, *Dokuz Eylül Ün. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(2): 129-149.
- Güner, Z.B. (2014). Veri Madenciliğinde CART ve Lojistik Regresyon Analizinin Yeri: İlaç Provizyon Sistemi Verileri Üzerinde Örnek Bir Uygulama, *Sosyal Güvence Dergisi*, 6: 53-99.
- Gürsakal, S. & Öngen, K.B. (2008). 2007 Yaşam Memnuniyeti Anketinin İstatistiksel Yöntemler İle Analizi, *Uludağ Ün. İİBF Dergisi*, XXVII(1): 1-14.
- Hand, D.J. (1998). Data Mining: Statistics and More? *The American Statistician*, 52(2): 112-118.
- Kanbur, E. & Özdemir, B. (2017). Yaşam Memnuniyeti ve Öncülleri: Karadeniz Bölgesi İncelemesi, *Al-Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1): 147-157.
- Kıran, N. , Srinath, M., Sharma, R. (2010). A Level Set Method-Based Derivation Of Differential Equation For Developable Surfaces, *International Electronic Journal of Geometry* 3: 11-15
- Kurt, I., Ture, M., Kurum, A. T., (2008). Comparing Performances of Logistic Regression, Classification and Regression Tree, and Neural Networks for Predicting Coronary Artery Disease, *Expert Systems with Applications*, 34: 366-374.
- Korkmaz, M., Germir, H.N., Gürkan, A. (2015). Yaşam Memnuniyeti Üzerine Etkili Olan Sosyodemografik Bileşenler Üzerine Bir Analiz, *Uluslararası Hakemli Psikiyatri ve Psikoloji Araştırmaları Dergisi*, 3(2): 78-111.
- Lyn, T. C. (2000). A Survey of Credit and Behavioral Scoring: Forecasting Financial Risk of Lending to Consumer, *International Journal of Forecasting*, 16(2): 149-172.
- Pehlivan, G. (2006). Chaid Analizi ve Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Saygılı M., Onay, Ö.A., Ayhan, M. (2017). Kişilik Özellikleri Bağlamında Yaşam Memnuniyeti Üzerine Bir Araştırma, *Yorum-Yönetim-Yöntem Uluslararası Yönetim-Ekonomi ve Felsefe Dergisi*, 5(2): 61-72.
- Sezer, E. A., Bozkır, A. S., Yağız, S., Gökçeoğlu C. (2010). Karar Ağacı Derinliğinin CART Algoritmasında Kestirim Kapasitesine Etkisi: Bir Tünel Açma Makinesinin İlerleme Hızı Üzerinde Uygulama, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Kayseri*.
- Şehribanoğlu, S. & Diler, S. (2018). 2013 Yılı Yaşam Memnuniyet Araştırmasının CART ve CHAID Algoritmaları ile İncelenmesi, *The Journal of Academic Social Science*, 6(67): 132-141.
- Taşlıyan M., Hırlak, B., Güler, B., Gündoğdu, E. (2018). İnternet Bağımlılığı, Yaşam Doyumu ve Bazı Demografik Değişkenler Arasındaki İlişkiler, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 2(2):166-179.
- Tuncay, F.Ö. & Fertelli, T.K. (2018). Yaşlılarda Bilişsel İşlevlerin Günlük Yaşam Aktiviteleri ve Yaşam Doyumu ile İlişkisi, *DEÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 32(3): 183-190.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Yaşam Memnuniyeti Araştırması, 2018.
- Tümlü, G.Ü. & Reçepoğlu, E. (2013). Üniversite Akademik Personelinin Psikolojik Dayanıklılık ve Yaşam Doyumu Arasındaki İlişki, *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 3(3): 205-213.
- Vahaplar, A. (2003). Bir Coğrafi Veri Madenciliği Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir*.
- Yücel, Y. B. (2017). Yaşam memnuniyetini etkileyen faktörlerin sınıflama ve regresyon ağacı ile belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik, İstanbul*.



Türkiye'de Firmaların Büyük Veri Teknolojileri Bilinirliği ve Kullanımı Analizi

Serkan Ayvaz^{1*}, Yücel Batu Salman²

¹ Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2016-4443)

² Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5038-1612)

(İlk Geliş Tarihi 22 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 23 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.675247)

ATIF/REFERENCE: Ayvaz, S. & Salman, Y. B. (2020). Türkiye'de Firmaların Büyük Veri Teknolojileri Bilinirliği ve Kullanımı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 728-737.

Öz

Doğru kararları almak için toplanan büyük boyutlardaki verileri anlama, analiz etme, hızlı sonuçlar üretme, veri kullanımını kolaylaştıracak yeni ve daha iyi araçlar geliştirme ihtiyacı teknolojik ve bilimsel gelişmeler ile birlikte artarak devam etmektedir. Geniş bilgi kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımı, kaynak kullanımında ve karar vermede öngörülemez yeni fırsatlar sağlamaktadır. Büyük verilerin analizinin birçok kritik alanda bilişimin karar desteğini bir üst boyuta taşıyarak ciddi tasarruflar ve yeni olanaklar sağlamaktadır. Bu çalışmada, büyük veri uygulamalarının Türkiye'de faaliyet göstermekte olan firmalarda kullanım olgunluğunu belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla ilgili firmalar ve temsilcileri belirlenmiş olup, farklı sanayi kollarından şirketlerin özellikle büyük veri kullanım ve olgunluk indeksleri oluşturulmuştur. Bu çerçevede büyük veri kullanımı ve bilinirliği üzerine bir anket tasarlanmıştır. 101 tekil firma yetkilisi ile görüşülmüş olup, anket aracılığıyla veri toplanmıştır. Bu veriler ışığında büyük veri teknolojilerinin Türkiye'de kullanım indeksi oluşturulup firmaların büyük veri paradigmasına hazırlıkları ve kullanım dereceleri ölçülmüştür. Böylece sektörel anlamda büyük veri teknolojilerinin ve kazanımlarının bilinirliği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Büyük Veri, Büyük Veri Teknolojileri, Büyük Veri Teknolojileri Adaptasyonu

Assessing the Awareness Levels and Usage of Big Data Technologies by Companies in Turkey

Abstract

The need to understand, analyze, produce quick results, and develop new and better tools that will facilitate data utilization, continues to grow with technological and scientific developments. The effective use of large sources of information provides new unforeseen opportunities in resource utilization and decision making. The analysis of large data provides serious savings and new possibilities by taking the information-based decision support to a higher level in many critical areas. This study aimed at determining the maturity levels of using big data technologies in companies operating in Turkey. For this purpose, relevant firms and their representatives were determined and big data usage and maturity indexes of companies from different industries were established. In this framework, a survey on big data usage and awareness was designed. 101 individuals from different firms were interviewed and data were collected through the survey. In light of this dataset, an index measuring the usage of big data technologies in Turkey has been established and the companies' preparation to big data paradigm of and their use of big data technologies has been assessed using the index. Thus, the opportunities and awareness of big data technologies in sectoral terms has been investigated.

Keywords: Big Data, Big Data Technologies, Adaption of Big Data Technologies

*Sorumlu Yazar: Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, serkan.ayvaz@eng.bau.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde, bilgi toplumunun öğelerini hayatın her alanında görmek mümkündür. Toplumlarda her birey artık akıllı telefonlar, giyilebilir teknolojiler, işlem kapasitesi yüksek cihazlar aracılığıyla bu gelişimlerden ve yeniliklerden faydalanmaktadır (Snijders vd., 2012). Bilgi çağını yaşadığımız bugünlerde teknoloji ve bilgisayar bilimleri alanlarındaki hızlı gelişimlere izleyici kalmaktansa, bunları teknik altyapıları ile öğrenen, kullanan ve geliştiren bireyler olmak hem ülke ekonomisi hem de bilimsel ve sektörel katkı açısından büyük önem arz etmektedir.

Veri karmaşık, yapılandırılmamış ve çok büyük ölçeklidir (Labrinidis vd., 2012). Yapılandırılmaya ve anlamlı hale getirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Gandomi vd., 2015). İnternetin yaygın kullanılması ile birlikte finans, ticaret, sağlık, bilim gibi modern hayatın parçalarını oluşturan her alanda veri miktarı inanılmaz boyutlarda artarken, bilgiye erişim hızı da bu paralelde artmıştır (Khan vd., 2014). Bununla birlikte saniyede yüzlerce trilyon işlem kapasitesi olan süper bilgisayarlar kullanılmaktadır.

IBM raporuna göre 2012 yılı itibarıyla her gün, 2,5 quintillion bayt veri oluşturulmaktadır. Günümüzde var olan tüm verilerin toplamının %90'ından fazlası sadece son iki senede üretilmiş verilerden oluşmaktadır (IBM, 2012). Son yıllarda yeni geliştirilen teknolojiler ile son derece yaygın hale gelen büyük veri analitiğini, klasik veri analitiği yöntemlerinden ayıran aslında her tipte verinin işlenmesini amaç edinmiş olmasıdır (Chen vd., 2012; Kwon vd., 2014). Bugün veri giderek daha hızlı toplanırken, daha karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır. Dünyadaki büyük şirketlerin kısa zamanda toplanan büyük veriyi, verimi arttıracak, maliyetleri düşürecek ve müşterilere daha iyi ulaşmayı sağlayacak şekilde analiz etmesi gerekmektedir. Şirketler müşterilerin daha iyi tanınması, yeni ürün geliştirme ve satışının hızlandırılması, gerçek zamanlı operasyonların yönetimi, cihazların ürettiği verilerin işlenip değerlendirilmesi, risk ve sahtekârlıkların anında tespiti gibi çeşitli amaçlar için büyük veri teknolojilerinden yararlanmaktadır.

Google, Facebook, Twitter, IBM gibi dev teknoloji firmaları büyük veri analitiği alanında dev bütçeler ile araştırma-geliştirme çalışmaları yürütmekte ve geliştirilen yeni teknolojilerin pek çoğu açık kaynaklı olarak kamuya sunulmaktadır. Her gün yenileri eklenen bu kadar açık kaynaklı teknoloji kullanımı hazır olmasına rağmen karşımıza önemli bir sorun çıkıyor. Kalifiye insan kaynakları açığı bu noktada büyük bir eksiklik olarak göze çarpıyor (Ahalt vd., 2013). Büyük verinin sunacağı olanaklardan tam olarak faydalanabilmek için yetişmiş insan gücüne ihtiyaç vardır.

İş dünyasında büyük veri, iş analitiği isimleri ile de anılan veri analitiği tüm dünyada önem kazanan bir bilim dalıdır. Büyük veri analitiğinin öğrenilmesi ve uygulanması için gerekli bilgi kaynaklarının ve tecrübenin oluşturulması, büyük veri analizlerinin kullanım alanları ve çeşitli uygulamalarının yaygınlaştırılması, büyük ve orta ölçekli firmalarımızın küresel rekabet güçlerini arttırmalarında ucuz ve çok verimli bir kaynak olan büyük veri teknolojilerinin kamu ve özel sektöre entegre edilmesi büyük önem arz etmektedir (Kim vd., 2014).

Akıllı binalar, otomobiller, telefonlar vb. örnekler artık günlük hayatımızın bir parçası haline gelmiştir (Khan vd., 2014). Bu kadar farklı mecralarda tutulan veriler eğer analiz edilmez ise boş çöp yığınından farksız olacaktır. Ayrıca kablosuz veri aktarımı teknolojilerindeki gelişmeler artık tüm ürünlerin internet üzerinden haberleştiği ve yönetildiği bir geleceği mümkün kılmaktadır.

Öte yandan internet ortamında sosyal ağlar ve servisler aracılığıyla resim, video, beğeni paylaşımları klasik pazar araştırma yöntemlerinin önüne geçmektedir (Moro vd., 2016; Amado vd., 2018). Artık yeni çıkan bir ürünün ne kadar beğenildiği beş yüz veya bin kişilik bir örneklem üzerinde yapılan anketleri yorumlayarak değil milyonlarca insanın o konudaki internet paylaşımlarını makineler aracılığı ile yorumlayarak yapılmaktadır (Bello-Organ vd., 2016).

Bu kadar devasa ölçekteki veri, klasik veri ambarlarına sığmamaktadır. Bu büyüklükte bir veri kümesinde klasik veri tabanları sorgulamalarını neticelendirmek günler almaktadır. Ayrıca tutulan verinin sayısal olmaması çoğunluğunun metin, görüntü ve ses dosyaları olması da ayrı bir sorun olarak değerlendirilmektedir (Che vd., 2013). Bu kadar farklı türlerde verinin biriktiği ve sadece bunları depolamanın bile büyük maliyetler oluşturduğu bir ortamda, bilinen iş zekâsı ve veri madenciliği uygulamalarının büyük ve yapısal olmayan verilere uygulanmasını içeren büyük veri analitiği ve mimarisi oldukça yaygın bir bilim alanı olarak yükselmektedir (Wu vd., 2014). Büyük veri, oldukça ileri seviyede eğitilmiş insan kaynakları gerektiren birçok farklı disiplini içinde barındıran bir alandır (Ahalt vd., 2013).

Firmaların büyük veri teknolojileri adaptasyonunda daha verimli sonuçlar ortaya çıkararak yenilikçi ürün geliştirme, operasyonel verimliliği artırma, iyileştirme müşteri ilişkilerini geliştirme, hataları ve kalite sorunlarını en aza indirme, hizmet ve iş olanakları meydana getirme gibi ekonomik ve sosyal değer algısı önemli yer tutar (Davenport ve Kudyba, 2016; Günther vd., 2017). Ayrıca, büyük veri temelli doğru karar alma ve stratejiler oluşturma, büyük verinin daha fazla ekonomik sosyal değer oluşturmasını sağlayabilir (Bughin, 2016). Ancak, büyük veri hakkındaki yapılan yaygın reklam ve oluşmuş büyük beklentiler büyük veri kaynaklı gerçek değer kazanılmasını garanti etmez ama kurumların aslında pratikte gerçekleştirebileceklerinden daha fazla değer kazanabileceğine inanmalarına yol açabilir (Ransbotham vd., 2016). Bu algı firmaların bu alanda altyapı yatırımı yapmasının temel dayanağını oluşturmaktadır (Günther vd., 2017).

Bajari vd. perakende satış verilerini kullanarak büyük verinin firmaların performansı üzerindeki etkisini tahmin doğruluğu bağlamında incelemiştir. Yapılan çalışmanın bulguları, büyük veri sayesinde firmaların genel olarak öngörülen performansının zaman içinde geliştiğini, yeni modellerin piyasaya sürülmesinden sonra öngörülerde kademeli iyileştirmeler olduğunu göstermiştir (Bajari vd., 2019).

Diğer bir çalışma, firma karar alıcılarının büyük veri teknolojileri kullanımına geçiş kararını etkileyen faktörler incelenmiştir (Al-Rahmi vd, 2019). Çalışmada yapılan anketin sonuçlarına göre algılanan teknoloji kullanışlılığı, algılanan kullanım kolaylığı, algılanan risk ve davranışsal niyetin, büyük veri teknolojilerinin adaptasyonunda anlamlı faktörler olduğu belirtilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar, büyük veri kullanımının farklı bir organizasyon yeteneği gerektirdiğini gösteriyor. Buna rağmen, ulusal bağlam ve kültür ve firma büyüklüğü gibi çeşitli bağlamsal koşulların büyük veri kullanım performansına etkileri hakkında hala çok az şey bilinmektedir (Dubey vd., 2019).

Bu çalışmada Türkiye’de bilişim, sağlık, telekomünikasyon, finans, eğitim gibi sektörlerde faaliyet göstermekte olan firmaların büyük veri toplama, analiz etme ve çözüm önerileri üretme çalışmalarındaki olgunluk düzeylerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu olgunluk düzeyini ölçmek amacıyla bir anket düzenlenmiş olup büyük veri teknolojilerinin kurum ve kuruluşlarda bilinirliği, şirketlerin sahip olduğu altyapı imkânları, kullandıkları veri yönetimi yöntemleri, tecrübe sahibi oldukları analitik çözümleri ve yönetim stratejileri gibi faktörler değerlendirilmiştir. Yapılan anket çalışmasına Türkiye çapında 101 tekil firma yetkilisi katılmış olup anlaşılır sonuçlar makalenin içerisinde okuyucuya sunulmuştur. Bu çalışma sonucunda elde edilen çıktılar Türkiye’de faaliyet gösteren firmalar için büyük veri analitiği ve yönetimi hususunda sahip oldukları olgunluk seviyelerini sunacağı gibi bundan sonraki aşamalarda uygulanması gereken iş stratejilerini belirleme hususunda kullanabilecekleri bir rehber olarak hizmet edecektir.

2. Materyal ve Metot

Türkiye’de farklı sektörlerde faaliyet göstermekte olan firmaların büyük veri teknoloji ve uygulamalarını kullanımlarındaki olgunluk seviyelerini belirlemek üzere bir anket çalışması düzenlenmiştir. Yüz yüze ve telefon ile araştırma ekibi tarafından uygulanmış olan ankete 101 tekil firma temsilcisi ve uzman katılmıştır. Anket cevaplarından bir tanesinde tutarsızlık tespit edilmiş ve değerlendirmeden çıkarılmıştır. Değerlendirme 100 tane tekil anket üzerinden yapılmıştır. Anket tasarımı yapılırken TDWI Research tarafından 2014 yılında yayınlanmış, Fern Halper ve Krish Krishman tarafından yazılmış olan “TDWI Big Data Maturity Model Guide: Interpreting Your Assessment Score” başlıklı rapor referans olarak kullanılmıştır (Halper, vd, 2014). Birçok farklı rapor ve çalışmada bugüne kadar kullanılmış olan bu araştırma yönteminin doğru ve güvenilir sonuçlar ortaya koyduğu uluslararası seviyede bilinmektedir. Bu yöntem aracılığıyla Türkiye’de büyük veri teknolojilerinin bilinirliği, yaygınlığı ve şirketlerin olgunluk seviyeleri belirlenmiştir.

2.1. Büyük Veri Teknolojileri Bilinirlik Seviyeleri

TDWI Big Data Maturity Model temelinde Türkçe olarak tasarladığımız anket soruları 5 farklı kategoride değerlendirilmiş olup ülkemizdeki şirketlerin olgunluk seviyeleri belirlenmiştir. Bu kategoriler aşağıda sunulmuştur.

2.1.1. Büyük Veri Teknolojileri Bilinirlik Seviyeleri

Kurumsal olarak büyük verinin bilinirliği: Kurumsal olarak büyük verinin bilinirliğinin ölçümünde ankette cevabı aranan sorular şöyledir: Başarılı bir büyük veri analitiği programı hangi ölçüde kurumsal strateji, kültür, liderlik ve bütçe olarak destekleniyor? Büyük veriler için bir analitik kültür mevcut mu? Büyük veri teknolojileri şirket tarafından takip ediliyor mu? Büyük veri analitiği teknolojileri şirket tarafından keşfedilmeye başlandı mı? Veri paylaşımı ve işbirliği şirket kültürünün önemli bir parçası mı?

Alt yapı seviyesi: Alt yapı seviyesi ölçümünde aşağıdaki soruların cevapları aranmaktadır: Büyük veri girişimini destekleyen mimari ne kadar gelişmiş ve tutarlı durumdadır? Var olan alt yapı şirketin tüm bölümlerini ve potansiyel kullanıcılarını ne ölçüde desteklemektedir? Büyük veri yönetimi yaklaşımı ne kadar etkin kullanılıyor? Hangi teknolojik donanım ve yazılımlar kullanılmakta ve var olan ortamlar nasıl bütünleşmiş durumdadır?

Veri Yönetimi: Veri yönetimi kısmında: Şirketin meta veri için bölüm seviyesinde tanımlanmış ve kapsamlı bir veri yönetimi stratejisi var mı? Varsa bilgisayar kümesinde birden çok iş yükünü aynı anda yapabiliyor mu? Şirkette tanımlanmış bir veri yaşam döngüsü yönetimi ve baştan sona veri kullanımı sürecini tanımlayan çerçeve doküman mevcut mu?

Analitik çözümlerin bilinirliği: Analitik çözümlerin bilinirliği bölümü: Büyük veriler için kullanılan verilerin çeşitliliği, hacmi ve hızı ne kadardır? Şirket büyük verilerini analiz etmek için hangi yöntemleri kullanıyor? Büyük veri teknolojilerini yaygınlaştırmak isteyen üst düzey yönetici mevcut mu? Büyük veri konusunda deneyimli çalışanlar var mı?

Yönetim stratejilerinin bilinirliği: Yönetim stratejilerinin bilinirliği kısmı: Şirketin büyük veri yönetimi için stratejilerini takım halinde uyguluyor mu? Şirkette veri yönetimi ve entegrasyonunu denetlemek için kurulmuş bir yönlendirme kurulu var mı?

2.2. Büyük Veri Olgunluk Modeli Değerlendirme Skalası

Bir organizasyonun büyük veri teknolojileri olgunluğu, ilgili tüm iç ve dış veri kaynaklarını bütünleştirme, yönetme ve etki alanına alma gibi yeteneklerindeki dönüşüm kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (Halper, vd, 2014). Esasen, yenilikçi bir ekosistem oluşturma ve güçlü etkisi olan bir dönüşüme imkân tanıma olasılığı ile ilgilidir. Başka bir deyişle, büyük veri alanındaki olgunluk sadece devasa veriyi işleyebilecek gerekli donanımı satın alıp yerleştirmekten ibaret değildir. Ya da şirket markasının değerini ve müşteriler üzerindeki etkilerini sosyal medya paylaşımlarından analiz etmek değildir. Olgunluk, teknolojiler, veri yönetimi ve analitiği ve şirket bileşenlerini kapsayan dinamik bir ekosistem yaratmak ile ilgilidir. TDWI Büyük Veri Olgunluk Modeli altı farklı evreden oluşmaktadır. Bu evreler “adaptasyon başlangıcı”, “adaptasyon öncesi”, “başlangıç”, “kurumsal adaptasyon”, “içselleşmiş” ve “vizyoner” şeklinde tanımlanmıştır (Halper, vd, 2014). Kurum ve kuruluşlar her yeni evrede yaptıklarını yatırımların karşılıklarını daha fazla almaktadırlar. Kurum ve kuruluşların hangi evrede olduklarını belirlemede kurumsal büyük veri bilinirliği, altyapı

seviyeleri, uygun analitik çözümlerin bilinirliği, yönetim stratejilerinin varlığı ve veri yönetiminin önemi gibi alt başlıklar değerlendirilerek belirlenmektedir. Bu modelin her bir evresi ile ilgili kısa tanımlamalar aşağıda sunulmuştur:

1. Evre – Adaptasyon başlangıcı: İlgili firmanın büyük veri konusunda düşük farkındalığı olduğunu göstermektedir. Büyük veri tekniklerini kullanmaya başlamadıkları anlamına gelmektedir. Herhangi bir üst yönetim desteği olmaksızın firmada bazı çalışanların büyük veri uygulamaları ile kişisel olarak ilgilendiği bir evredir. Bir firma stratejisi mevcut değildir. Bir veri ambarı olmasına rağmen büyük verinin sunduğu ileri analiz yöntemlerinin kullanılmadığı bir çalışma ortamı olduğu düşünülür.

2. Evre – Adaptasyon öncesi: Başlangıç olgunluk seviyesinde bulunan kurum ve kuruluşların büyük veri analitiği ile çalışmalara başlamakta olduğu kabul edilir. Çalışanların ilgili konferanslara katıldığı, bazı eğitimler aldığı bir evredir. Şirketin büyük veriyi desteklemek için Hadoop platformu gibi yeni teknolojilere yatırım yaptığı bilinmektedir. Yakın gelecekte büyük veri analitiği yöntemlerini kullanmaya başlayacak olan şirketler başlangıç evresindedir. Ama bu yaklaşım şirket genelinde değil, belirli iş birimleri ile sınırlı durumdadır.

3. Evre – Başlangıç: Bu seviyedeki olgunluk, daha kurulu bir yapı ve üretime hazır bir veya iki kavramsal kanıt ile karakterize edilir. Kurum ve kuruluşlar bir sonraki evreye geçmeden önce daha uzun bir dönemi burada sürdürürler. Bir sonraki aşamada şirket genelinde büyük veri ve analiz yöntemleri uygulanır. Bu evrede genelde şirket içinde daha geniş kapsamlı bir büyük veri stratejisinin belirlenmesi için çalışanlar arasında bir takım kurulmuştur. Her ne kadar altyapı olarak bu şirketler Hadoop platformu gibi büyük veri yazılımlarına sahip olsalar bile bunun kullanımında yeterli bilgi birikimi ve tecrübeye sahip olmadıkları kabul edilir.

4. Evre – Kurumsal adaptasyon: Bu evredeki şirketlerde çalışan son kullanıcılar büyük veri uygulamaları ile ilgili süreçlere dâhil oldukları gibi kendilerini geliştirme ve tecrübe kazanma şansına sahiptirler. İş süreçleri artık dijital dönüşüme başlamış durumdadır. Karar verme süreçlerinde büyük veri analitiği yöntemlerini kullanmaktadırlar. Ayrıca teknolojik altyapılarında bilgisayar kümeleri olduğu veya bulut bilişim sistemlerine erişimleri olduğu varsayılır. Şirket stratejik olarak büyük veri uygulamalarının rekabet gücüne katma değer katacağının farkındadır.

5. Evre – İçselleşmiş: Bu evredeki şirketlerde kurumsal büyük veri adaptasyonu gerçekleşmiş büyük veri kullanımı stratejisi olgunlaşmış ve kurumsal bir kültür olarak içselleştirilmiştir. Bu kurumsal strateji dâhilinde güncel gelişmeler takip edilmekte, şirketlerin ürün ve faaliyetlerinde büyük veri uygulamaları kullanılmakta olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, şirket yöneticileri ve çalışan son kullanıcıların büyük veri uygulamaları konusunda ortak bir öngörüye sahip olduğu düşünülmektedir.

6. Evre – Vizyoner: Sadece dünya çapında çok az sayıda şirketin sahip olduğu şirket politikası olarak büyük veri ve analitiğini uygulamaya koymuş şirketler bu evrede kabul edilir. Düzgün kurulmuş ve ileri seviyede bir programa sahiptirler. Hem yönetim hem de insan kaynakları ve çalışanlar bağlamında büyük veri teknolojilerinin bilinirliği ve farkındalığına sahiptirler. Verilerin analizlerinde akıllı sistemleri kullanıp sağlam bir teknolojik altyapıya sahip şirketler bu evrede kabul edilir. Bu aşamadaki şirketler sadece var olan uygulamaları kullanmaz, ilgili teknolojilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynarlar. Yeni ve gelişmekte olan teknolojileri sürekli takip ederek güncel bilgiye sahip olurlar.

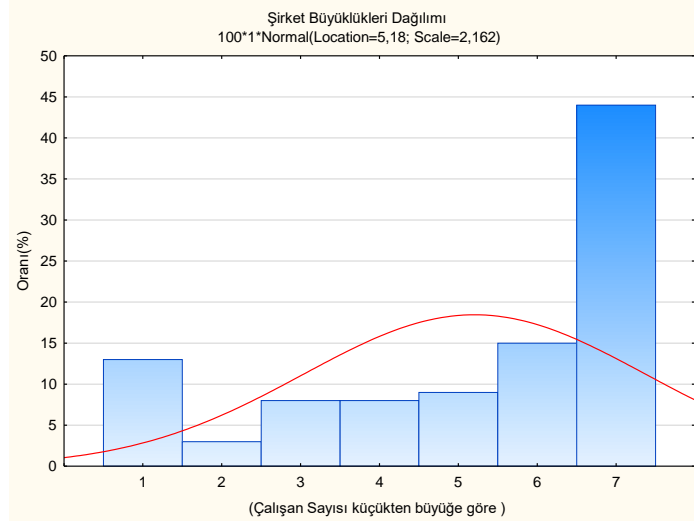
Bu çalışma dâhilinde gerçekleştirilen firma büyük veri adaptasyon indeksleme sürecinde kullanılan puan skalası aşağıdaki gibidir. Değerlendirmede beş temel boyut boyutlar dahilinde toplam 30 soru adaptasyon seviyesini ölçmede kullanılmıştır. Soruların cevapları “Evet” için (+1), “Emin değilim” için (0), “Hayır” için (-1) puan olarak ağırlıklandırılmıştır. Tüm boyutların toplamında potansiyel en yüksek puan 30 puandır. Kuruluşlar farklı düzeylerde olgunluk gösterebileceğinden dolayı beş boyuttan oluşan anket, her bölümde ayrı ayrı puanlandı. Ayrıca genel bir toplam puan da verildi. Puanlamayan sorular, firmaları tanımak için betimleyici olarak için kullanıldı.

Tablo 1. Büyük Veri Olgunluk Modeli Değerlendirme Skalası

Puan Skalası	Adaptasyon Seviyesi
<9	Başlangıç
9-13	Adaptasyon Öncesi
14-18	Adaptasyon Başlangıcı
19-22	Kurumsal Adaptasyon
23-27	İçselleşmiş
27>	Vizyoner

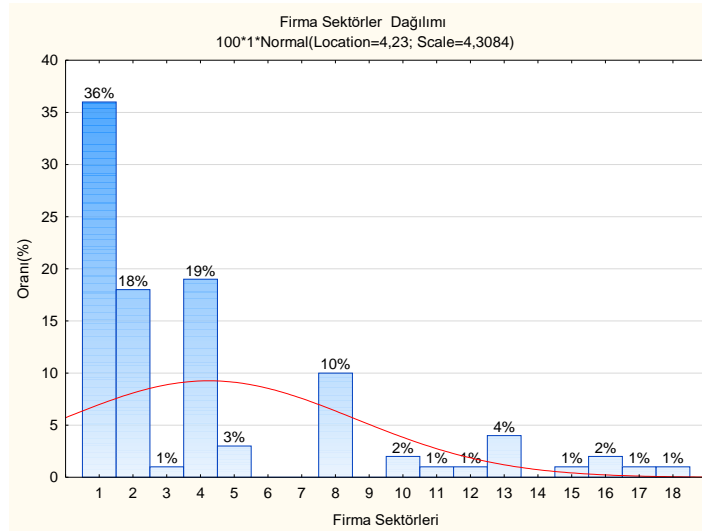
3. Araştırma Sonuçları

Bu çalışmada Büyük Veri Olgunluk Modeli (Halper, vd, 2014) temel alınarak geliştirdiğimiz anket aracılığıyla toplanmış veriler, Çizelge 1’de belirtilen değerlendirme skalasına göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ankete katılan firma yetkililerinin çalışmakta oldukları kurum ve kuruluşlar ile ilgili toplam çalışan sayısı, şirketin faaliyet gösterdiği sektör, şirketin karar alma ve veri analizleri gerçekleştirmek için kullanmakta olduğu veri kaynakları ile ilgili bilgiler analiz edilmiş ve sunulmuştur.



Şekil 1. Şirket Büyüklüklerinin Dağılımı

Çalışmaya dâhil olan katılımcıların çalışmakta olduğu şirketlerdeki toplam çalışan sayısı dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Ankete dâhil edilen şirketlerin %44’den fazlasının 2000 veya daha fazla, %15’inin 1001 ile 2000 arasında, %9’unun 501 ile 1000 arasında, %8’inin 251 ile 500 arasında, %3’ünün 51 ile 100 arasında ve %13’ünün de 50 veya daha az sayıda çalışan sayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların çoğunluğunun büyük ölçekli şirketlerde çalışmakta olduğu görülmektedir. Bu da bir derece katılımcıların doğru adresleme ile belirlendiğini göstermektedir.



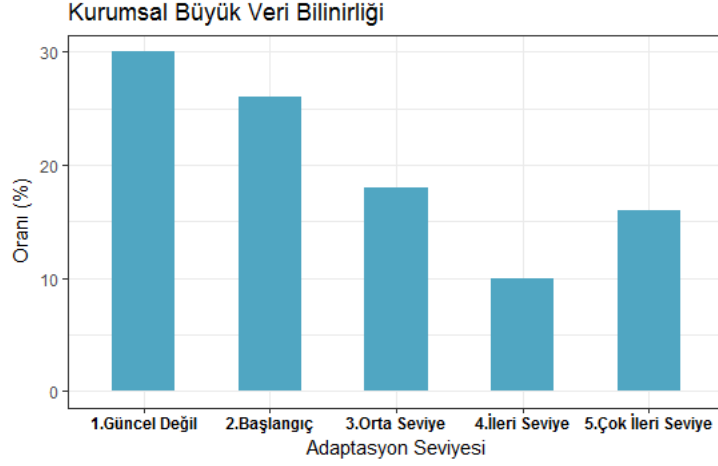
Şekil 2. Şirketlerin Sektörel Dağılımı

Şekil 2’de ankete katılan katılımcıların çalıştığı şirketin sektörel dağılımları belirtilmiştir. Ankete katılanların %36 oranında bilişim sistemleri ve teknolojileri, %18’inin finans, %19’unun eğitim, %10’unun ise telekomünikasyon alanlarında faaliyet gösteren şirketler oldukları belirlenmiştir. Bunlara ek olarak az da olsa devlet kurumları, enerji ve doğan kaynaklar, perakendecilik, sağlık, elektronik, taşımacılık ve lojistik, tarım, inşaat, medya ve gıda sektöründen kurum ve kuruluşlar da hazırlanmış olan ankete katılmışlardır. Şekil 1 ve Şekil 2’de yer alan kırmızı çizgi, verinin dağılımını ve dağılımdaki eğilimi göstermektedir. Görüldüğü üzere, Şekil 1’deki veri dağılımı sola doğru, Şekil 2’de ise sağa doğru bir eğilim göstermektedir. Ayrıca Şekil 1 ve Şekil 2’de yer alan location değeri dağılımının ortalamasının bulunduğu noktayı gösterir. Scale ise standart sapma değerini ifade eder.

Ayrıca ankete katılan şirketlerin, veri almak ve veri analizleri gerçekleştirmek için sırasıyla ağırlıklı olarak veri tabanında tutulan yapısal verileri, metin dokümanlarını, elektronik postaları, sosyal medyayı, tıklanma verilerini, internet arama indeks verilerini, duyar veya cihazlar tarafından üretilen verileri, telefon konuşmalarını, görüntü verilerini, web blogları, fotoğraf ve videoları kullandıkları belirlenmiştir.

Bunun yanında, firma yetkililerine çalıştıkları şirkette büyük veri kullanımı, güncel gelişmelerin takibi ve uyum seviyeleri nesnel olarak sorulduğunda, %27'si orta seviyede olduklarını (büyük veri teknolojileri inceleme ve adaptasyon aşamasında), %21'si emin olmadıklarını ifade etmişlerdir. Buna ek olarak, katılımcıların %20'si ileri seviyede olduklarını (bazı uygulamalarda güncel büyük veri teknolojilerinin kullanımda), %18'i çok ileri seviyede bulduklarını (uygulamaların çoğu güncel büyük veri teknolojileri kullanımda), %15'i ise güncel olmadığını (büyük veri teknolojileri kullanılmamakta ve incelenmemekte) belirtmişlerdir.

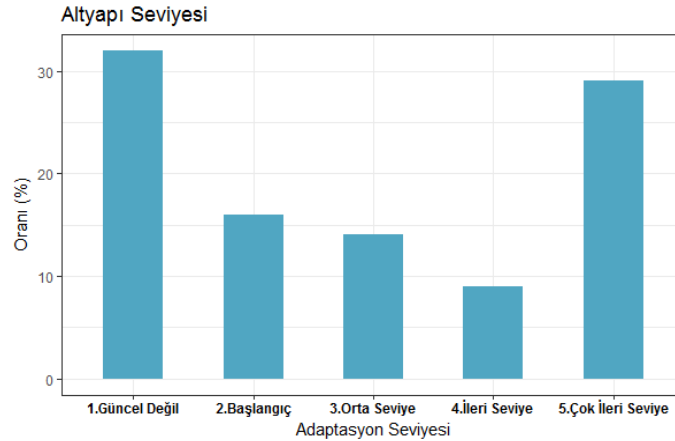
Anketin ikinci bölümünde kurumsal olarak büyük verinin bilinirliği değerlendirilmiştir. Bu husus ile ilgili sorularda şirketin büyük veri analizinin önemi hakkında yeterli bilgi sahibi olup olmadıkları, ileri büyük veri teknolojilerinin keşfedilip keşfedilmediği, deneme amaçlı büyük veri analizi çalışması yapıp yapılmadığı, gelişmeleri takip edip etmedikleri ve büyük veriler için bir analitik kültürün varlığı, yatırım yapıp yapılmadığı gibi sorular sorulmuştur. Uygulanan bir seri analiz sonucunda kurumsal olarak büyük verinin bilinirliği Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Kurumsal Büyük Veri Bilinirliği Düzeyleri

Türkiye'de faaliyet gösteren şirketlerin %30'unun kurumsal büyük veri bilinirliğinin güncel olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte %26 oranında başlangıç seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Sadece %16 oranında katılımcı şirketlerin çok ileri seviyede kurumsal olarak büyük veri bilinirliğinden haberdar olduğu ortaya çıkmıştır.

Anketin bir sonraki aşamasında şirketlerin büyük veri ile ilgili alt yapı seviyeleri belirlenmek istenmiştir. Bu bağlamda şirketlerin büyük veriye özel bir donanım ve mimari alt yapısı olup olmadığı, kapsamlı bir veri mimarisi stratejisinin varlığı ve kritik öneme sahip sistemleri için kullanılmak üzere geliştirilmiş tutarlı ve güvenli bir analitik yapının varlığı gibi konular sorgulanmıştır.



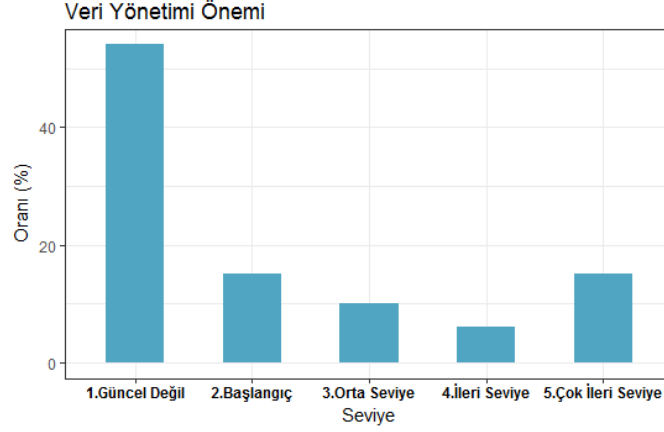
Şekil 4. Şirketlerin Büyük Veri Altyapı Seviyeleri

Yapılan değerlendirmeler sonucunda ülkemizdeki şirketlerin büyük veri alt yapı seviyesi Şekil 4'te sunulmuştur. Bu konuda iki birbirine zıt durum ortaya çıkmıştır. Ülkemizdeki şirketlerin büyük oranda alt yapılarının ya güncel olmadığı ya da çok ileri seviyede olduğu belirlenmiştir. Sırasıyla %16, %14 ve %9 oranlarında şirket donanım ve yazılım yatırımlarının başlangıç, orta seviye ve ileri seviye oldukları anlaşılmıştır.

Ülkemizdeki şirketlerin büyük veri yönetimine vermiş oldukları önem anketin bir sonraki bölümünde test edilmiştir. Bu hususu ortaya koyabilmek adına ankette şirketlerin büyük verileri yönetmek için birleştirilmiş veri stratejisinin, bölüm seviyesinde kapsamlı tanımlanmış bir veri yönetimi stratejisinin, şirket genelinde uygulanan analizlere dahil edilmeyecek önemsiz verilerin belirlenmesinde

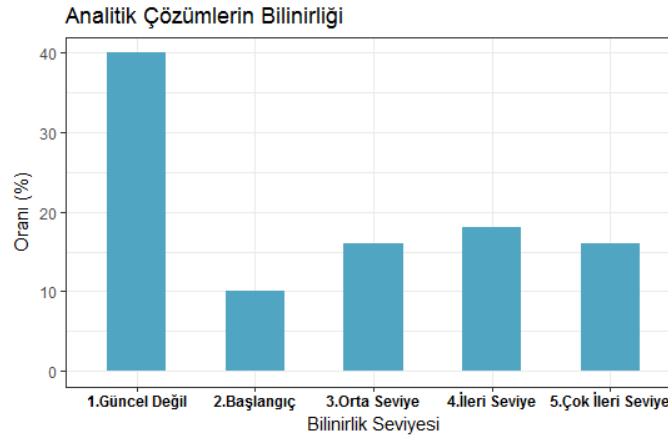
uygulanan büyük veri yönetim stratejisinin ve tanımlanmış bir veri yaşam döngüsü yönetimi ve baştan sona veri kullanımı sürecini tanımlayan çerçeve dokümanın varlıkları araştırılmıştır.

Şekil 5'te görüldüğü üzere katılımcı şirketlerin %53 oranında veri yönetimi stratejilerine vermiş oldukları önemin günümüz şartlarına uygun olmadığı belirlenmiştir. Sadece %13 oranında ülkemizdeki şirketlerin veri yönetimi stratejilerine önem verip yatırım yaptıkları ve çalışmalarını bu paralelde geliştirdikleri anlaşılmıştır.



Şekil 5. Veri Yönetimine Verilen Önem Seviyeleri

Anketin bir sonraki bölümünde büyük veri analitik çözümlerinin bilinirliği sorgulanmıştır. Burada şirketlerin yapılandırılmamış verilerde ileri düzeyde analizlerin yapıp yapılmadığı, deneyimli bir çalışan kadrosunun ve teknolojiyi yaygınlaştırmak isteyen bir üst yöneticinin varlığı, bir cihaz veya sistemde saklı büyük ölçekte verinin olup olmadığı sorgulanmıştır.

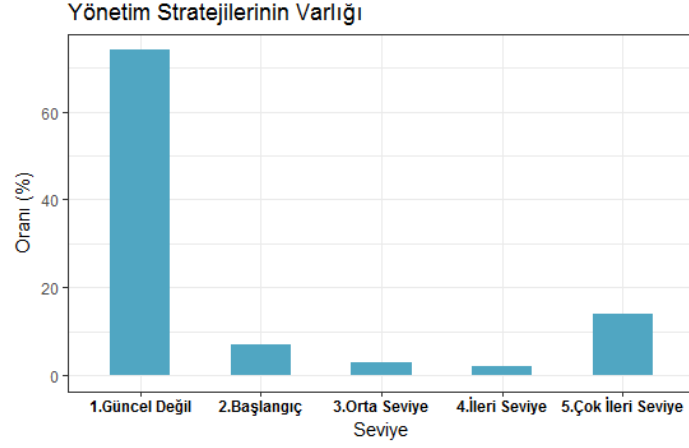


Şekil 6. Büyük Veri Analitik Çözümlerinin Bilinirlik Düzeyleri

Şekil 6'da görüldüğü üzere büyük veri analitiği çözümlerinin bilinirliğinin de büyük oranda güncel olmadığı belirlenmiştir. %40 oranındaki katılımcı şirketlerin kullanmakta olduğu veri analitiği yöntemlerinin güncel olmadığı, sadece %19'luk bölümün ileri seviyede ve %16 oranında ise çok ileri seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Anketin son bölümünde ise büyük veri yönetim stratejilerinin varlığı ölçeklendirilmiştir. Şirketlerde veri yönetimi ve veri entegrasyonunu denetlemek üzere kurulmuş bir yönlendirme komitesinin varlığının tespiti, büyük veri için belirlenen stratejilerin baştan aşağıya takım halinde uygulanış seviyesi ve büyük veri altyapısının proaktif olma seviyesi sorgulanmıştır.

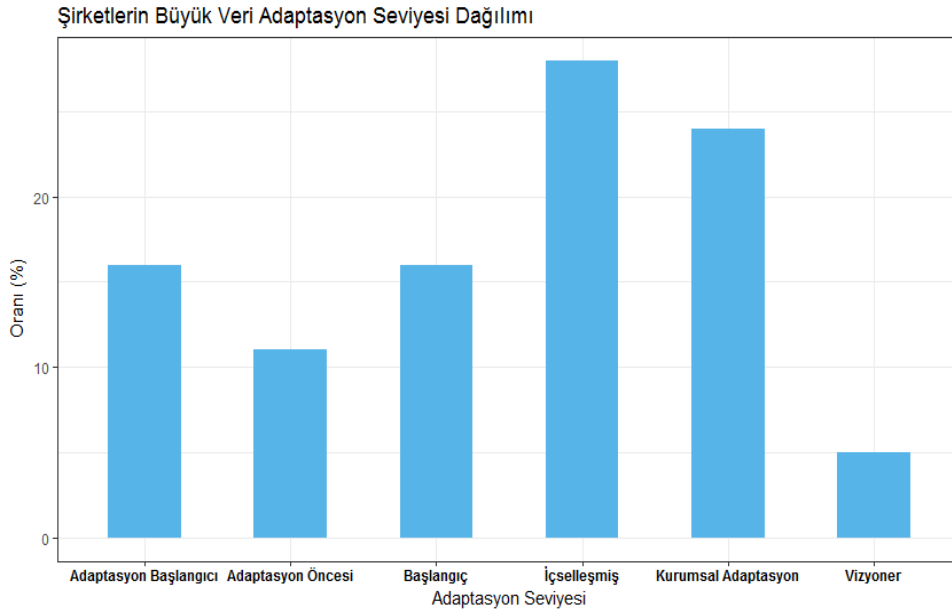
Şekil 7'de görüldüğü üzere katılımcı şirketlerin %73 oranında büyük veri yönetim stratejilerine sahip olmadıkları belirlenmiştir. Buna karşın %12 oranında çok ileri seviyede yönetim stratejilerinin varlığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Şirketlerin Yönetim Stratejilerinin Varlığı

Sonuç olarak yukarıda değinilmiş olan beş değişken göz önünde bulundurulduğunda Türkiye’de bulunan kurum ve kuruluşların büyük veri adaptasyon seviyesi Şekil 8’de verilmiştir. Bulgular incelendiğinde ülkemizdeki kurum ve kuruluşların %29 oranında içselleşmiş, %24 oranında ise kurumsal adaptasyon seviyelerinde oldukları anlaşılmıştır. Buna karşılık ayrı ayrı %16 oranında adaptasyon başlangıcı ve başlangıç seviyesinde oldukları tespit edilmiştir. Katılımcı şirketlerin %44’den fazlasının çalışan sayısının 2000 ve üzeri olduğu düşünülürse genel toplamın %5 oranında vizyoner seviyede olması göreceli olarak düşüktür.

Araştırma çıktılarından anlaşılacağı gibi ülkemizdeki şirketlerin büyük veri teknolojileri olgunluk seviyeleri çok yüksek olmamakla birlikte, doğru yatırım ve stratejik yönlendirmeler ile güncellenmeye ve geliştirilmeye uygundur.



Şekil 8. Şirketlerin Büyük Veri Adaptasyon Seviyeleri

4. Tartışma

Yöneticilerin büyük veri farkındalığına sahip olması ve veri yönetiminin şirket yönetim stratejisinin önceliklendirilmesi, şirketlerin büyük veri teknolojilerinin adaptasyonda ve dijital dönüşümde rekabetçi kalınmasında temel gereksinimlerindedir. Şüphesiz büyük veri uygulamaları, stratejik sektörler başta olmak üzere neredeyse bütün sektörlerde doğru karar alma süreçlerini destekleyici bir özelliğe sahiptir. Bu sebeple, büyük veri teknolojilerindeki gelişmelerin takibi ve bu teknolojilerin kurumsal adaptasyonu rekabetçi dünyada geri kalmamak adına da önem arz etmektedir.

Öte yandan, firma yöneticileri öncelikle büyük veri stratejisi belirlemelidir. Büyük veri stratejisi belgesinde yapısalardan yarı-yapılandırılmış, yapılandırılmamış veri tiplerine kadar üç aşamalı büyük veri stratejisi olmak üzere adaptasyon için bir yol haritası hazırlanmalıdır. Amaç, birbirinden kopuk veri depolarını ölemek olmalıdır. Bu strateji belgesi, farklı veri türlerini toplamak, depolamak ve işlemek için tercih edilen platformları ve arabirimleri içermelidir. Ayrıca, veri stratejileri de gelecekteki kapasite, depolama ve ölçeklenebilirlik zorluklarını öngöreceği şekilde belirlenmelidir.

Büyük veri yönetimi genellikle çok platformlu bir çözümdür. Büyük veri teknolojilerinin adaptasyonu incelendiğinde büyük veride görselleştirme araçları ön plana çıkmaktadır. Yakın zamanda yapılan bir anket çalışmasına göre ankete katılan firmaların %40.79'u büyük veri için görselleştirme araçlarını kullanırken şirketlerin %38,16'sı betik dillerin(Scripting Language) kullanımına başlamıştır (Raguseo, 2018). Aynı çalışmaya göre sırasıyla şirketlerin %30,26'sı hafıza içi analitik yazılımı, firmaların %27.63'ü MapReduce ve Hadoop Yazılımı ve %22.40'sı Makine öğrenme kullandıklarını belirtmiştir. Büyük veride en az adapte edilen teknolojilerin ise Doğal Dil İşleme (NLP) yazılımları, sosyal medya analitik yazılımları ve tahmine dayalı analitik yazılımları olduğu ortaya çıkmıştır (Raguseo, 2018). Bu makalede yapılan anket çalışması büyük veri bilinirliği ve kurumsal adaptasyonu ölçmeyi amaçladığı için kullanılan araçları tespit etmek üzere sorular bulunmamaktaydı. Ancak anket katılımcıları ile yüz yüze gerçekleştirdiğimiz görüşmelerde Türkiye'de ankete katılan firmalarda da Raguseo (2018) çalışmasının bulgularına benzer şekilde öncelikle büyük veri görselleştirme araçları ve betik dillerin kullanımının yaygınlaştığını gözlemledik.

Eski veri platformlarından yeni veri platformlarına geçiş planı yaparken mevcut veri platformlarının ve veri yönetimi araçlarının kullanım stratejileri gelecekteki durumlara göre bir yol haritasını oluşturmak önem arz etmektedir. Bu adım, birleştirilmiş ve bütüncül bir büyük veri altyapısı yaratacaktır. Büyük veri teknolojileri gibi yeni ve güncel gelişmelerin adaptasyonunda birkaç küçük projeye başlamak ve adaptasyon sürecini fazlar halinde gerçekleştirmek potansiyel riskleri en aza indirmek için hala geçerli bir yöntemdir.

Eğitilmiş ve kalifiye insan kaynaklarına sahip olmak büyük veri adaptasyonunun en önemli ayağını oluşturmaktadır. Kurumların ilgili insan kaynaklarını işe alması veya mevcut kaynakları eğitmesi için kritik önem taşır.

5. Sonuç

Sektör bağımsız olarak günümüzde çeşitli kaynaklardan toplanan büyük verileri analiz eden ve veri temelli karar verme mekanizmaları oluşturan firma ve kurumlar küresel rekabette ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de faaliyet göstermekte olan firmaların büyük veri teknolojileri kullanımı ve olgunluk seviyelerinin tespit edilmesi amacıyla bir anket araştırması yapılmıştır. Farklı sektörlerden ilgili firmalar ve temsilcileri belirlenmiş olup, şirketlerin özellikle büyük veri kullanım ve olgunluk indeksleri oluşturulmuştur. Bu araştırma 101 tekil firma yetkilisi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın çıktıları Türkiye'de firmaların büyük veri teknolojilerinin adaptasyon seviyesini ölçme ve değerlendirmede önemli katkılar sunmaktadır. Bununla birlikte farklı sektörlerden daha geniş katılımcı grubu ile kapsamlı çalışmalar yapmak karar alıcıları desteklemek açısından faydalı olacaktır.

Anket sonuçlarından elde edilen bulgular ışığında büyük veri teknolojileri adaptasyonu süreçlerinde kurumların, bütün şirketi kapsayan bütüncül bir yaklaşıma sahip olmaları gerektiği değerlendirilmektedir. Büyük veri teknolojilerinden gerçek anlamda faydalanabilmek için insanlar, süreçler ve teknolojiler verimli bir şekilde bir araya getirilmelidir. Anket sonuçlarında da görüldüğü üzere firmalar çok çeşitli veri türleri kullanmaktadır. Bu sebeple henüz başlama aşamasında olan firmalar, büyük veri stratejisini belirlerken farklı türlerde verilerin kullanım ihtiyacının doğabileceğini göz önünde bulundurulmalıdır.

Kaynakça

- Ahalt, S., & Kelly, K. (2013). The big data talent gap. UNC Kenan-Flagler Business School White Paper, 1-15.
- Al-Rahmi, W. M., Yahaya, N., Aldraiweesh, A. A., Alturki, U., Alamri, M. M., Saud, M. S. B., ... & Alhamed, O. A. (2019). Big data adoption and knowledge management sharing: An empirical investigation on their adoption and sustainability as a purpose of education. *IEEE Access*, 7, 47245-47258.
- Amado, A., Cortez, P., Rita, P., & Moro, S. (2018). Research trends on Big Data in Marketing: A text mining and topic modeling based literature analysis. *European Research on Management and Business Economics*, 24(1), 1-7. 3351.
- Bajari, P., Chernozhukov, V., Hortaçsu, A., & Suzuki, J. (2019, May). The impact of big data on firm performance: An empirical investigation. In *AEA Papers and Proceedings* (Vol. 109, pp. 33-37).
- Bello-Orgaz, G., Jung, J. J., & Camacho, D. (2016). Social big data: Recent achievements and new challenges. *Information Fusion*, 28, 45-59.
- Bughin, J. (2016). Big data, Big bang?. *Journal of Big Data*, 3(1), 2.
- Che, D., Safran, M., & Peng, Z. (2013). From big data to big data mining: challenges, issues, and opportunities. In *International Conference on Database Systems for Advanced Applications* (pp. 1-15). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chen, H., Chiang, R. H., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: from big data to big impact. *MIS quarterly*, 1165-1188.
- Davenport, T. H., & Kudyba, S. (2016). Designing and developing analytics-based data products. *MIT Sloan Management Review*, 58(1), 83.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Luo, Z., Wamba, S. F., & Roubaud, D. (2019). Can big data and predictive analytics improve social and environmental sustainability?. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 534-545.
- Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2), 137-144.

- Günther, W. A., Mehrizi, M. H. R., Huysman, M., & Feldberg, F. (2017). Debating big data: A literature review on realizing value from big data. *The Journal of Strategic Information Systems*, 26(3), 191-209.
- Halper, F., & Krishnan, K. (2013). TDWI big data maturity model guide interpreting your assessment score. *TDWI Benchmark Guide*, 2014, 2013.
- IBM. (2012), What is big data: Bring big data to the enterprise, <http://www01.ibm.com/software/data/bigdata/>, IBM.
- Kwon, O., Lee, N., & Shin, B. (2014). Data quality management, data usage experience and acquisition intention of big data analytics. *International Journal of Information Management*, 34(3), 387-394.
- Kim, G. H., Trimi, S., & Chung, J. H. (2014). Big-data applications in the government sector. *Communications of the ACM*, 57(3), 78-85.
- Khan, N., Yaqoob, I., Hashem, I. A. T., Inayat, Z., Ali, M., Kamaleldin, W., ... & Gani, A. (2014). Big data: survey, technologies, opportunities, and challenges. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Labrinidis, A., & Jagadish, H. V. (2012). Challenges and opportunities with big data. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 5(12), 2032-2033.
- Moro, S., Rita, P., & Vala, B. (2016). Predicting social media performance metrics and evaluation of the impact on brand building: A data mining approach. *Journal of Business Research*, 69(9), 3341
- Raguseo, E. (2018). Big data technologies: An empirical investigation on their adoption, benefits and risks for companies. *International Journal of Information Management*, 38(1), 187-195.
- Ransbotham, S., Kiron, D., & Prentice, P. K. (2016). Beyond the hype: the hard work behind analytics success. *MIT Sloan Management Review*, 57(3).
- Snijders, C., Matzat, U., & Reips, U. D. (2012). "Big Data": big gaps of knowledge in the field of internet science. *International Journal of Internet Science*, 7(1), 1-5.
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G. Q., & Ding, W. (2014). Data mining with big data. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 26(1), 97-107.



Anfis Based Thrust Estimation of a Small Rotary Wing Drone

Hüseyin Şahin^{1*}, Tuğrul Oktay², Mehmet Konar³

¹ Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0464-2644)

² Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4860-2230)

³ Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9317-1196)

(İlk Geliş Tarihi 17 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 23 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.694721)

ATIF/REFERENCE: Şahin, H., Oktay, T., & Konar, M. (2020). Anfis Based Thrust Estimation of a Small Rotary Wing Drone. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 738-742.

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has an increasingly application for military and civilian fields. Currently, UAVs can perform many tasks such as search-rescue, surveillance by safely. UAVs are specifically designed for their using purpose. The designs of UAVs are an important and long process. It is necessary to evaluate many parameters in the thrust system design. Because of thrust system is the most important system of UAVs. Traditional thrust system design is a trial and error method that is costly and ineffective. In this study, we examined that UAVs which use brushless motor in thrust system. The force generated by the thrust system has been estimated by using the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). In the ANFIS model, the thrust force estimation was made by using propeller and motor information. RCbenchmark 1580 model dynamometer was used to measure the accuracy of the ANFIS estimates. Mean square error (MSE) was used to compare test data and ANFIS model. Low MSE ratio shows that ANFIS model is near to real data.

Anahtar Kelimeler: Electric UAVs, Thrust, ANFIS.

1. Introduction

In recent years, the aviation industry and the airline transportation sector has developing rapidly. Along with these developments, many scientific studies have been conducted in aviation. Aircrafts, which are being used in both military and civilian sectors, can complete many complex tasks. In order to fly safely and quickly a UAVs, air is moved and the aircraft flies with the help of aerodynamic forces. The most effective solution for moving air is to rotate the propeller [1-3]. Preliminary short results are presented in [4].

The section of the propeller and engine selection are among the most important criteria affecting the aircraft's performance. These criteria affect the thrust system performance. Its performance in the thrust system is also a factor that determines the endurance, range, take-off distance, fuel consumption, maximum speed and payload capacity of UAVs. When using the appropriate thrust system, while the endurance time, range, maximum speed, payload capacity and acceleration increase, the distances required for take-off and landing, fuel consumption must be reduced [5-8].

UAV's are designed specifically for many tasks. More than one thrust system can be designed during the design phase. Experimental testing of a selected thrust system configuration is a long and costly process. Since this experiment takes a long time to be carried out, the design process will also be extended [9-12].

In this study, it is aimed to estimate the propulsion power with the help of ANFIS to facilitate the design of the thrust system. For this purpose, the E-Max GT-2815 brushless motor used in electrically driven UAVs was tested with different propellers. The estimation of the thrust value was made with the help of ANFIS using the data obtained in this test procedure.

* Sorumlu Yazar: Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0464-2644, husahin@ybu.edu.tr

2. ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System)

ANFIS is a kind of fuzzy logic and artificial neural network system. Takagi-Sugeno is an artificial neural network method based on fuzzy inference system. It is used in modeling nonlinear functions and estimating the resulting function of systems containing nonlinear functions [13-15].

ANFIS has the feature of determining the rules used in the problem or making changes on the determined rules. Therefore, ANFIS can be used in many prediction problems. The ANFIS structure consists of 5 sections (layers) (Figure 1) [16]. The operations performed in these sections are completed as follows.

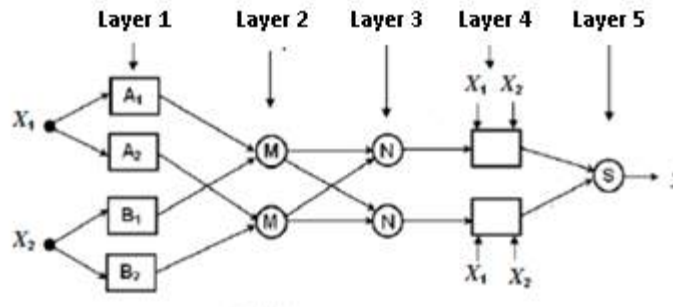


Figure 1. ANFIS structure [16]

In layer 1, blurring is performed. At this stage, ANFIS separates the input values into fuzzy sets. In layer 2, the rule operation is performed. This layer describes the number of fuzzy logic deduction rules in the sugeno type. The operation is performed by multiplying the entries in the first layer. In layer 3, normalization is performed. In this layer, it is the normalization of each node by accepting the input value of all the nodes from each node rule layer. This is done by dividing the output value of the rule operation by all output values. In layer 4, clarification is done. A weighted result value of the rule given in each node is calculated. In layer 5, collection is carried out. Each output value in the clarification layer is summed resulting in the true value of the ANFIS system.

3. Experimental Study and Simulation

In the study, using the 1580 model dynamometer produced by RCbenchmark, the thrust force created by different propulsion systems was calculated [12]. Calibrating before using the dynamometer ensures that results are more clearly obtained.



Figure 2. RCBenchmark 1580 model dynamometer

The results of the experimental study carried out with the help of dynamometer were obtained with the help of computer interface. The performance of the thrust system designed for UAVs was examined with this experiment. In the study, the impulse test of the E-Max GT-2815 model brushless DC motor was carried out with 1050, 1145 and 1180 plastic propellers. The electrical power required for the motor to turn during the test was provided with a Electronic Speed Controller (ESC) and a lipo battery which capacity of 11.1 Volts (3 cells, 3S) 1500mAh.



Figure 3. Experimental study.

The signals of the ESC were used given with the help of the computer interface. In order to rotate the engine, 21 different pulse-width modulation (PWM) signals were sent to the ESC at intervals of 100 μ s between 1000 μ s and 2000 μ s. The engine was recovered by waiting for 2 seconds at each signal. Thus, the first burst current prevents the motor efficiency from decreasing. With these signals, the rotation speed of the engine varied between 0-8600RPM. The same experiment was repeated for all three propellers and 63 different data sets were obtained. The use of three different propellers made of the same materials and with the same methods has allowed an objective comparison of the propeller performances.

The propeller diameter (d), propeller pitch (p), Revolutions Per Minute (RPM) value of the brushless motor and propeller efficiency values were determined as the input parameters for the ANFIS model. The thrust force value is chosen as the output parameter that is to be calculated. The representation of the created model is given in figure 4.

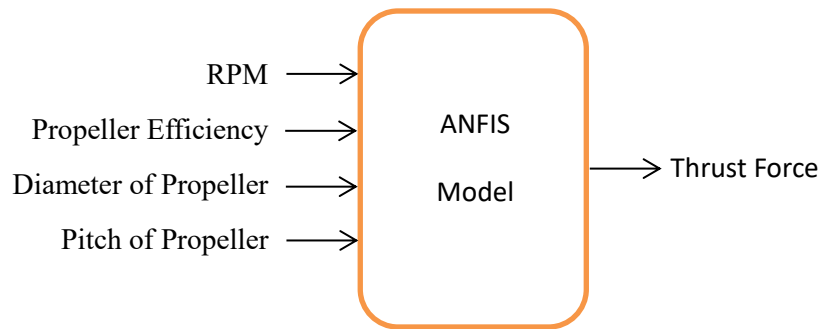


Figure 4. ANFIS model structure

While 52 data sets out of 63 data sets obtained from the experimental results were used as training data of ANFIS models, 9 data sets were used for testing the created models. The data of 3002, 5983 and 8468 rpm values were chosen as test data from the results with 10x50 propeller. The data of 1859, 4429 and 6535 rpm values were chosen as test data from the results with 11X45 propeller. The data of 2970, 5208 and 6783 rpm values were chosen as test data from the results with 11X80 propeller. Thus, the selection of test values in different ranges of different propellers enabled the performance of the test operation to be observed in different ranges.

Minimum Square Error (MSE) was used to compare the performance of modeling studies with ANFIS [16]. The results obtained in the training and testing of the simulations of different model are given in Table 1. Looking at the table, it is seen that the best model is in the ANFIS model, which has 4 rules. In the 4-rule model, the comparison of the experimental values with the RPM input and the model values is given in figure 5. The comparison of the experimental test values and the model values against the RPM input in the test operation is given in figure 6. Percentage error values in the test operation are given in figure 7.

Table 1. Comparison the performance of different ANFIS models

Rules Number	MSE	
	Training	Test
2	2,27E-02	1,65E-02
3	1,19E-02	7,82E-03
4	1,41E-03	2,02E-04

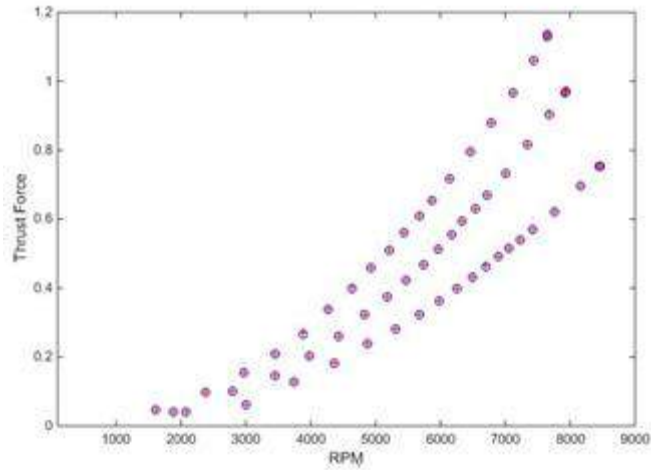


Figure 5. Comparison of experimental values with RPM input value in the training operation.

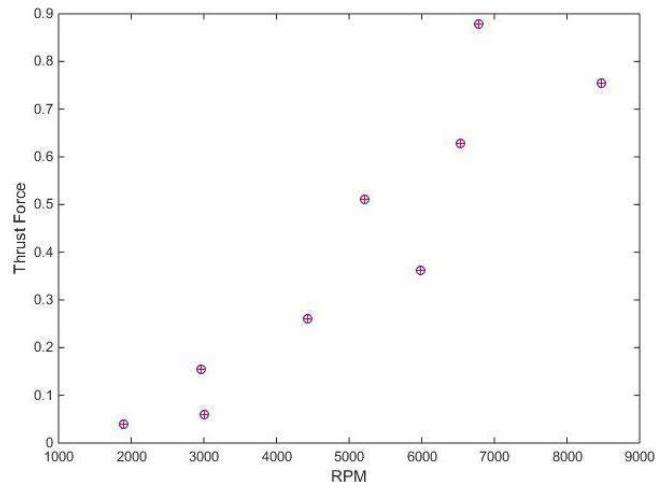


Figure 6. Comparison of experimental values with RPM input value in the test operation.

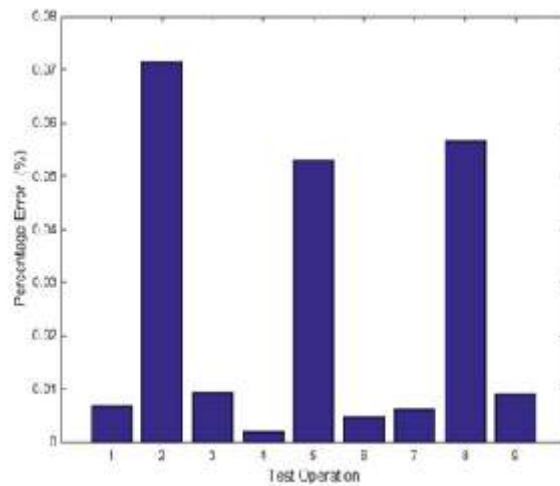


Figure 7. Percentage error values in the test operation

When the figures 5 and 6 are analyzed, the values marked “o” are the actual values obtained experimentally, while the values marked “+” are the results of the ANFIS model with 4 rules. From the figures, it can be said that the real experimental values and the 4-rule ANFIS values are in harmony. Low MSE value indicates that model is successful. In addition, another effect of model success is the low percentage error in the testing process.

4. Result

One of the most important issues to be considered in the UAVs design is the design of the propulsion system. Many parameters must be evaluated in the propulsion system design. Using heuristic algorithm methods in this study makes an important contribution to the design stage. In this study, with the help of ANFIS model, the estimation of the thrust force was made by using the diameter, pitch, RPM and efficiency of propeller values. As a result, the low MSE values obtained in the study show that the real values match the model results. The low percentage error values obtained in the test process show that the modeling is successful.

References

1. Barton, J. D. (2012). Fundamentals of Small Unmanned Aircraft Flight. Johns Hopkins APL Technical Digest (Applied Physics Laboratory), 31(2), 132–149.
2. Hobbs, A. (2010). Unmanned Aircraft Systems. In Human Factors in Aviation (pp. 505–531). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374518-7.00016-X>
3. Nonami K., Kendoul F., Suzuki S., Wang W., N. D. (2010). Fundamental Modeling and Control of Small and Miniature Unmanned Helicopters. In: Autonomous Flying Robots. In Autonomous Flying Robots: Unmanned Aerial Vehicles and Micro-Aerial Vehicles. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-53856-1>
4. Sahin, H., & Oktay, T., & Konar, M., (2020). İnsansız Hava Aracı İtki Gücünün Tahmini. Uluslararası 5 Ocak Uygulamalı Bilimler Kongresi, Adana, Türkiye, 3 - 05 January 2020
5. McDonald, R. A. (2014). Electric Propulsion Modeling for Conceptual Aircraft Design. 52nd Aerospace Sciences Meeting. <https://doi.org/10.2514/6.2014-0536>
6. Gohardani, A. S., Doulgeris, G., & Singh, R. (2011, July). Challenges of Future Aircraft Propulsion: A Review of Distributed Propulsion Technology and Its Potential Application for the All Electric Commercial Aircraft. Progress in Aerospace Sciences.
7. Sahin, H., & Oktay, T. (2017). Powerplant System Design for Unmanned Tricopter. The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics, 1, 9–21.
8. Avanzini, G., de Angelis, E. L., & Giulietti, F. (2016). Optimal Performance and Sizing of a Battery-powered Aircraft. Aerospace Science and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2016.10.015>
9. Austin, R. (2010). Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. In Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. <https://doi.org/10.1002/9780470664797>
10. Chang, T., & Yu, H. (2015). Improving Electric Powered UAVs' Endurance by Incorporating Battery Dumping Concept. Procedia Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.522>
11. Valavanis, K. P., & Vachtsevanos, G. J. (2015). Handbook of Unmanned Aerial Vehicles (pp. 1–3022). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9707-1>
12. Konar, M. (2019). GAO Algoritma Tabanlı YSA Modeliyle İHA Motorunun Performansının ve Uçuş Süresinin Maksimizasyonu. European Journal of Science and Technology, 15, 360–367. <https://doi.org/10.31590/ejosat.529093>
13. Güler, I., & Übeyli, E. D. (2005). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Classification of EEG Signals Using Wavelet Coefficients. Journal of Neuroscience Methods. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.04.013>
14. Doğan, O. (2016). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Talep Tahmini İçin Kullanımı ve Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi. <https://doi.org/10.24988/deuiibf.2016311513>
15. Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. <https://doi.org/10.1109/21.256541>
16. Konar, M., & Bağış, A. (2009). Uçuş Kontrol Sistemi Hız Parametresinin Adaptif Ağ Yapılı Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi Kullanılarak Belirlenmesi. 2009 IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2009. <https://doi.org/10.1109/SIU.2009.5136565>.



Usability of Pumice, Ignimbrite and Perlite in Stone Mastic Asphalt

Mehmet Aslan¹, Abdulrezzak Bakis^{2*}

¹ Department of Civil Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bitlis Eren University, Bitlis, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1799-8818)

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering-Architecture, Batman University, Batman, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7487-884X)

(First received 11 Şubat 2020 and in final form 23 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.687430)

ATIF/REFERENCE: Aslan, M., & Bakis, A. (2020). Usability of Pumice, Ignimbrite and Perlite in Stone Mastic Asphalt. *European Journal of Science and Technology*, (18), 743-754.

Abstract

The usability of pumice, ignimbrite (Ahlat stone), and perlite powders as aggregate material in stone mastic asphalt production was investigated in this study. These aggregates were used as filler in asphalt samples that were subjected to standard tests applied to pavement before it can be used in highways. Los Angeles abrasion rate was found to be 73% for pumice, 78% for Ahlat stone and 67% for perlite. In this study, 4 different types of stone mastic asphalt (SMA) were made. In Basalt-SMA (BAS-SMA); basalt was used as coarse aggregate, fine aggregate and filler in the mixture. In Pumice-SMA (PUM-SMA); basalt was used as coarse aggregate and fine aggregate, and pumice was used as filler. In Ahlat Stone-SMA (AS-SMA); basalt was used as coarse aggregate and fine aggregate, and Ahlat stone was used as filler. In Perlite-SMA (PER-SMA); basalt was used as coarse aggregate and fine aggregate, and perlite was used as filler. As a result of the study, BAS-SMA stability and flow values were found to be 979 kg and 2.88 mm. PUM-SMA stability and flow values were found to be 940 kg and 3.24 mm. AS-SMA stability and flow values were found to be 965 kg and 3.20 mm. PER-SMA stability and flow values were found to be 937 kg and 3.19 mm. These tests provided reference values for the specifications of SMA. Test results show that pumice, Ahlat stone and perlite cannot be used as fine or coarse aggregates in SMA mixtures. The test results show that pumice, Ahlat stone and perlite can only be used as filler in SMA mixtures.

Keywords: Asphalt pavement, Stone mastic asphalt (SMA), Pumice, Perlite, Ignimbrite, Ahlat stone.

Pomza, İgnimbirit ve Perlitin Taş Mastik Asfaltta Kullanılabilirliği

Öz

Bu çalışmada, pomza, ignimbirit (Ahlat taşı) ve perlitin taş mastik asfalt üretiminde agrega malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu agregalar, karayollarında kullanılmadan önce kaldırma uygulanan standart testlere tabi tutulmuş asfalt örneklerinde filler malzeme olarak kullanılmıştır. Los Angeles aşınma oranı pomza için %73, Ahlat taşı için %78 ve perlit için %67 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada 4 farklı tip taş mastik asfalt (TMA) yapılmıştır. Bazalt-TMA'da (BAZ-TMA); karışımda kaba agrega, ince agrega ve filler olarak bazalt kullanılmıştır. Pomza-TMA'da (POM-TMA); kaba agrega ve ince agrega olarak bazalt, filler olarak pomza kullanılmıştır. Ahlat taşı-TMA'da (AT-TMA); kaba agrega ve ince agrega olarak bazalt, filler olarak Ahlat taşı kullanılmıştır. Perlit-TMA'da (PER-TMA); kaba agrega ve ince agrega olarak bazalt, filler olarak perlit kullanılmıştır. Çalışma sonucunda BAZ-TMA stabilitesi ve akma değerleri 979 kg ve 2,88 mm olarak bulunmuştur. POM-TMA stabilitesi ve akma değerleri 940 kg ve 3,24 mm olarak bulunmuştur. AT-TMA stabilitesi ve akma değerleri 965 kg ve 3,20 mm olarak bulunmuştur. PER-TMA stabilitesi ve akma değerleri 937 kg ve 3,19 mm olarak bulunmuştur. Bu testler TMA'nın şartname referans limitlerini sağlamıştır. Test sonuçları, pomza, Ahlat taşı ve perlitin TMA karışımlarında ince veya kaba agrega olarak kullanılamayacağını göstermektedir. Test sonuçları, pomza, Ahlat taşı ve perlitin TMA karışımlarında sadece filler olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Asfalt kaplama, Taş mastik asfalt (TMA), Pomza, Perlit, İgnimbirit, Ahlat taşı.

* Corresponding Author: Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering-Architecture, Batman University, Batman, Turkey, ORCID: 0000-0002-7487-884X, abdulrezzak.bakis@batman.edu.tr

1. Introduction

Various asphalt mixtures are used in flexible pavement, including stone mastic asphalt (SMA). SMA was developed to reduce the deformation that leads to wheel traces in asphalt. SMA was first applied in Germany in 1968 and was developed by Zichner (Yardim and Aslan 2013; Arslan 2014). SMA has been used in many European countries, and has been studied extensively in the road-engineering literature. Arslan (2014) tested the effects of basalt, limestone and sandstone aggregates used in SMA on the performance and physical properties of the pavement to understand the interchangeability of these materials. Arslan found that limestone and sandstone can be substituted for basalt aggregate while causing no change in the properties of the asphalt. Kutluhan (2008) investigated the wheel-trace performance of various asphalts in the laboratory, and found that coarse-aggregate modified-bitumen SMA samples had the fewest wheel traces. Kofteci (2018) found that pumice can be used in an appropriate proportion (4%) as a replacement for cellulose fibers in SMA. Alp (2018) found that SMA can be used to reduce cost and improve performance of bridge and viaduct pavements, by increasing the service life of the pavement.

SMA mixtures are typically 70-80% coarse aggregate, 20-30% fine aggregate, 6-7% asphalt cement, 8-14% filler and 0.3-1.5% fiber (Tasdemir 1993; Kennhohl 1993). These mixtures are very resistant to deformation from wheel traces, and are very durable due to their high bitumen content (Saglik and Gungor 2008; Sengül 2011). High-quality magmatic rocks obtained by crushing granite and basalt are typically used as coarse and fine aggregates in SMA production. The aggregate polishing value of tough and jagged aggregates such as basalt and granite is high. If the aggregates used in the pavement have good gradation and the polishing value is high, the pavement's resistance against roughness and skidding will be high (Orhan 2012). Brilliance offers better visibility under road lighting (Gencer et al 2017). Durable road provides advantage in terms of maintenance factor in all kinds of engineering processes (Cengiz and Cengiz, 2018; Cengiz, 2019). Fillers of stone dust or slaked lime are usually added to the aggregate to achieve the appropriate gradation (Umar and Yayla 1998).

Ahlat stone filler is a waste rock material. Also, Ahlat stone, perlite and pumice are inexpensive materials. Therefore, Ahlat stone, perlite and pumice were evaluated in SMA mixtures. The strength of the basalt aggregate is high. Therefore, Ahlat stone, perlite and pumice were used in combination with basalt in SMA mixtures. This study evaluated the usability of pumice, perlite, and Ahlat stone aggregates for filler materials in SMA mixtures. The all-basalt (BAS-SMA) sample served as the reference SMA mixture. Tests were used to find the bitumen ratio, void ratio, practical density, voids in mineral aggregate, voids filled with asphalt, and the stability and flow of SMA prepared using the three materials as filler. The test results of each of the samples prepared with pumice (PUM), perlite (PER), and Ahlat stone (AS) fillers were compared against those from the reference SMA sample and the standard specification limits of Highways General Directorate (2013) for SMA pavement. The test results show that pumice, AS and perlite can all be used as fillers in SMA mixtures, and that these stones are not suitable for use as fine or coarse aggregate.

2. Materials and methods

2.1. Materials

Photographs of the aggregate materials we used to prepare SMA samples are shown in Fig. 1.



Fig. 1. Aggregates Used in the Test Samples: (a) Pumice (b) Ahlat stone (c) Perlite

Basalt is a volcanic and very hard rock (Yilmaz et al. 2006). Basalt is resistant to water absorption, corrosion, frost, impact, and friction (Akilli 2012; Kahveci and Kadayifci 2013). Pumice is a pyroclastic rock (Turkel and Kadiroglu 2007). Pumice includes many independent pores, which are separated from each other by a glassy membrane (Oguz and Turker 1997; Ozkan and Tuncer 2001). Perlite and Ahlat stone (AS) are volcanic rocks (Tasdemir 1998; Bulgurcu 2009; Gokce et al. 2010). The ignimbrites that constitute AS are the products of eastern Turkey's Nemrut volcano, AS tends to be found of light brown and dark brown colors. Because of the low compressive strength of AS, it is not typically used in concrete mixtures (Simsek and Erdal 2004; Bakis 2016). However, AS is inexpensive and readily available in eastern Turkey, so its suitability for use in asphalt is of interest. The chemical compositions of

basalt, pumice, perlite and AS aggregates are listed in Table 1 (Ozkan and Tuncer 2001; Yilmaz et al 2006; Turkel and Kadiroglu 2007; Azizi 2007; Ozturk 2012; Kazanci and Gurbuz 2014).

Table 1. Chemical Properties of Basalt, Pumice, Perlite and Ahlat Stone

Component	Basalt (%)	Perlite (%)	Ahlat stone (%)	Pumice (%)
SiO ₂	45.0-50.0	71.0-75.0	64.11	60.0-75.0
Al ₂ O ₃	13.0-18.0	12.5-18.0	16.01	13.0-15.0
Na ₂ O+K ₂ O	3.5-7.5	3.4-9.0	8.0-13.0	7.0-8.0
CaO	7.0-18.0	0.5-2.0	1.64	1.0-2.0
Fe ₂ O ₃	2.0-5.0	0.1-1.5	4.91	1.0-3.0
MgO	4.0-9.0	0.02-0.5	0.24	1.0-2.0
TiO ₂	0.0-3.0	0.03-0.2	0.44	-
FeO	5.0-9.0	0.0-0.1	-	-
P ₂ O ₅	0.1-1.0	-	-	-

2.2. Methods

Four different kinds of SMA samples were prepared. In Basalt-SMA (BAS-SMA); basalt was used as coarse, fine and filler aggregate. In study, BAS-SMA is reference SMA among SMA types. Basalt was used as coarse and fine aggregate in the three test samples of PUM-SMA, PER-SMA, and AS-SMA, and the pumice, perlite, and Ahlat stone (AS) was used as filler material. Tests determined the bitumen ratio, void ratio, practical density, voids in mineral aggregate, voids filled with asphalt, and the stability and flow values of each SMA sample. All tests were performed according to Turkish national construction standards.

2.2.1. Los Angeles Abrasion Tests

Los Angeles abrasion tests were carried out as specified by TS EN 1097-2 (2015). This test determines the abrasion resistance of coarse aggregates using the standard Los Angeles abrasion machine. A total of 5000 ± 5 grams of coarse aggregate were used in each test. The machine timer was adjusted to a speed of 32 rpm and to go through a maximum of 500 revolutions. After 500 revolutions of the Los Angeles abrasion test device, the aggregates were removed from the device. The aggregates remaining in the 1.6 mm sieve were then placed in the drying oven and dried at 110 ± 5°C until a constant dry weight (m) was reached.

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50} \quad (1)$$

Los Angeles abrasion value (LA) of coarse aggregates was calculated from Eq. (1) as a percentage.

2.2.2. Water Absorption and Specific Gravity Tests

Water absorption and specific gravity tests were carried out according to TS EN 1097-6 (2015). In water absorption tests, aggregates were left in the curing pool at 20 ± 5°C for 3 days until they reached a constant weight. Aggregates were then removed from the curing pool, dried, and weighed. This process gave the initial weight (W1) of the aggregate samples. The samples were then placed in the drying oven and dried at 105 ± 5°C for 3 days until a constant dry weight (W2) was reached.

$$Waw = \frac{(W1 - W2)}{W2} \times 100 \quad (2)$$

The water absorption (Waw) of the aggregates was calculated from Eq. (2), in terms of percent by weight. The specific gravity (ρ) of the filler aggregates in the four different SMA mixtures was calculated from Eq. (3), in terms of g/cm³.

$$\rho = \frac{M4}{M4 - (M2 - M3)} \quad (3)$$

The symbols in Eq. (3) denote:

M2: Pycnometer weight + weight of water-saturated specimen + water weight in pycnometer

M3: Pycnometer weight + water weight in pycnometer

M4: Weight of specimen dried in the drying oven

To test these properties, sieve analysis of the aggregates used in SMA production was performed in accordance with standards published by Turkey's General Directorate of Highways. The material remaining on a No. 4 sieve were tested to determine the absorption and specific gravity of the basalt coarse aggregate that was used in our samples.

Pumice, perlite and AS aggregates were not used as coarse or fine aggregates in the SMA samples, but were only used as filler material. In the specific gravity tests of filler aggregate, materials passing through a No. 200 sieve were tested. Fig. 2 shows photographs of the weighing of filler materials in pycnometer for the sake of determining specific gravity.

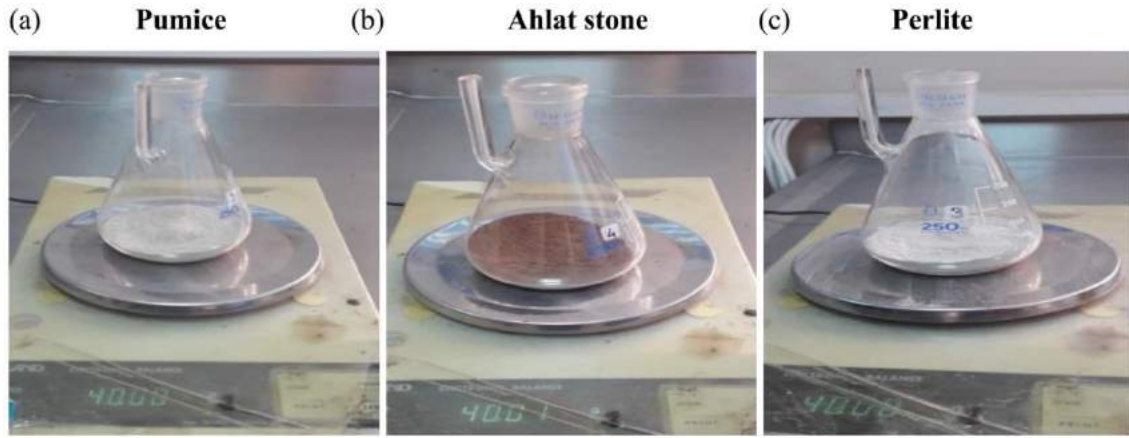


Fig. 2. Weighing the Filler Materials in Pycnometer for Determining Specific Gravity: (a) Pumice (b) Ahlat stone (c) Perlite

The pycnometer was filled with water until the filler materials were covered. Then, the filler materials in the pycnometer was subjected to vacuum by heating. Pycnometer with vacuumed samples were filled in with water as shown in Fig. 3 and were left in a water bath at 25°C for 24 hours. The pycnometer was then dried and weighed after they were removed from the water bath.



Fig. 3. Pycnometer Filled With Water

2.2.3. Bitumen and Marshall Mix Design Tests

To test the bitumen, penetration tests were carried out according to TS EN 1426 (2015). Flash point, softening point, and specific gravity tests were carried out according to TS 1171 (2006) and TS 120 EN 1427 (2015). 50/70 penetration bitumen was used in the SAM samples, in accordance with TS EN 12597 (2014). The bitumen was obtained from the Batman refinery. Fiber was added to all SMA samples at the same proportion of 0.3%. SMA tests were carried out according to the Marshall Mix design method, which will be detailed below (Orhan 2012).

2.2.4. Preparation of Stone Mastic Asphalt

The production process for our SMA samples is shown in Figs 4 and 5.

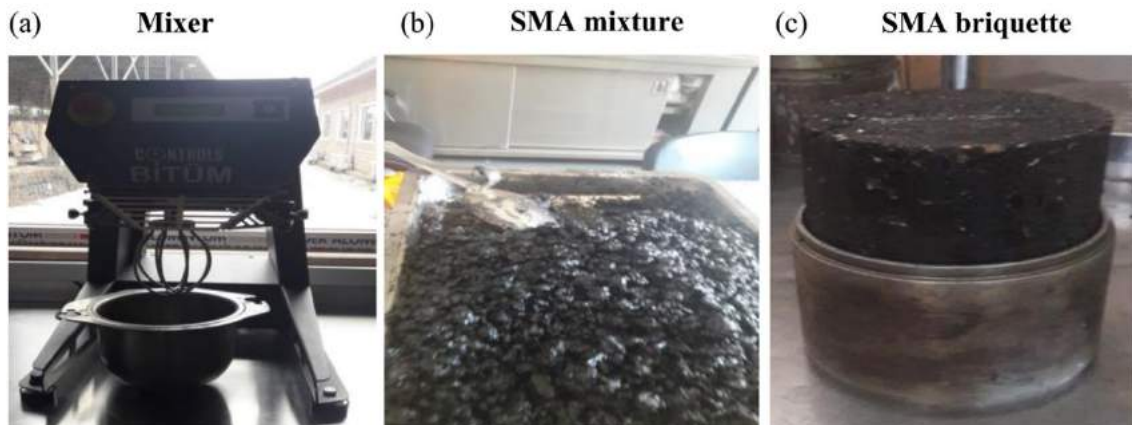


Fig. 4. SMA production: (a) Mixer (b) SMA Mixture (c) SMA Briquette

The mixture was placed in a Marshall mold and then compacted by applying 50 blows to each side of the specimen.

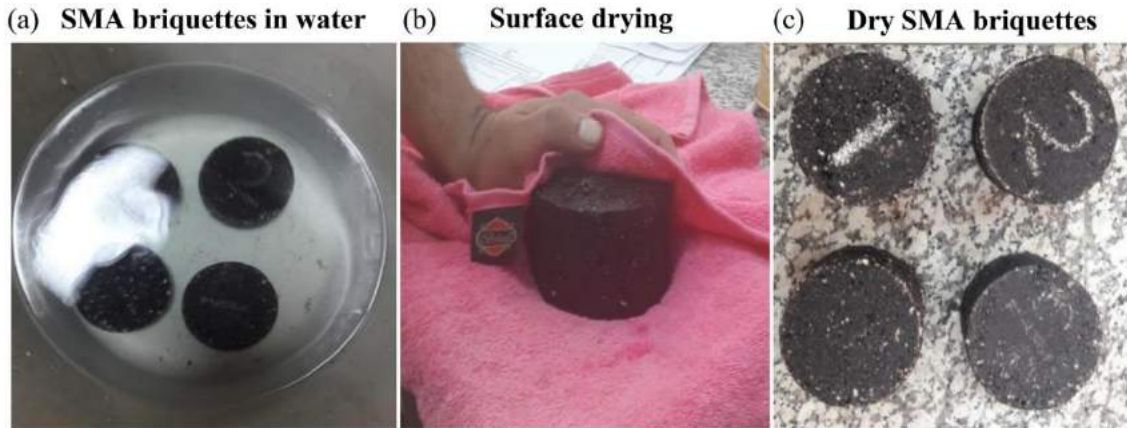


Fig. 5. SMA briquettes: (a) SMA Briquettes in Water (b) Surface Drying (c) Dry SMA Briquettes

In the Marshall Stability tests, the heights of all briquette samples were measured. Samples were then weighed in dry air and water, and the saturated surface weight and specific gravity of the samples were calculated. The properties of the samples we prepared are listed in Table 2.

Table 2. SMA Mixture Properties

Test	BAS-SMA	PUM-SMA	AS-SMA	PER-SMA
Bitumen penetration (25°C), 0.1 mm	63	63	63	63
Bitumen specific gravity, g/cm ³	1.03	1.03	1.03	1.03
Bitumen absorption, %	0.66	0.68	0.66	0.65
Bulk specific gravity, g/cm ³	2.755	2.708	2.724	2.772
Effective specific gravity, g/cm ³	2.805	2.757	2.772	2.775
Apparent specific gravity, g/cm ³	2.855	2.804	2.821	2.825

BAS-SMA was prepared as a reference SMA mixture. From the BAS-SMA mixture, 18 briquettes were pressed, and the bitumen content was increased by 0.5% in each sample starting from 5.5% to 8%.

3. Results and Discussion

3.1. Aggregate Tests

3.1.1. Sieve Analysis

The gradation ratios in Table 3 were used when preparing the four different SMA samples.

Table 3. Gradation Ratios of Aggregates in 4 Different Types of SMA Mixtures

Sieve Size		SMA Gradation	Gradation Limits	
mm	in.		Minimum	Maximum
19.1	3/4	100	100	100
12.7	1/2	92.5	90	100
9.52	3/8	67.7	50	75
4.76	No. 4	32.6	25	40
2.00	No. 10	23.0	20	30
0.42	No. 40	15.2	12	22
0.177	No. 80	12.6	9	17
0.075	No. 200	10.7	8	12

Gradation curves of the aggregates are shown in Fig. 6. As seen in Fig. 6, the gradation curves of aggregates are within the limits listed in Table 3.

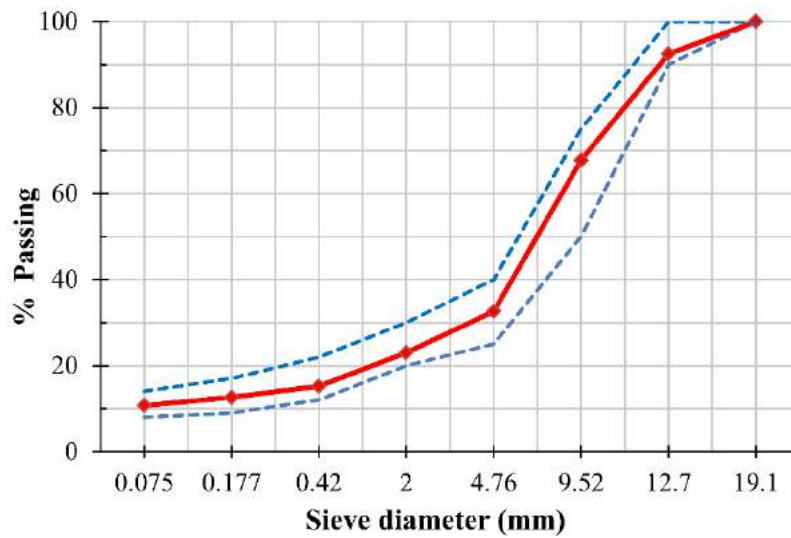


Fig. 6. Gradation Curve of Aggregates

Fig. 6 shows that the gradation ratios of all the aggregates used to form the SMA samples are within the standard specification limits of Highways General Directorate (2013).

3.1.2. Los Angeles (LA) Abrasion Test

LA test results are shown in Table 4.

Table 4. Los Angeles Abrasion Test Results

Test	Aggregates				Specification Limits
	Basalt	Ahlat stone	Perlite	Pumice	%
Los Angeles Abrasion, %	14	78	67	73	≤ 25

The high abrasion values of the Ahlat stone (AS), pumice, and perlite seen in Table 4 indicate that these aggregates have porous structure. The percentages of material lost after abrasion are 14% for basalt, 78% for AS, 67% for perlite, and 73% for pumice. These values do not meet the specified limit, because maximum specification limit is 25%. For this reason, pumice, AS, and perlite aggregates cannot be used as coarse or fine aggregates in an SMA mixture. These test results restricted our use of pumice, AS and perlite aggregates to serve only as filler material.

3.1.3. Specific Gravity Tests

Test results of the aggregates used in the study and the associated limits specified in the General Directorate of Highways standards are listed in Table 5.

Table 5. Aggregate Test Results

Test	Ahlat stone	Perlite	Pumice	Basalt	Specification limits
Apparent specific gravity (coarse aggregate), g/cm ³	2.325	2.217	2.262	2.854	-
Bulk specific gravity (coarse aggregate), g/cm ³	1.651	1.995	1.497	2.746	-
Absorption (coarse aggregate), %	17.55	5.01	22.59	1.39	≤ 2.0
Specific gravity (filler), g/cm ³	2.539	2.567	2.415	2.822	-

The filler specific gravity was found to be 2.539 g/cm³ for AS, 2.567 g/cm³ for perlite, 2.415 g/cm³ for pumice and 2.822 g/cm³ for basalt. The low bulk specific gravity values of AS, pumice and perlite aggregates seen in Table 5 confirm that these aggregates have porous structure. The specified maximum limit of water absorption for SMA production is 2%. The water absorption percent is 17.55% for AS aggregate, 5.01% for perlite aggregate and 22.59% for pumice aggregate, none of which meet the water absorption limit, so these materials are further ruled out for use as coarse aggregate.

3.1.4. Bitumen test

Table 6 shows the test results for the 50/70 penetration bitumen we tested.

Table 6. Bitumen Test Results

Test	Value	Specification Limits	
		Min.	Max.
Flash point, °C	250	230	-
Softening point, °C	52.8	46	54
Penetration (100 g, 25°C, 5 s), 0.1 mm	63	50	70
Bitumen specific gravity, g/cm ³	1.03	-	-

The bitumen test results in Table 6 indicate that the bitumen had a specific gravity of 1.03 g/cm³, penetration of 63 mm, flash point of 250°C and a softening point of 52.8°C. These results confirm that bitumen we obtained is suitable for use in SMA.

3.1.4. Marshall stability test

The stability value of BAS-SMA is 979 kg. The bitumen percentage of BAS-SMA is 6.65%, and the flow value of BAS-SMA is 2.88 mm. The stability and flow values of BAS-SMA are plotted in Fig. 7.

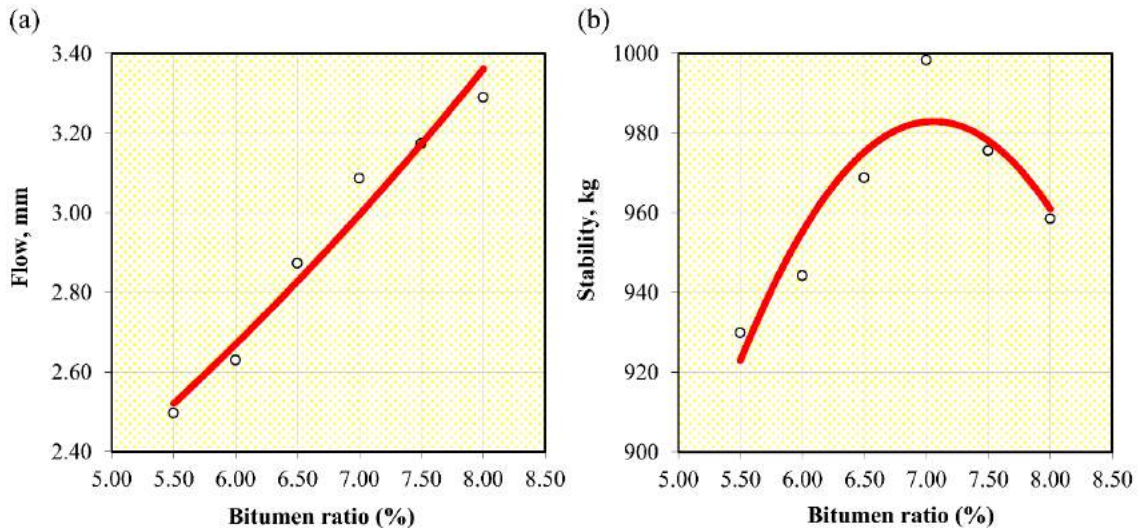


Fig. 7. Stability and Flow Graphs of BAS-SMA

21 briquettes were prepared from the PUM-SMA mixture, and the bitumen content was increased by 0.5% in each sample, starting from 5% to 8%. The stability and flow of the PUM-SMA samples are plotted in Fig. 8.

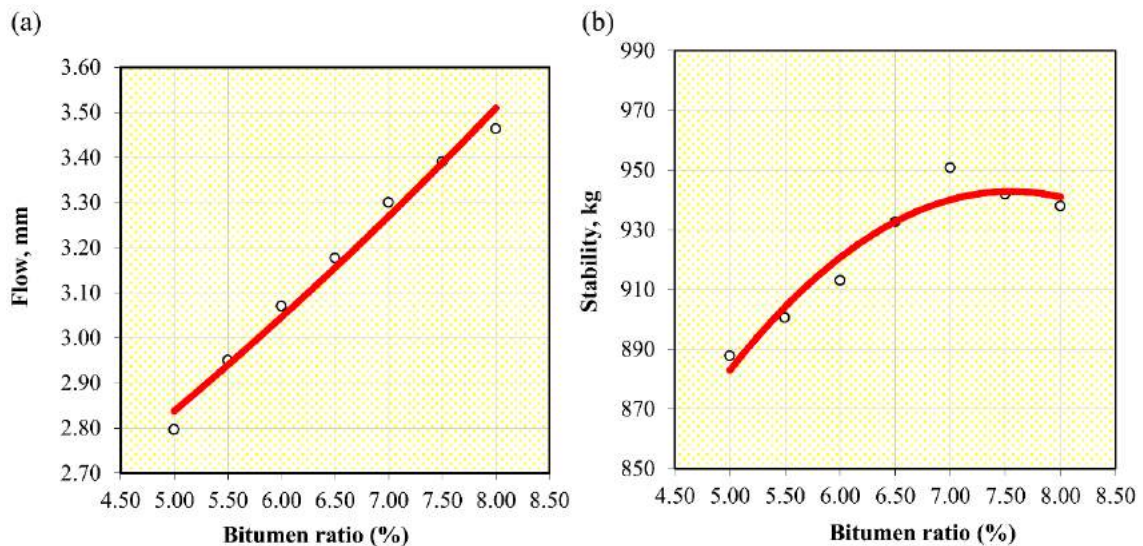


Fig. 8. Stability and flow graphs of PUM-SMA

The bitumen content of the PUM-SMA samples is 6.90%. The stability value of PUM-SMA is 940 kg. Flow value of PUM-SMA is 3.24 mm. 18 briquettes were prepared from the PUM-SMA mixture, increasing the bitumen content by 0.5% in each sample from 5% to 7.5%. The stability and flow values of the AS-SMA are plotted in Fig. 9. The bitumen percentage of AS-SMA is 6.80%. Stability value of AS-SMA is 965 kg. Flow value of AS-SMA was is 3.20 mm.

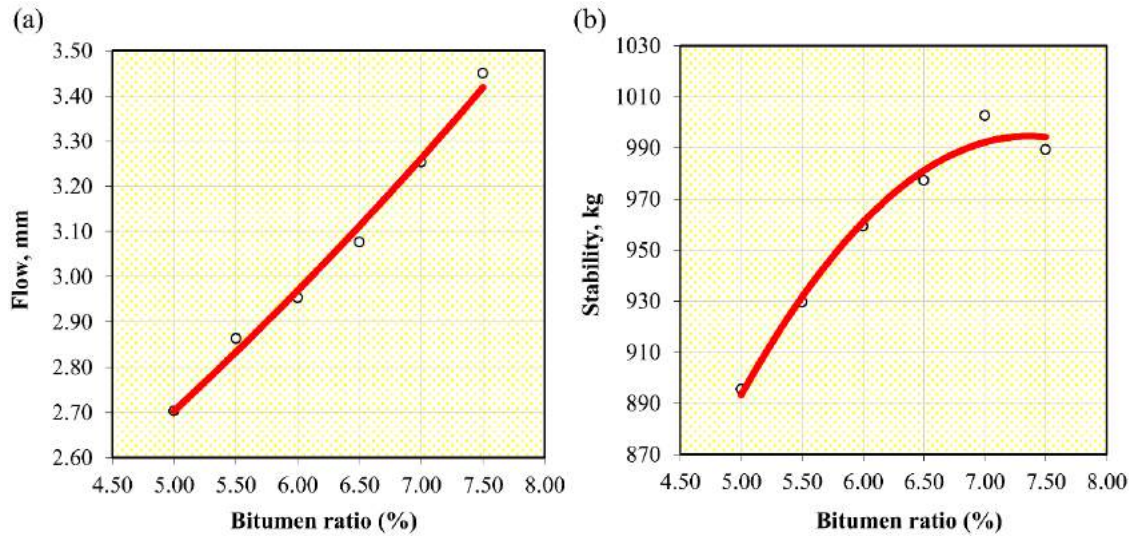


Fig. 9. Stability and Flow Graphs of AS-SMA

21 briquettes were prepared from the PER-SMA mixture, and the bitumen was increased by 0.5% in each briquette, starting from 5% to 8%. The bitumen percentage of PER-SMA is 6.80%. The stability value of PER-SMA is 937 kg. The flow value of PER-SMA is 3.19 mm. Stability and flow plots of PER-SMA are shown in Fig. 10.

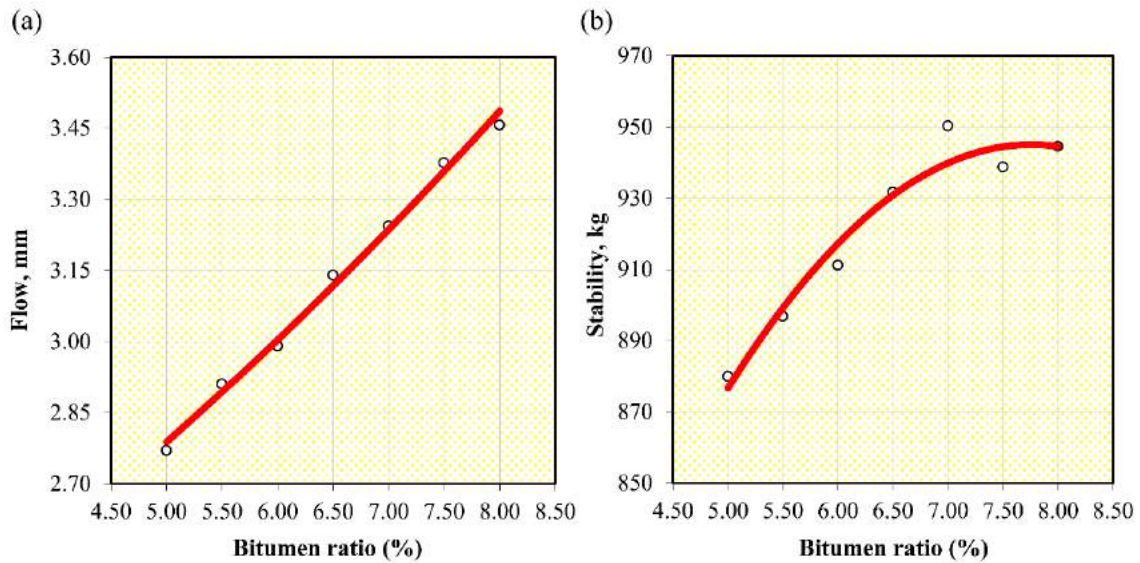


Fig. 10. Stability and Flow Graphs of PER-SMA

The bitumen ratio, void ratio, practical density, voids in mineral aggregate, voids of filled with asphalt, and the Marshall stability and flow values of SMA samples were determined in the present tests. These results were compared with the reference SMA (BAS-SMA) and the limits in the Turkish national standards.

These standards give the stability limit of a minimum of 750 kg and require a flow values in the range of 2-4 mm for SMA used in Turkish highways. Test results for all SMA samples are shown in Table 7.

Table 7. Test Results for SMA Samples

SMA properties	BAS-SMA	PUM-SMA	AS-SMA	PER-SMA	Specification limits	
					Min.	Max.
Bitumen ratio, %	6.65	6.90	6.80	6.80	-	-
Void ratio, Vh, %	3.00	3.00	3.00	3.00	2	4
Practical density, Dp, g/cm ³	2.455	2.412	2.428	2.429	-	-
Voids in mineral aggregate, VMA, %	16.50	16.70	16.50	16.70	16	-
Voids of filled with asphalt, VFA, %	81.30	82.00	82.50	81.00	-	-
Stability (kg)	979	940	965	937	750	-
Flow (mm)	2.88	3.24	3.20	3.19	2	4

As shown in Table 7, the practical densities of all samples with alternative filler aggregates are within 1.7% of the density of the all-basalt reference sample. The void ratios of all SMA samples we tested are 3%, which is within the specified range of 2-4%. As shown in Table 7, the voids filled with asphalt percentage of all SMA samples are all within 1.5% of the reference sample.

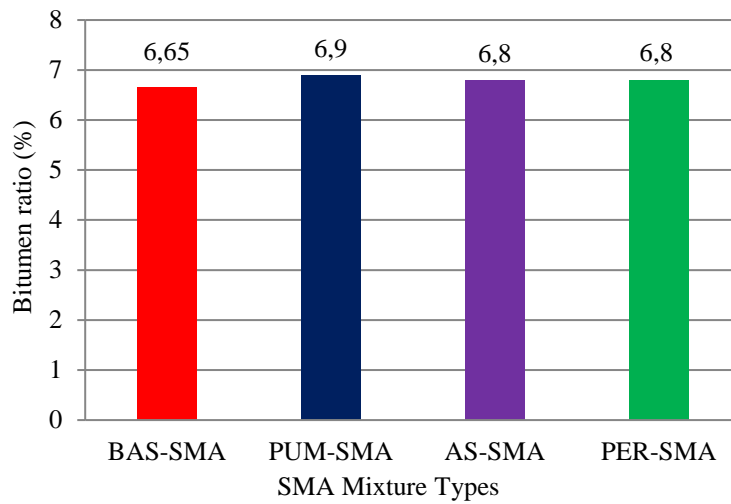


Fig. 11. Bitumen Ratios of SMA Mixture Types

The bitumen ratios of SMA Mixture Types are shown in Table 7 and Fig. 11. As shown in Fig. 11, the bitumen ratios of BAS-SMA, PUM-SMA, AS-SMA and PER-SMA are 6.65%, 6.90%, 6.80% and 6.80%, respectively.

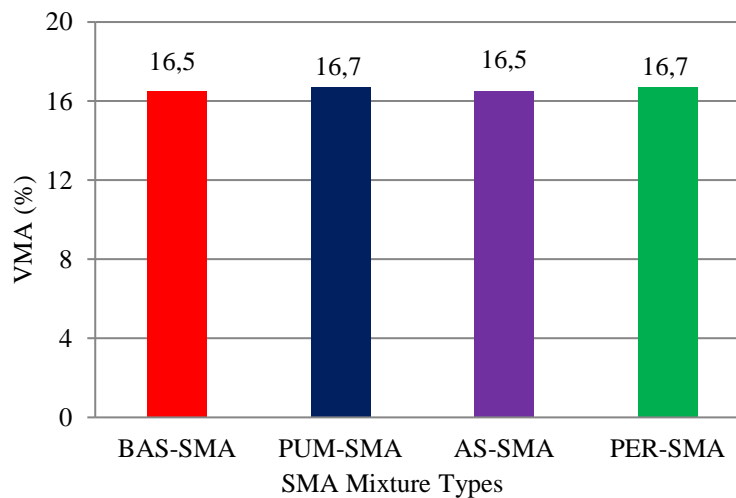


Fig. 12. Void in Mineral Aggregate (VMA) Values of SMA Mixture Types

VMA values of SMA Mixture Types are shown in Table 7 and Fig. 12. As shown in Fig. 12, VMA values of BAS-SMA, PUM-SMA, AS-SMA and PER-SMA are 16.50%, 16.70%, 16.50% and 16.70%, respectively. As shown in Table 7 and Fig.12, the void in mineral aggregate (VMA) percentages of all SMA samples are all over the standard minimum of 16%.

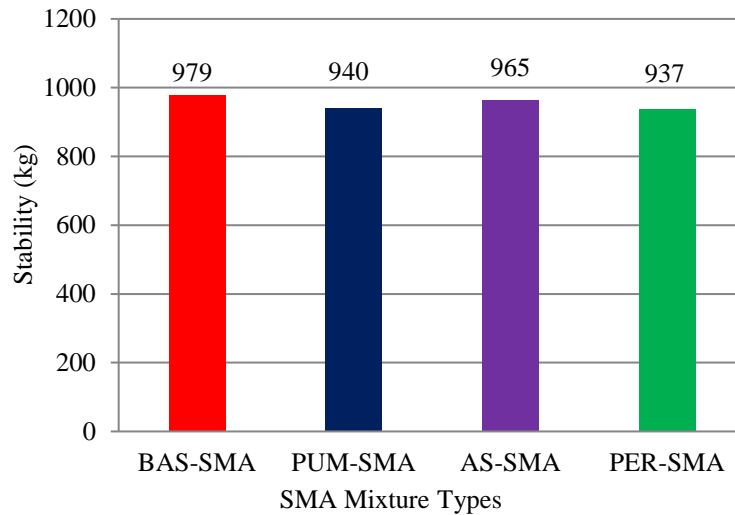


Fig. 13. Stability Values of SMA Mixture Types

The stability values of SMA Mixture Types are shown in Table 7 and Fig. 13. As shown in Fig. 13, the stability values of BAS-SMA, PUM-SMA, AS-SMA and PER-SMA are 979 kg, 940 kg, 965 kg and 937 kg, respectively. As shown in Table 7 and Fig.13, the stability values of all SMA samples are all over the standard minimum of 750 kg.

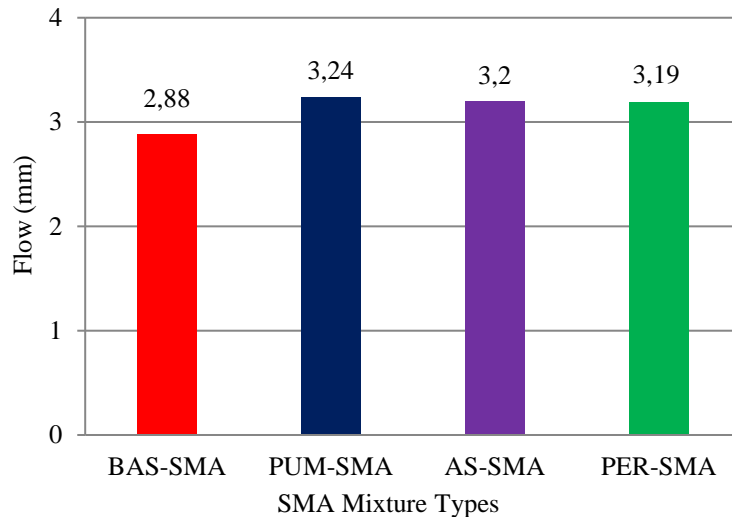


Fig. 14. Flow Values of SMA Mixture Types

The flow values of SMA Mixture Types are plotted in Table 7 and Fig. 14. As shown in Fig. 14, the flow values of BAS-SMA, PUM-SMA, AS-SMA and PER-SMA are 2.88 mm, 3.24 mm, 3.20 mm and 3.19 mm, respectively. As shown in Table 7 and Fig.14, the flow values of all SMA samples are within the standard limits.

4. Conclusion

Four different types of SMA were prepared and tested to determine the suitability of inexpensive and readily available porous rock for use in SMA pavement. Basalt was used as the coarse, fine, and filler aggregate in the reference samples. In the three other types of SMA we tested, basalt was used for coarse and fine aggregate, and pumice (PUM), Ahlat stone (AS), and perlite (PER) were tested as filler materials. We found that none of these porous rocks are suitable for use as coarse or fine aggregate in SMA mixtures. These stones can, however, be used as filler aggregate in the proportion of 10.7% by weight.

Ahlat stone filler is a solid waste that contributes to environmental pollution and waste landfills. Besides Ahlat stone filler, pumice filler is another solid waste that contributes to environmental pollution and forms waste fields. Hence, the use of these waste filler materials in SMA reduces the production cost of SMA. Therefore, it can be said that the cost of SMA aggregate will decrease by 10.7%.

All the SMA samples we tested had sufficient void ratios according to standard SMA specifications, and all had acceptable voids in the percentage of mineral aggregate. The bitumen ratio of the reference sample was the lowest of the samples we tested, and the bitumen ratio of PUM-SMA was the highest. The Marshall-test stability and flow values of all the SMA samples meet the standard specifications in Turkish highway codes.

Acknowledgements

We would like to thank to Sefik Solmaz, 9th Regional Director of Highways, to Cihan Elhakan, 9th Regional Directorate of Research and Development Chief Engineer. We would like to thank the Rector of Bitlis Eren University and all supporting staff. The authors would like to thank Enago for the English language review.

References

- Akilli, A. (2012). Investigation of basalt aggregate's mechanical properties for use in road pavements, Master Thesis, Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Isparta.
- Alp, B. (2018). The Use and Comparison of the Abrasion Asphalt Concrete and Stone Mastic Asphalt Technology in Bridge Applications, Master Thesis, Basakşehir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul.
- Arslan, F. (2014). Investigating on possible use of Cebeci Dolomite Limestone, Golcuk Sandstone and Karatepe basalt in stone mastic asphalt in Istanbul, Master Thesis, Yildiz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul.
- Azizi, S. (2007). Mechanical properties and thermal isolation of perlite added lightweight concretes. Master Thesis. Istanbul Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul.
- Bakis, A. (2016). Usability of Ahlat Stone in Rigid Pavement Construction. *Bitlis Eren University Journal of Science*, 5(2): 164-171. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/264097>
- Bulgurcu, H. (2009). Cement and Gypsum-Binding Construction Materials with Expanded Perlite Investigation of Thermal and Mechanical Properties. 17th National Congress of Heat Science and Technical, Sivas, 59–64.
- Cengiz, M. S., Cengiz, C. (2018). Numerical Analysis of Tunnel LED Lighting Maintenance Factor. *IIUM Engineering Journal*, vol. 19(2), pp. 154–163.
- Cengiz, M. S. (2019). The Relationship Between Maintenance Factor and Lighting Level in Tunnel Lighting. *Light & Engineering*, vol. 27. 3, pp. 154–163.
- Gencer, G., Eren, M., Yildirim S. et al. (2017). Numerical Approach to City Road Lighting Standards. *Imeset Int. Conf. Mult. Sci. Eng. Tech.*, Bitlis, 233.
- General Directorate of Highways. (2013). *Highways Technical Specification*. Publication no. 276, Ankara.
- Gokce, H.S. Simsek, Durmus, O. G. et al. (2010). Effect of Alternative Expanded Perlite Using on Properties of Raw Perlite Aggregated Light-Weight Concrete. *Polytechnic*, 13(2): 159–163. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/385554>
- Kahveci, A.E., and Kadayifci, A. (2013). Investigation Structural Properties of Basalt Stone in Diyarbakir Region. *Suleyman Demirel University, International Technologic Science*, 5(3): 56–59. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/254759>
- Kazanci, N., and Gurbuz, A. (2014). Natural Stones Qualified as Geological Heritage in Turkey. *Geological Bulletin of Turkey*, 57(1): 19–44. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a15a16e5a7ba3b3_ek.pdf
- Kennhpohl, J.A. (1993). Stone Mastic Asphalt Trials in Ontario. *Transportation Research Record*, no. 1427.
- Kofteci, S. (2018). Investigation on the usability of pumice as mineral fibre in stone mastic asphalt. *Grağevinar*, 70(8): 695–701. <https://doi.org/10.14256/JCE.2310.2017>
- Kutluhan, S. (2008). Modeling of rutting in bituminous hot mixtures, Ph. D. Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul.
- Oguz, C., and Turker, F. (1997). The Relationship between Physical and Mechanical Properties in Pumice Concrete. 1th Isparta Pumice Symposium, Isparta.
- Orhan, F. (2012). Bituminous Mixtures Laboratory Studies. Highways General Directorate, Research and Development Department, Pavement Development Branch Directorate, Ankara.
- Ozkan, S. G., and Tuncer, G. (2001). Pumice Mining Overview. 4th Industrial Raw Materials Symposium, Izmir, 200–207.
- Ozturk, M. (2012). Examining Physical and Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Pumice and Perlite. Master Thesis, Namik Kemal University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Tekirdag.
- Saglik, A., and Gungor, A.G. (2008). *Flexible Pavements Design Guide*. General Directorate of Highways Publications, Ankara.
- Sengül, C.E. (2011). The effect of hydrated lime with the types of SBS and fiber additives on SMA mixtures performance, Ph. D. Thesis, Karadeniz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Trabzon.
- Simsek, O., and Erdal, M. (2004). Investigation of Some Mechanical and Physical Properties of the Ahlat Stone (Ignimbrite). *Gazi University Journal of Science*, 17(4): 71–78. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/83230>

- Tasdemir, Y. (1998). Etude of Stone Mastic Asphalt Mixtures, Master Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul.
- TS 1171. (2006). Flash Point Determination. TSE, Ankara.
- TS EN 12597. (2014). Bitumen and Bituminous Binders-Terminology. TSE, Ankara.
- TS EN 1097-2. (2015). Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates, Part 2: Methods of Determination of abrasion. TSE, Ankara.
- TS EN 1426. (2015). Bitumen and Bituminous Binders, Determination of penetration depth. TSE, Ankara.
- TS EN 1097-6. (2015). Tests for the Mechanical and Physical Properties of Aggregates, Part 6: Determination of Specific Gravity and Water Absorption. TSE, Ankara.
- TS EN 1427. (2015). Bitumen and Bituminous Binders, Softening Point Determination. TSE, Ankara.
- Turkel, S., and Kadiroglu, B. (2007). Investigation on Mechanical Properties of Structural Lightweight Concrete Made with Pumice Aggregate. Pamukkale University, Journal of Engineering Sciences, 13(3): 353–359. <http://dergipark.gov.tr/pajes/issue/20518/218472>
- Umar, F., and Yayla, N. (1988). Road Superstructure. Istanbul Technical University, Construction Faculty Printing House, Istanbul.
- Yardim, M. S., and Arslan, F. (2013). Stone Mastic Asphalt Usage in Turkey and an Evaluation on Literature. 6th National Asphalt Symposium, Ankara, 61-72.
- Yilmaz, S., Bayrak, G., Sen, S. et al. (2006). Structural characterization of basalt-based glass–ceramic coatings. Materials and design, 27(10): 1092–1096. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.04.004>



The Current Information in Nutrition Therapy of Phenylketonuria

Sabiha Zeynep Aydenk Köseoğlu^{1*}, Seda Çelikel²

¹ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7936-8462)

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6578-980)

(İlk Geliş Tarihi 14 February 2020 ve Kabul Tarihi 23 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.693556)

ATIF/REFERENCE: Köseoğlu, S. Z. A. & Çelikel, S. (2020). The Current Information in Nutrition Therapy of Phenylketonuria. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 755-761.

Abstract

Phenylketonuria (PKU) is one of the most common congenital metabolism disorders. In this disease, due to the defect in the phenylalanine hydroxylase enzyme made in the liver, phenylalanine cannot follow the tyrosine pathway and the symptoms of phenylalanine metabolites occur in body tissues, organs and body fluids. Nutritional therapy is applied in the treatment of the disease depending on the type of PKU. The purpose of nutritional therapy is to minimize the amount of phenylalanine taken with nutrients and to keep the level of blood phenylalanine within normal limits. For this reason, a special nutrition program is applied throughout the life from the newborn period. The first step in the diagnosis of PKU is to determine the level of plasma phenylalanine with the blood sample taken from the heel of the newborn. Different types of hyperphenylalaninemia are seen as a result of phenylalanine hydroxylase enzyme and tetrahydrobiopterin (BH4) metabolism disorder. In the formation of BH4 cofactor defects, there is a defect in the metabolism of tetrahydrobiopterin, and its findings are different from classical PKU. In addition to the proper nutrition program, large neutral amino acids (LNAA) and sapropterin (a synthetic form of BH4) are used in the treatment, according to the results of new studies. In classical PKU, when there is no medical nutrition treatment specific to the disease, many clinical findings such as mental retardation, skin-hair pigmentation disorders, growth retardation, microcephaly, epilepsy, behavioral disorders, hyperactivity and anxiety can be seen. In order for the symptoms associated with PKU to decrease and individuals with PKU to live a healthier life, they should comply with dietary treatment that includes protein-restricted, high-fat and carbohydrate-containing foods except for vegetables and fruits limited from phenylalanine. Essential protein sources should be provided with special formulas with added tyrosine and essential amino acids and foods enriched with vitamins and minerals that may be deficient. However, the implementation of an effective nutrition therapy is possible by providing communication between the healthcare team and the family and introducing the disease to the family, and training in the development and treatment of the disease.

Keywords: Phenylketonuria, Phenylalanine, Phenylalanine hydroxylase, Tetrahydrobiopterin.

1. Introduction

Phenylalanine is an essential amino acid secreted from the liver. Phenylketonuria disease is a disorder caused by the absence or insufficiency of the phenylalanine hydroxylase enzyme that metabolizes phenylalanine and as a result of the accumulation of phenylalanine metabolites in the brain and excretion in the urine. When patients with phenylketonuria were diagnosed in the neonatal period; it has been found that mental retardation and other neurological findings can be prevented with limited nutritional therapy for phenylalanine (Ney et al.,2009).

Phenylketonuria is a hereditary disease, and was discovered in 1934 by Fölling after research on two mentally handicapped children. In the following years, it has been proven that phenylalanine accumulates in the blood and spinal fluids of people with mental retardation and phenylpyruvic acid in urine, and there is no activity of the phenylalanine hydroxylase enzyme (which converts phenylalanine to tyrosine) in their livers. 20 years after the discovery of PKU, Bickel demonstrated the existence of a positive nutrition program that could prevent mental retardation in this disease. With the onset of screening of phenylketonuria in the early 1960s, mental retardation that can be seen in all children born with phenylketonuria was prevented. The incidence of PKU in the world in general is 1 / The frequency in our country varies between 1 / 3.600-1 / 4.000 (Köksal & Gökmen Özel, 2019).

* Sorumlu Yazar: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7936-8462, szaydenk@gmail.com

The Genetic Feature of Patients with PKU

The mother and father of the child with phenylketonuria have two genes, one of which is normal and one of which is responsible for the production of phenylalanine hydroxylase enzyme. A child who receives defective genes from their parents is born with phenylketonuria. The child who receives a defective gene from his parents carries the disease. However, it does not show any signs of illness. When parents are carriers, the probability of having phenylketonuria in their children is 25%. Therefore, there is a higher risk of disease in consanguineous marriages. Phenylketonuria is a hereditary metabolic disease that can be treated if diagnosed in the neonatal period, otherwise severe mental retardation occurs (Liu et al., 2017).

Diagnosis of the baby with PKU

When a baby with phenylketonuria is born, it is indistinguishable from a healthy baby. The level of phenylalanine, which cannot be metabolized after the baby's first protein-containing diet, begins to increase in the blood. Brain damage caused by PKU may not usually be noticed by parents in the first months. However, the development problems of the baby started from the first months, either it did not develop or it developed late. If the problem of the baby, who is not able to hold his/her head fully upright, but does not know the mother at the time of two months, cannot be understood in these months, when the brain is brought to the doctor because he/she is unable to sit, walk, talk, be indifferent to the environment or transfer to the doctor, he / she is irreversibly damaged. In addition, as another finding, the urine of these babies smells differently than the healthy ones (the smell of mold). 60% of the patients have very light hair color and light eye color. Late diagnosis and late treatment may cause brain damage to become irreversible, but many positive behaviors can be developed in these children. In a study of 16 PKU patients who are still normal despite high plasma phenylalanine concentrations, other neurological, psychological and behavioral problems were frequently seen in patients, although intellectual functionality was not relatively affected (van Vliet et al., 2019)

Diagnostic tests of PKU

In many studies, the presence of mentally handicapped, untreated children with PKU was determined, and in the 1950s, it was observed that Bickel phenylalanine-containing foods were not given to these children and was important for the recovery of the disease. In the following years, amino acid mixtures that did not contain phenylalanine and that would meet the protein requirement of the child were found and it was emphasized that these amino acids should be used in addition to the treatment (Köksal & Gökmen Özel, 2019). Individuals who do not applied diet therapy have severe intellectual disability, whereas individuals who are on therapy from the early neonatal period have normal intellectual function therefore, it was agreed that this treatment should be started immediately after birth, in the first 20 days. This indicates that the amount of phenylalanine should be measured in the blood of all newborns. (McPheeters et al, 2012).

In the 1960s, Prof. Dr. with the Guthrie Test developed by Robert Guthrie, screening programs have been started to detect the disease in newborn babies in the world. In our country, in 1986, screening tests were started in 80 provinces by taking blood from the heel of newborn babies. Within 24-48 hours of each newborn baby following the first feeding, blood samples are taken on special filter paper, and diagnosis is made by applying various chromatographic methods for plasma phenylalanine (PA) level. Even if the normal phenylalanine level is found in the screening test, if there is a suspicious condition in the families of the babies, blood phenylalanine levels should be re-evaluated within 2-4 weeks after birth. A second type of diagnosis is ironchloride (FeC13) test. It is determined by a green color that disappears after 3-5 minutes by looking at the urine of babies with PKU. Even if the normal phenylalanine level is found in the screening test, if there is a suspicious condition in the families of the babies, blood phenylalanine levels should be re-evaluated within 2-4 weeks after birth. A second type of diagnosis is ironchloride (FeC13) test. It is determined by a green color that disappears after 3-5 minutes by looking at the urine of babies with PKU (Ahring et al., 2009; Peate, 2020).

The types of PKU

Apart from PKU, different types of hyperphenylalaninemia occur due to problems in the metabolism of phenylalanine hydroxylase enzyme or tetrahydrobiopteridine (BH4), the cofactor of this enzyme. Hyperphenylalaninemia are divided into 5 groups (Enacan et al., 2019).

1. Classical PKU

It is the type of PKU that results from the absence or decrease of phenylalanine (PA) hydroxylase enzyme activity that converts phenylalanine to tyrosine in the liver. Phenylalanine metabolites disrupt normal metabolism, causing brain damage. There are some criteria for diagnosing in classical phenylketonuria: plasma PA levels are high (≥ 20 mg / dl or $1200 \mu\text{mol} / \text{L}$) and the tyrosine levels are normal ($0.55-1$ mg / dl or $54 \mu\text{mol} / \text{L}$); increased metabolites of phenylalanine (α -hydroxyphenylacetic phenylacetic acid, phenyl lactic acid, phenyl pyruvic acid and phenyl acetic acid, glutamine) in urine; plasma level increase by reintroducing the removed phenylalanine; normal level of cofactor tetrahydrobiopterin in plasma. Prognosis is poor if these patients are not treated. Their daily PA tolerances (representing the amount of PA in which blood PA level is kept at approximately $300-400 \mu\text{mol} / \text{L}$ or $2-6$ mg / dl) is less than 20 mg / kg at the age of 5 (Azaripour & Abbasi, 2020).

2. Moderate PKU

Serum PA level ranges between $900-1200 \mu\text{mol} / \text{L}$ ($15-20$ mg / dl), and daily PA tolerance at the age of 5 is about $20-25$ mg / kg (Herenger et al., 2019).

3. Mild PKU

It is the lightest type. Serum PA level before treatment does not exceed 15 mg / dl ($900 \mu\text{mol}/\text{L}$) and PA tolerance is more than $25-50$ mg / kg at age 5 (Levy et al., 2019).

4. Mild Hyperphenylalaninemia (nonphenylketonuric hyperphenylalaninemia)

In children with this type of hyperphenylalaninemia, the blood phenylalanine level under the free diet is below 10 mg / dl. Nutritional therapy may not be required in patients in this group (Levy et al., 2019).

5. Cofactor Defects

It is defined as a biochemical defect formed in the cofactor compounds (tetrahydrobiopterin) required for hydroxylation of phenylalanine. In these patients, the activity of the PA hydroxylase enzyme was found to be normal, but the defect in dihydropteridine reductase or dihydropteridine synthetase enzymes required for the synthesis of tetrahydrobiopterine (BH), which is the cofactor of this enzyme. Synthesized from guanosine triphosphate (GTP), BH₄ is also the cofactor of the tyrosine and tryptophan hydroxylases required for the biosynthesis of neurotransmitters, dopamine and serotonin (Lichter-Konecki & Vockley, 2019).

Findings of PKU

General findings include:

- ✓ Low birth weight, vomiting (early finding)
- ✓ High blood phenylalanine level (normally 2-6 mg / dl, above disease 15-20 mg / dl)
- ✓ It is also the precursor of norepinephrine, which plays a role in the transmission of tyrosine nerve impulses formed in the first step of the phenylalanine metabolism. Since there is no tyrosine in its deficiency, synaptic transmission is adversely affected.
- ✓ As the age progresses (over 4 months), the synthesis of lipid, nucleic acid and proteins decreases in the brain as a result of constantly high phenylalanine in the blood. As a result, mental retardation and nervous system symptoms (hyperactivity, aggressive, convulsive seizures), microcephaly may occur in patients.
- ✓ With the increase of phenylalanine in the blood, enzymes of hexokinase and pyruvate kinase are suppressed, glycolysis and oxidative metabolism rate decreases, and thus energy formation decreases.
- ✓ Bad smell in urine and sweat (phenylpyruvate, phenyllactate; phenylacetate)
- ✓ Pigment disorders (light color of hair, skin and eyes due to lack of melanin) eczema and seborrheic skin rashes
- ✓ Convulsions that can be seen at any age, hyperkinesia in older children, autistic behaviors (Köksal & Gökmen Özel, 2019).

Treatment of PKU

When babies with PKU can be diagnosed in the first days following birth, the findings can be prevented with appropriate nutritional therapy. The only treatment currently applied in phenylketonuria disease is nutrition therapy. It should last a lifetime (Mitchell et al., 2011). Objectives of nutritional therapy:

- ✓ To support keeping the level of phenylalanine in the blood at a level that will ensure normal growth, prevent or minimize brain damage.
- ✓ Phenylalanine, which will not cause hyperphenylalaninemia with diet, and will be sufficient for growth and development (according to PKU type, patient's age, height, weight and blood phenylalanine level, each individual's tolerance is different), protein (2.2-3.5 g / kg / day in infants, providing energy, vitamins and trace elements in the child of play age 1.5-2.2 g / kg / day) (Köksal & Gökmen Özel, 2019).
- ✓ To ensure that the diet of the patient is acceptable in terms of taste diversity, to prevent the diet from being monotonous by means of exchange lists and to ensure its saturation.
- ✓ Ensuring that the patient is not affected by weight loss and other catabolic events during follow-up (the breakdown of body proteins enables the release of phenylalanine and requires the evaluation of the patient's weight impression and energy intake or excessive energy intake).
- ✓ To determine the phenylalanine, protein and energy requirements of the patient, to give the amount of phenylalanine to be given daily in 6-8 meals in infants and in 3 or 4 equal meals in the children's group, to ensure the consumption of natural protein sources and to monitor the intake, As the patient grows, making changes in the scope of the diet and ensuring that he consumes the diet given to him for life (Rocha & MacDonald, 2016).
- ✓ The dietician and doctor should be educating the patient and his family about the disease, nutritional therapy and amino acid mixtures used, low protein products and exchange lists. In a study investigating the demographic data of children with PKU and the quality of life of their parents and their effect on treatment compliance and the average blood phe level, the average age of the patients whose metabolic control was considered bad was 9.4 years; Mean age of the patients with a good metabolic control was found to be 4.7 years. When the quality of life of the parents of patients with good / bad metabolic control was examined, there was no significant difference between them. It was found that patients between the ages of 0-5 were better compliant with the diet, although it was not statistically significant in compliance with the protein restricted diet and supplementary foods (Bay, 2019).

Energy

Fats and pure carbohydrates (such as sugar, starch) are important energy sources in nutrition that is poor in phenylalanine. For this purpose, children can be given sugar, honey, jam, molasses, oil, starch, lemonade, linden (with sugar), tea (with sugar) depending on their age. In addition, the use of low protein products with a low protein content, and therefore a low amount of phenylalanine and high energy content, is important in eliminating the energy deficit in these patients. The energy needs of the children, who start to complement nutrition, are met with special flour soups, starchy foods, low protein vegetables and fruits. If the diet is not followed, loss of tissues occurs as a result of insufficient energy intake and malnutrition occurs as a result of tissue destruction. Insufficient energy in the diet causes the breakdown of tissue proteins and the increase in the level of blood phenylalanine by releasing phenylalanine from the tissues (Evans et al., 2019)

Protein

In order to control the blood PA level, the natural protein sources in the diet should be limited and the blood PA level should be kept within safe limits in all diagnosed patients with serum phenylalanine level ≥ 6 mg / dl (360 μmol / L). In the daily feeding program of the child with PKU, foods such as meat, fish, eggs, cheese with high protein and phenylalanine content should not be included. Required for the growth of the child and according to the ability to metabolize, phenylalanine must be met from natural protein sources (such as vegetables, fruits), the remaining protein requirement is not included in phenylalanine or phenylalanine and has low protein content, high energy content, tyrosine and other essential amino acids, vitamins, minerals and It should be obtained from amino acid mixtures enriched with trace elements. PKU patients should be given phe-free formulas and avoid foods rich in protein (eg meat, fish, eggs, standard bread, cheese, nuts and kernels) and foods and beverages containing aspartame. Low-protein natural foods such as potatoes, some vegetables and most cereals can be consumed on condition that they are limited. Some types of food are also available, such as low-protein bread and low-protein pasta (Blau et al., 2010).

In order to keep blood phenylalanine levels within certain limits, at least 80-90% of the daily protein requirement in infancy and at least 50% of childhood and adolescence must be met from special amino acid mixtures. Daily amounts of amino acid mixtures can be given in liquid beverages, divided into meals, along with other recommended foods (Concolino et al., 2017).

Amino acid mixtures should be given 8 times a day in the neonatal period, 6 times a day up to one year, and at least 3 equal meals a day in the post-one year period. By taking amino acid mixtures continuously in single and overdose catabolism, oxidative use and urinary nitrogen loss increases and nitrogen deficiency may occur. Amino acid blends without PA are very difficult to take alone, as their taste is poor. These mixtures are used as a food with starch, rice flour, sugar, oil in infancy, and in children who cannot take larger food, fruit lemon juices and sodas are tried to be brought to taste (Durrer et al., 2017).

Phenylalanine

PA is an essential amino acid which can be found in protein foods. PA constitutes 5% of the amino acids in the protein structure, and since it is an essential amino acid, it is not possible to completely remove it from the diet. A healthy child uses half of the PA that he provides from protein in his daily diet in protein synthesis, and turns the remaining amount into tyrosine (Strisciuglio & Concolino, 2014).

Diet therapy in PKU should be started in the first 20 days of life. The amount of PA that can be given daily should be adjusted according to blood PA levels (2-6 mg / dl or 120-360 μmol / L), and the pattern of the diet should be changed according to the growth and development rate by taking blood controls once a week and once a year in the first month of life (Ney et al., 2014).

In the planning of nutritional therapy, it is necessary to first discharge the phenylalanine accumulated in the tissues and body fluids, followed by a diet with no phenylalanine (containing 0 PA) for 3-7 days. Thus, brain destruction can be prevented by decreasing the phenylalanine accumulated in the blood, tissues and urine to normal levels. Targeted values of blood PA levels: less than 6 mg / dl (360 μmol / L) under the age of 10, - less than 12 mg / dl (720 μmol / L) between the ages of 10-15 and it is less than 15 mg / dl (900 μmol / L) over the age of 15.

Due to the limited nutrients consumed in infancy, difficulties are encountered in dietary intake of the recommended amount of phenylalanine. Cow milk or commercial foods can be used to meet the needs of phenylalanine in children who start supplementary feeding. However, the level of phenylalanine in cow milk is 180 mg / 100ml and it is quite high (Evans et al., 2015) and phenylalanine amount also in UHT cow milk is 129mg/100ml (Table 1).

The amount of PA that the patient should receive in the PKU following infancy should be met from natural protein sources such as low protein and low PA special products, cereals, vegetables and fruits. The reason that the requirement of phenylalanine varies according to the patient and life period depends on the presence of anabolism or catabolism. In the enzyme deficiency of patients in the catabolic period, tyrosine, an essential amino acid, must be given (Van Spronsen et al., 2017).

Table 1-Average amounts of phenylalanine in per 100 grams of some foods

Food	Phenylalanine
Pasta, low protein	0 mg
Adult human milk	34 mg
UHT cow milk (100ml)	129 mg
White bread	429 mg
Bonito (fish)	694 mg
Veal	711 mg
Chicken meat (thigh)	733 mg
Egg yolk	874 mg
Red lentils (dry)	1507 mg
Peas (dry)	1104 mg
Sweet corn	118 mg

(<http://www.turkomp.gov.tr/>, retrieved 23.01.2020)

Other Nutrients

Since studies have low n-3 and n-6 fatty acids in patients with PKU, these patients should be given a diet containing all fatty acids (Mahan & Raymond, 2016).

It is very important that the diet is rich in carnitine due to the low carnitine level in patients with PKU. The reasons for low carnitine in these patients are; dietary intake of carnitine, disruption of carnitine synthesis and metabolism in the body, impaired absorption from the small intestine (Deon et al., 2015).

In the dietary treatments of children with PKU; since natural protein sources containing trace elements and minerals are limited, deficiency in selenium, zinc, copper, iron and calcium is encountered.

In patients with PKU, serum alkaline phosphatase level, erythrocyte, leukocyte, zinc levels and the amount of zinc contained in the diet should be taken into account in determining zinc deficiency (Crujeiras et al., 2015; Mahan & Raymond, 2016). LPD / LPF (low protein drinks / low protein foods) foods containing calcium and iron should be used in bone and tooth development in children with PKU (Demirdas et al., 2015).

Since foods originating from animal origin and / or high protein are limited in PKU, vit B2, vit B3, vit B6, vit B12 and folic acid deficiencies and related findings can be seen in these patients (Kose & Arslan, 2019).

Special foods in PKU

In nutritional therapy of phenylketonuria, multi-purpose medicinal products limited to protein and phenylalanine, rich in energy are used. These products differ in quantity and variety according to the daily needs of each patient. Following the start of the complementary feeding, children should be accustomed to them and the future rejection and reluctance about the product should be prevented (Pena et al., 2015).

Artificial Sweeteners

Aspartame should not be preferred in the use of artificial sweeteners. As a result of aspartame metabolism, it turns into 34% aspartic acid, 56% phenylalanine and 10% methanol. In case of a low energy diet in phenylketonuria, products that are flavored with aspartame should not be included (O'Sullivan et al., 2016).

The consumption of breastfeeding in PKU

Breast milk is the main food source of infancy. Few situations due to mother and baby require the baby to be deprived of breast milk. Breast milk contains a small amount of phenylalanine and tyrosine. (Sur Ünal & Çifçili, 2019). As it can be seen in Table 1, although breast milk contains less phenylalanine than other foods, it can be helpful for healthcare professionals to provide milking or bottle by depending on the fact that the amount of phenylalanine taken by breastfeeding cannot be measured during the day (Köksal & Gökmen Özel, 2019). Recently, breastfeeding has begun to replace the standard formula in patients with PKU. Recent studies have shown that babies who are breastfed with PKU do not differ significantly between. Contrarily, in another study, it was shown that serum phenylalanine levels are better in babies who are breastfed with phenylketonuria compared to those who are bottle-fed, and that breastfeeding positively affects weight gain in the first year of life in patients with PKU (Kose et al., 2018).

Other Therapies

While LNAA is transported through the blood-brain barrier, they share a common receptor. In the presence of higher levels of amino acid in the plasma and higher affinity for the carrier, the rate of transport of other amino acids is reduced. The high level of plasma phenylalanine reduces the uptake of LNAA by the brain and may increase the uptake of these amino acids in peripheral tissues. Increasing the LNAA concentration reduces the accumulation of phenylalanine in the brain by reducing the number of areas available for the transportation of phenylalanine. Although LNAA reduces plasma phenylalanine levels by inhibiting the transfer of phenylalanine in the intestinal blood barrier, the use of LNAA in the standard dietary restriction is unlikely to reduce plasma phenylalanine levels to the optimal target range. According to conclusion of study the P: T (Phe: Tyr) ratio is significantly dependent on dietary LNAA and plasma LNAA concentrations. In addition, in patients with PKU, the P: T ratio and valine may be effective clinical indicators in determining the metabolic balance of LNAA and the quality of diet LNAA (Hoeksma et al., 2009; Douglas et al., 2019).

Additionally, the other therapy in cofactor defects is Sapropterin (BH4) that is a cofactor and since BH4 is a necessary cofactor to demonstrate the activity of the hydroxylase enzyme, it has been tried to be considered as an alternative treatment to phenylalanine restriction in the diet. Treatment with sapropterin (a synthetic form of BH4) is used as an adjunctive therapy in people with some mild symptoms, but longer studies are needed on this subject (Lindegren et al., 2013).

It has an effect on increasing residual phenylalanine hydroxylase (PAH) activity and balancing phenylalanine levels in individuals with sensitive genotypes. There was a decrease in phenylalanine levels in children and adults receiving sapropterin, and those with symptoms of attention deficit hyperactivity disorder were found to improve. In other study with BH4 concluded "Even though the 48-hour BH4 loading test has proven its efficacy in the past, a full week may be necessary to detect all responders. A threshold of $\geq 20\%$ decrease within 48 h is not useful for predicting true BH4 responsiveness" (van Wegberg, et al., 2019).

2. Conclusion

PKU disease and requiring mostly life-long treatment significantly affect the quality of life of patients and their parents. In addition to the effect of the treatment, the social, psychological and economic burden of the patient is also very important. Despite the emergence of new treatments, the diet approach is the basis of PKU treatment. However, there are various difficulties faced by patients, healthcare professionals and the family in the implementation of nutritional therapy for these patients. Minimizing the negativities observed in nutrition therapy makes the treatment more effective. Problems experienced by the patient and his family (socioeconomic conditions, social environment and taste of the foods used, etc.) make it difficult to apply diet therapy. The most important difficulty in applying the nutritional treatment of the patient is that the tastes of the special products that should be given in this disease are bad and that the patient is reluctant to eat and feed. The patient, the dietician and the family have a great role in the achievement of the treatment. For this reason, with effective training methods to be given to the patient and his family, problems in the application of nutritional therapy and complications that may arise in case of non-application can be prevented to a great extent. The role and importance of the healthcare team, especially dietitians, in nutritional therapy is very important. The addition of phenylalanine nutrients to the healthy nutrition treatment planned by dietitians in appropriate sizes and development of different and alternative nutrition models to provide diversity will facilitate the perspective, compliance and hence the success of the patients with PKU and their families. Especially in infancy, the

completion of neuromotor development, and the cognitive development required for the next period, the improvement of intelligence quotient (IQ) level and the acquisition of learning skills, have an important role in the early onset and continuity of this treatment. Based on all information and studies, the PKU diet and new and existing treatments are an important factor that positively affects the psychological, social and neurocognitive life of PKU patients.

References

- Ahring, K., Bélanger-Quintana, A., Dokoupil, K., Gokmen Ozel, H., Lammardo, A. M., MacDonald, A., Motzfeldt, K., Nowacka, M., Robert, M., van Rijn, M., (2009). Dietary Management Practices in Phenylketonuria Across European Centres. *Clinical Nutrition*, 28(3), 231–236.
- Azaripour, A., Abbasi, H., 2020. Effect of Type and Amount of Modified Corn Starches on Qualitative Properties of Low-Protein Biscuits for Phenylketonuria. *Food Sci Nutr*.8:281–290.
- Bay, S. (2019). Bölgemizdeki Fenilketonüri Hastalığının ve Tedavisinin Ailelerin ve Fenilketonüri Çocukların Yaşam Kaliteleri Üzerine Olan Etkisinin Araştırılması (Uzmanlık Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Blau, N., van Spronsen, F.J., Levy, H.L., 2010. Phenylketonuria. *Lancet*, 376:1417–27.
- Concolino, D., Mascaro, I., Moricca, M.T., Bonapace, G., Matalon, K., Trapasso, J., Radhakrishnan, G., Ferrara, C., Matalon, R., Strisciuglio, P., 2017. Long-Term Treatment of Phenylketonuria with a New Medical Food Containing Large Neutral Amino Acids. *Eur J Clin Nutr*, 71, 51–55.
- Demirdas, S., Coakley, K.E., Bisschop, P.H., Hollak, C.E.M., Bosch, A.M., Singh, R.H., 2015. Bone Health in Phenylketonuria: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 10:17.
- Deon, M., Landgraf, S.S., Lamberty, J.F., Moura, D.J., Saffi, J., Wajner, M., Vargas, C.R., 2015. Protective Effect of L-Carnitine On Phenylalanine-Induced DNA Damage. *Metab Brain Dis*, 30, 925–933.
- Douglas T.D., Nucci, A.M., Berry, A.M., Henes, S.T., Singh, R.H., 2019. Large Neutral Amino Acid Status in Association with P:T Ratio and Diet in Adult and Pediatric Patients With Phenylketonuria. *JIMD Reports*.;50:50–59.
- Durrer, KE, Allen, MS, von Herbing I.H., (2017) Genetically Engineered Probiotic for The Treatment of Phenylketonuria (PKU); Assessment of a Novel Treatment in Vitro and in The Pahenu2 Mouse Model of PKU. *PLoS ONE* 12(5): e0176286.
- Enacán, R.E., Miñana, M.N., Fernandez, L., Valle, M.G., Salerno, M., Fraga, C.I., Santos-Simarro, F., Prieto, L., Lapunzina, P., Specola, N., Chiesa, A.N., 2019. Phenylalanine Hydroxylase (PAH) Genotyping in PKU Argentine Patients. *Journal of Inborn Errors of Metabolism & Screening*, Volume 7: e20190012.
- Evans, S., Daly, A., Chahal, S., MacDonald, J., & MacDonald, A. (2015). Food Acceptance and Neophobia in Children with Phenylketonuria: A Prospective Controlled Study. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 29(4), 427–433.
- Evans, S., Daly, A., Wildgoose, J., Cochrane, B., Chahal, S., Ashmore, C., Loveridge, N., MacDonald, A., (2019). Growth, Protein and Energy Intake in Children with PKU Taking a Weaning Protein Substitute in the First Two Years of Life: A Case-Control Study. *Nutrients*, 11, 552.
- Herenger, Y., Maes, E., François, L., Pasco, J., Bouchereau, J., Pichard, S., de Baulny, H.O., Schiff, M., 2019. Determining factors of the Cognitive Outcome in Early Treated PKU: A Study of 39 Pediatric Patients. *Molecular Genetics and Metabolism Reports* 20:1004983.
- Hoeksma, M., Reijngoud, D.J., Pruijm, J., de Valk, H.W., Paans, A.M., vanSpronsen F.J., 2009. Phenylketonuria: High Plasma Phenylalanine Decreases Cerebral Protein Synthesis. *Mol Genet Metab*, 96:177–82.
- <http://www.turkomp.gov.tr/>; retrieved 23.01.2020
- Kose, E., Aksoy, B., Kuyum, P., Tuncer, N., Arslan, N., Ozturk, Y. (2018). The Effects of Breastfeeding in Infants with Phenylketonuria. *Journal of Pediatric Nursing*, 38, 27–32.
- Kose, E., Arslan, N., 2019. Vitamin/mineral and Micronutrient Status in Patients with Classical Phenylketonuria. *Clinical Nutrition*, Volume 38, Issue 1.
- Köksal, G., Gökmen Özel, H., 2019. Çocuk Hastalıklarında Beslenme Tedavisi. Hatiboğlu Yayınevi.
- Levy, H., Lamppu, D., Anastosoae, V., Baker, J.L., DiBona, K., Hawthorne, S., Lindenberger, J., Kinch, D., Seymour, A., McIllduff, M., Watling, S., Vockley, J., 2019. 5-Year Retrospective Analysis of Patients with Phenylketonuria (PKU) and Hyperphenylalaninemia Treated at Two Specialized Clinics. *Molecular Genetics and Metabolism*, <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2019.12.007>
- Lichter-Konecki, U., Vockley, J., 2019. Phenylketonuria: Current Treatments and Future Developments. *Drugs* 79, 495–500.
- Lindegren M.L., Krishnaswami S., Reimschisel T., Fomesbeck C., Sathe N.A., McPheeters M.L. (2012) A Systematic Review of BH4 (Sapropterin) for the Adjuvant Treatment of Phenylketonuria. *JIMD Reports- Case and Research Reports*, 109-119.
- Liu, N., Huang, Q., Li, Q. Zhao, D., Li, X., Cui, L., Bai, Y., Feng, Y., Kong, X., 2017. Spectrum of PAH Gene Variants Among a Population of Han Chinese Patients with Phenylketonuria from Northern China. *BMC Med Genet*, 18, 108.
- Mahan, L.K., Raymond, J.L., 2016. Krause's Food & the Nutrition Care Process [14 ed.].
- McPheeters, M.L., Lindegren, M.L., Sathe, N., Reimschisel, T., 2012. Adjuvant Treatment for Phenylketonuria: Future Research Needs: Identification of Future Research Needs from Comparative Effectiveness Review No. 56 [Internet], Rockville, Md, Agency for Healthcare Research and Quality (US).
- Mitchell, J.J., Trakadis, Y.J., Scriver, C.R., 2011. Phenylalanine Hydroxylase Deficiency. *Genet Med*;13(8):697-707.
- Ney, D.M., Gleason, S.T., van Calcar, S.C., MacLeod, E.L., Nelson, K.L., Etzel, M.R., Rice, G.M., Wolff, J.A., 2009. Nutritional Management of PKU with Glycomacropeptide from Cheese Whey. *J Inherit Metab Dis*, 32:32-39.
- Ney, D.M., Blank, R.D., Hansen, K.E., 2014. Advances in the Nutritional and Pharmacological Management of Phenylketonuria. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 17(1): 61–68.

- O'Sullivan, A.J., Pigat, S., O'Mahony, C., Gibney, M. J., McKeivitt, A. I., 2016. Probabilistic Modelling to Assess Exposure to Three Artificial Sweeteners of Young Irish Patients Aged 1–3 Years with PKU and CMPA. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 33(11), 1660–1671.
- Peate, Ian. (2020). Blood Spot Screening Programme for Newborns. *British Journal of Healthcare Assistants* Vol. 14, No.1.
- Pena, M.J., Almeida, M.F., van Dam, E. Ahring, K., Bélanger-Quintana, A., Dokoupil, K., Gokmen-Ozel, H., Lammardo, A.M., MacDonald, A., Robert, M., Rocha, J.C., 2015. Special Low Protein Foods for Phenylketonuria: Availability in Europe and an Examination of Their Nutritional Profile. *Orphanet J Rare Dis* 10, 162.
- Rocha, J.C., MacDonald, A., 2016. Dietary Intervention in the Management of Phenylketonuria: Current Perspectives. *Pediatric Health Med Ther.*; 7: 155–163.
- Strisciuglio, P., Concolino, D., 2014. New Strategies for the Treatment of Phenylketonuria (PKU). *Metabolites*, 4, 1007-1017.
- Sur Ünal, Ü., Çifçili, S.S., 2019. Emzirilmede Bebek Açısından Kontrendikasyon Oluşturan Durumlar. *Telatar B*, editör. Aile Hekimliğinde Anne Sütünün Anne ve Bebek Sağlığı Açısından Önemi. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; p.93-6.
- Van Spronsen, F. J., van Wegberg, A.M.J., Ahring, K., Bélanger-Quintana, A., Blau, N., Bosch, A. M., Burlina, A., Campistol, J., Feillet, F., Gizewska, M., Huijbregts, S.C., Kearney, S., Leuzzi, V., Maillot, F., Muntau, A.C., Trefz, F.K., van rijn, M., Walter, J.H., MacDonald, A. 2017. Key European Guidelines for the Diagnosis and Management of Patients with Phenylketonuria. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 5(9), 743–756.
- Van Wegberg, A.M.J., Evers, R.A.F., van Dam, E., de Vries, M.C., Janssen, M.C.H., Heiner-Fokkema, M.R., van Spronsen, F.J., 2019. Does the 48-hour BH4 loading test miss responsive PKU patients? *Molecular Genetics and Metabolism*, <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2019.12.011>.
- Van Vliet, D., Annemiek, M.J., van Wegberg, Ahring, K., Bik-Multanowski, M., Casas, K., Didycz, B., Djordjevic, M., Hertecant, J.L., Leuzzi, V., Mathisen, P., Nardecchia, F., Powell, K.K., Rutsch, F., Stojiljkovic, M., Trefz, F.K., Usurelu, N., Wilson, C., van Karnebeek, C.D., Hanley, W.B., van Spronsen, F.J., 2019. Untreated PKU Patients without Intellectual Disability: What Do They Teach Us? *Nutrients*, 11, 2572.



EU's Open Science: an Impetus for Turkey's Innovation Potential

Rosen Dimov¹, Ecem Özdemir^{2**}, Kemal Sidar³, İbrahim Gedikoğlu³

¹ Etkin Proje Yönetim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5538-5599)

² Etkin Proje Yönetim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4085-9760)

³ Etkin Proje Yönetim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1938-5855)

(İlk Geliş Tarihi 24 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 24 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.664689)

ATIF/REFERENCED Dimov, R., Özdemir, E., Sidar, K. & Gedikoğlu, İ. (2020). EU's Open Science: an Impetus for Turkey's Innovation Potential. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 762-766.

Abstract

The concept of open science includes the development of studies by researchers around the world and serves open access to the scientific world. These studies contribute greatly to researchers, institutions, and thus to the progress of science. The contribution of the European Union to open science gives great support to the R & D and innovation projects offered worldwide, and the project calls for the European Union Project Program by the European Commission are among the major actors in this field. Turkey's EU efforts to integrate research and innovation potential is increasing in the last 5 years. These studies indicate that Turkey's accession to the European Union Project is ongoing with the announcement of the program, including the academies and scientific perspective through national spots. European Union Project programs; HORIZON2020, ERA-NET, EUREKA show a great contribution rate of significant importance worldwide. This article confronts us relatively unrecognized value of the research findings with Turkey 2019 data is taken into account statistics of Turkey's contribution by 27.5% to research programs and joint international number of scientific publications by 5.2%. Only 33.5% of these academic publications are cited in foreign publications. Moreover, the fact that 24.1% of doctoral students and less than 17% of private sector are foreigners provide insufficiency of the innovative contribution of these statistics to the open science of the European Union. Following these data, the success rate from the EU project programs to H2020 shows a limited number of national applications made with the statistics obtained; By the end of 2019, 781 institutions across Turkey, with a total number of 588 projects deemed worthy to receive a grant in the amount of EUR 167.6 million has already received grants. This ratio is mostly composed of private sector and universities. This statistical ratio indicates that Turkey's EU contribution to the study of innovation Artilleria greatly needed. Increasing the employment of experts and foreign languages who will be offered as a solution and close monitoring of eu project programs can be listed among the target solutions.

Keywords: European Union, open science, innovation, research, project program

AB'nin Açık Bilimi: Türkiye'nin İnovasyon Potansiyeli İçin Yükselen Bir Güç

Öz

Açık bilim kavramı dünya çapındaki araştırmacıların ortaya koyduğu çalışmaların geliştirilmesine ve erişimi açık halde bilim dünyasına sunulmasıdır. Bu çalışmalar, araştırmacılara, kurumlara ve dolayısıyla bilimin ilerlemesine büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Avrupa Birliği'nin açık bilime olan katkısı dünya çapında sunulan arge ve inovasyon projelerine büyük destek vermekte olup Avrupa Birliği Komisyonu tarafından oluşturulan Avrupa Birliği Proje Program çağrıları bu alanda rol alan en büyük aktörlerdendir. Türkiye'nin AB araştırma ve inovasyon potansiyeline entegre olma çalışmaları son yıllarda büyük artış göstermektedir. Bu çalışmalar Türkiye'nin de dahil olduğu Avrupa Birliği Proje Programlarına katılımlarının ulusal noktalar sayesinde duyurulması ve akademinin bilimsel bakış açısı ile süregelmektedir. Avrupa Birliği Proje programlarından; UFUK2020, ERA-NET, EUREKA adındaki proje programları, Avrupa'nın inovasyon programları olarak geçmekte ve katılımı dünya çapında büyük önem taşımaktadır. Bu derlemede yer alan ve 2019 verilerinin göz önünde bulundurulduğu istatistikler Türkiye'nin araştırma programlarına % 27,5 oranında katılımını ve %5,2 oranında ortak uluslararası bilimsel yayın sayısı ile nispeten Türkiye'den araştırma bulgularının tanınmayan değerini karşımıza çıkarmaktadır. Bu akademik yayınlardan sadece% 33,5'i yabancı yayınlarda referans gösterilmektedir. Ayrıca doktora öğrencilerinin % 24,1'nin, özel sektörün ise % 17'sinden azının yabancı olması bu istatistiklerin Avrupa Birliği'nin açık bilimine olan inovatif katkısının yetersizliğini sunmaktadır. Bu verilere takiben AB proje programlarından UFUK2020'ye başarı oranı edinilen istatistikler ile sınırlı sayıda yapılan ulusal başvuruyu göstermektedir; 2019 yılının sonuna kadar Türkiye çapında 781 kurum, 588 adet hibe almaya değer görülen proje sayısı ile toplam 167,6 Milyon Avro miktarında hibe almış bulunmaktadır. Bu oranı çoğunlukla özel sektör ve üniversiteler

* Corresponding Author: Etkin Proje Yönetim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4085-9760, ecemdemiroz06@gmail.com

oluşturmaktadır. Bu istatistiki oranlar Türkiye'nin AB inovasyon araştırmalarına olan katkısının büyük ölçüde artırılması gerektiği göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Avrupa birliği, açık bilim, inovasyon, araştırma, proje programı

1. Introduction

A common value of the cross-sectorial, inter-disciplinary and international co-operation among diverse actors in venture building (universities, research organisations, for-profit entities), Open Science is further defined by synergies among those actors: the heterogeneity of these mutual exchanges (ad-hoc interactions concurrent with intended trajectories of sharing) is a salient characteristic. The plurality is signified particularly in the European Union (EU), a case studied herein, where universities are restrained in contributing to Open Science. While the economic dimension of innovation and research is decided at the Union level, academic centers in the EU and partner countries are normatively kept at the (inter-) governmental axis of cooperation in research and science [1]. An early adopter of the EU's Open Science policy, Turkey faces a unique momentum of beneficial immersion and contribution in the diffused exchange of scientific findings that would ultimately increase its global competitiveness and foster innovation potential's advancement across multiple areas. In this complex settings of power distribution enforced by sub- and supra-national pull and push factors of convergence to the so-called Innovation Union, private and public research organisations have all facilities to cooperate with each other, across the 'formal' borders of national bureaucracies and thus to engage in transboundary venture building [2]. Crowd-sourced research and innovation has its roots in Europe in inter-university cooperation and acceptance of common standards (so called Bologna Process named after the oldest university in Europe, in the city of Bologna, Italy). The mutual exchange of data and the borrowing of products of each scientific excellence is due to the freedom given to universities to capitalise on their intellectual property (co-)created within the process of venture-building, especially by interacting with other innovation stakeholders such as private entities (enterprises) and even start-ups.

The European Commission has been playing a critical role in open access to academically knowledge and research data's. As a policymaker, it has issued a recommendation on access to scientific information to EU member states, advising them to develop open access policies and strategies that are compatible with the EC's strategy. In order to intensify the innovation impact of this joint work, the EU has set a framework entitled 'Open Science 2.0' in which innovation stakeholders are encouraged with funding and other 'carrots' to participate in the European Open Science Cloud for Research [3]. This related Cloud, being the latest development (in effect since 2016), enables universities and R&D companies to combine their e-infrastructures in one single digital platform where researchers pool together vast amounts of data. As a continuation of the EU open data portal, the Cloud is deemed to build on the results of over thousands of projects, all of them being international and based on cross-sectorial cooperation initiated. Contributing to the Cloud is profitable for universities as well as enterprises: participating in venture-building beyond boundaries (of states, disciplines, socio-economic sectors) is incentivised with EU grants of a total share of 80 billion euro within the Horizon 2020 programme (2014-2020) and over 100 billion euro in the upcoming Horizon Europe programme (2021-2027). A uniform rule for a project to be eligible for funding worth several millions of euro would require the universities and companies to cooperate with partners with complementary capacities, ensure cross-proliferation of ideas and potentials within the scope of project participants and across each of the domains in which they are operating [4]. Horizon 2020 is a Framework Project Programme for Research and Development of the European Union and has a budget of around 80 billion Euro. TÜBİTAK from Turkey is taking actions in order to enable Turkey to benefit from Horizon 2020 and researchers are supported for the writing process of the H2020 proposals. With the support of Horizon 2020, Turkey has the potential of disrupting European and global markets with science-based innovation that is open for others to adopt or co-create and therefore, unleashing the country's full potential to contribute to the Open Science 2.0 model. Interdisciplinary and cross-sectorial partnerships centred around the research-industry axis of the H2020 consortium places Turkey at the core of intensifying, deepening and widening the integration process in the domain of open science. While within the Framework Programme 7 (Horizon 2020) Turkish R&D partnerships succeeded in just as low as 20% of all submitted project proposals, there is huge potential to domesticate EU's open science and internationalise Turkey's innovation [5]. In addition to Horizon 2020, Eureka and ERA NET project programs that align Turkey's national R&D priorities with the EU's Open Science agenda. While their administrative procedures are more detailed and longer, the success rates for Turkish university-industry consortia are far higher than under Horizon 2020 project program. Project partnering in Eureka and ERA NET projects indicate a big innovation in a wide range of fields and sectors, Turkish applicants would then have increased their capacity to join and eventually lead Horizon 2020 projects whose excellence and impact has to be at the European and global level.

Turkey has been engaged in information exchange on open access, relating to the H2020 framework program and policy alignment through national and international networks – for example, the Knowledge Exchange – as well as through participation in EU-funded open access projects. The involvement of H2020 participating countries in European networks means a co-work as where information is shared about the H2020 open access policy, where best practices and shared problems are discussed. This information consists of advocacy materials that are disseminated, policy development and alignment. The way of promoting the open access policy alignment in H2020 project program, participating countries are in a more systematic way that the development of a network distinct national stakeholders in promoting policy development and alignment.

2. Material and Method

The approach taken in this article is based on the European Commission’s platform on Small Enterprises Industry Innovation Monitoring Scoreboard. The European innovation scoreboard provides a comparative analysis of innovation performance of European countries, associated European countries and regional neighbours. This EU Platform has also the ability of assesses the relative strengths and weaknesses of countries’ innovation systems and helps countries to identify areas that need to be addressed. The European innovation scoreboard of the year 2019, was released on 17 June 2019 and the latest edition was this two-yearly report.

3. Results

The 2019s’ version of the scoreboard indicates that the EU’s innovation performance continues to increase. According to year of 2018, EUs’ innovation performance improved in 24 EU countries and the growth rate of lower-performing countries compared to higher-performing countries has accelerated. Since 2011, the EU’s average innovation performance has increased by 8.8 percentage points. The 2019 version shows the methodology of the 2018 edition. However, results should not be compared across editions due to data. Time series using the most recent data allow performance to be tracked over time.

Despite all of these incentives that encourage Turkish universities/academic centres and R&D performing companies to engage in Open Science and cooperation with European peer organisations, the European Innovation Scoreboard still places the country in the group of moderate innovators, behind Serbia that is a minor economy as compared to Turkey.

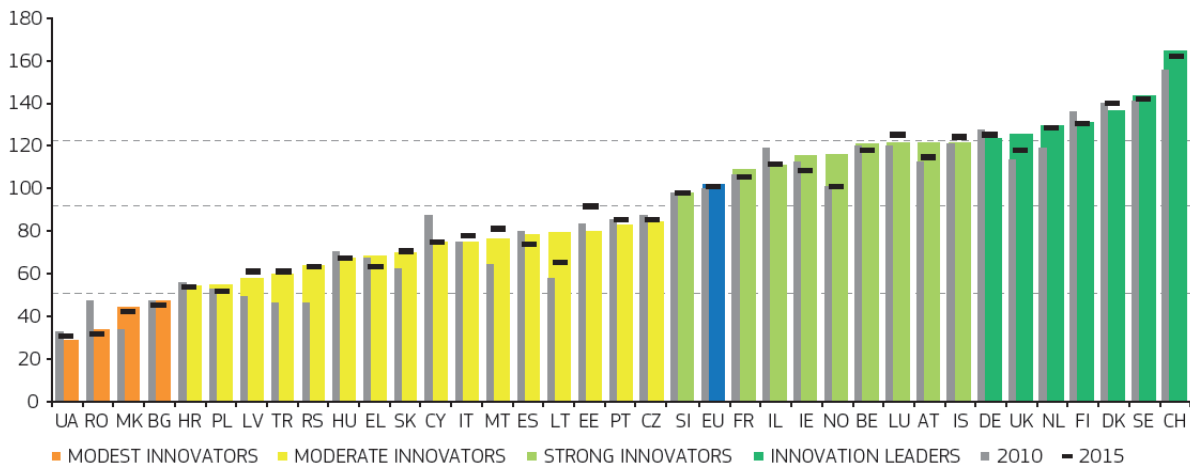


Figure 1: Ranking of innovators (European Innovation Scoreboard 2019)

Findings of 2019s’ edition of the European Innovation Scoreboard place Turkey in the group of countries with unattractive research systems (27,5% on a scale of 100%), extremely limited volume of joint international scientific publications (5,2%) and relatively unrecognized value of the research findings (only 33,5% get referenced in foreign publications). The opportunity for penetration of new ideas in high education are limited (only 24,1% of doctorate students are foreign) and the private sector faces with similar challenges (less than 17% of R&D staff is foreign staff). Moreover, the success rate of Turkey from the EU project programs to H2020 shows a limited number of international applications made with the statistics obtained; By the end of 2019, 781 institutions across Turkey, with a total number of 588 projects deemed worthy to receive a grant in the amount of EUR 167.6 million has already received grants. This ratio is mostly composed of private sector and universities. [Figure 2.]

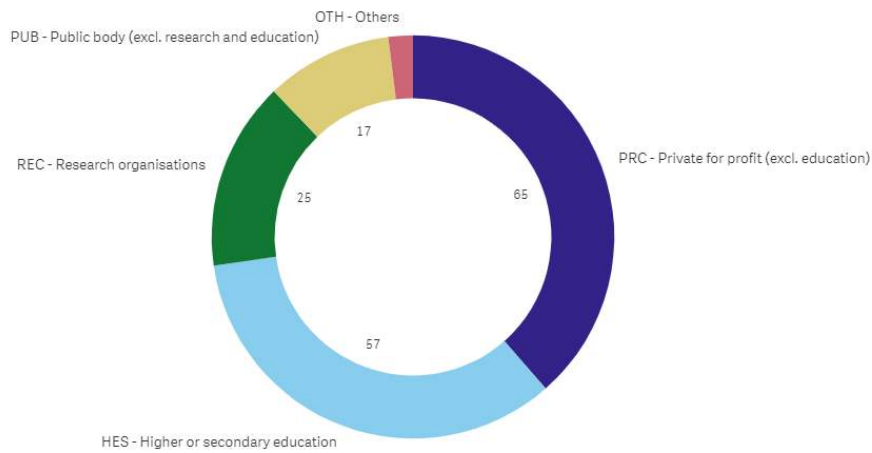


Figure 2. EU Contribution by Type of Organisation (Mil Euro)

The institutional Open Access policies mentioned as a support for authors seeking other publishing avenues. In Turkey there are no actual funders of Open Access policies. Overall, a number of Turkish stakeholders are engaged in promoting the introduction of Open Access legislation as well as in supporting the increase of institutional Open Access policies and encouraging the existing ones to be strengthened. Figure 3 summarizes the facts of the Turkish Institutional Open Access policies (72 in total) that are also related with the H2020 Project Programs' Open Access.

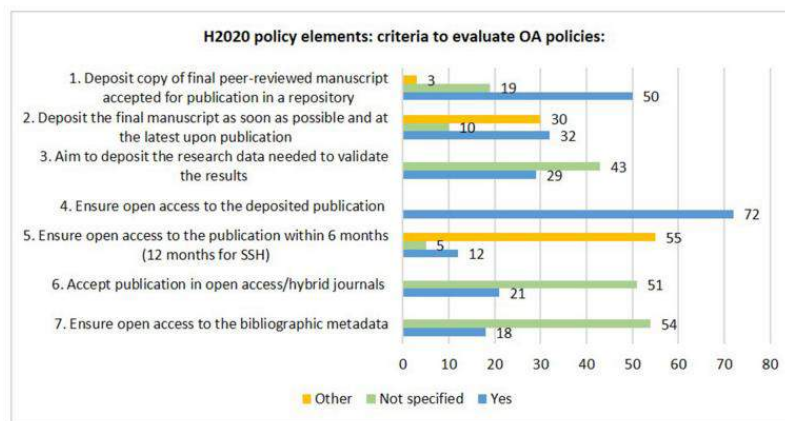


Figure 3. The elements of the Turkish institutional OA policies

Turkey's performance has increased in 2018 and almost entirely explained by improved performance on the indicators using CIS data. Turkey performs relatively effective on Non-R&D innovation expenditures, SMEs innovating in-house, and SMEs with marketing or organisational innovations. Small and medium-sized enterprises (SMEs) are the backbone of Europe's economy and show 99% ratio of all businesses in the EU. In the past five years, they have created around 85% of new job areas and provided contribution to private sector employments in the EU. The European Commission considers SMEs and entrepreneurship as key to ensuring economic growth, innovation, job creation, and social integration in the EU.

Academically assets are the weakest innovation dimensions in Turkey. Turkey's lowest indicator scores are industrial applications and scientific co-publications (figure 4 in below). Average annual GDP growth, enterprise births, and total entrepreneurial activity are well above the EU average. The employment shares in high and medium high-tech manufacturing, the employment share in knowledge-intensive services, FDI net inflows, and top R&D spending enterprises per 10 million populations are well below the EU average.

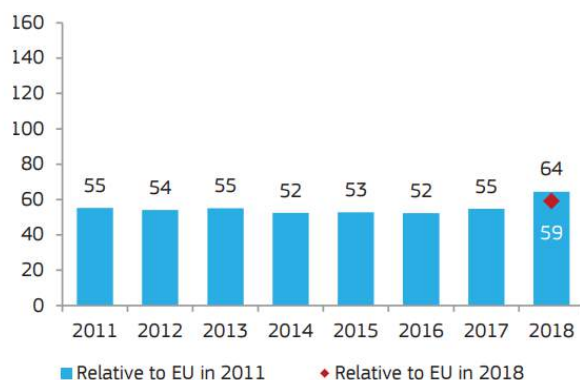


Figure 4. Turkey's contribution on European Innovation Scoreboard 2019

4. Conclusions and Recommendations

This article shows a relatively critical value of the research findings on Turkey in the year of 2019. Data is taken into account current ratios of Turkey's contribution by 27.5% to research programs and joint international number of scientific publications by 5.2%. It is also mentioned that only 33.5% of these academic publications are cited in foreign academic publications. Moreover, the fact that 24.1% of doctoral students and less than 17% of private sector are foreigners provide insufficiency of the innovative contribution of these statistics to the open science of the European Union. Following these data's, the success rate from the EU project programs to H2020 shows a limited number of international applications made with these statistics obtained. By the end of 2019, 781 institutions from Turkey, with a total number of 588 projects deemed worthy to receive a grant in the amount of EUR 167.6 million and has already received grants. This ratio is mostly composed of private sector and universities. This statistical ratio indicates that Turkey's EU contribution to the study of innovation is importantly needed. Increasing the employment of experts who speaks foreign languages will be offered as a solution and close monitoring of EU project programs can be listed among the target solutions.

Turkey performs on Non-R&D innovation expenditures, SMEs innovating in-house, and SMEs with marketing or organisational innovations but the academically assets, are Turkey's weakest innovation dimensions. Turkey's lowest indicator scores are on design and trademark technologies and international scientific publications (shown in the figure 4). Average annual GDP growth, enterprise births and total entrepreneurial activity are also above the EU average. The employment shares in high and medium high-tech manufacturing, the employment share in knowledge-intensive services, FDI net inflows, and top R&D spending enterprises per 10 million populations are well below the EU average.

However, there are still some critical and important challenges for Turkey to cope with. These challenges are relatively; developing and implementing a Smart Specialisation Strategy, knowledge transfers from academia to industry, supporting scientific excellence, international scientific co-publications in high impact factor journals, constant monitoring of the EU projects and impact assessments of EU project programmes that will allow to enhance economic growth and international cooperation on industrial areas in Turkey [6].

References

- [1] Molloy, J.C. (2011) The Open Knowledge Foundation: Open Data Means Better Science. *PLoS Biol* 9(12): e1001195. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001195>.
- [2] Nosek, B. A., Alter G., Banks, G.C. (2015) Promoting an open research culture. *Science*, Vol. 348, Issue 6242, pp. 1422-1425, DOI: 10.1126/science.aab2374.
- [3] Willinsky, P. (2019) The unacknowledged convergence of open source, open access, and open science. *A Great Cities Initiative of the University of Illinois at Chicago University Library*, First Monday, 1995-2019. ISSN 1396-0466.
- [4] Prato, G.D., Nepelski, D., Piroli, G. (2019) Innovation Radar: Identifying Innovations and Innovators with High Potential in ICT FP7, CIP & H2020 Projects, *Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies*, Report EUR 27314 EN.
- [5] Borro, M. (2016) H2020 and Beyond: Skip Discrepancy between Theory and Practice of Personalized Medicine. *A Position Paper by the Italian Society of Personalized Medicine, Current Pharmaceutical Biotechnology*, Volume 17, Number 10, 2016, pp. 926-929(4).
- [6] Mafalda P., et al (2015) Aligning European OA policies with Horizon 2020 -Aligning European OA policies with the Horizon 2020 OA policy, *Insights* – 28(3), November 2015.



Oxygen Transfer Ability of Co-Pb Metal Oxides during the Chemical Looping Oxidation of Tuncbilek Lignite

Arzu Kanca^{1*}, Deniz Üner¹

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9110-2691; 0000-0001-8585-3691)

(First received 1 January 2020 and in final form 14 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.706923)

ATIF/REFERENCE: Kanca, A. & Üner, D. (2020). Oxygen Transfer Ability of Co-Pb Metal Oxides during the Chemical Looping Oxidation of Tuncbilek Lignite. *European Journal of Science and Technology*, (18), 767-778.

Abstract

The study aims to determine the oxygen transfer ability of cobalt lead (Co-Pb) mixed oxides during the thermal decomposition of Tuncbilek lignite under inert atmosphere. Thermodynamic calculations of reduction reactions of Co-Pb mixed oxides were performed to show the favorable reduction temperatures for the different reductive gases. Co and Pb mixed metal oxides were prepared by wet impregnation method and they characterized by X-ray diffractometer and Raman spectroscopy. Oxygen transfer performances of these oxides were evaluated by thermal gravimetric analysis (TGA) in terms of oxidation rates of lignite sample under N₂ flows in the range of temperatures between 40 to 600°C. The results of thermal gravimetric analysis (TGA) indicated that the optimum coal to Co-Pb metal oxides ratio based on oxidation efficiency was 0.11.

Keywords: Chemical looping oxidation, Co-Pb metal oxides, Tuncbilek lignite..

Tuncbilek Linyitlerinin Kimyasal Çevrim Oksidasyonu Sırasında Co-Pb Metal Oksitlerin Oksijen Transfer Yetenekleri

Öz

Bu çalışma, kobalt-kurşun (Co-Pb) karışık metal oksitlerin Tuncbilek linyitlerinin inert ortamda termal bozunması esnasında göstermiş oldukları oksijen transfer yeteneğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu metal oksitlerin indirgenme reaksiyonu termodinamik hesaplamaları farklı indirgeyici gazlar için uygun sıcaklıkları belirlemek için yapılmıştır. Co-Pb karışık metal oksitler ıslak emdirme yöntemiyle hazırlanmış ve X-ray kırınımı ve Raman spektrometresi ile karakterize edilmiştir. Bu metal oksitlerin oksijen transfer performansları Termal Gravimetrik Analiz (TGA) metoduyla 40-600°C sıcaklık aralığında azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. TGA sonuçları optimum linyit/ Co-Pb mixed oxide oranının 0.11 olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal çevrim oksidasyonu, Co-Pb metal oksitler, Tuncbilek linyiti.

* Corresponding Author (Present Adress): Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9110-2691, akanca@atauni.edu.tr

1. Introduction

Chemical looping combustion (CLC) is an alternative technology to solve the economic challenges of CO₂ sequestration. CO₂ capture is the most expensive part of the thermal power plants in terms of both capital and operating costs. For example, in coal based IGCC systems, CO₂ capturing increases the cost of electricity by 25% (Fan, Li, & Ramkumar, 2008; Kim et al., 2013). One of the common carbon capture techniques in post-combustion plants is utilization of monoethanolamine (MEA) scrubber. In addition to capital and operating cost, this carbon capture technique decreases the plant efficiency by 10%. In IGCC plants, pre-combustion carbon capture decreases plant efficiency less than MEA, while capital costs are much higher than MEA (Kim et al., 2013).

Unlike these air-combustion based carbon capture technologies, N₂-free oxy-combustion technologies make ~100% carbon capture possible. Air separation unit (ASU), oxygen transport membrane (OTM) and oxygen carrier metals in a chemical looping system are the main alternative N₂-free oxygen source systems. Among these resources, ASU increases the cost of the electricity by 45%, while OTM needs high parasitic energy consuming some of the produced energy. Chemical looping system, on the other hand, operates more efficiently and it further allows in-situ CO₂ capture without an extra separation unit (Kim et al., 2013). The chemical looping technology has recently gained importance for especially coal based fuel combustion processes.

Different alternative oxygen carrier materials have so far been reported in the literature. Metal oxides commonly used as oxygen carriers are iron, nickel, copper, cobalt, and manganese oxides for the chemical looping combustion technology (Adánez & Abad, 2019; Cao & Pan, 2006; Chen et al., 2016; Cho, Mattisson, & Lyngfelt, 2004; Ksepko, Babinski, Evdou, & Nalbandian, 2016; Ksepko & Labojko, 2014; Larring, Braley, Pishahang, Andreassen, & Bredesen, 2015; Matzen, Pinkerton, Wang, & Demirel, 2017; R. Siriwardane, Tian, Richards, Simonyi, & Poston, 2009; R. V. Siriwardane et al., 2013). Fe-Ni bimetallic alloy (Bhavsar & Vesper, 2013), bimetallic Fe-Mn on ZrO₂, sepiolite, and Al₂O₃ (Ksepko, Siriwardane, Tian, Simonyi, & Sciazko, 2012), and Cu, Fe, Mn, or Ni oxides on Al₂O₃, sepiolite (FeTiO₃), SiO₂, TiO₂, and ZrO₂ (Adanez et al., 2004; Cho et al., 2004; Ksepko, Siriwardane, Tian, Simonyi, & Sciazko, 2010; Zafar, Mattisson, & Gevert, 2005) are the other oxygen carriers.

The main operating steps of the Chemical Looping Combustion (CLC) in terms of MeO_x are MeO_x reduction in fuel reactor and oxidation of the reduced metal oxide in air reactor (Figure 1). Unlike common coal combustion, there is no direct interaction between the coal and air, thus no nitrogen separation is necessary.

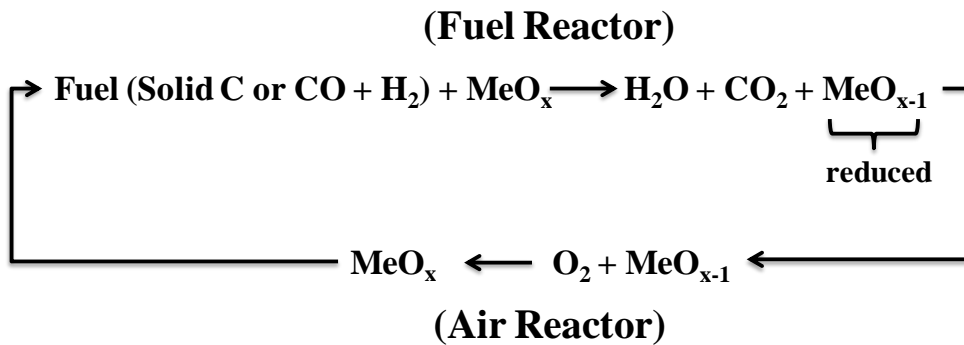
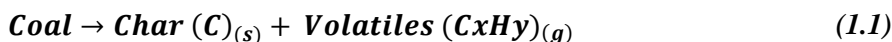


Figure 1. Chemical looping combustion system.

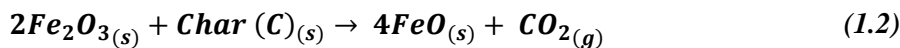
Iron based materials, for example, was examined for coal, petrocokke and char gasification by several researchers due to its low cost, low toxicity and relatively high abundance (Bhavsar & Vesper, 2013; Chen et al., 2016; Jerndal et al., 2011; Ksepko et al., 2016; Larring et al., 2015; Matzen et al., 2017; R. Siriwardane et al., 2009; R. V. Siriwardane et al., 2013; Velasco-Sarria, Forero, Adanez-Rubio, Abad, & Adanez, 2018).

Kim *et al.* (Kim et al., 2013) listed the possible reactions taking place in the iron oxide based (Fe₂O₃) reduction reactor as: (Kim et al., 2013)

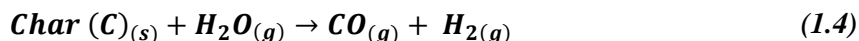
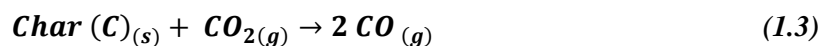
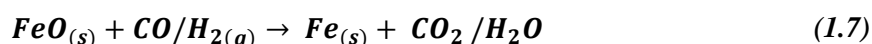
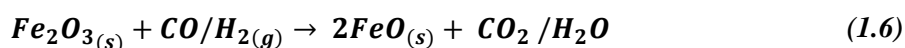
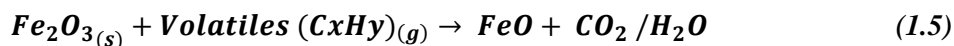
(i) *Devolatilization of coal particles because of the high coal feed temperature,*



(ii) *Char and Fe₂O₃ solid-solid reaction,*



(iii) Char gasification,

(iv) Fe₂O₃ reduction,

Solid-solid reaction between the char and Fe₂O₃ is the slowest reaction in the reduction part of the reactor. In this system, CO₂ and H₂O are initially introduced to the system to increase the carbon conversion. After these gases (CO₂ and H₂O) are reduced to CO and H₂ during char gasification, they are oxidized again by the oxygen carrier, iron oxide (Kim et al., 2013).

The main heuristics of the CLC system are based on the selection of suitable metal oxides. The metal oxides must have high oxygen exchange potential, high resistance against the abrasion, high and stable reactivity, and tolerated interaction with coal inorganics. The circulation of the high amount of ash and appropriate reactor design are mechanistic drawbacks about the CLC systems (Larring et al., 2015; R. Siriwardane et al., 2009; Zafar et al., 2005).

Despite the numerous reports on different chemical looping agents, in this section a brief review on the literature presenting results for Co and Fe based compounds. Siriwardane *et al.* (R. Siriwardane et al., 2009) tested the oxygen transfer abilities of CuO, Fe₂O₃, Mn₂O₃, and Co₃O₄ in the presence of N₂ and/or CO₂. They followed the interaction between the ash and metal oxide by thermodynamic calculations and XRD. Furthermore, reaction rates and combustion to oxidation ratio were investigated by TGA and in a fixed-bed reactor system. They found that the oxides of CuO, Fe₂O₃, Mn₂O₃, and Co₃O₄ have permanent oxidation ability at 700-1000°C. The best oxidation and reduction performance for CuO was obtained during the chemical looping combustion of coal in the temperature range between 500°C to 700°C. Low melting point of CuO makes coal chemical looping possible at low temperatures (R. Siriwardane et al., 2009).

Cao and Pan (Cao & Pan, 2006) investigated Ni, Co, Cu, and Mn oxides, for CLC of solid fuels. Among them, Mn-based oxygen carrier showed a very poor performance because of its low oxygen exchange potential, high reduction endothermicity, and its thermodynamic limitation on CO₂ purification due to the low CO₂ partial pressure. The rest, on the other hand, showed good reduction performances. The best oxidation performance was recorded for CoO in this study. Two applications were mentioned in this study. In the first process, solid fuels were gasified initially by pure O₂ in the gasifier, gaseous products (CH₄, CO, and H₂) were sent to the CLC system. Since utilization of the gasifier increases the capital cost, Cao and Pan considered that solid fuel could be sent to the CLC system without any pre-processes. Thus, both solid fuel and syngas oxidation took place in the fuel reactor. The main drawback of this approach was described as the low reaction yields due to the low solid-solid interaction between metal oxide and solid fuels, owing to lower reaction kinetics of gasification than combustion (Cao & Pan, 2006).

In another study, Cho *et al.* (Cho et al., 2004) used Al₂O₃-supported Ni, Cu and Fe oxides as oxygen carriers for CLC system. The reactivity of Ni and Cu oxides was found to be higher than Fe oxide. The highest reduction rate was recorded for NiO, while low mechanical strength was the challenge for this metal oxide. Additionally, since agglomeration is the main challenge for Al₂O₃-supported Cu and Fe based oxygen carriers, these metal oxides were found not to be appropriate oxygen carriers (Cho et al., 2004).

At that point cobalt and lead can be considered as alternative oxygen carrier materials. Cobalt and lead based mixed oxide were employed as catalysts for soot oxidation (Genc, Altay, & Uner, 2005; Uner, Demirkol, & Dernaika, 2005). Uner *et al.* (Uner et al., 2005) showed that lead oxides improve the contact between soot and catalyst by forming a molten phase and these oxides could donate oxygen atoms rather easily. Differential Scanning Calorimeter (DSC) thermograms obtained for pure lead oxide and Co-Pb mixed oxides proved the eutectic mixture formation of Co and Pb as well as molten phase formation. Temperature programmed oxidation (TPO) experiments were performed to test the Diesel soot oxidation activity of CoOx, PbOx, and Co-Pb mixed oxides. The decrease in peak temperature of CO₂ formation and the increase in reaction rate were observed in the presence of PbOx. CO₂ and CO evolution during TPO experiments carried out in inert atmosphere indicated the utilization of catalyst lattice oxygen (Uner et al., 2005). The catalysts were also tested on-board after being coated on a diesel soot filter and mounted after the exhaust line of a Diesel engine (Genc et al., 2005). The similarity between balance point temperature of on-board tests and peak temperature of laboratory reactor tests confirmed that CoPbOx catalyst are more efficient than CoOx catalysts. Genc *et al.* (Genc et al., 2005) concluded that Pb mobility caused by formation of the molten phase at some points of the filter increased the catalytic activity for diesel soot oxidation. In conclusion, Co-Pb mixed metal oxides can be used as both oxygen carrier and catalyst due to their high oxygen exchange potential (Genc et al., 2005; Uner et al., 2005). Sarafraz *et al.* (Sarafraz, Jafarian, Arjomandi, & Nathan, 2018) reported that molten lead is thermodynamically realistic for the

chemical looping syngas production process. They found the molten lead could be a potential oxygen carrier for the steam and/or CO₂ gasification of solid feedstocks (Sarafraz et al., 2018).

The aim of this study was to develop a fundamental understanding of the oxygen transfer ability of Co-Pb mixed metal oxides during the lignite thermal decomposition. A thermodynamic analysis of the redox capabilities of these metal oxide indicated superior performance for direct carbon and syngas chemical looping systems. Thermodynamic calculations of the oxidation and reduction reactions were used to compare the operating temperatures of these types of metal oxides with others. TGA experiments at various coal to Co-Pb metal oxide ratios under inert atmosphere were performed in order to investigate the lattice oxygen utilization.

2. Material and Method

2.1. Preparation and Characterization of Coal Sample

Coal samples were obtained from Turkish Coal Enterprises (TKI) Tuncbilek Lignite Establishment in Turkey. The details of sample preparation and characterization were explained in our previous papers (Kanca, Dodd, Reimer, & Uner, 2016; Kanca & Uner, 2019).

2.2. Preparation and Characterization of Co-Pb Individual and Mixed Metal Oxides

2.2.1. Preparation of Co-Pb Individual and Mixed Metal Oxides

Co-Pb metal oxide was prepared by incipient wetness method impregnation of C₄H₆O₄Pb.3H₂O (54.6% wt Pb, Merck) aqueous solution on CoOx (90.8% wt Co, Ege Ferro) powder for a final oxide having a Co/Pb ratio of 1/1 by weight. In order to achieve this, the metal precursors were stirred in water for 3 hours. The mixture was dried overnight at 105°C and then it was calcined at 450°C for 4 hours. In addition to the mixed oxides prepared as such, commercial PbO (Sigma-Aldrich) and calcined Co powder (Ege Ferro) as received from the vendor were used during pyrolysis and oxidation experiments.

2.2.2. Characterization of Co-Pb Individual and Mixed Metal Oxides

XRD patterns were measured on a Philips model PW1840 (1729) X-ray diffractometer using Ni filtered Cu-K α 945 radiation at a scan rate of 0.05 degrees/s. Raman spectra were obtained from a Bruker IFS 66/S, FRA 106/S, HYPERION 1000, RAMANSCOPE II. 1064 nm nd-YAG laser was used in Raman Spectroscopy. Shimadzu AA-6300 Atomic Absorption Spectrophotometer was employed to determine the elemental composition of Co and Pb. AAS was performed by dissolving 0.25 g solid sample in the acid mixture involving 50 ml water, 50 ml 70% HNO₃, and 10 ml 37% HCl. Final solution was boiled until all acid vapors were removed from the solution. After dilution with 30 ml distilled water, solution was boiled for 30 min. The solution was cooled and diluted to appropriate concentration by distilled water. Concentration of the sample was determined after the calibration of reference solutions. 1/1 Co to Pb ratio of the final mixture was confirmed from AAS as 1.

2.3. Reaction Test

Thermal Gravimetric Analysis (TGA) (Shimadzu DTG 60H) experiments were conducted at a temperature between 25°C and 600°C with a heating rate of 10°C/min under 75 cc/min N₂ flow for pyrolysis process in order to show the effect of different Co-Pb metal oxide addition on the weight loss in the lignite samples.

3. Results and Discussion

3.1. Oxidation and Reduction Thermodynamics of Co-Pb Metal Oxides

The standard Gibbs free energy values of oxidation and reduction reactions of Co-Pb metal oxides were calculated as a function of temperature. The standard Gibbs free energies of formation data for components at different temperatures were obtained from the literature (Barin, 1989) and the standard free energy change of the reaction was determined according to the equation given below:

$$\Delta G_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum_{\text{products}} \nu_i \Delta G_i^{\circ} - \sum_{\text{reactants}} \nu_i \Delta G_i^{\circ}$$

Figure 2 indicates the free energy changes of redox reactions in the presence of different reducing agents. The comparison was based on per mole of O₂. When the temperature is higher than 970 K, the most favorable reaction is the partial oxidation of carbon with PbO, while the best reducing agent is carbon monoxide when the temperature is less than 970 K. Additionally, the minimum temperature for the favorable for the partial oxidation of carbon is 570 K. These reduction behaviors are compatible with the oxidation reactions.

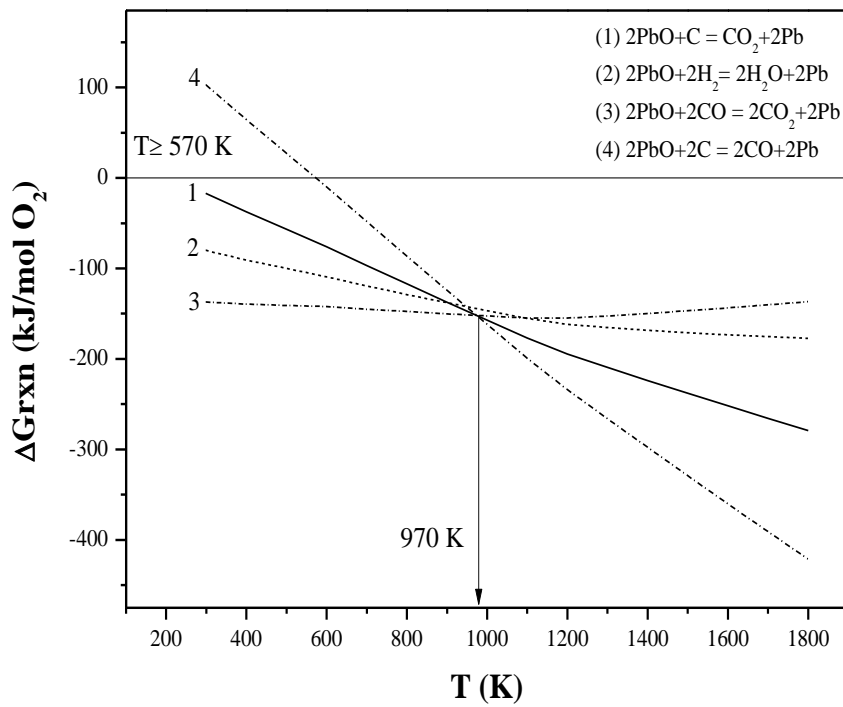


Figure 2. Standard Gibbs free energy change during lead oxide reduction.

The redox reactions of CoO with H₂ and CO are shown in Figure 3. Similar to PbO, when the temperature is lower than 977 K, the most favorable reaction is PbO reduction reaction with CO. On the other hand, when the temperature is higher than 977 K, the most favorable reaction is carbon partial oxidation reaction.

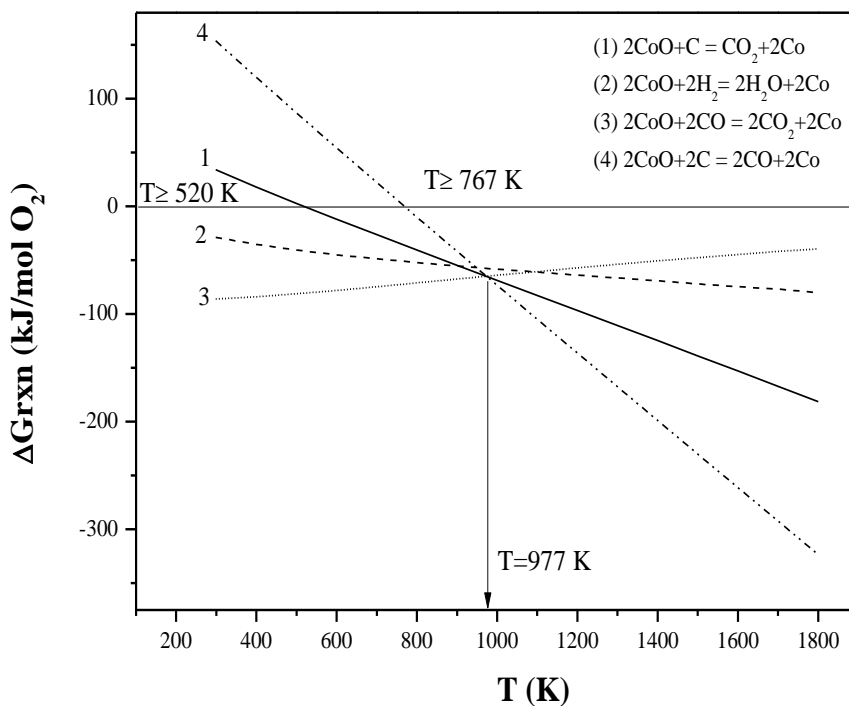


Figure 3. Standard Gibbs free energy change during cobalt oxide reduction.

When the reduction thermodynamics of CoO and PbO were compared, it was found that PbO can give its oxygen to both H₂ and C easier than CoO. Gibbs free energy of reduction reactions are lower for Pb oxide than Co oxide. As a result, in order to determine the mixed oxides behavior, TGA experiments under inert atmosphere were carried out.

3.2. Characterization of Co-Pb Metal Oxides

3.2.1 XRD Pattern of Co-Pb Metal Oxide

Possible oxide formations of Pb and Co such as PbO, PbO₂, Pb₃O₄, and Pb₂O₃, CoO, Co₂O₃ and Co₃O₄ were checked within the XRD databank (Data). PbO was determined as the only Pb oxide form while the oxide form of Co was determined to be Co₃O₄. According to XRD databank, the Bragg angle values of PbO are defined at around 28.84°, 35.97°, 48.76°, 49.46°, 55.04°. The specific Co₃O₄ peak values were also monitored as approximately, 31.43°, 37.02°, 45.06°, 59.51°, and 65.39° in JPDC cards (Data). Specific Bragg angle values of PbO and Co₃O₄ are presented in Figure 4. When these two metal oxides were mixed, additional peak formation was observed except for individual PbO and Co₃O₄. These additional peaks were not identified but they can be interpreted as alloys of lead and cobalt and their mixed oxides.

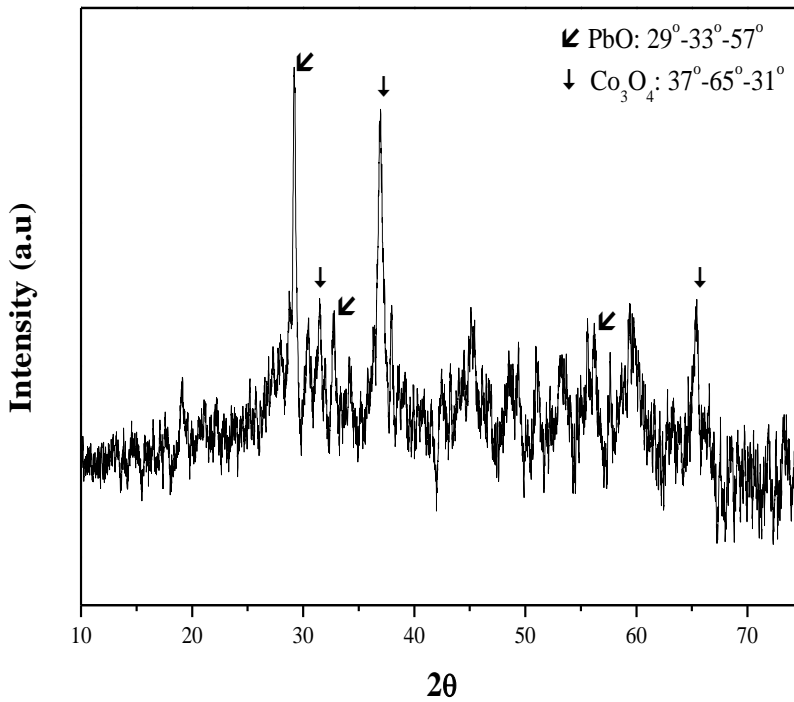


Figure 4. XRD pattern of Co-Pb mixed oxides with Co/Pb ratio of 1/1.

3.2.2 Raman Spectra of Co-Pb Metal Oxide

Raman spectrum of Co-Pb metal oxide is presented in Figure 5. The oxidation states of these metals are labeled on each peak. The characteristic Raman spectrum of Co₃O₄ revealed peaks at around 196, 486, 524, 620 and 697 cm⁻¹ (Lopes, El Hassan, Guerba, Wallez, & Davidson, 2006; Shen, Miao, Zhao, & Xu, 2008; Yung, Zhao, Woods, & Ozkan, 2008). The experimental frequency values for the Pb oxide formation were reported as Pb–O–Pb bend 124 cm⁻¹, Pb–O stretch 386, 365, 290 cm⁻¹ (Jensen, 2003). Raman spectrum of Co-Pb metal oxide reveal two geometrical structures for PbO; tetragonal litharge α -PbO at 145 cm⁻¹ and orthorhombic massicot β -PbO in 290 cm⁻¹ wavenumber (Jensen, 2003). The characteristic Raman bands of PbO and Co₃O₄ obtained from the literature are collected in Table 1.

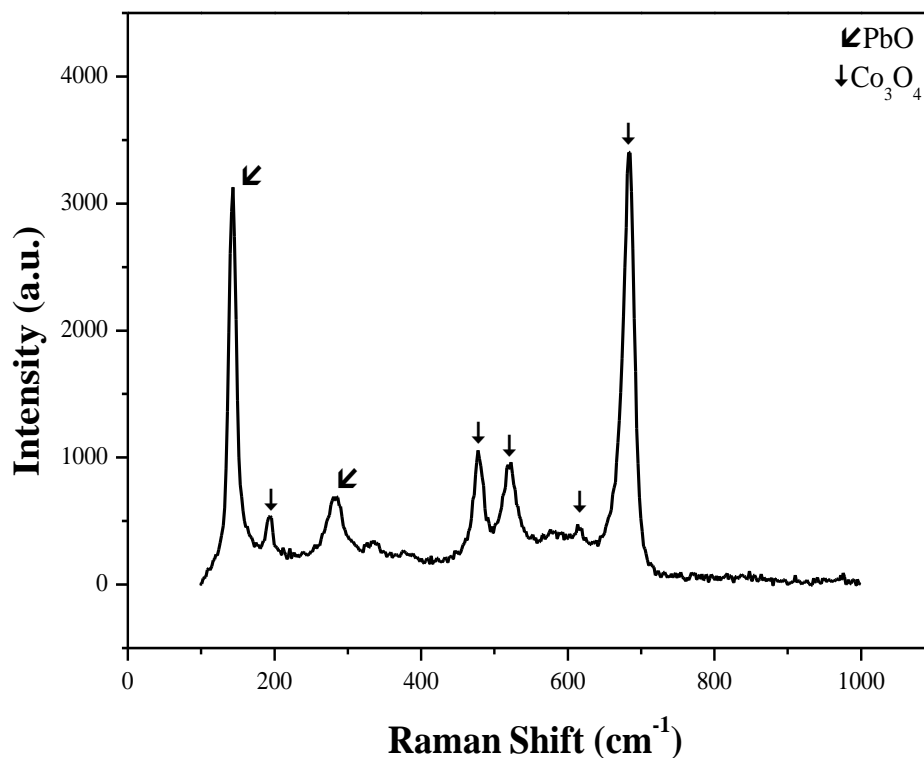


Figure 5. Raman spectrum of Co-Pb mixed oxide with Co/Pb ratio of 1/1.

Table 1. Characteristic Raman shifts of Co_3O_4 and PbO .

Types of oxides	Raman Shifts (cm^{-1})
Co_3O_4	196, 486, 524, 620, 695
PbO	145 for α - PbO and 285 for β - PbO

In conclusion, PbO and Co_3O_4 formations determined by XRD, were also confirmed by Raman spectroscopy.

3.3. TGA Experiments under Inert Atmosphere in the Absence and Presence of Co-Pb Metal Oxides

The coal-metal oxide mixtures were studied with TGA under inert atmosphere in order to determine the oxygen release ability of the mixed oxides. As seen from the derivative TGA curves shown in Figure 6, the peak oxidation temperatures of high loading (10/2) coal/Co-Pb oxides are around 100°C higher than low loading (1 and 0.25) coal/Co-Pb oxides. When coal to metal oxides ratio is higher than 2 (Figure 6a), only one peak is observed around 450°C. On the other hand, when the ratio of coal to Co-Pb metal oxides is less than 1 (Figure 6b), two distinct peaks are observed in the temperature range of 280-320°C, with a minor component left at around 450°C. The derivative TGA curve of the mixed oxides in the absence of coal also exhibit a weight loss peaking around 330°C, correlating nicely with the peaks in this temperature range.

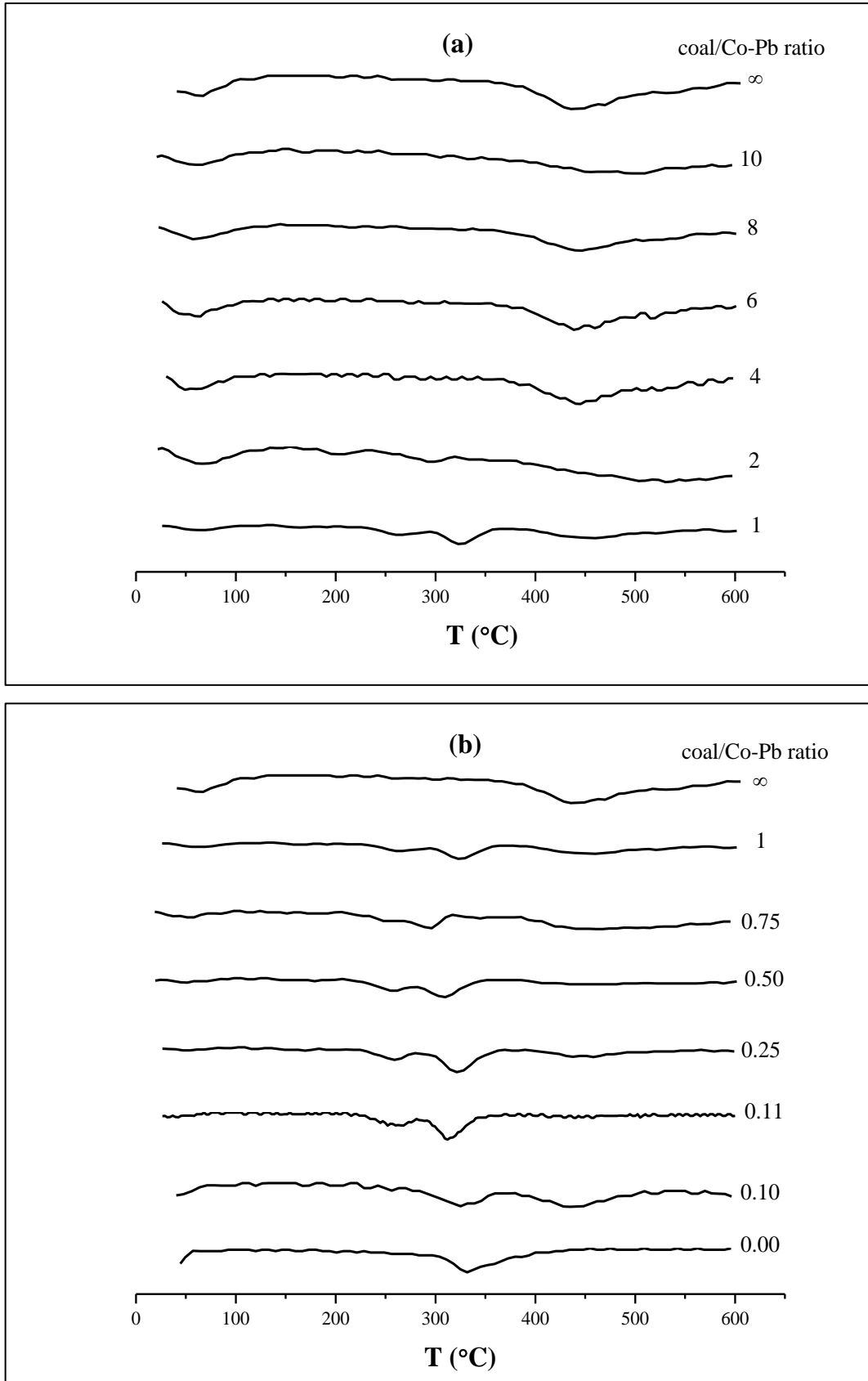


Figure 6. TGA pyrolysis thermograms of lignite in the presence of different metal oxide contents.

The results of TGA analysis of Tuncbilek lignite in the absence and the presence of Co-Pb metal oxides were presented in Table 2 as the average values of two identical experiments. The final Co-Pb metal oxide has a Co/Pb ratio of 1/1 by weight and the relative amount of O₂ in the Co-Pb metal oxide was taken to be about 18% as will be shown below. Both TGA experiments under N₂ and air

flow and classical proximate analysis revealed that Tuncbilek lignite has approximately 28% volatiles and 38% ash. 60.5% weight loss was recorded during TGA under air flow. This weight loss was attributed to the combustible materials in coal structure (Kanca, 2013; Kanca et al., 2016). Approximately 3% moisture present in the coal sample was not taken specifically into account in these calculations, introducing 3% error in weight estimations associated with the moisture.

Table 2. Material balance in the absence and presence of Co-Pb metal oxides.

Sample (Coal/Co-Pb)	Initial amount of sample (mg)	Amount of coal in the sample (mg)	Amount of oxide in the sample (mg)	Amount of volatiles in the sample including moisture (28% of coal) (mg)	Amount of available oxygen from Co-Pb oxides (mg)	Amount of non volatile carbon (mg)	Total weight loss measured (mg)	Total weight loss measured (%)	Expected % weight loss volatiles only (%)	Expected % weight loss of volatiles+ oxygen (%)
∞	15.43	15.43	0.00	4.32	0.00	5.02	4.32	28.00	28.00	28.00
10	13.49	12.26	1.23	3.43	0.22	3.99	3.86	28.6	25.43	27.06
8	15.69	13.95	1.74	3.91	0.31	4.53	3.67	23.37	24.92	26.9
6	11.61	9.95	1.66	2.79	0.30	3.23	2.71	23.35	24.03	26.61
4	14.44	11.55	2.89	3.24	0.52	3.75	3.33	23.07	22.44	26.04
2	23.01	15.34	7.67	4.30	1.38	4.98	5.03	21.85	18.69	24.68
1	20.40	10.20	10.20	2.86	1.84	3.31	4.07	19.95	14.02	23.04
0.75	17.78	7.62	10.16	2.13	1.83	2.48	4.04	22.69	11.98	22.27
0.5	21.93	7.31	14.62	2.05	2.63	2.37	4.01	18.28	9.35	21.34
0.25	22.35	4.47	17.88	1.25	3.22	1.45	4.23	18.93	5.59	20.00
0.11	30.90	3.06	27.84	0.86	5.01	0.99	4.54	14.70	2.78	19.00
0.1	24.27	2.21	22.06	0.62	3.97	0.72	1.90	7.83	2.55	18.91
0	43.94	0.00	43.94	0.00	7.91	0.00	1.33	3.02	0.00	17.99

In Table 2, the TGA results and the material balance comparison of the results were presented. The material balance was carried out as follows:

1. The amount of volatiles were determined from the TGA data of the pure coal as 28% of the coal weight.

2. The available oxygen in the sample was assumed to be 18% of the total weight of the available oxides. This assumption is based on the results of XRD, Raman, and Atomic absorption spectroscopy. XRD and Raman spectroscopy revealed that the oxidation states of Pb and Co are in the form of PbO and Co₃O₄, respectively. Furthermore, Co/Pb ratio of the final mixture was obtained from AAS as 1. On the basis of 1 g Co and 1 g Pb

$$\frac{16 \text{ g } O_2}{207.2 \text{ g Pb}} \times 1 \text{ g Pb} + \frac{64 \text{ g } O_2}{3 \times 58.9 \text{ g Co}} \times 1 \text{ g Co} = 0.44 \text{ g } O_2$$

$$y_{O_2} = \frac{0.44 \text{ g } O_2}{2.44 \text{ g (PbO} + \text{CO}_3\text{O}_4)} = 0.18$$

3. The weight loss due to volatiles only and oxygen only were determined as described above. The corresponding % loss was also determined and tabulated.

As can be seen from the comparison of the estimation from the material balance reported in the column of expected % weight loss volatiles only (%) with its corresponding experimental value, the estimations are satisfactory despite the extensive assumptions listed above. At high coal/metal oxide ratios the majority of the weight loss is due to the volatiles. When coal/metal oxide ratios decrease below 1, the peak temperatures shift below 350°C and two peaks indicating two processes prevail in the derivative TGA curves. The material balances become comparable after coal/metal oxide ratios of 0.11, where the oxygen stoichiometry becomes consistent with the oxygen demands of the fuel available in the sample. The behavior of the sample with coal/metal oxide ratio =0.1 resembles a superposition of the pure coal data and pure mixed metal oxide data indicating poor mixing.

In Figure 7, the experimental weight loss with the estimated weight loss for two different situations was compared. In the figure, symbols represent the experimental data, solid line represents the prediction for the loss of volatiles only and the dashed line represent the prediction for the loss of volatiles and total available oxygen in the sample.

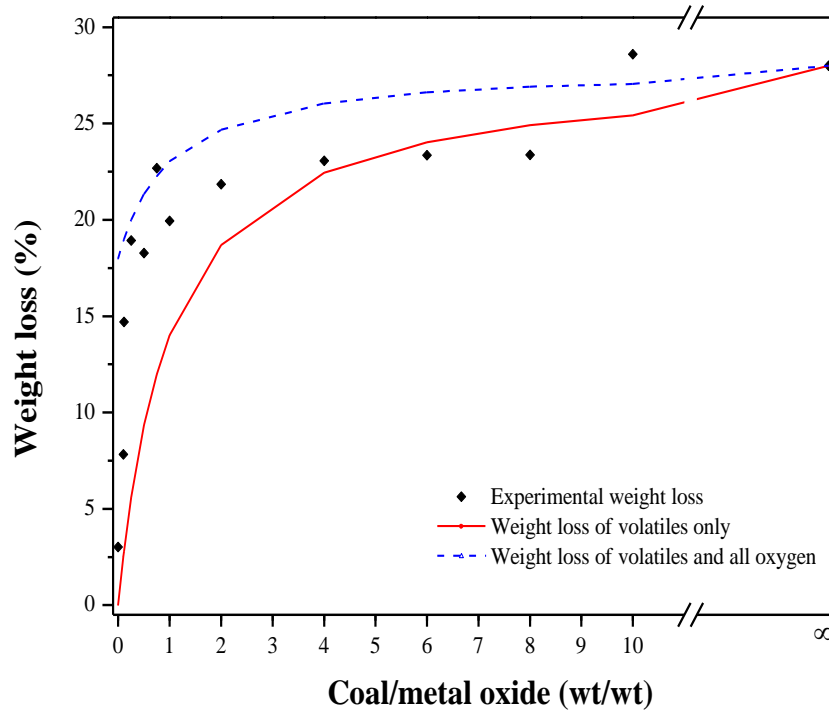


Figure 7. Estimated and experimental weight loss vs coal/Co-Pb mixed oxide ratio.

As the coal/catalyst ratio decreases, experimental data (filled diamonds) and the predictions of material balance for the volatiles (solid line) agree very well indicating that at these ratios, oxygen is not participating in the combustion and only volatiles are lost, consistent with the derivative curve of TGA: there is only one peak at around 450°C for samples with coal/oxide ratio ≥ 4 . As the amount of oxide in the sample is increased, i.e. decreasing coal/oxide ratios below 2, the experimental weight loss becomes greater than the weight loss predicted by only through the loss of volatiles. When the disappearance of all of the oxygen coming through the oxide is included in the material balance, the curve represented by a dashed line is obtained. As can be seen from the figure, this curve over predicts the weight loss. We have to mention that this simple analysis overlooks the possibility of sample to sample differences due to the heterogeneity of the solids. The heterogeneous nature of the coal and the differences in the oxidation states of the oxides can easily bring about 10% (wt/wt) sample-to-sample difference.

4. Conclusions and Recommendations

The reduction thermodynamics of CoO and PbO indicates that PbO can give its oxygen to both H₂ and C easier than CoO. As determined from thermal gravimetric analysis experiments, in the presence of Co-Pb mixed metal oxides, the peak oxidation temperature of Tuncbilek lignite decrease from 450°C to 320°C in N₂ atmosphere. Under N₂ flow, the variation of oxidation products with metal oxide amount reveals that the lattice oxygen of the Co-Pb mixed metal oxides is used in the oxidation process. The XRD and Raman results clearly indicate that Co and Pb are present in the oxide form of Co₃O₄ and PbO.

5. Acknowledgements

The authors are grateful for Turkish Coal Enterprises for coal samples and partial financial support for this project. Arzu Kanca is supported by the State Planning Organization under the auspices of BAP-08-11-DPT-2002K120510 OYP program. Thank to Atatürk University for permission to her OYP-PhD program at METU. Management and staff of METU Central Laboratory and Mihrican Açıkgöz are kindly acknowledged for their support and service.

References

- Adánez, J., & Abad, A. (2019). Chemical-looping combustion: Status and research needs. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(4), 4303-4317. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.09.002>
- Adanez, J., de Diego, L. F., Garcia-Labiano, F., Gayan, P., Abad, A., & Palacios, J. M. (2004). Selection of oxygen carriers for chemical-looping combustion. *Energy & Fuels*, 18(2), 371-377. doi:[10.1021/ef0301452](https://doi.org/10.1021/ef0301452)
- Barin, I. (Ed.) (1989). *Thermochemical data of pure substances*.
- Bhavsar, S., & Vesper, G. (2013). Bimetallic Fe-Ni Oxygen Carriers for Chemical Looping Combustion. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(44), 15342-15352. doi:[10.1021/ie400612g](https://doi.org/10.1021/ie400612g)
- Cao, Y., & Pan, W. P. (2006). Investigation of chemical looping combustion by solid fuels. 1. Process analysis. *Energy & Fuels*, 20(5), 1836-1844. doi:[10.1021/ef050228d](https://doi.org/10.1021/ef050228d)
- Chen, L. Y., Bao, J. H., Kong, L., Combs, M., Nikolic, H. S., Fan, Z., & Liu, K. L. (2016). The direct solid-solid reaction between coal char and iron-based oxygen carrier and its contribution to solid-fueled chemical looping combustion. *Applied Energy*, 184, 9-18. doi:[10.1016/j.apenergy.2016.09.085](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.085)
- Cho, P., Mattisson, T., & Lyngfelt, A. (2004). Comparison of iron-, nickel-, copper- and manganese-based oxygen carriers for chemical-looping combustion. *Fuel*, 83(9), 1215-1225. doi:[10.1016/j.fuel.2003.11.013](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2003.11.013)
- Data, I. C. f. D., *Selected Powder Diffraction Data for Education & [and] Training: Search Manual and Data Cards*. JCPDS: 1988.
- Fan, L. S., Li, F. X., & Ramkumar, S. (2008). Utilization of chemical looping strategy in coal gasification processes. *Particuology*, 6(3), 131-142. doi:[10.1016/j.partic.2008.03.005](https://doi.org/10.1016/j.partic.2008.03.005)
- Genc, V. E., Altay, F. E., & Uner, D. (2005). Testing molten metal oxide catalysts over structured ceramic substrates for diesel soot oxidation. *Catalysis Today*, 105(3-4), 537-543. doi:[10.1016/j.cattod.2005.06.018](https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.06.018)
- Jensen, J. O. (2003). Vibrational frequencies and structural determinations of Pb6O(OH)(6)(4+). *Journal of Molecular Structure-Theochem*, 635, 11-24. doi:[10.1016/s0166-1280\(03\)00378-6](https://doi.org/10.1016/s0166-1280(03)00378-6)
- Jerndal, E., Leion, H., Axelsson, L., Ekvall, T., Hedberg, M., Johansson, K., . . . Lyngfelt, A. (2011). Using Low-Cost Iron-Based Materials as Oxygen Carriers for Chemical Looping Combustion. *Oil & Gas Science and Technology-Revue D Ifp Energies Nouvelles*, 66(2), 235-248. doi:[10.2516/ogst/2010030](https://doi.org/10.2516/ogst/2010030)
- Kanca, A. (2013). *Characterization and reactivity studies for chemical loop gasification of high sulfur lignites*. (PhD), Middle East Technical University.
- Kanca, A., Dodd, M., Reimer, J. A., & Uner, D. (2016). Following the structure and reactivity of Tuncbilek lignite during pyrolysis and hydrogenation. *Fuel Processing Technology*, 152, 266-273. doi:[10.1016/j.fuproc.2016.06.014](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.06.014)
- Kanca, A., & Uner, D. (2019). In situ and downstream sulfidation reactivity of PbO and ZnO during pyrolysis and hydrogenation of a high-sulfur lignite. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(34), 18827-18835. doi:[10.1016/j.ijhydene.2018.10.041](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.041)
- Kim, H. R., Wang, D. W., Zeng, L., Bayham, S., Tong, A., Chung, E., . . . Fan, L. S. (2013). Coal direct chemical looping combustion process: Design and operation of a 25-kW(th) sub-pilot unit. *Fuel*, 108, 370-384. doi:[10.1016/j.fuel.2012.12.038](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.12.038)
- Ksepko, E., Babinski, P., Evdou, A., & Nalbandian, L. (2016). Studies on the redox reaction kinetics of selected, naturally occurring oxygen carrier. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 124(1), 137-150. doi:[10.1007/s10973-015-5107-x](https://doi.org/10.1007/s10973-015-5107-x)
- Ksepko, E., & Labojko, G. (2014). Effective direct chemical looping coal combustion with bi-metallic Fe-Cu oxygen carriers studied using TG-MS techniques. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117(1), 151-162. doi:[10.1007/s10973-014-3674-x](https://doi.org/10.1007/s10973-014-3674-x)
- Ksepko, E., Siriwardane, R. V., Tian, H. J., Simonyi, T., & Sciazko, M. (2010). Comparative Investigation on Chemical Looping Combustion of Coal-Derived Synthesis Gas containing H₂S over Supported NiO Oxygen Carriers. *Energy & Fuels*, 24(8), 4206-4214. doi:[10.1021/ef100490m](https://doi.org/10.1021/ef100490m)
- Ksepko, E., Siriwardane, R. V., Tian, H. J., Simonyi, T., & Sciazko, M. (2012). Effect of H₂S on Chemical Looping Combustion of Coal-Derived Synthesis Gas over Fe-Mn Oxides Supported on Sepiolite, ZrO₂, and Al₂O₃. *Energy & Fuels*, 26(4), 2461-2472. doi:[10.1021/ef201441k](https://doi.org/10.1021/ef201441k)
- Larring, Y., Braley, C., Pishahang, M., Andreassen, K. A., & Bredesen, R. (2015). Evaluation of a Mixed Fe-Mn Oxide System for Chemical Looping Combustion. *Energy & Fuels*, 29(5), 3438-3445. doi:[10.1021/acs.energyfuels.5b00048](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b00048)
- Lopes, I., El Hassan, N., Guerba, H., Wallez, G., & Davidson, A. (2006). Size-induced structural modifications affecting Co₃O₄ nanoparticles patterned in SBA-15 silicas. *Chemistry of Materials*, 18(25), 5826-5828. doi:[10.1021/cm061630o](https://doi.org/10.1021/cm061630o)
- Matzen, M., Pinkerton, J., Wang, X. M., & Demirel, Y. (2017). Use of natural ores as oxygen carriers in chemical looping combustion: A review. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 65, 1-14. doi:[10.1016/j.ijggc.2017.08.008](https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.08.008)

- Sarafraz, M. M., Jafarian, M., Arjomandi, M., & Nathan, G. J. (2018). Potential of molten lead oxide for liquid chemical looping gasification (LCLG): A thermochemical analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(9), 4195-4210. doi:10.1016/j.ijhydene.2018.01.035
- Shen, X. P., Miao, H. J., Zhao, H., & Xu, Z. (2008). Synthesis, characterization and magnetic properties of Co₃O₄ nanotubes. *Applied Physics a-Materials Science & Processing*, 91(1), 47-51. doi:10.1007/s00339-007-4361-6
- Siriwardane, R., Tian, H. J., Richards, G., Simonyi, T., & Poston, J. (2009). Chemical-Looping Combustion of Coal with Metal Oxide Oxygen Carriers. *Energy & Fuels*, 23(8), 3885-3892. doi:10.1021/ef9001605
- Siriwardane, R. V., Ksepko, E., Tian, H. J., Poston, J., Simonyi, T., & Sciazko, M. (2013). Interaction of iron-copper mixed metal oxide oxygen carriers with simulated synthesis gas derived from steam gasification of coal. *Applied Energy*, 107, 111-123. doi:10.1016/j.apenergy.2013.01.063
- Uner, D., Demirkol, M. K., & Dernaika, B. (2005). A novel catalyst for diesel soot oxidation. *Applied Catalysis B-Environmental*, 61(3-4), 334-345. doi:10.1016/j.apcatb.2005.05.011
- Velasco-Sarria, F. J., Forero, C. R., Adanez-Rubio, I., Abad, A., & Adanez, J. (2018). Assessment of low-cost oxygen carrier in South-western Colombia, and its use in the in-situ gasification chemical looping combustion technology. *Fuel*, 218, 417-424. doi:10.1016/j.fuel.2017.11.078
- Yung, M. M., Zhao, Z. K., Woods, M. P., & Ozkan, U. S. (2008). Preferential oxidation of carbon monoxide on CoO_x/ZrO₂. *Journal of Molecular Catalysis a-Chemical*, 279(1), 1-9. doi:10.1016/j.molcata.2007.09.026
- Zafar, Q., Mattisson, T., & Gevert, B. (2005). Integrated hydrogen and power production with CO₂ capture using chemical-looping reforming-redox reactivity of particles of CuO, Mn₂O₃, NiO, and Fe₂O₃ using SiO₂ as a support. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(10), 3485-3496. doi:10.1021/ie048978i



Thermal Modeling and Performance Analysis for a Chevron Type Heat Exchanger by Using Artificial Neural Network with Limited Experimental Data

Mehmet Hakan Demir^{1*}

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3934-2425)

(First received 10 January 2020 and in final form 27 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.671960)

ATIF/REFERENCE: Demir, M. H. (2020). Thermal Modeling and Performance Analysis for a Chevron Type Heat Exchanger by Using Artificial Neural Network with Limited Experimental Data. *European Journal of Science and Technology*, (18), 779-789.

Abstract

The problem of heat exchange between two or more fluids at different temperatures is one of the most important and most common problems of engineering applications. In order to solve this problem efficiently, the transfer of energy between two liquids at different temperatures is carried out by heat exchangers. Heat exchangers increase the energy efficiency as they can transfer the energy contained in the system to another part of the process instead of just pumping and wasting. A plate heat exchanger, a variant of heat exchanger, use a series of thin plates to transfer heat between two liquids. Thermal modelling of the heat exchanger is important due to determination of the outlet temperature of fluids depending on the system parameters. In this paper, an artificial neural network (ANN) model is used to simulate the thermal performance of a chevron type plate heat exchanger using water as working fluid. The ANN algorithms have a widely usage in thermal analysis studies of heat exchangers such as modelling of heat exchangers, estimation of heat exchanger parameters, estimation of phase change characteristics in heat exchangers and control of heat exchangers. The outer temperatures of the water are estimated depending on the cold water mass flow rate, inlet hot water temperature and inlet cold water temperature by using limited experimental data. Then the experimental results and the estimated results are compared for testing the accuracy and reliability of the developed algorithm. The results show that the experimental and estimated results have a good agreement. The developed network structure estimates the outlet temperatures with 2.58 % and 1.80 % for hot and cold water, respectively. In addition, the predicted performance of the network developed by applying untested input parameters was examined. Estimation accuracy was compared with theoretically calculated output temperatures by thermal analysis using the same inputs. According to the obtained results, it is seen that the theoretical results and prediction results are compatible with each other in determining the output for new inputs and the reliability of the developed network is proved in different inputs according to this result. After that, experimentally not obtained variations of the heat transfer rate, overall heat transfer coefficient and energy efficiency are determined depending on the inlet temperatures and mass flow rate of cold water.

Keywords: Artificial Neural Network, Chevron type, Plate heat exchanger, estimation, Thermal modelling.

Sınırlı Deneysel Verilerle Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Chevron Tipi Isı Değiştirici için Termal Modelleme ve Performans Analizi

Öz

Farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimi problemi, mühendislik uygulamalarının en önemli ve en çok karşılaşılan problemlerden birisidir. Bu problemi verimli bir şekilde çözmek için farklı sıcaklıklardaki iki sıvı arasında enerji aktarma işlemi ısı eşanjörleri ile gerçekleştirilir. Isı değiştiricileri, sistemde bulunan enerjiyi sürecin başka bir kısmına aktarabildiği için enerji verimliliğini arttırlar. Isı eşanjörlerinin bir çeşidi olan plakalı ısı değiştiricileri, ısıyı iki sıvı arasında aktarmak için bir dizi ince plaka

* Corresponding Author: İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3934-2425, mhakan.demir@iste.edu.tr

kullanılmaktadırlar. Isı değiştiricinin termal modellemesi, sistem parametrelerine bağlı olarak sıvıların çıkış sıcaklığının belirlenmesinden dolayı oldukça onemlidir. Bu çalışmada, çalışma sıvısı olarak su kullanılan bir Chevron tipi plakalı ısı değiştiricinin termal performansını simüle etmek için yapay bir sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır. YSA algoritmaları, ısı değiştiricilerin modellenmesi, ısı değiştirici parametrelerinin ve faz değişim özelliklerinin tahmini ve ısı değiştiricilerinin kontrolü gibi termal analiz çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıcak ve soğuk suyun ısı değiştiriciden çıkış sıcaklığları sınırlı deneysel veriler kullanılarak soğuk su kütle akış hızına, giriş sıcak su sıcaklığına ve giriş soğuk su sıcaklığına bağlı olarak tahmin edilmiştir. Daha sonra geliştirilen algoritmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini test etmek için deney sonuçları ve tahmini sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar deneysel ve tahmini sonuçların iyi bir uyumaya sahip olduğunu göstermektedir. Geliştirilen ağ yapısı, sıcak ve soğuk su için çıkış sıcaklığlarını sırasıyla % 2.58 ve % 1.80 yüzdelik ortalama hata ile tahmin etmektedir. Ek olarak, deneyi gerçekleştirilmemiş giriş parametreleri uygulanarak geliştirilen ağın tahmin performansı incelenmiştir. Tahmin doğruluğu ise aynı girişler kullanılarak termal analiz ile teorik olarak hesaplanan çıkış sıcaklığları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yeni girişler için çıkışın belirlenmesinde teorik sonuçlar ile tahmin sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir ve bu sonuca bağlı olarak geliştirilen ağın güvenilirliği farklı girişler içinde kanıtlanmış olmaktadır. Daha sonra, deneysel olarak elde edilmemiş ısı aktarım hızı, toplam ısı aktarım katsayısı ve enerji verimliliğindeki değişiklikler, sıcak ve soğuk suyun giriş sıcaklığlarına ve soğuk suyun kütle akış hızına bağlı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, Chevron tipi, Plakalı ısı değiştiriciler, Tahmin, Termal modelleme.

1. Introduction

Heat exchangers are often used for heat transfer between hot and cold fluids. In practice, heat exchangers used in a wide variety of engineering applications, such as automobile thermal power units, air conditioning systems, chemical and textile manufacturing operations, can be of various constructions, capacities, sizes and types according to their intended use. The design and operation of heat exchangers are determined according to several factors such as the inlet and outlet temperatures of the fluids, the operating pressure, the pressure losses that can be tolerated in the heat exchanger, the heat capacity and the types and amounts of the fluids.

There are many studies about modelling and development of different types of heat exchangers for different applications such as plate type [Abu-Khader, 2012], ceramic based [Sommers et al, 2010], compact heat exchangers [Li et al, 2011] etc. In this study, the plate types Chevron heat exchanger is selected because of its high thermal efficiency and flexibility. Chevron type heat exchangers are extensively preferred for heating, cooling and heat-regeneration applications. There are some theoretical and experimental methods for analysing the thermal behaviour of heat exchangers in the literature such as the logarithmic mean temperature difference (LMTD), effectiveness-number of transfer units (ϵ -NTU) and computational fluid dynamics (CFD).

The theoretical analysis of heat exchangers includes more assumptions and complex calculations. However, an analysis by experimental methods is more expensive due to the initial investment needed to develop an experimental setup [Shah & Sekulic Dusan, 2012]. The conventional methods like LMTD and ϵ -NTU have some limitations such as constant overall heat transfer coefficient and specific heat capacity, no heat loss between the exchanger and surrounding medium, needs to steady state conditions and negligible kinetic and potential effects. However, in applications, many properties depend on time and the value of heat transfer coefficient is continuously varying [Rajapaksha, 2007]. CFD is the another method for investigating the design and optimization of heat exchangers. Also, the CFD analysis involves some assumptions and these assumptions affect the prediction performance directly. In some cases, the error between its results and experimental results is observed above %10 which is not really acceptable [Humini & Humini, 2012]. Hence, the assumptions are not strictly valid for the analysis of such assumptions do not allow for a realistic thermal analysis of heat exchangers. ANN overcomes these limitations of the mentioned methods and experimental approach. In the literature, there are many studies in which ANN models were developed for simulation, optimization and performance prediction of thermal systems involving heat exchangers [Yang, 2008; Sen & Yang, 2000].

ANNs are information processing system, which learn from input/output data to determine the relationships between input/output. In recent years ANN has been used in different fields of engineering because of their capability of extracting complex and nonlinear relationships. For thermal analysis of heat exchanger Multilayer feed forward network (MLFFN), radial biased function network (RBFN), generalized regression neural network (GRNN) and adaptive neuro fuzzy interface systems (ANFIS) architectures are commonly used. If ANN based modelling of plate type heat exchangers are investigated firstly, Selbas et al. [Selbaş et al, 2008] predicted the exergy and energy values of the plate type heat exchangers. The inner temperatures of the hot and cold waters and mass flow rate. The results show that the agreement between the ANN predictions and experimental data is good. Peng and Ling [Peng & Ling, 2009] developed a ANN algorithm based on the MLFFN architecture for predicting the j and f factor of plate-fin heat exchangers. The ANN predicts these factor values with mean square errors less than 1.5% and 1%, respectively. On the other hand, there are lots of studies in the literature about modelling the different types of heat exchangers such as condensers, compact heat exchangers, run-around heat exchangers, shell and tube heat exchangers and fin and tube heat exchangers. Ertunc and Hosoz [Ertunc & Hosoz, 2008] compared the prediction performances of MLFFN and ANFIS techniques on evaporative condenser. The results show that MLFFN with 7-5-4 configuration and ANFIS predictions have %5 error when they compared to experimental results and ANFIS has more successful prediction performance than MLFFN. Ermis [Ermis, 2008] predict the values of Nu , h and Δp of a compact heat exchanger by using MLFFN technique. They use 7-11-3 configuration and the results show that they predicted Nu , h and Δp values very closer to experimental results. The mean square error of all predicted data are obtained less than 6%. 5-5-3-3 configuration of MLFFN technique is used in [Vega et al, 2000] to predict to Q and sensible heat and total heat. The inputs of the network are Re , inlet air DBT, inlet air WBT, inlet T_w and fin spacing. They compared the results with the conventional correlations results and they observed that the ANN prediction error is less than 10% but the correlation predictions have more than 10% deviation.

In this paper, an ANN structure is developed for modelling the chevron type heat exchanger with limited data. These limited experimental data are obtained from experimental study in [Yildiz & Ersoz, 2015] in which they investigated the thermomechanical characteristic of the chevron type heat exchanger theoretical and experimentally. The outlet temperatures of hot and cold water are predicted depending on the inlet temperatures and mass flow rate of cold water. Then the results compared with the experimental data for proving the accuracy and reliability of the network. Furthermore, experimentally not obtained variations of the heat transfer rate, overall heat transfer coefficient and energy efficiency are determined depending on the inlet temperatures and mass flow rate of cold water.

2. Material and Methods

2.1. Experimental Setup

The Chevron type heat exchanger is a type of plate heat exchanger and the patterns on the plates are manufactured at a certain angle. Since these angles are called as chevron angle, these types of heat exchangers are also called chevron type heat exchangers in the literature. In this study, the used experimental setup is showed in Figure 1.

The material of used brazed plate Chevron type heat changer is chromium–nickel steel and its thermal conductivity, thermal expansion coefficient and specific heat are equal to 17.5 W/mK , $15.1 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ and 0.5 kJ/kgK , respectively. The geometry and technical properties of this chevron type heat exchanger is showed in Fig.2 and Table 1, respectively. The technical properties in Table 1 are constant during all considered cases.

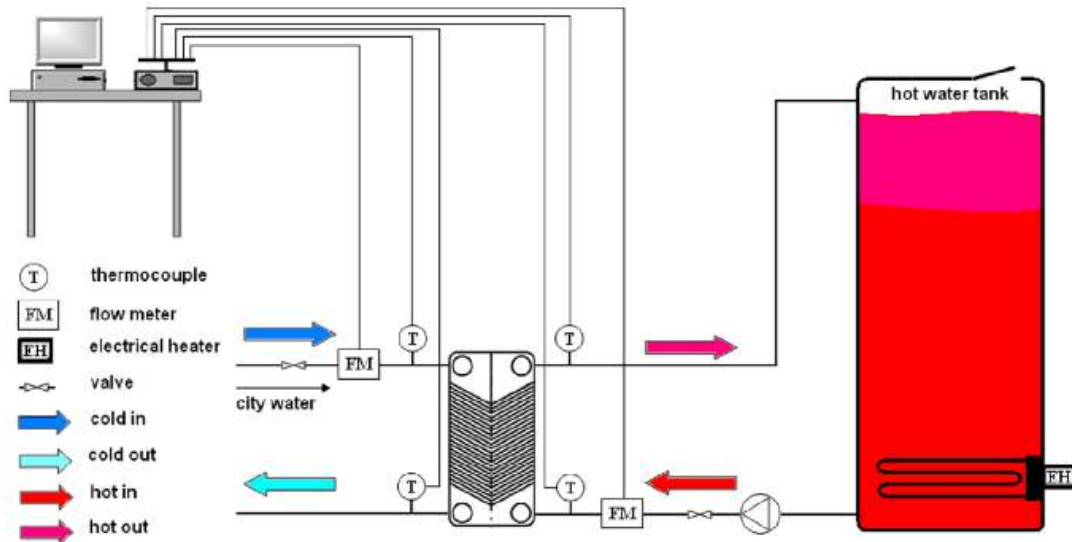


Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup [Yildiz & Ersoz, 2015]

As seen in the Figure 1 the experimental setup consists of cold water and hot water flow loops. 2kW immersion heaters are used in the hot water tank which has 50 L water capacity. Flow meters are used to measure the flow rates of the hot and cold waters which are controlled by the valves. The temperatures of the water are measured by PT-100 thermocouples and a water pump helps circulation of the hot water through the heat exchanger. Cold water is supplied by city water supply. On the other hand, cold water was supplied from the waterworks in the setup. In the experiment, the mass flow rate of cold water is varied from 0.0277 kg/s to 0.0833 kg/s when mass flow rate of hot water is equal to 0.083 kg/s. It was kept constant during all considered cases. On the other hand, the temperatures of hot and cold waters were varied from 35 °C to 60 °C and from 21 °C to 25.35 °C, respectively. Therefore, ANN predictions was limited in these temperature values.

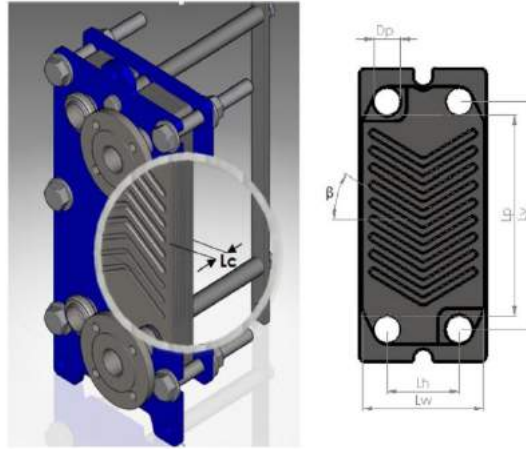


Figure 2. Geometry of the Chevron type heat exchanger [Yildiz & Ersoz, 2015]

Table 1. Technical properties of the used chevron type heat exchanger [Yildiz & Ersoz, 2015]

Plate thickness, mm (t)	0.3
Chevron angle, degrees (β)	45
Total number of plates	15
Vertical port distance, m (L_v)	0.154
Compressed plate pack length, m (L_c)	0.05
Effective channel width, m (L_w)	0.08
Total effective area, m ² (A)	0.1968
All port diameters, m (D_p)	0.016
Number of passes	1
Thermal conductivity of the plate material (W m ⁻¹ K ⁻¹)	17.5
Enlargement factor (ϕ)	1.273

2.2. Architecture of ANN

ANNs are an information processing system that is inspired by biological neural networks and contains some performance characteristics similar to biological neural networks. In other words, they are computer systems which are developed with the purpose of realizing the ability to derive new information, learn and derive new information through learning from the characteristics of the human brain automatically without any help. Artificial neural networks are physical cell systems that receive, store and use experimental knowledge. This is a widely used method for modelling complex and non-linear systems using these experimental data. Applications of ANNs are generally used for prediction, classification, data association, data interpretation and data filtering. There are basically three steps in the artificial neural network learning process; i) to calculate the output, ii) compare outputs with target outputs and calculate the error, iii) repeat the process by changing weights. As a result of the training process, it is expected that the error calculated in artificial neural network reduces to an acceptable error rate. In most network types, a neuron in the hidden layer only receives signals from all neurons of the previous layer. After neuron processing, it sends the output to all the neurons of the next layer. The output signal of each neuron is determined by applying activation function to its input data. The information flow takes place with the connection links from one neuron to the other neuron, and each link has a weights to create the desired input-output relationship. These weights are updated based on the error margin between the net output and the expected output. [Haykin, 1998; Beale et al, 2017].

The correct selection of the topology of the network affects directly the generalization ability of the artificial neural network. Therefore, the most appropriate architecture is selected by making optimizations. Initially, the randomly assigned weight values are revised along with the learning process to produce the expected outputs based on the given inputs. The learning process of the network aims to minimize the error and to produce the most accurate results for previously untested inputs. Therefore, some of the experimental data is used for training the network, while the other part tests for the success of the network. The flow diagram of the learning and test processes for the designed network is given in Figure 3.

Depending on the experimental setup, ANN algorithm has three inputs such as mass flow rate of the cold water and inner temperatures of hot and cold waters. The outputs of the networks are determined as outer temperatures of hot and cold waters. The neural-network model was developed using similar 25 experimental data sets for training, validation of the network. The network uses a back propagation algorithm which is the classical feed-forward artificial neural network and it uses to calculate the error contribution

of each neuron after a batch of data is processed. One hidden layer is used in the network with 12 neurons in the network. This neuron numbers in the hidden layer is obtained at the end of the several trials to maximize the correlation coefficient R.

Figure 4 shows the architecture of developed the neural network structure for predicting the water temperatures at the outlet of the heat exchanger. W_{ij} and W_{oj} denote the synapse weights of the network. The desired input/output relation is getting better by adjusting these connections weights during the training process. Some of the experimental results not used in training have been used to measure the prediction performance of the trained network.

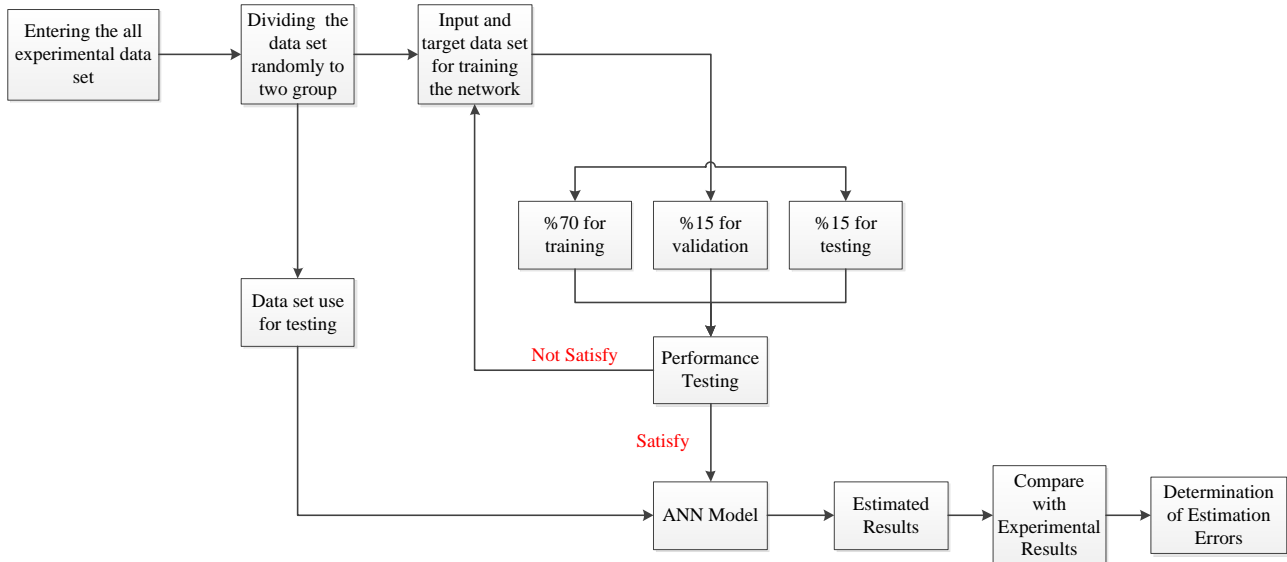


Figure 3. The flow diagram of ANN network developing process

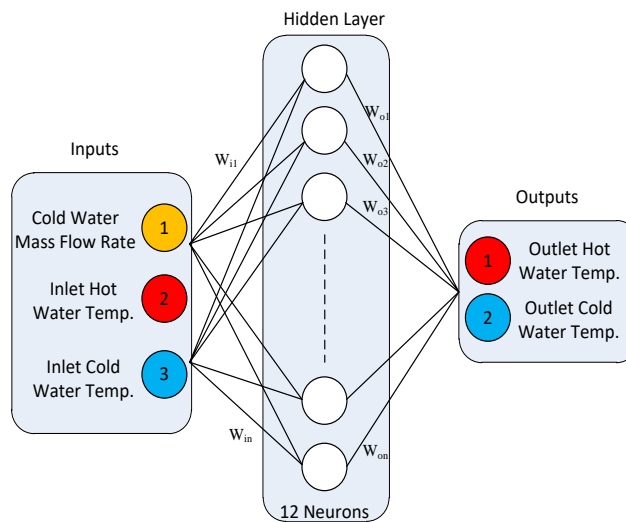


Figure 4. The architecture of the ANN

2.3. Thermal Analysis

During the energy and exergy analyses, following assumptions have been taken into consideration. The heat exchanger operates under steady-state flow conditions. Heat transfer to the surroundings is negligible and no heat generating in the exchanger. The dead state conditions are taken as $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. There is no temperature difference along the cross-section of the chevron type plate heat exchanger. The heat resistance of the plates is constant along the chevron type plate heat exchanger.

In the energy analysis, the heat transfer rate is calculated by using

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{LMTD} \tag{1}$$

where U , A and T_{LMTD} are overall heat transfer coefficient, total effective area and logarithmic mean temperature difference, respectively. The overall heat transfer coefficient is obtained by Eq. (2).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{cf}} + \frac{t}{k_p} + \frac{1}{h_{hf}} \quad (2)$$

t , k_p , h_{cf} and h_{hf} are plate thickness, thermal conductivity of plate material, heat transfer coefficients for cold and hot waters, respectively and they are calculated by using following equations.

$$h_{cf} = \frac{Nu_c k_{cf}}{D_c}, \quad h_{hf} = \frac{Nu_h k_{hf}}{D_h} \quad (3)$$

The logarithmic mean temperature difference term in Eq. (1) defined as

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hin} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{cin})}{\ln \left(\frac{T_{hin} - T_{co}}{T_{ho} - T_{cin}} \right)} \quad (4)$$

The used chevron type heat exchanger's chevron angle is equal to 45° . Therefore, some flow characteristic and chevron angle dependent constants are determined using Table 2.

Table 2. Constant for single phase heat transfer in chevron type heat exchangers [Kakac et al, 2012]

Angle	C_h	n	Re
45°	0.718	0.349	Re<10
	0.4	0.598	10<Re<100
	0.3	0.663	Re>100

After that, firstly Nusselt number, which is a dimensionless number that expresses the relationship between the convection heat transfer coefficient and the ratio to the transmission heat transfer coefficient, is determined by using

$$Nu = C_h \left(\frac{D_h G}{\mu} \right)^n \left(\frac{C_p \mu}{k_f} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.17} \quad (5)$$

Then, Reynolds number is found by using channel mass velocity, equivalent diameter and dynamic viscosity as follows

$$G_{ch} = \frac{\dot{m}_{ch}}{N_{cp} b L_w}, \quad Re = \frac{G_{ch} D_h}{\mu} \quad (6)$$

Calculations are performed with the experimental data by using the basic heat transfer equations.

$$T_{cm} = \frac{(T_{cin} - T_{co})}{2}, \quad T_{hm} = \frac{(T_{hin} - T_{ho})}{2}, \quad T_w = \frac{(T_{cm} - T_{hm})}{2} \quad (7)$$

The formulas of thermo-physical properties of water depending on the bulk temperatures at cold and hot side and the wall are given in Eqs. (12-15) in [Yildiz & Ersoz, 2015].

The energy performance in the heat exchanger is calculated by using following equation.

$$\varepsilon_1 = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}}, \quad \dot{Q}_{max} = C_{min}(T_{hi} - T_{ho}) \quad (8)$$

where C_{min} is the smaller of $C_c = \dot{m}_c C_{p_{cf}}$ and $C_h = \dot{m}_h C_{p_{hf}}$. The heat removed from the hot water, \dot{Q}_h , and the heat absorbed by the cold water, \dot{Q}_c are calculated by:

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h C_{p_{hf}} (T_{hi} - T_{ho}) \quad (9)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c C_{p_{cf}} (T_{ci} - T_{co}) \quad (10)$$

3. Results and Discussion

The main goal of this study to modelling of the chevron type heat exchanger for estimation of its outlet temperatures depending on its inlet temperatures and mass flow rate of cold water without the need for any experiments. Therefore, a neural network architecture was developed and Table 3 shows the values of ANN inputs, the related predicted outlet temperatures and experimental results and the percent error rates of cold and hot waters.

The five different input combinations on the table were selected from the data with experimental results that were not used in network training. The results show that the percentage errors for the temperatures of hot and cold waters predictions are less than 5% for all considered cases. The average errors for estimation of cold and hot water temperature at the output of the heat exchanger are determined as 2.58 and 1.80, respectively. As a results, the predicted values and experimental values have a good agreement and therefore, the accuracy of developed ANN structure is proved. Furthermore, it is indicated that the developed network has higher estimation performance for predicting the cold water output temperature. After that, the estimation performance of developed ANN is tested by comparing its results with the theoretical results for different cases which are not considered experimentally. In the theoretical analysis, due to the fact that outlet temperatures of hot and cold water are not known, the analysis requires an iterative process. Initial values are chosen for the outlet temperatures and Eqs. (1)–(8) and Eqs. (12-15) in [Yildiz & Ersoz, 2015] are solved. Then, these values are introduced into Eqs. (9) and (10) so as to calculate the new values for the outlet temperatures. The process is repeated until the difference between successive values of each quantity is less than 0.01%.

Table 3. Comparison of the estimated temperatures and experimental results

INPUTS			ANN		Experiment		Errors (%) Mean Percentage Absolute Error	
\dot{m}_c	T_{h_i}	T_{c_i}	T_{h_o}	T_{c_o}	T_{h_o}	T_{c_o}	e_h	e_c
0.0277	45	21.02	41.6751	38.95	40.59	39.49	2.67	1.33
0.0416	40	22.08	35.8426	33.6927	35.36	32.88	1.36	2.47
0.0555	55	25.03	45.198	42.1646	45.86	41.19	1.44	2.36
0.0694	50	24.07	37.5837	37.8079	38.78	38.77	3.07	2.48
0.0833	35	23.49	29.96	29	28.72	28.9	4.34	0.36
Average Error (%)							2.58	1.80

Figure 5 and Figure 6 show the variations of the hot and cold water outlet temperatures as a function of cold water inlet temperatures when the mass flow rate of cold water equal to 0.0277 kgs-1. The hot water inlet temperature is changed from 35 °C to 60 °C with 5 °C increment. The results show that the outlet temperatures of hot and cold water are increased linearly for all considered hot water inlet temperatures when the cold water inlet temperature is increased. It can be seen in Fig. 5 that the estimation error between the results of ANN and theoretical calculations is less for higher hot water intel temperature than lower ones. However, Fig. 6 shows an opposite behaviour for cold water outlet temperature. The prediction error increases when the inlet temperature of the hot water is increased.

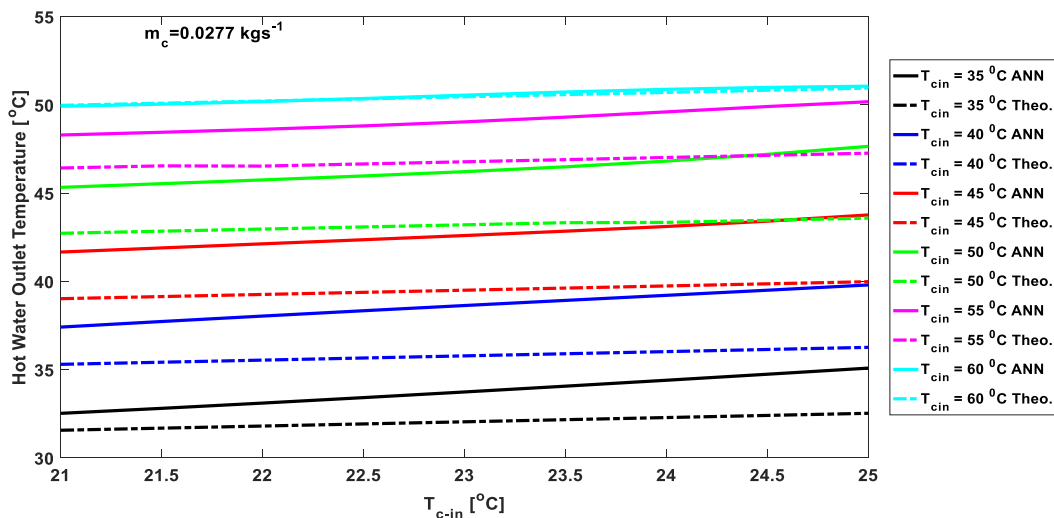


Figure 5. The comparison between the ANN predictions and the theoretical calculations for hot water outlet temperature at specific values of T_{h-in} and $\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$

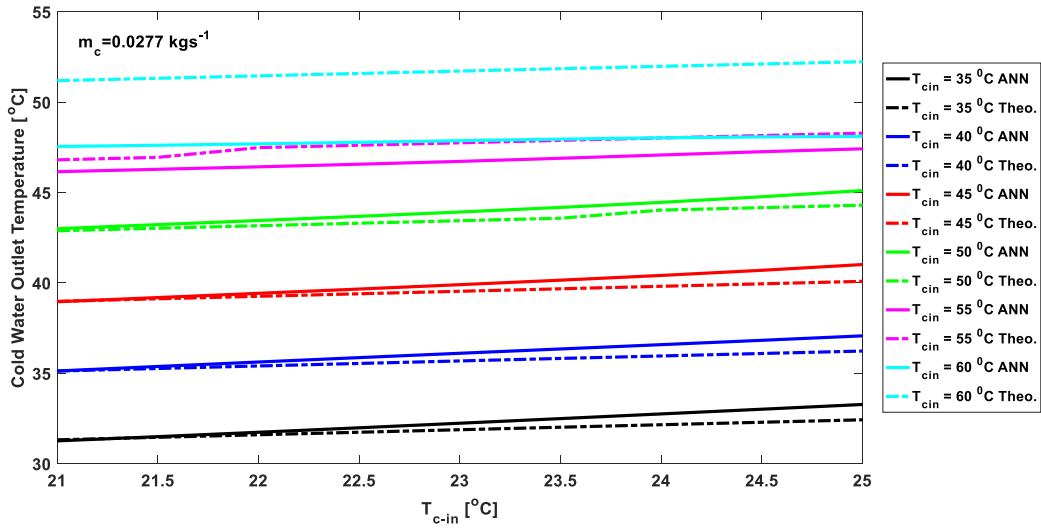


Figure 6. The comparison between the ANN predictions and the theoretical calculations for cold water outlet temperature at specific values of T_{c-in} and $\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$

These mean percentage errors and the performance of ANN is summarized in Table 4 for all considered cases. On the other hand, Figure 5 and Figure 6 show that the prediction performance of ANN decreases when the cold water inlet temperature is increased for all considered cases. These results were determined separately for all considered cold water mass flow rates. Table 5 shows the performance of ANN when the mass flow rate of the cold water is equal to 0.0555 kgs-1. When we compare the results in Table 4 and Table 5, the results show that the estimation performance of ANN is better for the case in which $\dot{m}_c = 0.0555 \text{ kgs}^{-1}$.

Table 4. The error between the estimated and calculated results for hot and cold water outlet temperatures at $\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$

$\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$	Error for T_{h-out} Estimation (%)	Error for T_{c-out} Estimation (%)
T_{h-in}		
35 °C	5.3470	1.2043
40 °C	7.9220	1.1767
45 °C	7.9433	1.0163
50 °C	7.3072	0.99
55 °C	4.9677	1.9001
60 °C	0.1849	7.4725

Table 5. The error between the estimated and calculated results for hot and cold water outlet temperatures at $\dot{m}_c = 0.0555 \text{ kgs}^{-1}$

$\dot{m}_c = 0.0555 \text{ kgs}^{-1}$	Error for T_{h-out} Estimation (%)	Error for T_{c-out} Estimation (%)
T_{h-in}		
35 °C	1.6467	0.6087
40 °C	2.7678	0.1011
45 °C	4.3464	0.5415
50 °C	2.4633	2.8316
55 °C	1.5164	3.6023
60 °C	2.0548	2.3484

On the other hand, based on the predicted data, the variations of the heat transfer rate, \dot{Q} , calculated by Eq. (1), are given in Figure 7 and Figure 8 as a function of hot and cold water inlet temperatures, respectively. Figure 7 show the change of the heat transfer rate for the combinations of the hot water inlet temperature, T_{h-in} , such as 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C and 60°C and specific values of cold water mass flow rate, \dot{m}_c , as 0.0277 kgs-1 and 0.0555 kgs-1. The results in Figure 7 show that increase in the cold water inlet temperature leads to decrease in heat transfer rate for all considered cases. Moreover, it is observed that the heat transfer rate increases for a specific cold water temperature value when the hot water inlet temperature or the mass flow rate of the cold water are increased.

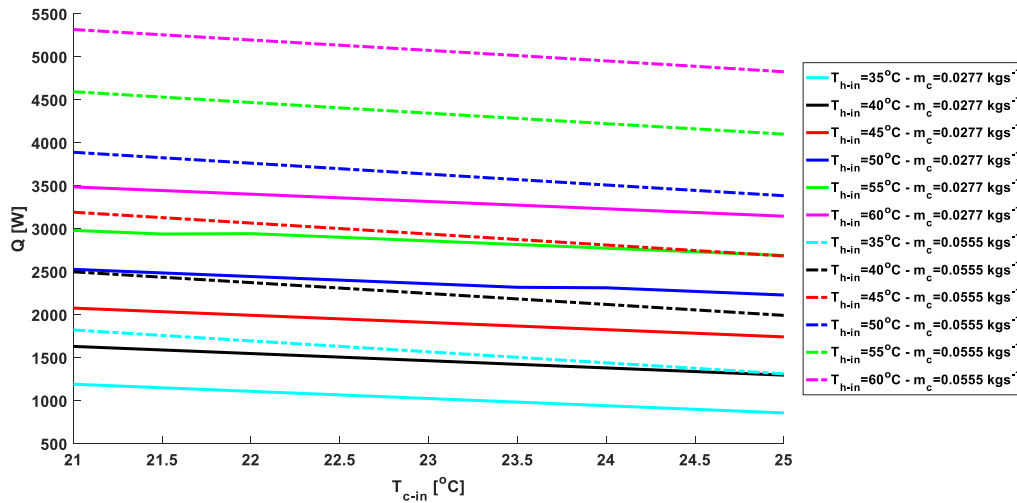


Figure 7. The variation of heat transfer rate value with respect to cold water inlet temperature for $\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$ and $\dot{m}_c = 0.0555 \text{ kgs}^{-1}$ at specific hot water inlet temperatures

In Figure 8, the variations of the heat transfer rate are shown for the cases in which the combinations of the cold water inlet temperature, T_{c-in} , such as 21°C, 22°C, 23°C, 24°C and 25°C and same cold water mass flow rate values in previous figure. It can be seen that the heat transfer rate increases when the value of T_{h-in} is increased. On the other hand, increase in cold water inlet temperature leads to decrease in \dot{Q} for a specific value of T_{h-in} . Moreover, the slope of the linearly varying curve increases when the cold water flow rate is increased and it leads to increase the heat transfer rate, similarly.

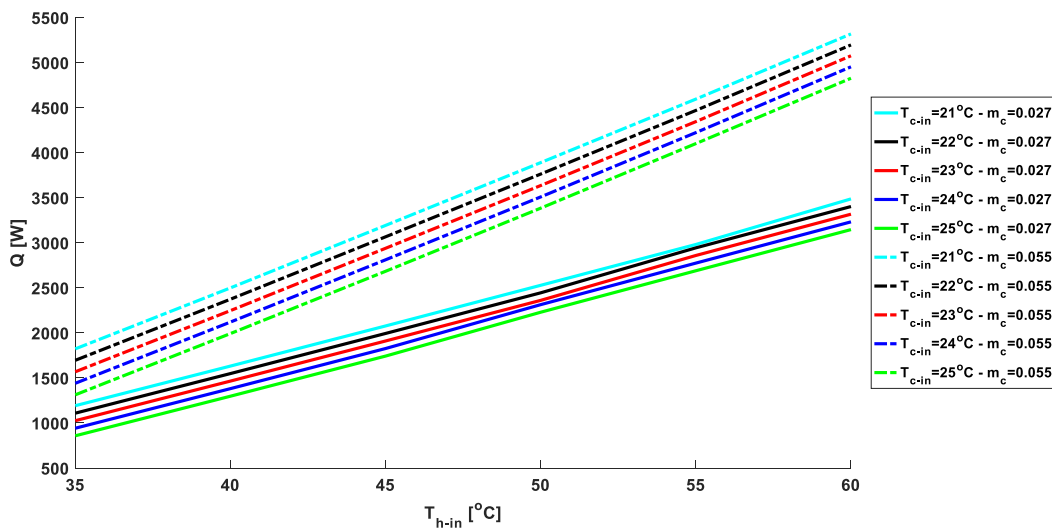


Figure 8. The variation of heat transfer rate value with respect to hot water inlet temperature for $\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$ and $\dot{m}_c = 0.0555 \text{ kgs}^{-1}$ at specific cold water inlet temperatures

Figure 9 show the variation of overall heat transfer coefficient, U , as a function of T_{c-in} for combinations of the specific values of T_{h-in} and \dot{m}_c . Similarly, the values of \dot{m}_c are equal to 0.0277 kgs^{-1} and 0.0555 kgs^{-1} and the values of T_{h-in} are equal to 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C and 60°C. The results show that U changes linearly and it increases depending on increasing in T_{c-in} for all considered cases. Increasing in T_{h-in} leads to increase in U for the both cold water mass flow rates. Moreover, increase in \dot{m}_c has similar effect on the overall heat transfer coefficient for a specific values of T_{c-in} and T_{h-in} .

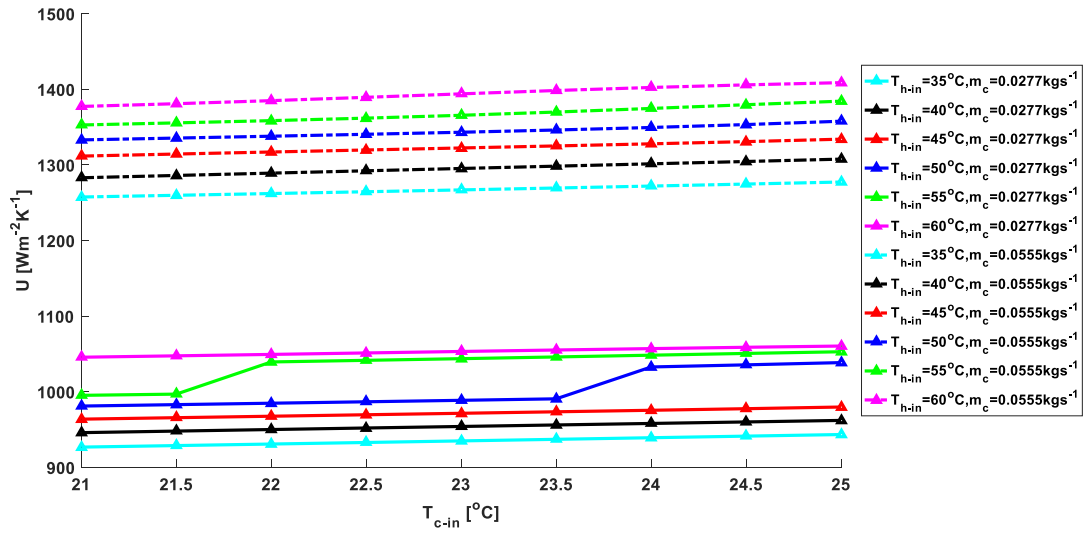


Figure 9. The variation of overall heat transfer coefficient value with respect to cold water inlet temperature for $\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$ and $\dot{m}_c = 0.0555 \text{ kgs}^{-1}$ at specific hot water inlet temperatures

Figure 10 shows the variation of the energy efficiency as a function of cold water inlet temperatures for specific values of T_{h-in} and \dot{m}_c . The results indicated that the energy efficiency increases linearly depending on increase in T_{c-in} . Similarly, increase in T_{c-in} cause to increase the overall efficiency for the specific values of T_{c-in} and \dot{m}_c . However, the energy efficiency decreases when the mass flow rate of cold water is increased.

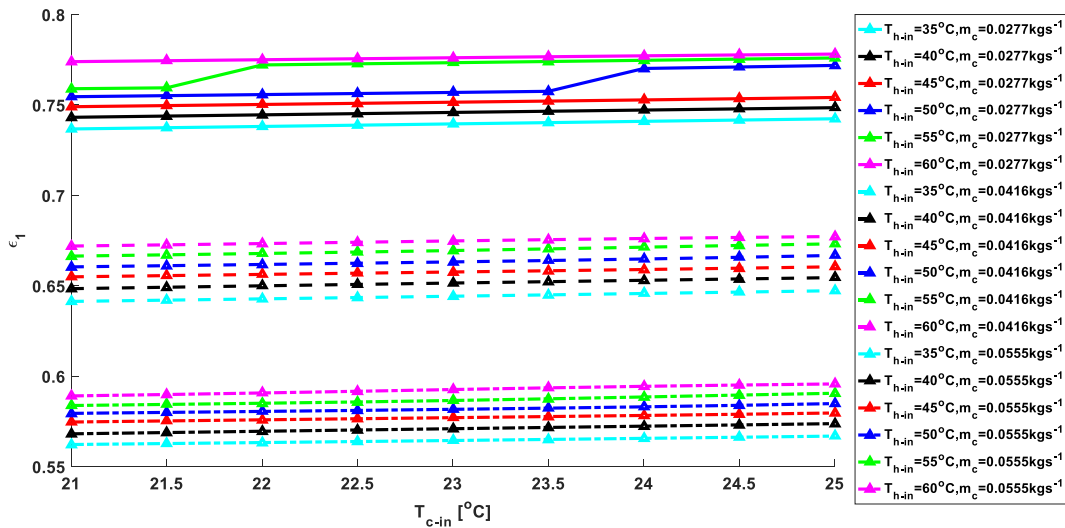


Figure 10. The variation of energy efficiency with respect to cold water inlet temperature for $\dot{m}_c = 0.0277 \text{ kgs}^{-1}$, $\dot{m}_c = 0.0416 \text{ kgs}^{-1}$ and $\dot{m}_c = 0.0555 \text{ kgs}^{-1}$ at specific hot water inlet temperatures

4. Conclusions

In this study, a ANN is developed for prediction of the outlet temperatures of the chevron type heat exchanger depending on the inlet temperatures and mass flow rate of cold water when the mass flow rate of hot water is assumed to be constant for all cases. Developing ANN is important in applications because the experiments take very long time and ANN allows us to get fast results between the values trained without doing these long experiments. The predicted results of ANN show very good agreement with experimental data used as testing. The developed network structure estimates the outlet temperatures with 2.58 % and 1.80 % for hot and cold water, respectively. Therefore, this developed ANN model presents satisfactory performance to estimate the outlet temperatures. In addition, theoretically obtained outputs were compared with the predicted outputs by applying untested input parameters. According to the results, it is seen that the theoretical results and the estimation results are compatible with each other in determining the outputs for the new inputs. This also proves the reliability of the developed network in different inputs. This inexpensive technique, which can determinate the outlet temperatures quickly, will reduce the total cost operations and save time. Therefore, the variations of heat transfer rate, overall heat transfer rate and energy efficiency are determined for specific cases with experimental data not included in [Yildiz & Ersoz, 2015].

5. Acknowledgement

I would like to thank Abdullah Yıldız (Usak University) and Mustafa Ali Ersöz (Usak University) for allowing me to use their experimental data on Chevron plate heat exchangers and their endless support.

References

- Abu-Khader, M. M. (2012). Plate heat exchangers: Recent advances. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 1883–1891. doi: 10.1016/j.rser.2012.01.009.
- Beale, M. H., Hagan, M. T., & Demuth, H. B., (2017). *Neural Network Toolbox™ User's Guide*. The Mathworks Inc.
- Ermis, K. (2008). ANN modeling of compact heat exchangers. *International Journal of Energy Research*, 32(6), 581–594. doi: 10.1002/er.1380.
- Ertunc, H. M., & Hosoz, M. (2008). Comparative analysis of an evaporative condenser using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *International Journal of Refrigeration*, 31(8), 1426–1436. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2008.03.007.
- Haykin, S. (1998). *Neural networks: a comprehensive foundation*. New York, NY: Macmillan.
- Huminić, G., & Huminić, A. (2012). Application of nanofluids in heat exchangers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5625–5638. doi: 10.1016/j.rser.2012.05.023.
- Kakaç S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat exchangers selection, rating and thermal design.*, 2nd ed., Florida, CRC Press.
- Li, Q., Flamant, G., Yuan, X., Neveu, P., & Luo, L. (2011). Compact heat exchangers: A review and future applications for a new generation of high temperature solar receivers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4855–4875. doi: 10.1016/j.rser.2011.07.066.
- Pacheco-Vega, A., Dı'az, G., Sen, M., Yang, K. T., & McClain, R. L. (2000). Heat Rate Predictions in Humid Air-Water Heat Exchangers Using Correlations and Neural Networks. *Journal of Heat Transfer*, 123(2), 348–354. doi: 10.1115/1.1351167.
- Peng, H., & Ling, X. (2009). Neural networks analysis of thermal characteristics on plate-fin heat exchangers with limited experimental data. *Applied Thermal Engineering*, 29(11-12), 2251–2256. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.11.011
- Rajapaksha, L. (2007). Influence of special attributes of zeotropic refrigerant mixtures on design and operation of vapour compression refrigeration and heat pump systems. *Energy Conversion and Management*, 48(2), 539–545. doi: 10.1016/j.enconman.2006.06.001
- Selbaş, R., Şencan, A., & Kılıç, B. (2008). Alternative approach in thermal analysis of plate heat exchanger. *Heat and Mass Transfer*, 45(3), 323–329. doi: 10.1007/s00231-008-0427-z.
- Sen M., & Yang, K.-T. (2000). Applications of artificial neural networks and genetic algorithms in thermal Engineering, in: F. Kreith (Ed.), *CRC Handbook of Thermal Engineering*, 620-661 (Section 4.24).
- Shah, R. K., & Sekulić Duésan P. (2012). *Fundamentals of heat exchanger design*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Sommers, A., Wang, Q., Han, X., Tjoen, C., Park, Y., & Jacobi, A. (2010). Ceramics and ceramic matrix composites for heat exchangers in advanced thermal systems—A review. *Applied Thermal Engineering*, 30(11-12), 1277–1291. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.02.018.
- Yang, K.-T. (2008). Artificial Neural Networks (ANNs): A New Paradigm for Thermal Science and Engineering. *Journal of Heat Transfer*, 130(9). doi: 10.1115/1.2944238.
- Yıldız, A., & Ersöz, M. A. (2015). Theoretical and experimental thermodynamic analyses of a chevron type heat exchanger. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 240–253. doi: 10.1016/j.rser.2014.10.019.



Farklı Tip Uçucu Küllerin Kauçuğun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Mert Şafak Tunalıoğlu^{1*}

¹ Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0992-9003)

(İlk Geliş Tarihi 15 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 27 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.675297)

ATIF/REFERENCE: Tunalıoğlu, M., Ş. (2020). Farklı Tip Uçucu Küllerin Kauçuğun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 790-804.

Özet

Günümüzün en önemli sorunlarından bir tanesi de atık malzemelerin doğaya zarar vermeden depolanması veya ortadan kaldırılmasıdır. Termik santrallerde kömürün yakılmasıyla atık bir ürün olan uçucu küller ortaya çıkmaktadır. Uçucu küllerin boyutları genellikle 0.5 ile 200 µm arasında değişen, camsı yapıya sahip küresel parçacıklardır. Uçucu küller havaya karışıp çevreye zarar vermemesi için çeşitli yollarla toplanırlar. Toplanan uçucu küllerin büyük bir bölümü depolama yöntemiyle ortadan kaldırılır. Dünyada artan nüfus ile birlikte termik santral kullanımı ve dolayısıyla atık uçucu kül miktarı da artmaktadır. Artan uçucu kül miktarının doğaya zarar vermeden ortadan kaldırılması git gide zorlaşmaktadır. Bu uçucu külleri ortadan kaldırmanın diğer bir yolu da özellikle inşaat ve plastik endüstrisinde ikincil katkı maddesi olarak kullanılmaktır. Bu sayede hem uçucu küller kullanıldıkları malzemelere olumlu yönde etki etmekte hem de doğaya zarar vermeden ortadan kaldırılmaktadırlar. Bu amaçla yapılan çalışmada farklı kimyasal özelliklere sahip dört adet uçucu kül SBR(styrene-butadiene rubber) kauçuğa eklenerek, kauçuk üzerindeki mekanik etkileri incelenmiştir. Çalışmada Amerika'nın Teksas Eyaletinde bulunan termik santrallerden Class F, Micron³, PV 14A ve PV 20A tipi uçucu küller ikincil katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Birincil katkı maddesi olarak karbon siyahı kullanılmıştır. Testlerde birincil katkı maddesi olarak karbon siyahı ve %5,10,15,20 oranlarında ikincil katkı maddesi olarak kül kauçuk malzemeye eklenmiştir. Deneysel sonuçlar birincil katkı maddesi olarak %100 karbon siyahı eklenerek üretilen kauçuk malzemeler ile farklı oranlarda uçucu kül eklenerek üretilen kauçuk malzemelerin çekme dayanımı ve kopma uzama değerleri karşılaştırılmıştır. Bu şekilde atık ürün olan uçucu küller kullanılarak çevreye olan zararları azaltılmış hem de plastik malzemenin çekme dayanımında ve kopma uzamasında artış sağlandığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül, Kauçuk, Karbon Siyahı.

Experimental Investigation of the Effects of Different Types of Fly Ashes on Mechanical Properties of Rubber

Abstract

One of the most important problems of today is the storage or disposal of waste materials without damaging the nature. Fly ash, a waste product, emerges by burning coal in thermal power plants. Fly ashes are spherical particles with a glassy structure, usually between 0.5 and 200 µm in size. Fly ashes are collected in various ways to prevent air pollution and harm to the environment. A large part of the collected fly ash is eliminated by storage. With the increasing population in the world, the use of thermal power plants and therefore the amount of waste fly ash is also increasing. Increasing the amount of fly ash without harming nature is becoming increasingly difficult. Another way to eliminate these fly ashes is to use it as a secondary additive, especially in the construction and plastics industry. In this way, both fly ash has a positive effect on the materials they are used and they are eliminated without damaging the nature. In this study, four fly ashes with different chemical properties were added to SBR (styrene-butadiene rubber) rubber and their mechanical effects on rubber were investigated. In the study, fly ash of Class F, Micron³, PV 14A and PV 20A types of thermal power plants in Texas, USA were used as secondary additive. Carbon black was used as the primary additive. In the tests,

* Sorumlu Yazar: Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0992-9003, mstunalioglu@gmail.com

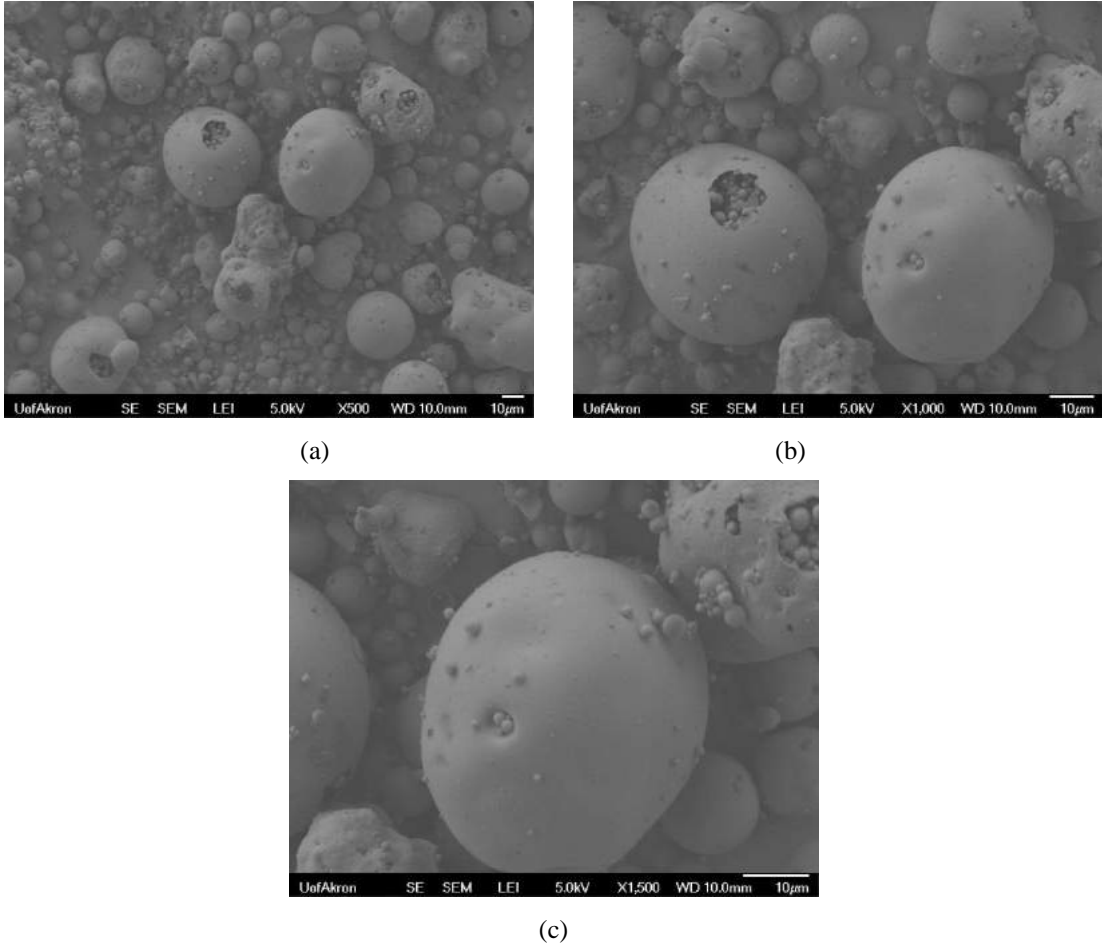
carbon black as the primary additive and fly ash as the secondary additive at 5,10,15,20% were added to the rubber material. In the experiments, tensile strength and elongation values of rubber materials produced by adding 100% carbon black as primary additives and rubber materials produced by adding different amounts of fly ash were compared. In this way, it is observed that the waste products fly ash is reduced to environmental damage and also the increase in tensile strength and elongation of the plastic material is observed.

Keywords: Fly ash, Rubber, Carbon black.

1. Giriş

Uçucu kül, kömürün tek başına termik santrallerde yakılması sonucu ortaya çıkan bir üründür. Uçucu küllerin çevreyi olumsuz etkilememesi için mekanik ve elektrostatik yöntemlerle toplanarak havaya karışması önlenir. Termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'i, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır (Morrison, 1970). Uçucu küller; uçucu külün kaynağını oluşturan kömürün türüne ve değişkenliğine, kömürün yakılmadan önce öğütülme (pulvarizasyon) derecesine, kazan tipine, yakma sıcaklığına, kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özelliklerine ve işleyişi gibi özelliklere göre değişiklik gösterirler (Güler vd., 2005). Uçucu kül, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir (Şekil 1). Rengin koyuluğu veya açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Uçucu külün inceliği öncelikle kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır (Morrison, 1970).

Uçucu küllerin boyutları genellikle 0.5 ile 200 µm arasında değişir. Camsı yapıya sahip çoğunlukla küresel karakterdeki parçacıklardır (Şekil 1). Spesifik yüzeyleri 1800 – 5000 cm²/gr arasında değişmekle birlikte, ortalama 2800 - 3800 cm²/gr dolayındadır (Morrison, 1970).



Şekil 1. Uçucu küllerin SEM fotoğrafları (a,b,c sırası ile X500, X1000, X1500 büyüklükleridir).

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları incelendiği zaman SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃ ve MgO'nin yer aldığı bileşiklerden olduğu gözükmektedir. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir (Morrison, 1970). Uçucu küllerin matrisi esas olarak alümina silikatlardan ve bunlarla birlikte bulunabilen Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu olan veya uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementler matrise girme eğilimi göstermezler. Bu elementler derişimleri tane boyutu ile ters orantılı olarak uçucu küllerin yüzeylerinde toplanırlar (Morrison, 1970).

Uçucu kül üzerinde yapılan araştırmalar son 25-30 yılda büyük yoğunluk kazanmıştır. Önceden daha çok uçucu külün genel yapısı ve özellikleri ile kullanım olanaklarına yönelik çalışmalar, zamanla laboratuvar ve arazide gerçekleştirilen analizlerle geliştirilmiş,

sonuçta uçucu külün inşaat alanında, özellikle yol yapımında kullanılmasının, termik santrallerde büyük mertebelerde atık madde olarak oluşan bu malzemenin uzaklaştırılması sorununa çözüm getireceği açığa kavuşmuştur (Güler vd., 2005).

Ülkemizde bu konuda Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS-639 'Uçucu Küller' ve TS 640 'Uçucu Küllü Çimento' standartları çıkarılmıştır. Uçucu küller dünyada çimento ve beton olarak baraj duvarları köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında ve diğer pek çok inşaat yapılarında, tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında, otoyol, köprü, yol ve briket yapımında ve asfalt içinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Güler vd., 2005).

Gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde uçucu kül ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar ilk zamanlar uçucu küllerin çimentoya katkı maddesi olarak eklenmesi ile başlamış olup daha sonra kauçuğa eklenmesiyle ağırlık kazanmıştır.

Uçucu küllerin geoteknik özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili yapılan çalışmalarda (Wasti, 1990; Elverici, 1986; Büyüköner, 1989; Savran, 1988; Uysal, 1987), uçucu maddelerin özellikleri ve inşaat sektöründe, yapı ve yol malzemesine eklenmesi anlatılmıştır.

Uçucu küllerin kullanım alanları ve özelliklerinden sonra, Türkiye'de Afşin Elbistan ve Seyitömer gibi Termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan uçucu küllerin özellikleri ve yapı malzemesi olarak kullanım özellikleri incelenmiştir (Alataş, 1996; Ergüt, 1994; Toros, 1987; Yılmaz, 1982; Hamamcı, 1991).

Uçucu küller polimer esaslı malzemelerde mekanik özellikleri geliştirmek için birincil veya ikincil katkı malzemesi olarak kullanılmışlardır. Ooi ve diğerleri (Ooi vd., 2013); palmiye ağacının külünü doğal kauçuk ile 0-9 phr oranlarında karıştırarak külün kauçuktaki küreleşme sıcaklığına, mekanik özelliklere ve kauçuğun yüzeyine etkilerini incelemiştir. Palmiye ağacı külünün kauçuk içerisindeki miktarı arttıkça küreleşme sıcaklık süresinin düştüğünü, çekme modülünün ve sertliğin arttığını belirlemiştir. Kanking ve diğerleri (Kanking vd., 2012); şeker kamışı külünü doğal kauçuğa ikincil katkı maddesi olarak ekleyip kauçuğun küreleşme karakteristikleri ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Doğal kauçuğa birincil katkı maddesi olarak çökelmiş silika (PSi) ve karbon siyahı (CB) eklenmiştir. Şeker kamışı külünün ikincil katkı maddesi olarak kullanılmasının en büyük nedeni içeriğinde %75.4 oranında SiO₂ bulunmasıdır. Şeker kamışı külü doğal kauçuğa 0-15-30-45 oranlarında eklenmiştir. Şeker kamışı külü %15'e kadar mekanik özelliklerde bir değişme göstermemiş, %15-25 arası mekanik özellikleri iyileştirmiştir. Cokca ve diğerleri (Cokca ve Yılmaz, 2004); Soma'da (Türkiye) üretilen C tipi uçucu küle değişik oranlarda birincil katkı maddesi olarak bentonit, ikincil katkı maddesi olarak doğal kauçuk eklemiştir. Karışım oranları %90 C tipi uçucu kül, %0-10 bentonit ve %0-10 doğal kauçuk şeklindedir. Sonuçlar yapılar için C tipi uçucu küller iyi sonuçlar vermektedir. Ray (Ray, 2009); SBR (styrene-butadiene rubber) kauçuğa uçucu külü ikincil katkı maddesi ekleyip, kauçuğun mekanik özelliklerini incelemiştir. Karışım %1-10 SBR, %40-50 oranında uçucu kül ve %40-50 arasında doymamış polyester reçine şeklindedir. En iyi sonuçlar %20-30 arası uçucu kül eklenmesiyle görülmüştür. Rattanasom ve diğerleri (Rattanasom vd., 2007); doğal kauçuğa silika/karbon siyahı şeklinde hibrid katkıları eklemiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda 20-30 phr arası silikanın daha iyi mekanik özellik gösterdiğini belirlemiştir. Bahruddin ve diğerleri (Bahruddin vd., 2012); doğal kauçuğa birincil katkı maddesi olarak polipropilen (PP) ve ikincil katkı maddesi olarak palmiye ağacı uçucu külü (PFA) eklemiştir. Kauçuk PP oranı 70/30 şeklinde ve 5-50 phr arası uçucu kül eklenmiştir. Karışıma bunun yanı sıra 5 phr ZnO, 2 phr stearik asit, 0.6 phr mekaptodibenzotiozildisülfid ve 3 phr sülfür eklenmiştir. PFA çekme kuvvetini iyi yönde arttırmakta, homojenliği sağlamakta ve su emme oranını arttırmaktadır. Van der Merwe ve diğerleri (Van der Merwe vd., 2014); Güney Afrika kömürü uçucu külünü (F tipi) değişik oranlarda katkı maddesi olarak doğal kauçuğa ekleyip SEM (Scanning Electron Microscopy), TEM (Transmission Electron Microscopy) ve AFM (Atomic Force Microscopy) analizleri yapmışlardır. Analizlerinin sonucunda mekanik özelliklerin arttığını gözlemlemiştir. Paul ve diğerleri (Paul vd., 2009); nano yapılu uçucu küller ve SBR kauçuk ile nano kompozit yapmışlardır. SBR kauçuğa saf uçucu kül (FFA), nano uçucu kül (NFA), karbon siyahı (CB) çökelmiş silika ve Si-69 katkı maddelerini 1,2,4,8,16 phr olarak ekleyerek mekanik özelliklerin değişimi incelenmiştir. Kauçuğa katılan NFA CB'ye göre daha yüksek gerilme özelliklerine sahiptir. Ayrıca NFA partikülleri SBR matris içinde daha iyi yayılmışlardır. Sombatsompop ve diğerleri (Sombatsompop vd., 2004); işlem görmemiş çökelti silika (PSi) ve uçucu külü (FASi) birincil ve ikincil katkı maddesi olarak doğal ve stiren bütadien tipi kauçuğa eklenerek küreleşme sıcaklığı ve mekanik özellikler incelenmiştir. Katkı maddelerini 0-30 phr arası eklenmiş, bu oranlarda doğal kauçukta iyi SBR'da düşük mekaniksel özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Garde ve diğerleri (Garde vd., 1999); uçucu külü katkı maddesi olarak kauçuğa ekmeden önce yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş ve bu işlemin mekanik özellikleri %30 oranında iyileştirdiği görülmüştür. Feldman ve diğerleri (Feldman, 2012); doğal kauçuğa katkı maddesi olarak değişik miktarlarda karbon siyahı, toz silika parçaları, selülozik kristaller, nano katkı karışımları ve elastomer nano kompozitleri eklemiştir, mekanik özellikleri en iyi silika tozlarının arttırdığını belirlemiştir.

Bu çalışmada farklı kimyasal özelliklere sahip 4 adet uçucu kül (Class F, Micron³, PV 14A, PV 20A) ikincil katkı maddesi ve karbon siyahı birincil katkı maddesi olarak farklı oranlarda (% 0, 5, 10, 15, 20) SBR(styrene-butadiene rubber) kauçuğa eklenerek, kauçuk üzerindeki mekanik etkileri incelenmiştir.

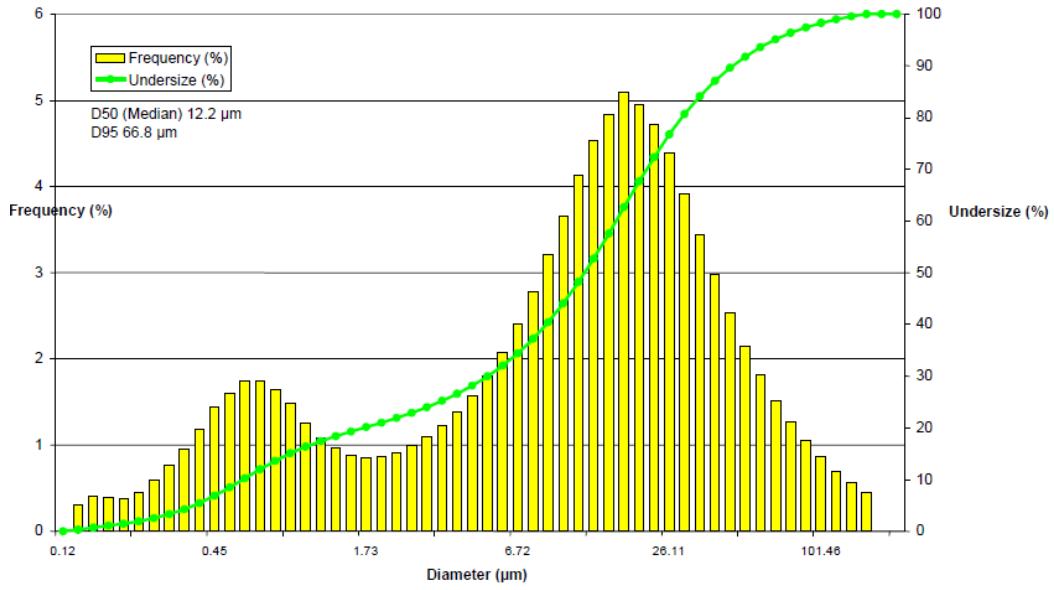
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada farklı kimyasal özelliklere sahip dört adet uçucu kül farklı oranlarda ikincil katkı maddesi olarak kauçuk ile karıştırılarak, uçucu küllerin polimer esaslı malzemelerde etkileri incelenmiştir. Birincil katkı maddesi olarak karbon siyahı kullanılmıştır. Kullanılan uçucu küller 'Boral Material Technologies Inc. Texas, U.S.' tarafından temin edilmiştir. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri (BORAL, 2019).

Bileşenler	Formül	PV 14 A %	PV 20 A %	Micron ³ %	Class F %
Silika	SiO ₂	<30-40	<20-30	<30-40	<20-25
Alüminyum oksit	Al ₂ O ₃	17-21	12-21	21-27	22-29
Kalsiyum oksit	CaO	13-18	13-18	8-11	1-14
Kuarts (silika)	SiO ₂	<17	<10	<17	<17
Demir oksit	Fe ₂ O ₃	4-6	4-6	4-6	5-9
Solunabilir silika kristalleri	SiO ₂	<4	<2	<4	<4
Karbon	C	1	<1	<1	<6

Çalışmada kullanılan uçucu küllerin tane boyutları 12 ile 70 µm arasında değişmektedir. Şekil 2’de PV 14A’ya ait uçucu küllerin tane boyutu değişimi grafiği verilmektedir.



Şekil 2. PV 14A tip uçucu küllün tane boyutu (BORAL, 2019).

Deneylerde polimer tipi malzeme olarak Buna VSL 5025-2 HM tipi kauçuk kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kauçuk ‘LANXESS Deutschland GmbH, Business Unit PBR Global, Germany’ (LANXESS, 2019) tarafından temin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kauçuğun malzeme özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan kauçuğun malzeme özellikleri (LANXESS, 2019).

Özellik	Nominal Değer	Birim	Test Metodu
Uçucu madde	max. 0.75	%	MO AQ 255 LAB
Mooney viskozitesi	62	ME	ASTM D 1646
Vinil bileşen	50	%	MO AQ 254 LAB
Stiren bileşen	25	%	MO AQ 243 LAB(UV)
Yağ bileşen	27.3	%	MO AQ 246 LAB

2.1. Mikser Cihazı (Brabender) ile Karıştırma

4 farklı uçucu kül ikincil katkı maddesi olarak, 4 değişik oranlarda (Tablo 3) karbon siyahı birincil katkı maddesi olarak, SBR (Styrene Butadiene Rubber) ve diğer kimyasallar (Tablo 4) ile 90 °C’de 15 dakika Brabender Cihazında karıştırılmıştır. Cihaz 90 °C sıcaklığa ulaştığında karışım için sırasıyla SBR, karbon siyahı ve PPD 30 dev/dak hızda 15 dakika karıştırılmıştır. Karışım soğuması için 30 dakika soğutucuda bekletilmiştir. Diğer kimyasalların eklenmesi için karışım soğutucudan alınmış ve 90 °C sıcaklıkta ZnO, CBS, sülfür ve CH₃(CH₂)₁₆CO₂H eklenerek soğuması için soğutucuya konulmuştur.

Tablo 3. Uçucu kül karışım oranları

Deney No	Uçucu Kül Adı	Uçucu Oran	Kül	Karbon Oran	Siyahı
1	Class F	%5		%95	
2	Class F	%10		%90	
3	Class F	%15		%85	
4	Class F	%20		%80	
5	Micron ³	%5		%95	
6	Micron ³	%10		%90	
7	Micron ³	%15		%85	
8	Micron ³	%20		%80	
9	PV 14A	%5		%95	
10	PV 14A	%10		%90	
11	PV 14A	%15		%85	
12	PV 14A	%20		%80	
13	PV 20A	%5		%95	
14	PV 20A	%10		%90	
15	PV 20A	%15		%85	
16	PV 20A	%20		%80	

Tablo 4. Karışım oranları

Görevi	Adı	Phr	Yoğunluk (g/cm ³)	Ağırlık (g)
Kauçuk	Buna VSL 5025-2 HM	100	0.93	188.68
Katkı maddesi	Carbon Black N234	50	1.7-1.9	94.34
Aktivatör	ZnO	3	5.6	5.66
Hızlandırıcı	CBS	1.6	1.31-1.34	3.02
Kürleştirici	Sülfür	1.4	2.07	2.64
Hızlandırıcı	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ CO ₂ H	2	0.85	3.77
Antioksidant ve Antiozonant	6-PPD	1	1.02	1.89
		159	1.131	300.00

2.2. Çift Merdaneli Hadde (Two-Roll Mill)

Mikser cihazından alınan numuneler kalıplama öncesinde çift merdaneli hadde makinasında 25 dakika haddelenmiştir. Şekil 3'te mikserleme ve çift merdaneli hadde cihazında haddelenen örnek numunelerin fotoğrafları görülmektedir.

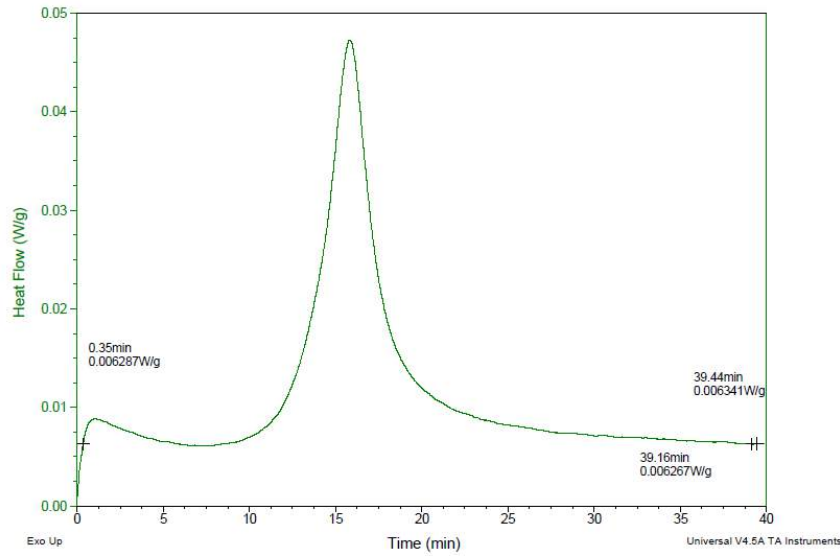




Şekil 3. Mikserleme ve çift merdaneli hadde sonrası numunelerin fotoğrafları.

2.3. DSC (Differential Scanning Calorimetry)

DSC cihazı ile numunelerin kürleşme süreleri belirlenmiştir. Numunelerin kürleşme sıcaklıkları ve süreleri Şekil 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Deneylerde her bir numune 160°C'de 40 dakika DSC cihazında bekletilerek kürleşme süresi belirlenmiştir.



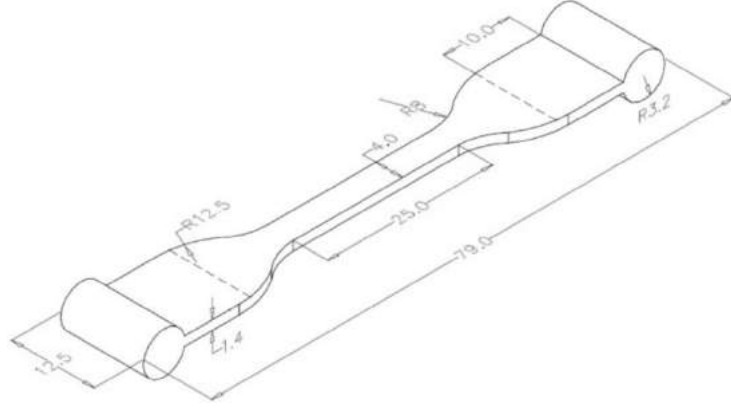
Şekil 4. Örnek DSC grafiği

Tablo 5. Kürleşme sıcaklıkları

Deney No	Uçucu Kül Adı	Uçucu Oranı	Kül	Karbon Oranı	Kürleşme Sıcaklığı (°C)	Kürleşme Zamanı (s.)
1	Class F	%5		%95	160	18
2	Class F	%10		%90	160	18.4
3	Class F	%15		%85	160	19
4	Class F	%20		%80	160	19.5
5	Micron ³	%5		%95	160	18
6	Micron ³	%10		%90	160	19
7	Micron ³	%15		%85	160	19.2
8	Micron ³	%20		%80	160	19.4
9	PV 14A	%5		%95	160	18
10	PV 14A	%10		%90	160	18.5
11	PV 14A	%15		%85	160	18.5
12	PV 14A	%20		%80	160	19
13	PV 20A	%5		%95	160	18.2
14	PV 20A	%10		%90	160	18.2
15	PV 20A	%15		%85	160	18.8
16	PV 20A	%20		%80	160	19.1
17	Karbon Siyahı	%0		%100	160	18.5

2.4. Kürleşme Cihazı:

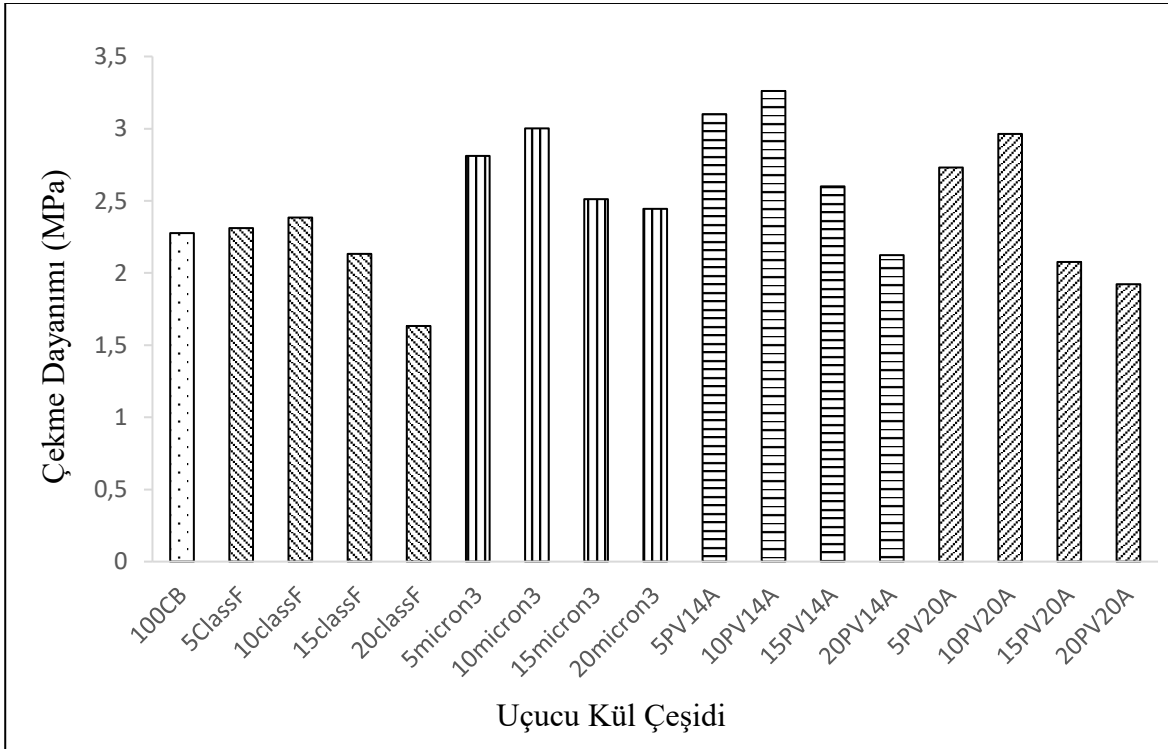
Deney numuneleri DSC cihazı ile elde edilen kürleşme süreleri ve sıcaklıklarına uygun olarak kürleşme kalıbıyla birlikte kürleştirilme işlemine tabi tutulmuştur. Her bir numune kendine özgü sıcaklıkta kürleştirildikten sonra çekme deneyleri için kesme işlemi yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak numuneler ASTM D4482 standartlarına uygun olarak üretilmiştir (Liu ve Sancaktar, 2018).



Şekil 5. Test numunesi (Liu ve Sancaktar, 2018).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

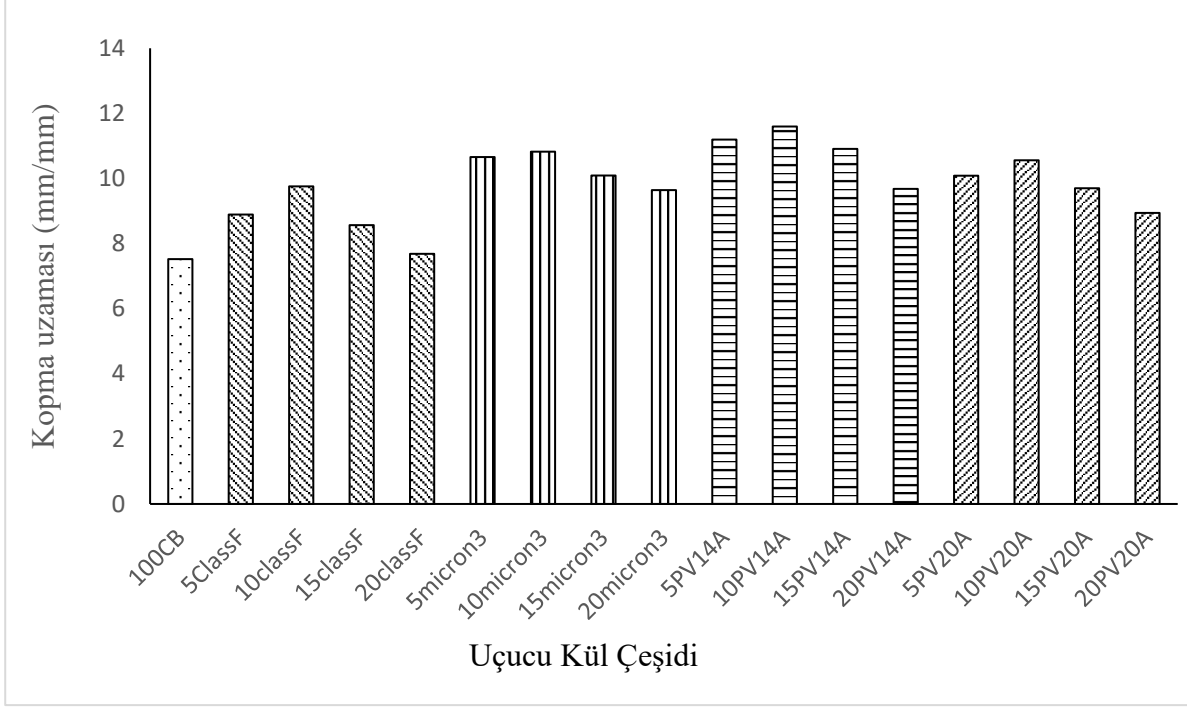
3.1. Çekme Deneyi Sonuçları



Şekil 6. Deney Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları

Brabender Cihazında karıştırılan ve kürleştirilen numunelerin mekanik özelliklere etkisini anlamak için çekme deneyleri yapılmış ve farklı oranlara sahip uçucu küller ile karbon siyahı numuneleri karşılaştırılmıştır. Çekme deneylerinin tutarlılığı için test numuneleri farklı kalıplamalara ait 5 numunedan seçilerek deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonuçlarına göre (Şekil 6) SBR kauçuğuna uçucu küller ikincil katkı maddesi olarak eklendiğinde kauçuğun çekme dayanımının arttığı görülmektedir. Şekil 6'ya göre PV 14A tipi uçucu kül eklenmiş kauçuğun çekme dayanımı ortalama %20-25 oranında artmış, en fazla çekme dayanımı %43 artış ile

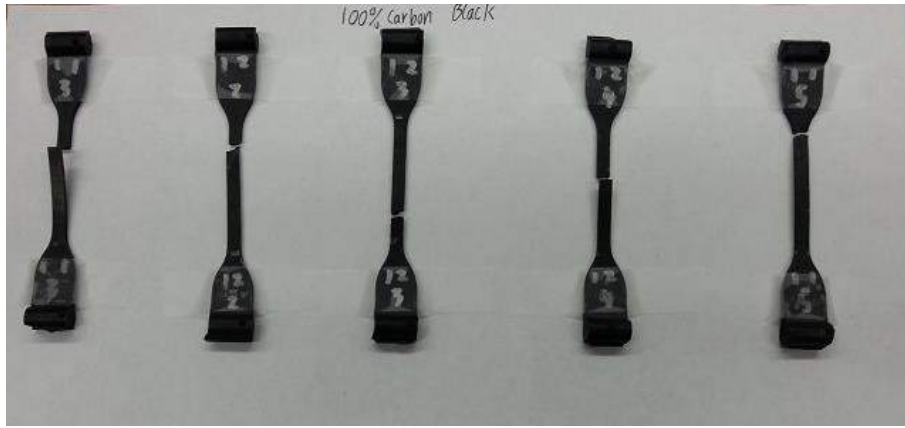
kauçuğa %10 oranında PV 14A tipi uçucu kül eklendiğinde gözlenmiştir. Aynı şekilde Micron³ tipi uçucu kül ile birleştirilmiş kauçuğun çekme dayanımı ortalama %15-20 oranında artmış, en fazla çekme dayanımı %31,6 artış ile kauçuğa %10 oranında Micron³ tipi uçucu kül eklendiğinde gözlenmiştir. PV 20A tipi uçucu kül ile birleştirilmiş kauçuğun çekme dayanımı ortalama %8-10 oranında artmış, en fazla çekme dayanımı %30 ile kauçuğa %10 oranında PV 20A tipi uçucu kül eklendiğinde gözlenmiştir. Class F tipi uçucu kül ise kauçuğa %10 oranında eklendiğinde %0.44'lük bir çekme dayanımı artışı göstermiştir. Deney sonuçlarına göre kauçuğa ikincil katkı maddesi olarak uçucu kül eklendiğinde malzemenin çekme dayanımında artış gözlenmektedir. Çekme dayanımlarında en büyük artışlar %43 ile kauçuğa %10 oranında PV 14A tipi uçucu kül ve %31,6 ile kauçuğa %10 oranında Micron³ tipi uçucu kül eklendiğinde gözlenmiştir. Bunun en büyük nedeni PV 14A ve Micron³ tipi uçucu küllerin yapısındaki SiO₂ miktarlarının diğer uçucu küllere oranla fazlalığıdır (Tablo 4).



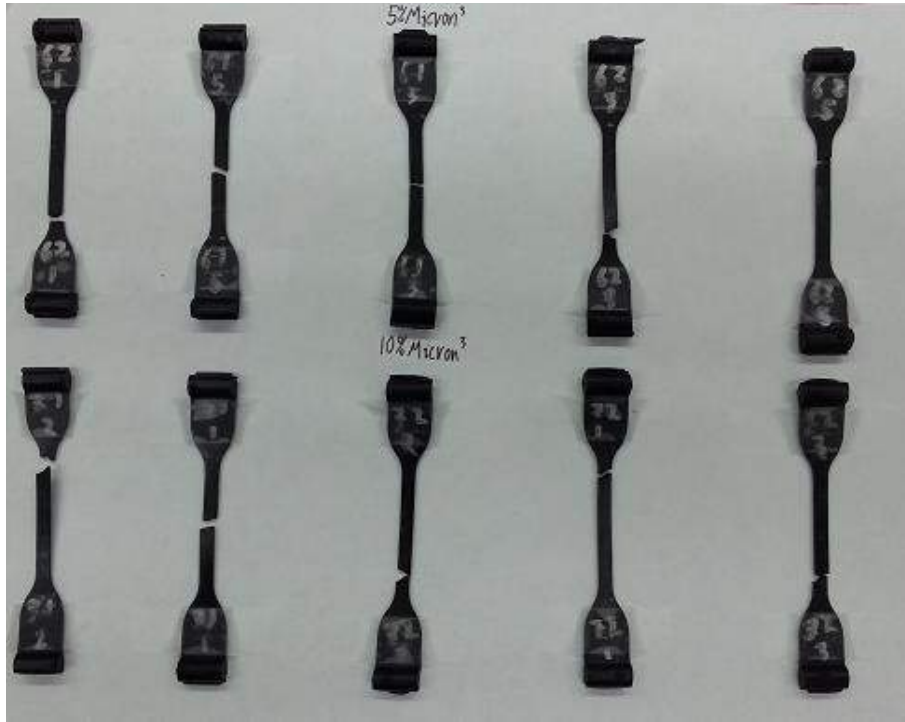
Şekil 7. Deney Numunelerinin kopma uzaması

Şekil 7’de kauçuğun ikincil katkı maddesi olarak farklı tiplerde uçucu kül ile birleştirilmesiyle oluşan numunelerin kopma uzaması dört farklı oran birlikte ele alınmıştır. SBR kauçuğunun PV14A uçucu kül eklenmesiyle oluşan numunelerin kopma uzaması ele alındığında, %100 karbon siyahına oranla ortalama %25-30 oranında artış göstermekte olup en fazla kopma uzaması %54,3 ile %10 oranında eklenen PV14A uçucu külde gözlenmiştir. Farklı oranlarda Micron³ tip uçucu kül eklenen kauçuk malzemenin kopma uzaması %100 karbon siyahına oranla %25-30 oranında artmış olup en fazla kopma uzaması farkı %43,8 ile %10 oranında eklenen Micron³ tipi uçucu külde gözlenmiştir. Kauçuğun PV 20A tipi uçucu kül ile birleştirilmesiyle oluşan numunelerin kopma uzaması dört farklı oran birlikte ele alındığında, kauçukla karbon siyahının %100 olarak kullanıldığına oranla ortalama %20-25 oranında artmış, en fazla kopma uzaması %40,4 ile kauçuğa %10 oranında PV 20A tipi uçucu külde gözlenmiştir. Class F tipi uçucu külün karbon siyahı ile kopma uzaması oranlamasında artış ortalama %10-15 civarında olup en fazla fark %29,8 oranında uçucu külde gözlenmiştir. Şekil 7’ye göre kauçuk malzemeye ikincil katkı maddesi olarak uçucu kül eklenmesi malzemenin kopma uzamasına önemli etkide katkı sağlamaktadır.

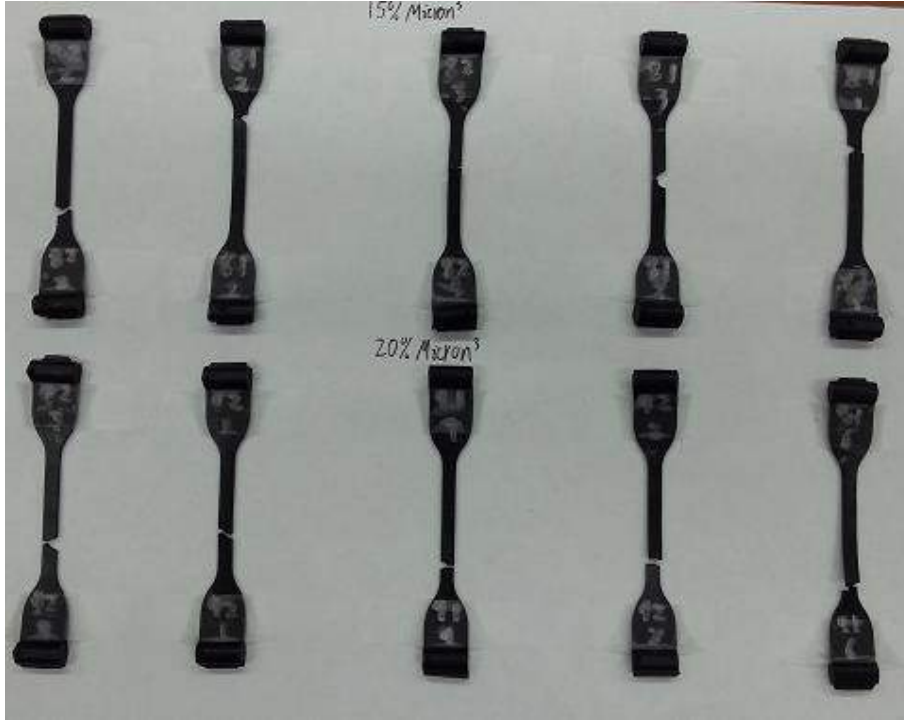
3.2. Çekme Deneyi Sonucu Fotoğrafları



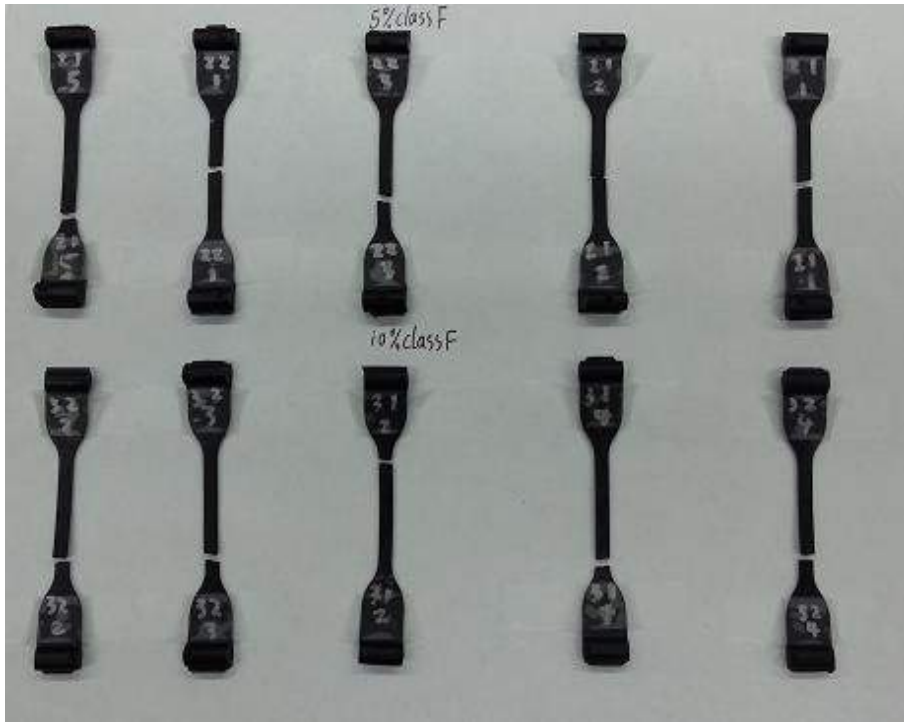
Şekil 8. %100 Karbon Siyahı numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



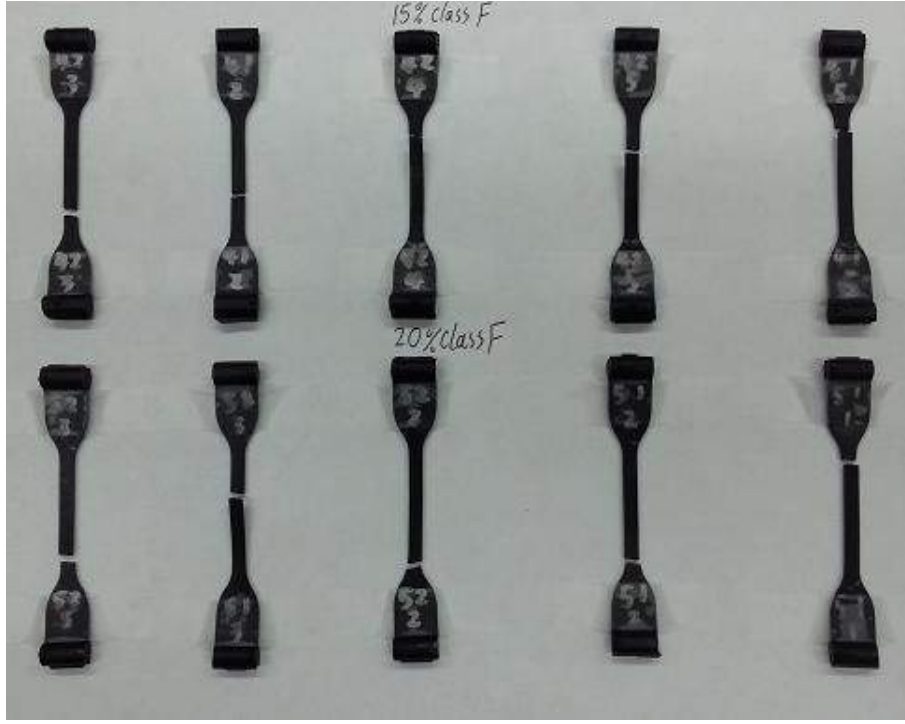
Şekil 9. %5 ve %10 Micron³ numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



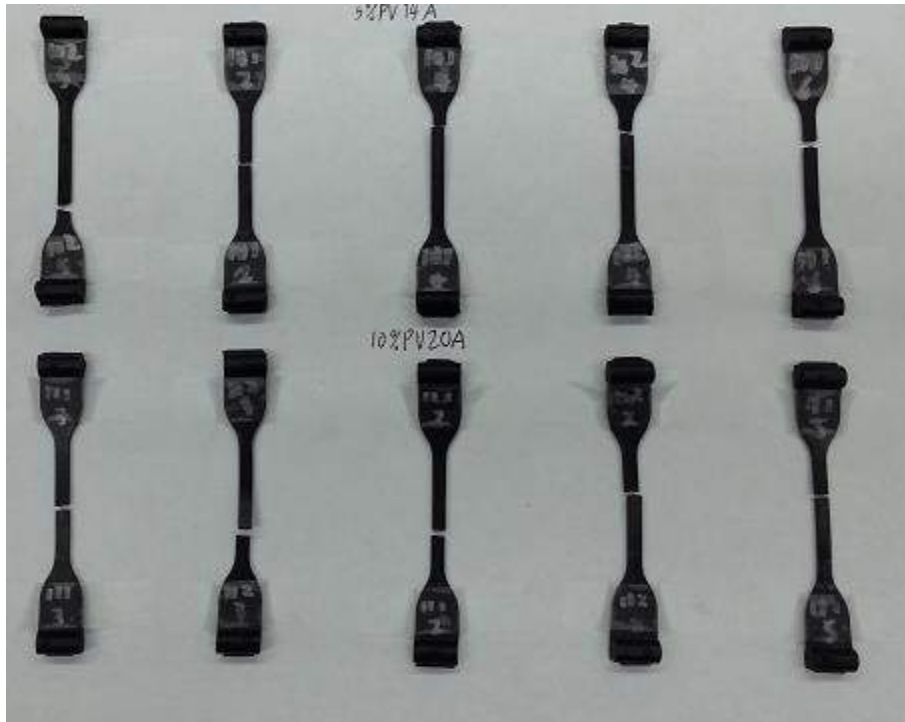
Şekil 10. %15 ve %20 Micron³ numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



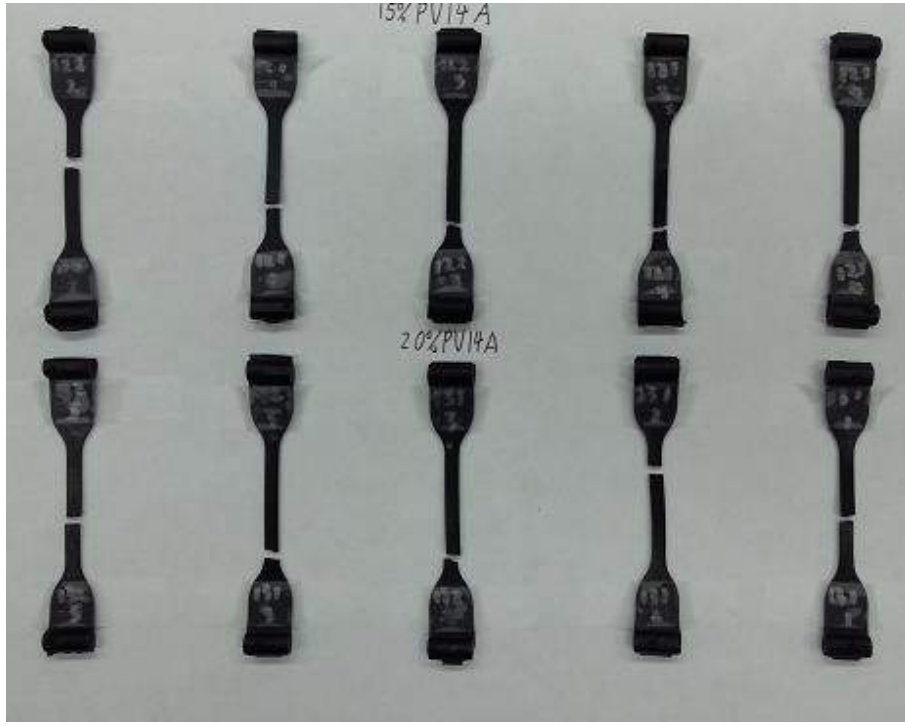
Şekil 11. %5 ve %10 Class F numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



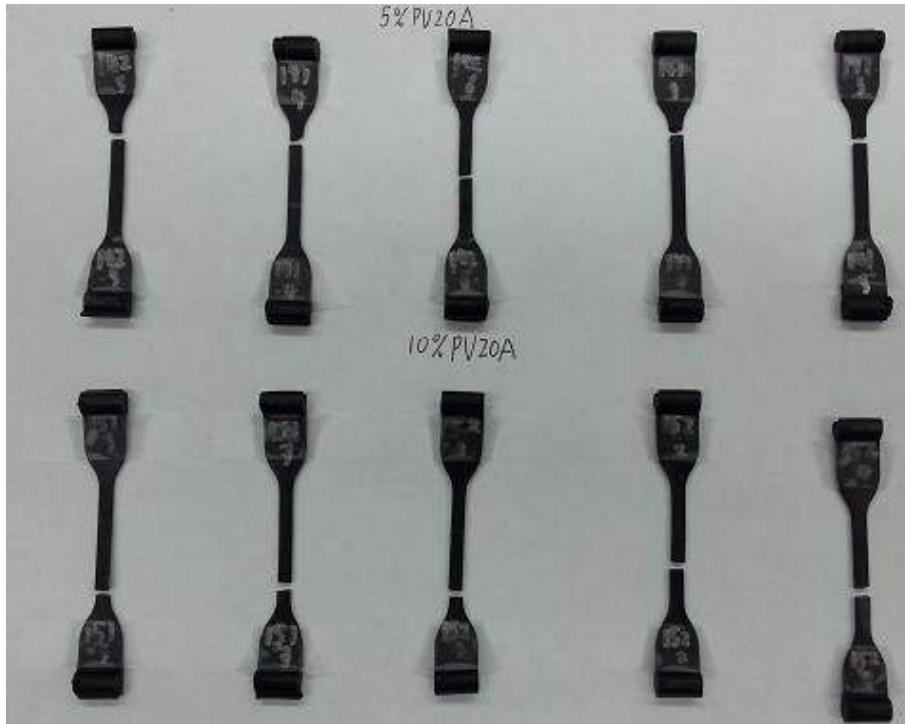
Şekil 12. %15 ve %20 Class F numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



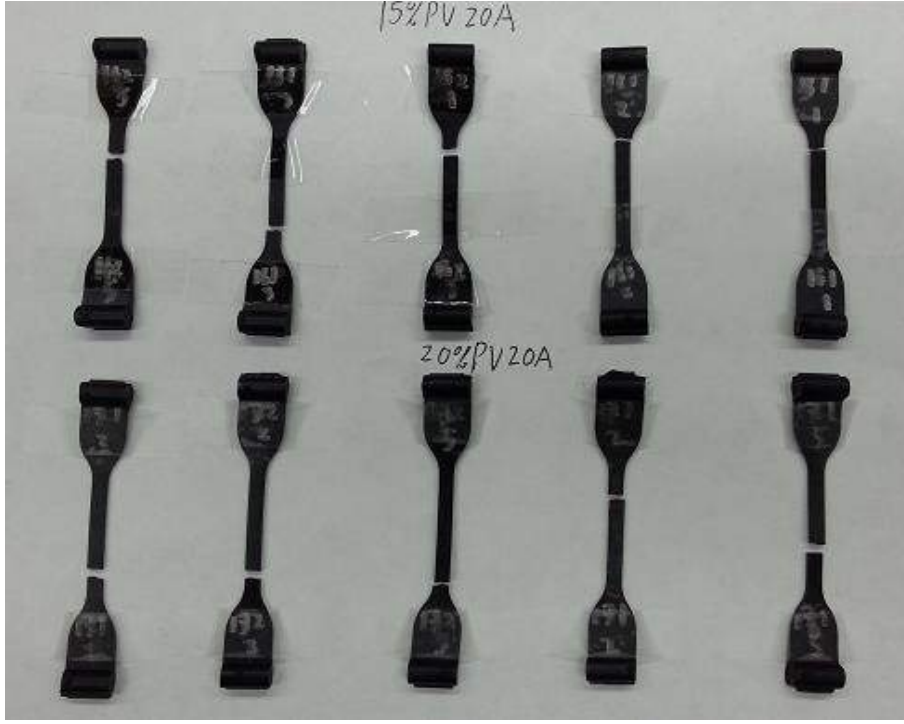
Şekil 13. %5 ve %10 PV 14A numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



Şekil 14. %15 ve %20 PV 14A numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



Şekil 15. %5 ve %10 PV 20A numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



Şekil 16. %15 ve %20 PV 20A numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğrafları



Şekil 17. %100 uçucu kül ilave edilmiş SBR numunesi

Şekil 8 kauçuğa %100 karbon siyahının birincil katkı maddesi olarak ilave edilmiş numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğraflarıdır. Şekil 9 ve 10 kauçuğa %5-20 arası Micron³ tipi uçucu külünün ikincil katkı maddesi olarak ve %80-95 arası karbon siyahının birincil katkı maddesi olarak ilave edilmiş numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğraflarıdır. Şekil 11 ve 12 kauçuğa %5-20 arası Class F tipi uçucu külünün ikincil katkı maddesi olarak ve %80-95 arası karbon siyahının birincil katkı maddesi olarak ilave edilmiş numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğraflarıdır. Şekil 13 ve 14 kauçuğa %5-20 arası PV14A tipi uçucu külünün ikincil katkı maddesi olarak ve %80-95 arası karbon siyahının birincil katkı maddesi olarak ilave edilmiş numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğraflarıdır. Şekil 15 ve 16 kauçuğa %5-20 arası PV 20A tipi uçucu külünün ikincil katkı maddesi olarak ve %80-95 arası karbon siyahının birincil katkı maddesi olarak ilave edilmiş numunelerinin çekme deneyi sonrası fotoğraflarıdır. Şekil 8-16 incelendiğinde, her bir uçucu kül çeşidi için 5 farklı çekme deneyinin yapıldığı ve bu deneylerin standartlara uygun olarak belirlenen bölgelerden koptuğu görülmektedir.

Şekil 17 kauçuğa %100 uçucu külün birincil katkı maddesi olarak ilave edilmiş numunenin çekme deneyi sonrası fotoğraflarıdır. Şekil 17 incelendiğinde numunenin üzerinde oluşan dairesel şekilli boşluklar kauçuğun mekanik özelliklerini zayıflatmakta, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerini düşürmektedir.

4. Sonuç

Termik santrallerde kömürün yanması sonucu ortaya çıkan uçucu küllerin çevreyi olumsuz yönde etkilememesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bir tanesi de uçucu küllerin SBR (stiren bütadien kauçuk) ile birincil veya ikincil katkı maddesi olarak birleştirilmesidir. Hedeflenen amaç; uçucu küllerin çevresel atık olarak imhasının yanı sıra kauçuğun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Bu amaçla ilk önce SBR ile kimyasal özellikleri birbirinden farklı 4 çeşit uçucu kül birincil katkı maddesi olarak karıştırılmıştır. Elde edilen numuneler günümüzde endüstride sıklıkla kullanılan birincil katkı maddesi sadece karbon siyahı olan SBR ile karşılaştırıldığında dört çeşit uçucu küle ait numunelerin hem çekme dayanımlarının hem de kopma uzamalarının düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca içyapılar mikroskopta incelendiğinde test numunelerinde baloncuk adı verilen küçük dairesel boşlukların olduğu gözlenmiştir. Çekme testlerinde kopmaların dairesel boşlukların olduğu bölgelerde olduğu belirlenmiştir. Bu boşlukları önlemek için SBR tipi kauçuk birincil katkı maddesi olarak karbon siyahı, ikincil katkı maddesi olarak 4 farklı uçucu kül ile dört farklı oranlarda karıştırılmıştır. Yapılan çekme deneyleri sonucunda uçucu küllerin kauçuğa %5 oranında ikincil katkı maddesi olarak kullanıldığında çekme dayanımının ve kopma uzamasının artış gösterdiği, %10 oranında ikincil katkı maddesi olarak kullanıldığında maksimum artışın olduğu gözlenmektedir. Buda Literatürde (Hamamcı, 1991; Ooi vd., 2013; Cokca ve Yılmaz, 2004; Ray, 2009) yapılan çalışmalarla uygunluk göstermektedir. Dört farklı uçucu kül kendi içerisinde karşılaştırılırsa PV 14A tipi uçucu külün %10 oranında ikincil katkı maddesi olarak kullanıldığı kauçuk bileşiminde çekme dayanımı ve kopma uzaması maksimumdur. Bunun başlıca sebebinin bu tip uçucu külün içerisindeki Si miktarı diğer tip uçucu küllere oranla daha fazla olduğu söylenebilir.

Termik santrallerde kömürün yanması sonucu ortaya çıkan uçucu küller ile ilgili yapılan çalışmalar son yıllarda gittikçe hız kazanmaktadır. Bu çalışmalardan bir tanesi de uçucu küllerin SBR (stiren bütadien kauçuk) ile birincil veya ikincil katkı maddesi olarak birleştirilmesidir. Uçucu küller ile ilgili yapılabilecek diğer çalışmalar ise; Si-69 yöntemiyle uçucu küllerin yapısındaki silis miktarını artırma ve mikrodalga yöntemiyle tanecik boyutunu küçültme şeklindedir.

Teşekkür

Bu çalışma Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi MUH19006.13.001 ile desteklenmiştir. Çalışmalar Akron Üniversitesi (ABD) Polimer Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu çalışmada katkılarından ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Erol SANCAKTAR'a teşekkür ederim.

Kaynakça

- Alataş, T. (1996). Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külünün yol stabilizasyonunda çeşitli maddelerle birlikte kullanımı üzerinde bir araştırma. *Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Bahrudin, A., Ahmad, A., Prayitno, A., Satot, R. (2012). Morphology and mechanical properties of plam based fly ash reinforced dynamically vulcanized natural rubber/polypropylene blends. *Procedia Chemistry*, 4, 146-153.
- BORAL, (2019). http://www.boralna.com/brochures/ordering/default.asp?site=boral_na&company=Fly%20Ash&product=Flyash&category=443&c_name=MSDS%20Sheets&scr=1. Erişim tarihi: 14 Ocak 2020.
- Büyüköner, B. (1989). Properties of compacted and steam cured fly ash lime masonryunits. *Yüksek Lisans Tezi. ODTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Cokca, E., Yılmaz, Z. (2004). Use of rubber and bentonite added fly ash as a liner Material. *Waste Management*, 24, 153-164.
- Elverici, Ü. (1986). Effect of blast furnace slag and flyash on the stabilization of base materials. *Yüksek Lisans Tezi. ODTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Ergüt, Ş. (1994). Seyitömer Termik Santral atık uçucu küllerinin sinterleşme karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi. İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Feldman, D. (2012). Elastomer nanocomposites; Properties. *Journal of Macromolecular Science, Part A:Pure and Applied Chemistry*, 49, 784-793.
- Garde, K., McGill, W., J., Woolard, C., D. (1999). Surface modification of fly ash-characterisation and evaluation as reinforcing filler in polyisoprene. *Plastics, Rubber and Composites*, 28, 1-10.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, U., Mordoğan, H. (2005). Uçucu küllerin özellikleri ve kullanım alanları. *IMTEC2005*, 419-423.
- Hamamcı, R. B. (1991). Effect of rubber, carbon black and fly ash on physical properties of pavements. *Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Kanking, S., Niltui, P., Wimolmala, E., Sombatsompop, N. (2012). Use of bagasse fiber ash as secondary filler in silica or carbon black filled natural rubber compound. *Materials and Design*, 41, 74-82.
- LANXESS, (2019). <https://techcenter.lanxess.com/pbr/emea/en/products/datasheet/HM.pdf?docId=7960864&gid=1807&pid=10>. Erişim tarihi: 14 Ocak 2020.
- Liu, R., Sancaktar, E. (2018). Durability assessment via residul strength and viscoelastic observations on filled rubber compounds. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 41-9, 2054-2065.
- Morrison, R. E. (1970). A review of ash specifications. *Symposium of Fly Ash Utilization*, 24-31.

- Ooi, X. Z., Ismail, H., Bakar, A. A. (2013). Synergistic effect of palm ash filled rubber compound at low filler loading. *Polymer Testing*, 32, 38-44.
- Paul, K., T., Pabi, S., K., Chakraborty, K., K., Nando, G., B. (2009). Nanostructured fly-ash styrene butadiene rubber hybrid nanocomposites. *Polymer Composites*, 1647-1656.
- Rattanasom, N., Saowapark, T., Deeprasertkul, C. (2007). Reinforcement of natural rubber with silica/carbon black hybrid filler. *Polymer Testing*, 26, 369-377.
- Ray, D. (2009). Modification of the dynamic damping behavior of fly ash filled unsaturated polyester resin/SBR latex blend composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28, 1537-1552.
- Savran, K. Z. (1988). Stabilization of cohesive soils with fly ash. *Yüksek Lisans Tezi. ODTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Sombatsompop, N., Thongsang, S., Markpin, T., Wimolmala, E. (2004). Fly ash particles and precipitated silica as fillers in rubbers. I. Untreated fillers in natural rubber and styrene-butadiene rubber compounds. *Journal of Applied Polymer Science*, 93, 2119-2130.
- Toros, H. (1987). Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu küllerinin yapı malzemesi olarak kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi. İTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Uysal, F. (1987). Geotechnical Properties of the fly-ashes produced in to thermal plants in Turkey. *Yüksek Lisans Tezi. ODTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Van der Merwe, E., M., Prinsloo, L., C., Mathebula, C., L., Swart, H., C., Coetsee, E., Doucet, F., J. (2014). Surface and bulk characterization of an ultrafine South African coal fly ash with reference to polymer applications. *Applied Surface Science*, 317, 73-82.
- Wasti, Y. (1990). Uçucu küllerin geoteknik özellikleri ve kullanım olanakları. *İMO Teknik Dergi*, 1, 177-188.
- Yılmaz, Ş. (1982). Seyitömer Termik Santral atık uçucu küllerinin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi. ODTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü.*



Akıllı Malzemelerin Kamu Yapılarında Uygulama Önerileri: Karabük Örneği

Merve Tuna Kayılı^{1*}

¹ Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3803-8229)

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 27 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.690675)

ATIF/REFERENCE: Tuna Kayılı, M. (2020). Akıllı Malzemelerin Kamu Yapılarında Uygulama Önerileri: Karabük Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 805-817.

Öz

Akıllı malzemeler, ısı, sıcaklık, mekanik ve manyetik etkilerle değişim gösterebilen veya bu etkilere tepki verebilen malzemelerdir. Bu malzemeler yapıda kullanıldıklarında, daha fazla enerji üreten, daha az su tüketimi sağlayan, daha az sarf malzeme ve kaynak kullanımını başaran yapıların üretilmesine katkı sağlamaktadır. Malzemelerin yapıda doğru ve etkin bir şekilde kullanımı, mimarlık eğitiminin önemli bir parçasıdır. Bu çalışma, günümüzde yapıda kullanılan akıllı malzemelere yönelik ön bilginin ardından, Karabük Üniversitesi Mimarlık Fakültesi son sınıf öğrencilerinin Çağdaş Yapı Malzemeleri dersi kapsamındaki stüdyo deneyimi çıktılarını üzerinden, Karabük'te yer alan üç farklı kamu yapısının akıllı malzemelerle yeniden kurgulanmasını sorgulamaktadır. Öncesinde akıllı malzemelerin teorik altyapısının aktarıldığı derste, öğrencilerden teorik altyapıyı kullanarak Karabük'te kamu yapılarını yeniden ele almaları ve akıllı malzemeler üzerinden stüdyo ortamında uzun soluklu olarak bu yapıların malzemelerini yeniden kurgulamaları istenmiştir. Seçilen Karabük Valilik Binası, Safranbolu Meslek Yüksekokulu ve Karabük Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi gibi bir hizmet, bir eğitim ve bir sağlık yapısına yönelik yapılan detaylı inceleme ve yeni malzeme kurgulamaları sonucunda çıkan analizler ve görseller incelendiğinde, ele alınan kamu yapılarında akıllı malzeme kullanımı ile işlevselliğin, görsel algının, ısıl ve görsel konforun, çevre koşullarına uyum ve enerji etkinliğinin artırılabilceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı malzemeler, Kamu Yapıları, Çağdaş Yapı Malzemeleri, Karabük

Application Recommendations of Smart Materials In Public Buildings: Karabuk Example

Abstract

Smart materials are materials that can change or react to heat, temperature, mechanical and magnetic effects. When these materials are used in the building, they contribute to the production of structures that produce more energy, provide less water consumption, achieve less consumables and resources. The correct and effective use of materials in the building is an important part of architectural education. This study questions the reconstruction of three different public buildings in Karabük with smart materials, based on the outputs of the studio experience within the scope of the Contemporary Building Materials Lecture of the senior students of Karabuk University Faculty of Architecture, following the prior knowledge of the smart materials used in the building today. In the lecture, where the theoretical infrastructure of smart materials was previously transferred, students were asked to reconsider the public buildings in Karabük using the theoretical infrastructure and to reconstruct the materials of these structures in the studio environment over smart materials. As part of the lecture, a service, an education and a medical building such as Karabük Governorship, Safranbolu Vocational School and Karabük University Training and Research Hospital were selected. When the analyzes and visuals resulting from the detailed examinations and structures of these selected buildings were examined, it was observed that the functionality, visual perception, thermal and visual comfort, compliance with environmental conditions and energy efficiency can be increased by the use of smart materials in public buildings.

Keywords: Smart materials, Public Buildings, Contemporary Building Materials, Karabük

* Sorumlu Yazar: Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3803-8229, mervetunakayili@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Tarih boyunca yapıda kullanılan malzemeler sürekli bir gelişim halindedir. İnsanların yeni arayışı içinde olma durumu ile ilgili olarak, bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel seyirde yapı malzemelerinin daha hafif, daha mukavim ve günümüz koşullarında inovatif bir bakış açısıyla etkiye tepki verebilen bir özellik kazanması sağlanmıştır. Akıllı malzemeler olarak adlandırılan bu yeni malzemeler, nanoteknoloji sonucu ortaya çıkmakta ve dışarıdan gelen uyarılara cevap veren, çevresel etkilere karşı direnç ya da uyum sağlayabilen, enerji üretebilen, sistemin bir parçası olarak çalışabilen interaktif bir belirteç haline dönüşebilmektedir. Akıllı malzemelerin yapıda kullanılmasıyla birlikte, yapının farklı gereksinimlerini yerine getirebilmenin yanı sıra, tasarıma malzeme ile biçimsel çeşitlilik ve farklı mekânsal algılamalar sunulabilmektedir. Ayrıca kullanıcının mekân içindeki etkinliğini sağlayan malzemelerle, kullanıcı ve yapı arasında etkileşim artırılabilir.

Küresel ısınma, çevre kirliliği ve kaynak yetersizliği ile baş etmeye çalışan sürdürülebilirlik ve bu kavramın mimarlık temasının ön plana çıktığı günümüzde, bu malzemelerin yapıda kullanımı da önemli olmaktadır. Akıllı malzemeler yapıda kullanıldıklarında, daha fazla enerji üreten, daha az su tüketimi sağlayan, daha az sarf malzeme ve kaynak kullanımını başaran yapıların üretilmesine olumlu yönde etki etmektedir.

Akıllı malzemelerin kullanımının artırılması öncelikle mimar adayının eğitiminde bu malzemeleri görmesi, tanınması ve yapının hangi elemanında kullanacağını bilmesinden geçmektedir. Bu nedenle mimarlık eğitiminde bu malzemelerin stüdyo derslerinde araştırılması ve bunları nasıl kullanacağını bilmesi mimarlık öğrencileri açısından çok önemlidir. Bu çalışma, günümüzde yapıda kullanılan akıllı malzemelere yönelik ön bilginin ardından, Karabük Üniversitesi Mimarlık Fakültesi son sınıf öğrencilerinin Çağdaş Yapı Malzemeleri dersi kapsamındaki stüdyo deneyimi çıktılarını üzerinden, Karabük'te yer alan üç farklı kamu yapısının akıllı malzemelerle yeniden kurgulanmasını sorgulamaktadır. Öncesinde akıllı malzemelerin teorik altyapısının aktarıldığı derste, öğrencilerden teorik altyapıyı kullanarak Karabük'te kamu yapılarını yeniden ele almaları ve akıllı malzemeler üzerinden stüdyo ortamında uzun soluklu olarak bu yapıların malzemelerini yeniden kurgulamaları istenmiştir. Ders kapsamında seçilen bir eğitim, bir sağlık ve bir resmi yapıya yönelik kurgulamalar sonucunda çıkan analizler ve görseller incelendiğinde, kamu yapılarında akıllı malzeme kullanımı ile işlevselliğin, görsel algının, ısı ve görsel konforun, çevre koşullarına uyum ve enerji etkinliğinin artırılacağı gözlenmiştir.

2. Akıllı Malzemeler

Akıllı malzemeler, ısı, sıcaklık, mekanik ve manyetik etkilere değişim gösterebilen veya bu etkilere tepki verebilen malzemelerdir. Bir malzemenin akıllı malzeme olarak nitelendirilmesi için o malzemenin niteliğinde ve fazında değişim gerçekleşmesi ve bu değişimin geri alınabilir olması gerekmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Akıllı malzemeler çok farklı faktörler üzerinden sınıflandırılabilir. Ritter'e göre akıllı malzemeler;

*Özellik değiştiren akıllı malzemeler

*Enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler

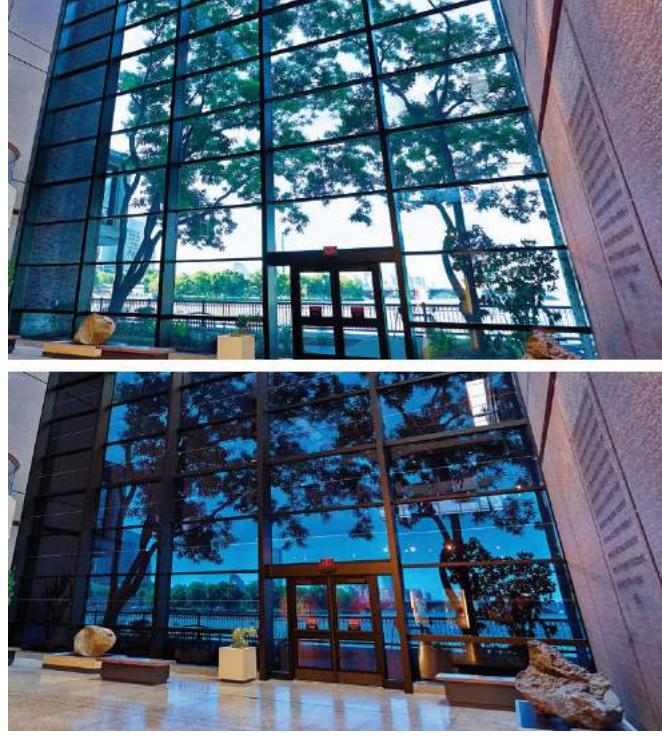
*Madde alışverişinde bulunan akıllı malzemeler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu bölüm Ritter'in sınıflandırması üzerinden ele alınmıştır.

2.1. Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Özellik değiştiren akıllı malzemeler, çevresel etki sonucunda renk ve optik özelliklerini değiştirebilen malzemeler ile birlikte, adezyon veya şekil değiştiren malzemeler olabilmektedir. Renk ve optik özelliklerini değiştiren malzemeler kromik malzemeler (Ritter, 2007) olarak adlandırılmakta, kromik malzemeler özellikle akıllı cam endüstrisinde karşılık bulmaktadır. Kromik malzemelerin elektrik etkisi ile renk ve optik özelliklerini değiştirmesi elektrokromik, bu etkinin ışık etkisiyle gerçekleşmesi fotokromik, ısı etkisiyle gerçekleşmesi termokromik, kimyasal bir reaksiyon sonucu gaz etkisiyle gerçekleşmesi de gazokromik olarak adlandırılmaktadır (Kienl, 2002).

Elektrokromik malzemelerden mimarlıkta sıkça kullanılan elektrokromik camlara elektrik akımı uygulanması sonucunda renk, saydamlık oranı ve ısı geçirgenlik gibi özelliklerinde değişimler meydana gelebilmektedir (Kienl, 2002). Böylelikle mekânda aydınlatma ve ısı kazancı kontrol edilebilmektedir. Elektrokromik cam ve geleneksel camların karşılaştırıldığı bir çalışmada yapının enerji gereksinimini %20 ve iklimlendirme sistemlerinin gerekliliğini %25 oranında azalttığı belirtilirken, aydınlatma maliyetlerinin de elektrokromik camlarda %60 oranında daha az olduğu hesaplanmıştır (URL-1). Boston'da yer alan Bilim Müzesi'nin büyük atriumunda yer alan cam cephede kamaşmayı önlemek amacıyla elektrokromik cam kullanılmış, yapının manzarasına zarar verilmeden, güneş kontrolü ve görsel konfor sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 1).

Fotokromik camlar, cam yüzeyine gelen güneş ışınımına bağlı olarak renk ve şeffaflık değişimi gösteren camlardır. Fotokromik camlara gelen ışık miktarı arttığında yutuculuk özelliği artmakta, ancak görüntü bulanıklaşmaktadır (Demir, 2011). Fotokromik camlar, istenmeyen güneş ışınım miktarının azaltılmasında, mahremiyet isteğinde kullanılabilir. Bu camların kullanımı ile aşırı ısınmanın ve aydınlanmanın önüne geçilerek termal ve görsel konfor sağlanabilmektedir.

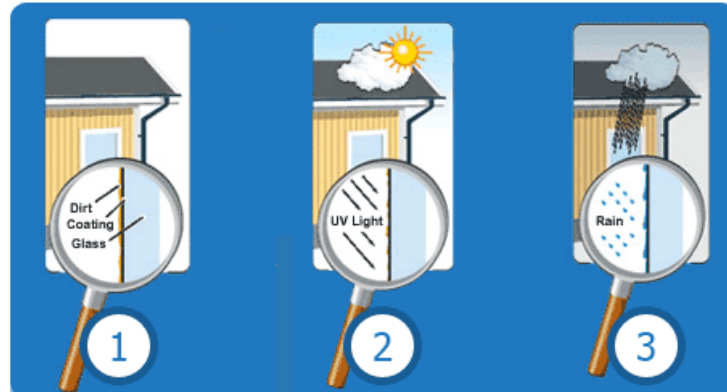


Şekil 1. Bilim müzesinde elektrokromik cam kullanımı (URL 2)

Termokromik camlar, yüzeye gelen ışınımına bağlı olarak gerçekleşen ısı miktarının artıp azalmasıyla saydamlık oranının değiştiği camlardır. Kış aylarında şeffaf olan bu camlarda, yaz aylarında sıcaklığın artmasıyla birlikte saydamlık oranı azalmakta ve yansıtıcılık değeri artmaktadır. Yansıtıcılık değerinin artmasıyla iç mekâna giren güneş ışınımı azalmakta ve fazla ısınmanın önüne geçilerek soğutma maliyetleri azaltılabilmektedir (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Gazokromik camlar, hidrojen ve oksijen gibi gazlar ile renk değiştirebilen camlardır. Hidrojen gazı ile renklendirilirken, oksijen gazı ile de eski saydamlık oranına dönmesi sağlanabilmektedir (Demir, 2011). Düşük maliyetli olmasının (Feng ve ark., 2016) yanı sıra bu camlar yüksek yapılarda kullanılabilme (Wilson, 2017) özelliğine sahiptir.

Özellik değiştiren akıllı malzemelerden bir diğeri ise yüzeye yapışma özelliğinin (adezyon) değişim gösterdiği adezyon değiştiren malzemelerdir. Bu malzemelerde adezyon değişimi, ışık ve sıcaklık değişimi gibi çevresel etkilere gerçekleşmektedir. Adezyon değiştiren malzemelerin en yaygın olarak kullanılanı titanyum dioksit (TiO_2) (Orhon, 2012) olarak söylenebilmektedir. TiO_2 , yüzeyine tutunan kirleticileri (parçacık maddeler, uçucu organik bileşikler, azot oksitler vb.) UV ışığı altında fotoaktif özellik göstererek organik grupları su ve karbondioksit parçalayabilen yarı iletken bir malzemedir. TiO_2 'nin fotokatalitik aktivite (Fujishima ve Honda, 1972) özelliğinin 1970'lerde keşfedilmesi ile bu malzemenin kullanım alanları daha da artmıştır. (Şam ve ark., 2007). TiO_2 malzemenin fotokatalitik oksitlemenin yanı sıra ışık etkisi ile yüzeyinin süperhidrofilik (su sever) özellik kazanması da önemlidir (Şam ve ark., 2007). TiO_2 'nin bu özelliği ile kendi kendisini temizleyebilen yüzeyler elde edilebilmektedir (Şekil 2). Mimarlıkta boya ya da ince film tabakası şeklinde yüzeye uygulanarak, yapı yüzeylerinin kir tutma özelliğinin azaltılmasının yanı sıra, yüzeyin kendi kendini temizlemesi ve yüzeyde bulunan bakterilerin de yok edilmesi (Orman, 2014) mümkün olabilmektedir. Dış yüzeylere uygulanması durumunda azot oksit gazlarının azaltılmasında rol oynamaktadır. Fotokatalitik etki cam yüzeylerde de sağlanabilmekte olup, Amerika'da bir hastane (Helen DeVos Children's Hospital) yapısının cam yüzeyi fotokatalitik etki ile kendini kendini temizleyebilme özelliğine sahiptir (Şekil 3).



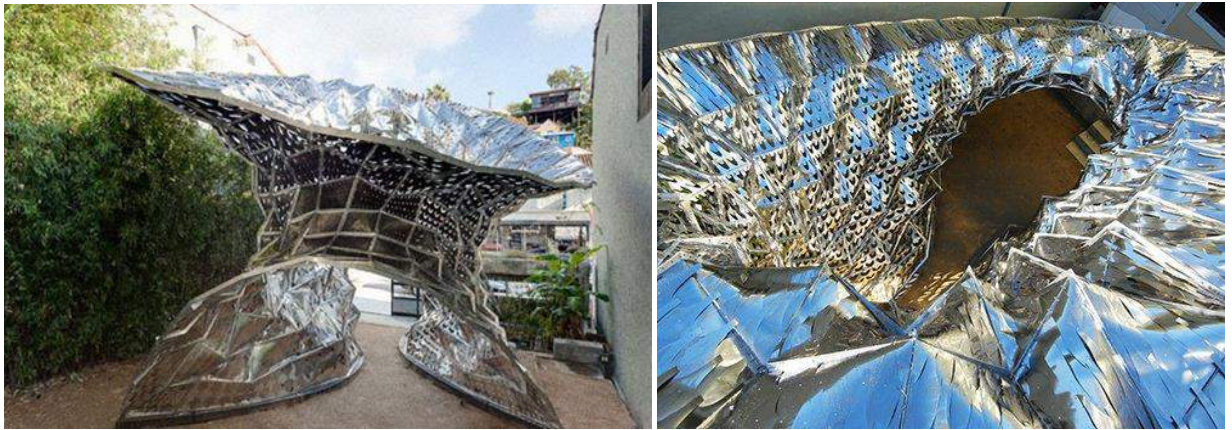
Şekil 2. Fotokatalitik etkiyle temizlenme aşamaları (URL-3)



Şekil 3. Helen DeVos Çocuk Hastanesi (URL-4)

TiO₂ kaplamaların yanı sıra, ahşap yüzeylerin bünyesine girebilecek su sızıntılarını engellemek amacıyla yapılan nano SiO₂ kaplamalar gözeneklerin içine ultra ince bir tabaka halinde penetre olmaları, uygulandığında malzemeye su itici özellik kazandırması (Şahin 2019) nedeniyle suyun malzemenin yapısına geçişini engellemektedir.

Şekil değiştiren akıllı malzemeler ise; ışık, sıcaklık, manyetik etki, elektrik akımı veya pH gibi çevresel etkilerle, şekillerinde değişim meydana gelen malzemelerdir. Şekil hafızalı alaşımlar, yukarıda sayılan çevresel uyarılarla şekillerinde değişim meydana gelen malzemeler olup, bu malzemeler uyarı uzaklaştırıldığında orijinal haline geri dönebilmektedir (Ritter, 2007). Metal alaşımlar, polimerler, jeller, seramik ve camlar şekil hafızalı malzemelere dönüştürülebilmektedir. Bu malzemeler yapıda duvarlarda, kolonlarda kullanılabilir. Ayrıca güneş kontrolü sağlayan ya da akustik bir panel olarak kullanım alanları da mevcuttur (Yüksel-Ayvaz, 2019). Şekil değiştiren bu malzemelerin yapıda kullanımına örnek olarak California'daki Los Angeles Malzeme ve Uygulama Galerisi'ndeki Bloom heykelindeki 4.000 adet sıcaklığa duyarlı sac levha panel ile, sıcaklığa karşı tepki vermektedir. Termobimetal yüzey, sıcaklık yükseldiğinde kıvrılıp ve düştüğünde ise düzleşerek yapıda doğal havalandırmayı sağlamaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Bloom Heykeli (URL-5)

2.2. Enerji Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

Enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler, çevresel etkilerle malzemenin yapısında enerji değişimi sağlayabilen malzemelerdir. Bu malzemeler, ışık yayan, elektrik üreten ve enerji değişimi yapan malzemeler olarak sınıflandırılabilir (Ritter, 2007).

Işık yayan akıllı malzeme uygulamaları fotoluminesans ve elektrolüminesans olarak verilmektedir. Lüminesans, bazı maddelerin ısısı değişimsiz elektromanyetik ışınım yaymasıdır (Addington ve Schodek, 2005). Fotoluminesan malzemeler, zamana göre parlama davranışlarının özelliklerine bağlı olarak floresan veya fosforesan olarak sınıflandırılabilir. Mimari uygulamalarda, floresan esaslı boyalar, yer döşemeleri ve kaplamalar yüzeye uygulanarak, ışıklı bir yüzey elde edilebilir. Fosforesan malzemeler floresansın aksine, daha uzun süre ışık yayabilirler. Bu malzemeler boya ya da film tabakası halinde mimari yüzeylere uygulanarak ışık yayan yüzeyler elde edilebilir. Elektrolüminesans ise optik ve elektriksel bir olgudur ve malzemenin içinden geçen elektrik

akımına veya çok güçlü elektriksel alana tepki olarak ışık yayma durumudur (URL-6). Elektrolüminesanslı malzemelerde, uyarı kaynağı voltaj ya da elektrik alanıdır. Elektrolüminesans malzemelerine ışık yayan diotlar (LED) ve organik ışık yayan diotlar (OLED) örnek verilebilmektedir. Bu malzemeler, tavanda, duvarda ya da cephede, beton, metal veya plastik yüzeyler üzerine uygulanabilmektedir. OLED ışık kaynakları ile iç mekân aydınlatmasında farklı renk ve boyutlarda şeffaf ve esnek paneller oluşturmak mümkün olabilmektedir. OLED ışık kaynaklarının UV içermemesi, düşük ısı açığa çıkarması ve düşük kamaşma değerine sahip olması nedeniyle sağlıklı, yumuşak ve doğal bir ışık dağılımı sağladığı bilinmektedir (URL-7) (Şekil 5).



Şekil 5. OLED aydınlatma panelleri (URL-7)

Elektrik üreten akıllı malzemeler ise çevresel etkilerle elektrik üretebilen malzemelerdir. Çevresel etkinin ışık olması durumunda fotoelektrik, ısı olması durumunda termoelektrik ve mekanik etki olması durumunda ise piezoelektrik malzemeler olarak adlandırılmaktadır (Ritter, 2007). Fotoelektrik malzemelere en iyi örnek boya duyarlı güneş pilleri olup, bu pillerle yüzeye gelen ışık enerjisinin yüzde 28'i dönüştürülebilmekte ve yüksek verimde elektrik üretilebilmektedir. Fotoelektrik malzemelerin şeffaf olması onu pencerelerde ve cephelerde kullanılabilir kılmakta, elektrik üreten cephe ve pencerelerin oluşmasını sağlamaktadır (Yağlı, 2019). Basınç yoluyla elektrik üreten sistemler de piezoelektrik malzemeler için en uygun örnektir. Üzerine gelen yük ile elektrik üreten bu sistemler, genellikle kamusal mekânların yürüme alanlarında kullanılarak, elektrik üretimi sağlanabilmektedir (URL-8).

Enerji değişimi yapan akıllı malzemeler, çevresel etkiyle yapısında enerji değişimi yapabilen malzemelerdir. Faz değiştiren malzemeler (FDM) bu gruptadır. Bu malzemeler faz değişimi esnasında ortaya çıkan gizli ısının enerji depolama uygulamalarında kullanıldığı malzemelerdir. FDM'ler İçinde buldukları ortamın sıcaklığı faz değişim sıcaklığının üzerine çıktığında, çevreden ısı alırken (gizli ısı), soğuma esnasında bu ısıyı tekrar çevreye yaymaktadır (Güngör ve Kabul, 2015). FDM'nin mikrokapsüllenmiş olarak veya doğrudan uygulanmasıyla soğutmada %30'a, ısıtmada ise %20'lere varan tasarruf sağlanmaktadır (Zamalloa ve ark., 2009). FDM'ler güneş enerjisinden yararlanarak bina içerisindeki ısının homojen olarak dağılmasına olanak sağlamaktadır (Beyhan ve ark., 2016). Bu nedenle özellikle enerji etkin yapı tasarımına yönelik, pasif solar döşeme ve duvar uygulamalarında kullanılmaktadır.

2.3. Madde Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

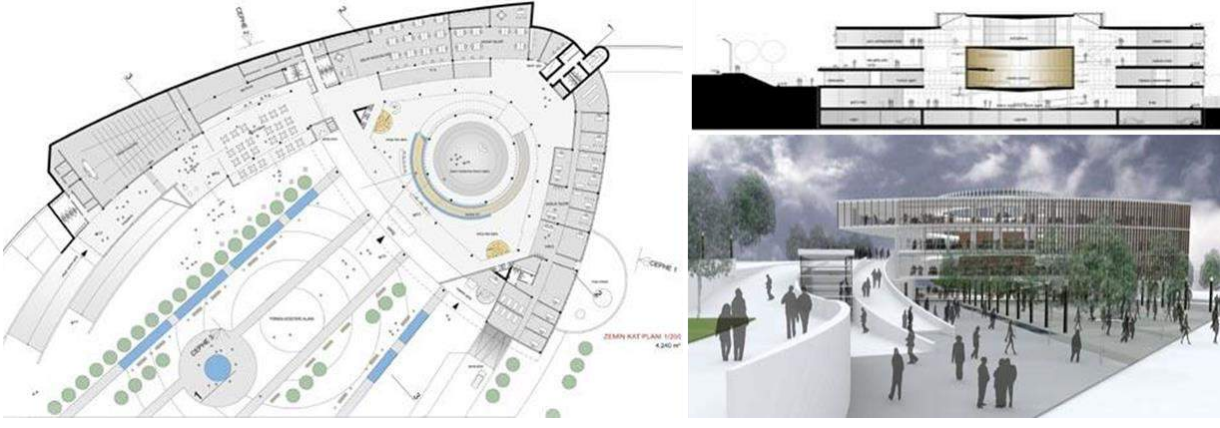
Madde alışverişini yapan akıllı malzemeler, maddeyi bünyesine alıp tersinir özellikte çeşitli gaz, katı ve sıvı bileşenler olarak serbest bırakabilen malzemelerdir (Ritter, 2007). Malzemenin gaz veya su buharını bünyesine alarak iç ortamın kalitesini artırmasını sağlayan gaz ve su depolayan malzemeler, madde alışverişinde bulunan malzemelere örnek verilebilmektedir. Bununla ilgili olarak, yapı sektöründe doğal ses emici (Ritter, 2007), nem emici (ör. bentonit) (Koçyiğit, 2014), koku ve iç mekân hava kirleticilerini bağlayarak iç mekân hava kalitesini artıran mineral emen malzemeler kullanılmaktadır.

3. Kamu Yapılarının Akıllı Malzemeler Üzerinden Uygulama Önerileri

Bu bölümde üç adet kamu yapısının akıllı malzemeler üzerinden yeniden düşünülmesi sonucunda meydana gelen yapısal değişimler ele alınmış, akıllı malzemelerin kullanımıyla yapıda işlevsel, algısal ve enerji etkinliği açısından meydana gelen değişimler ve yapıya katkıları tartışılmıştır.

3.1. Karabük Valilik Binası

Karabük Valiliği Binası, 16500 m²'lik kapalı alana sahip, 2005 yılında ulusal mimari yarışma sonucu üretilen bir yapı olup, öncesinde belediye işleviyle tasarlanmıştır. Sonrasında yapı fakülte binası olarak tadil edilmiş ama kısa bir süre sonra ise yeni bir tadilat ile valilik binasına evrilmiştir. Mimar Erkin Mutlu'nun tasarladığı yapıda meclis salonu merkezi konumdayken, etrafında çelik bir rampa katlar arasındaki sürekliliği sağlamaktadır. Çelik sistem olarak tasarlanan yapı, cephelerinde büyük oranda şeffaflık oranı sunmaktadır. Bu durumun getireceği kamaşma riski, yüksek soğutma yükü gibi olumsuz sonuçlar, güneş kırıcılarla engellenmeye çalışılmıştır (Şekil 6,7).

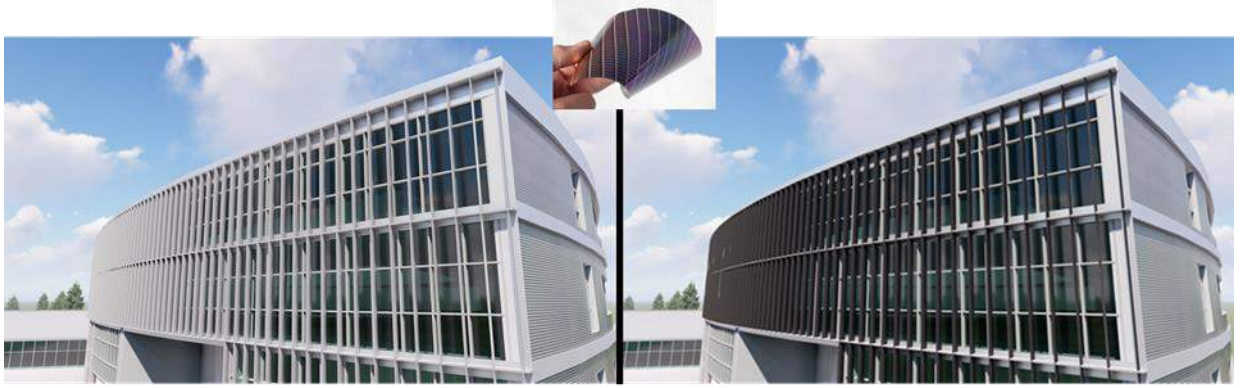


Şekil 6. Karabük Valilik Binasının yarışmada sunulan planı, kesit ve güney cephesi (URL-9)



Şekil 7. Karabük Valilik Binası güney cephesi

Burcu Çalışkan, Melek Akın ve Yaser Almallouhi'den oluşan öğrenci grubu yapının güneş kırıcıları üzerine ince film teknolojisi ile nano PV modüller entegre etmeyi önermiştir. Güney cepheye yerleştirilen güneş kırıcılarını hareketli güneş kırıcılar ile değiştirerek, daha fazla elektrik üretimini amaçlamışlardır (Şekil 8).



Şekil 8. Yapının güney cephesine nano PV film entegre önerisi

Yapının Karabük'te yer alması ve endüstriyel bir şehir olması nedeniyle hava kirliliği ve buna bağlı olarak cephe kirlilikleri sıklıkla görülebilmektedir. Birçok yapı cephe temizliği için uygun bir bütçe ayıramamakta ve yapıların cephesinde meydana gelen bu kirlenmeler, yapı ve kent estetiğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda yukarıda isimleri verilen öğrenci grubu, valilik binasının yüzeyine adezyon değiştirme özelliğiyle TiO_2 fotokatalitik ince film kaplaması önermiştir. Bu şekilde yapının dış yüzeyine yapışmış olan kirleticilerin fotokatalitik tepkimeler sonucunda parçalanmasını ve hidrofilik özellikteki kaplama üzerine çarpan su damlalarının kaplamanın üzerinde levha şeklini alarak, malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmasını hedeflemişlerdir (Şekil 9).



Şekil 9. Yapının cephesine TiO_2 fotokatalitik ince film kaplama önerisi

Kamu binalarında her mekân doğal aydınlatmaya sahip olamayabilmektedir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan zamanlarda çalışma odalarının camlarının opaklaşır, ihtiyaç olmadığı zamanlarda ise şeffaf hale gelebilmesi, mekâna çatı ışıklığından veya atriyumdan doğal aydınlatma şansı sunabilmektedir. Bu özelliğe sahip elektrokromik camlar, pencerede kullanılan jaluzi ya da perde gibi ekipmanların kullanılmasına gerek bırakmadan, pencerelerde gerekli muhafazayı sağlayabilecek ve aydınlatma maliyetlerini düşürecektir. Bu bağlamda, öğrenci grubu Valilik Binası'nın iç mekânında yer alan çalışma odalarının, iç ve dış mekâna açılan pencerelerine elektrik akımı uygulandığında saydamlık oranının değiştiği elektrokromik cam önermiştir (Şekil 10a,b).



Şekil 10. Çalışma odalarının a. iç mekâna b. dış mekâna açılan pencereleri için önerilen elektrokromik camlar

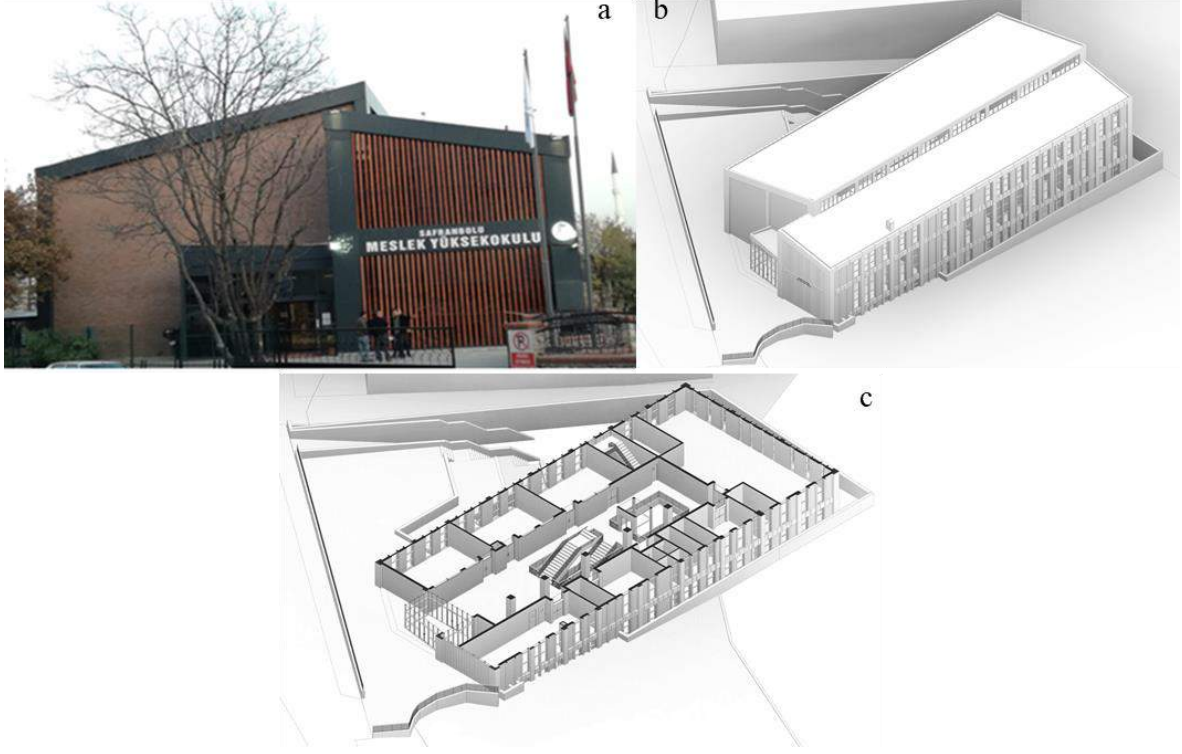
Yapının hizmet yapısı olması nedeniyle insan yoğunluğunun fazla olacağı düşünülerek, öğrenci grubu bu yoğunluktan enerji üretmek amacıyla yapının sirkülasyon alanlarının basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler ile kaplanmasını önermiştir. Böylelikle, yapıya hizmet almak için gelen her kullanıcının, attığı her adımında yapı için enerji üretmesini ve üretilen bu enerjinin aydınlatmada kullanılabilmesini hedeflemiştir. (Şekil 11).



Şekil 11. Sirkülasyon alanları için önerilen pavagen sistem

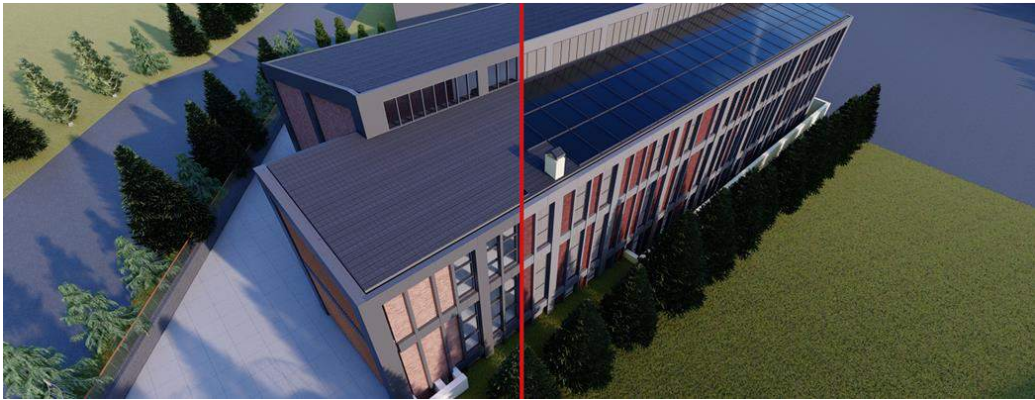
3.2. Karabük Üniversitesi Safranbolu Meslek Yüksekokulu

Safranbolu Meslek Yüksekokulu (SMYO) Karabük ili Safranbolu ilçe merkezinde yer alan brüt 3108 m² bir alana sahip, kuzey-güney aksına 12 derecelik bir sapmayla konumlanan eğitim yapısıdır (Şekil 12b). Yapının üzeri kuzey ve güneye yönlene iki beşik çatı ile örtülmüştür. Yapıda atölye sınıflarının fazla olması nedeniyle, atölyelerde kullanılan cihazlardan kaynaklanan yoğun bir enerji gereksinimi bulunmaktadır. Yapı bodrum kat, zemin ve birinci kattan oluşmaktadır. Mimarı, yapının batı cephesinde geniş bir saydam yüzey tasarlamış (Şekil 12a) ve cepheye batı güneşinden kaynaklanabilecek görsel konfora yönelik kamaşma riskini ve yaz mevsiminde oluşabilecek soğutma yükünü engellemek için ahşap güneş kırıcılar eklemiştir.



Şekil 12. a. SMYO binası batı cephesi b. modeli c. iç mekân modeli

Ahed Gonemi ve Nur Hüda Akbulut'tan oluşan öğrenci grubu yapının çatısına nano PV modüller entegre etmiştir. Yapının tasarım aşamasında atölye ve dersliklerin kuzey cephede yer alması ve yapının gece eğitimi için de kullanılması enerji ihtiyacını artırmıştır. Gereksinilen enerjinin fosil yakıtlardan sağlanması ile maliyetin yanı sıra büyük miktarda CO₂ salımı gerçekleşeceğinden, öğrenci grubu yüksek enerji gereksinimini geleneksel PV modüller yerine nano PV modüllerden sağlamayı hedeflemiştir. (Şekil 13).



Şekil 13. SMYO binasının çatısı için önerilen nano PV modüller

Yapının Safranbolu'da yer alması ile Karabük'teki kirlilikten biraz olsun uzaklaşmış olsa da zamanla cephe kirliliği bütün yapılarda gözlenen bir sorundur. Bu sorun kent estetiğinin bozulmasının yanı sıra, temizlik ve işçilik maliyetleri düşünüldüğünde ise yapının kullanım evresindeki ekonomik yükünü artırmaktadır. Bu nedenle öğrenci grubu tarafından adezyon değiştirme özelliğiyle fotokatalitik etki gösteren kaplamaların, yapının temizlik maliyetlerini düşürmede etkili olacağı düşünülmüş ve cephelerde alüminyum kompozit

panellerin yüzeyine TiO_2 fotokatalitik ince film kaplama önerilmiştir. Önerilen bu kaplama ile cephe yüzeyindeki kirleticilerin malzeme yüzeyinden uzaklaştırılabileceği hedeflenmiştir (Şekil 14). Meslek yüksekokulunun doğu batı aksında yerleşmesi ve geniş kuzey güney cepheleri olması nedeniyle, güneydeki güneş ışınımının yaz ve kış rahatsız edici etkisinin az olması nedeniyle termokromik ya da elektrokromik pencere önerisi getirilmemiştir.



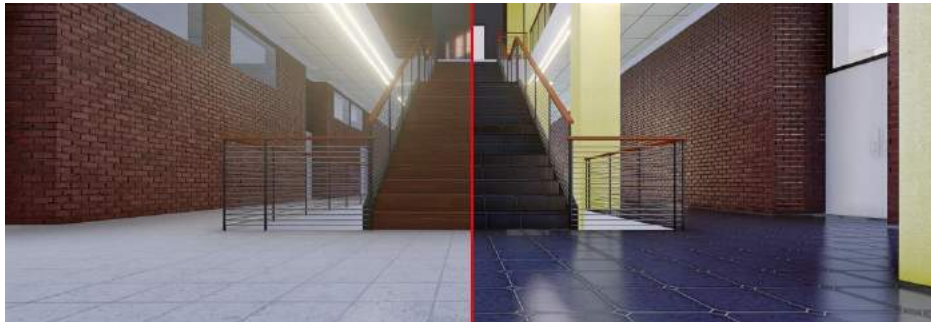
Şekil 14. SMYO binasının cephesine TiO_2 fotokatalitik ince film kaplama önerisi

Yapının batı cephesinde yer alan büyük cam yüzeyde, güneş kontrolü amacıyla ahşap güneş kırıcılar kullanılmıştır. Ahşap malzeme doğal etkilere açık olması ve bünyesine su alabilmesi nedeniyle, sürekli bakım gerektiren bir malzemedir. Aksi durumda, malzemede yapısal bozulma ve şekilsel deformasyonlar görülebilmektedir. Bu nedenle, öğrenci grubu ahşap güneş kırıcıların yüzeyine nano SiO_2 kaplama önermiştir. Bu kaplama, gözeneklerin içine ultra ince bir tabaka halinde penetre olmaları, uygulandığında malzemeye su itici özellik kazandırması nedeniyle suyun malzemenin yapısına geçişini engellemektedir. Şekil 15'te kaplama yapılan yüzey temsili olarak farklı bir renkle sunulmuşsa da, SiO_2 kaplamalar ahşap üzerinde renk ve doku farklılığına neden olmamaktadır.



Şekil 15. Binanın batı cephesinde yer alan ahşap güneş kırıcılara SiO_2 film kaplama önerisi (Temsili)

Yapının yüksek kullanıma sahip olması ve sirkülasyon alanlarının görsel konforunun yapay aydınlatma ile sağlanması nedeniyle, öğrenci grubu yapının sirkülasyon alanlarını basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler ile kaplamayı önermiştir. Ayrıca ticari adı pavagen sistem olan malzeme ile yapıda eğitim alan öğrencilerin ürettiği elektrik enerjisinin daha verimli bir şekilde yapay aydınlatmada kullanılması amacıyla, aydınlatma kaynağı olarak OLED ışık kaynaklarını seçmiştir. Böylelikle yapıda yenilenebilir enerji ile daha sağlıklı, kamaşmasız ve estetik yönü daha yüksek bir aydınlatma sağlanmıştır. Ayrıca iç mekanda sirkülasyon duvarlarının birer sergileme ünitesi gibi kullanılması ve yüksek kullanım nedeniyle iç duvarlardaki kirlenmeyi engellemek amacıyla duvarlara su iticilik (hidrofobik), kolay temizlenebilirlik ve kir tutmama özelliklerine sahip lotus etkili nano kaplama önerilmiştir. Önerilen bu kaplama ile iç duvarlarda oluşacak kirliliklerin önüne geçilebilmesi ve temizlik maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Sirkülasyon zemin ve duvarına yapılan öneriler (Piezoelektrik malzeme, OLED aydınlatma ve hidrofobik kaplama)
e-ISSN: 2148-2683

3.3. Karabük Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Yapımı 2014 yılı Şubat ayında tamamlanan Karabük Merkez İlçesi Şirinevler Mahallesi'ndeki K.B.Ü. Karabük Eğitim ve Araştırma Hastanesi, toplamda 77.200 m² kapalı alanı ve tescilli 440 yatağı ile hizmet vermektedir. Hastane; ayakta ve yataklı olarak tedavi hizmetleri sunan, Sağlık Bakanlığı'na bağlı bir eğitim ve araştırma hastanesidir. Hastanede eğrisel plan şemasına sahip alanlarda yatak birimleri çözüldürken, kare planlı alanlar ise poliklinik ve diğer işlevsel birimler olarak tasarlanmıştır. Büyük oranda giydirme cam cephelerden oluşan cephelerde şeffaflık oranı bir hayli yüksektir (Şekil 17).



Şekil 17. a.b)K.B.Ü. Eğitim ve Araştırma Hastanesi (URL-10) c. 1.Kat planı

Sümeya Turhan, Havva Koca ve Rahman Sertyamaç'tan oluşan öğrenci grubu, yapıyı detaylı olarak inceledikten sonra yapının Karabük'te olması nedeniyle hava kirliliğinin cephede yaratacağı kirliliği önlemek amacıyla giydirme cam yüzeye TiO₂ fotokatalitik ince film kaplaması önermiştir. Önerilen bu kaplama ile cephe yüzeyine yerleşecek kirleticilerin malzeme yüzeyinden kendiliğinden uzaklaştırılabilmesi hedeflenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Cam yüzeye TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama önerisi

Hastanenin kan alma veya iğne odası gibi birebir işlem yapılan birimlerinde yer alan cam yüzeylerin gerektiğinde opak yüzeylere dönüşebilmesi birçok hassasiyetin önüne geçmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, öğrenci grubu hasta hassasiyetine önem vererek birebir teşhis ve tedavi yapılan birimlere istendiğinde bir hareket ya da kumanda ile opak yüzeye dönüşebilen likit kristal cam önermiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Birebir tedavi ve teşhis birimlerine yapılan likit kristal cam önerisi

Hasta odalarının yüksek şeffaflık oranına sahip olması, iç mekânda yaz mevsiminde soğutma yükünün artmasına neden olacağı gibi kullanıcının ısı konforunu da olumsuz etkileyebilecektir. Bu nedenle öğrenci grubu tarafından yüksek güneş ışınımının engellenmesi amacıyla, hasta odalarına ısıya duyarlı olan ve saydamlıkları sıcaklıkla değişen termokromik cam önerilmiştir. İçeriğindeki jellerle gün ışığını yansıtan ve ışık geçirgenliğini azaltarak günü ışığını sönmüleyen bu camlarla, kumanda veya insan etkisine ihtiyaç duyulmadan odanın soğutma yükünün engellenebilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca hasta odaları, hijyenin ön planda olması gereken mekânlardır. Genellikle, hastalar odadan çıkış yaptıktan sonra mekânın zemini ve tefriş elemanları temizlense de duvarlar için herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Oysaki hasta odalarının duvarları büyük yüzey alanıyla sağlıksız ortamların oluşmasında büyük paya sahiptir. Duvarlarda oluşabilecek biyolojik ve fizyolojik kirlenmeyi engellemek amacıyla öğrenci grubu tarafından hasta odalarının duvarlarına antibakteriyel ve kendi kendini temizleyebilen boya önerilmiştir (Şekil 20). Hastane yapılarında hijyenin ön planda olması gereken bir başka alan ise tuvaletlerdir. Genel kullanımın hâkim olması nedeniyle hızlı ve büyük oranda kirlenen bu mekânlar için önerilen harekete duyarlı batarya ve kapılar, el değmeden kapı ve suyun açılmasını sağlayacağından, kullanıcılara bakteri ve virüslerin bulaşmasını önlemesi açısından önemlidir (Şekil 21).



Şekil 20. Hasta odalarına termokromik cam ve duvarlarına ışıkla kendini temizleyen boya önerisi



Şekil 21. Genel ıslak mekânlara önerilen harekete duyarlı batarya ve kapı önerisi

Yapının poliklinik bölümlerinde kullanıcı yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle, bu hareketten yararlanmak amacıyla sirkülasyon alanlarına öğrenci grubu tarafından basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler kaplanması önerilmiştir. İnsanların yürümleri ile sağlanacak bu enerjinin ise yüksek enerji kullanımına sahip olan yapıda aydınlatma işlevi için kullanılabilmesi düşünülmüştür (Şekil 22).



Şekil 22. Yapının dolaşım alanlarının zeminine piezoelektrik malzeme kaplama önerisi

4. Sonuç

Çalışma kapsamında literatürde ve uygulamada öne çıkan akıllı malzemelere ve bu malzemelerin Karabük'te seçilen hizmet, eğitim ve sağlık yapılarının hangi alanlarında ne şekilde uygulanabileceği üzerine öğrenci grupları tarafından yapılan önerilere yer verilmiştir. Her kamusal yapının farklı gereksinimlerinin ve öne çıkan ihtiyaçlarının olduğu gözlenmiş ve soruna uygun çözümler getirilmesi hedefi ile, hangi akıllı malzemelerin bu yapılarda öne çıkabileceği saptanmaya çalışılmıştır. Çağdaş Yapı Malzemeleri Dersi kapsamında öğrencilerin teorik altyapıyı kullanarak Karabük'te kamu yapılarını yeniden ele alıp ve akıllı malzemeler üzerinden stüdyo ortamında bu yapıların malzemelerini yeniden kurgulamaları sonucunda önerilen akıllı malzemelerin listesi Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Seçilen kamu yapıları için önerilen akıllı malzemeler

Önerilen akıllı malzemeler	Kullanım Amacı	Valilik Binası	Safranbolu Meslek Yüksek Okulu	KBÜ Eğitim ve Araştırma Hastanesi
TiO ₂ film kaplama	Cepheye hidrofilik özellik kazandırmak ve cephenin kendi kendini temizlemesini sağlamak	x	x	
SiO ₂ film kaplama	Cephedeki ahşap güneş kırıcıların su emmesini engelleyerek malzemede oluşabilecek bozulmaların önüne geçmek		x	
Hidrofobik kaplama	İç duvarda kolay temizlenebilir yüzeyler sağlamak ve kir tutmayı engellemek		x	
Antibakteriyel ve kendi kendini temizleyen boya	Hijyen gerektiren mekanlarda bakteriyel oluşumları engellemek			x
Elektrokromik cam	Gerekli zamanlarda şeffaflığın azaltılıp artırılmasıyla, ışık almayan sirkülasyon mekanlarını aydınlatmak	x		
Termokromik cam	İç mekanda ısı konforu ve enerji etkinliğini sağlamak			x
Likit kristal cam	Hasta hassasiyetine bağlı durumlarda opaklığı artırmak			x
Piezoelektrik malzeme	Basınç yoluyla elektrik üreterek, hareket enerjisinden faydalanmak	x	x	x
Nano PV modül	Geleneksel modüller göre daha fazla enerji kazancı elde etmek	x	x	
Harekete duyarlı kapı ve batarya	Hijyen gerektiren mekanlarda kişilerin kapı ve bataryalara dokunmadan ihtiyaçlarını gidermesini sağlamak			x
OLED aydınlatma	Sergi mekanlarında kamaşmasız ve sağlıklı bir aydınlatma sunmak		x	

Öneriler kısaca incelendiğinde, valilik binasında dış cephe kaplaması yüzeyine adezyon değiştirme özelliğiyle TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama, güneş kırıcıları üzerine ise ince film teknolojisi ile üretilen nano PV modüller entegre edilmiştir. Ayrıca iç mekanda yer alan çalışma odalarının iç mekâna ve dış mekâna açılan pencerelerine elektrik akımı uygulanması sonucu saydamlık oranının değiştiği elektrokromik cam ile sirkülasyon alanlarına basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzeme kaplaması önerilmiştir.

SMYO binasına yüksek enerji gereksinimini nedeniyle nano PV modüller ve cephelerde alüminyum kompozit panellerin yüzeyine TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama ile ahşap güneş kırıcıların üzerine malzemeye su itici özellik kazandıran SiO₂ kaplama malzemesi önerilmiştir. İç mekanda ise, yapının yüksek kullanıma sahip olması ve sirkülasyon alanlarının görsel konforunun yapay aydınlatma ile sağlanması nedeniyle, bu alanların basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler ile kaplanması ve kullanılan aydınlatmaların OLED ışık kaynaklarından seçilmesi önerilmiştir. Ayrıca iç mekan duvarlarında, kirlenmeyi engellemek amacıyla su iticilik (hidrofobik), kolay temizlenebilirlik ve kir tutmama özelliklerine sahip lotus etkili nano kaplama öne çıkmıştır.

KBÜ Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde ise hava kirliliğinin cephede yaratacağı kirliliği önlemek amacıyla giydirmeye cam yüzeye TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama ile iç mekanda bireysel tedavi ve teşhis birimlerine istendiğinde bir hareket ya da kumanda ile opak yüzeye dönüşebilen likit kristal cam önerilmiştir. Hasta odalarında ısı konforu sağlamak amacıyla ısıya duyarlı olan ve saydamlıkları sıcaklıkla değişen termokromik cam ve duvar yüzeylerine antibakteriyel ve kendi kendini temizleyebilen boya önerisi anlamlı bulunmuştur. Ayrıca genel tuvalet birimlerinde harekete duyarlı batarya ve kapılar hijyenin sağlanmasında öne çıkarken, sirkülasyon

alanlarına önerilen basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzeme kaplamasının ise enerji üretiminde etkili olacağı düşünülmüştür. Sonuç olarak bu öneriler bağlamında, kamu yapılarında öne çıkan problemlere uygun olarak seçilen doğru akıllı malzeme kullanımı ile işlevselliğin, görsel algının, ısı ve görsel konforun, çevre koşullarına uyumun ve enerji etkinliğinin artırılacağı gözlenmiştir.

Kaynakça

- Addington, M., & Schodek, D. (2005). *Smart Materials and New Technologies For Architecture and Design Professions*. Harvard University, Architectural Press, Elsevier. New York.
- Beyhan, B., Cellat, K., Karahan, O., Konuklu, Y., Dündar, C., Güngör, C., & Paksoy H., (2016). Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 154.
- Demir, N., (2011). Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Feng, W., Zou, L., Gao, G., Shen, J. & Li., W., (2016). Gasochromic Smart Window: Optical and Thermal Properties, Energy Simulation and Feasibility Analysis, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 144, 316-323.
- Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, 238(5358), 37-38.
- Güngör, S. G., & Kabul, A., (2015). Sodyum Asetat Trihidratlı Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Performans Analizi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 3, 4, 27-35.
- Kazanasmaz, T., & Diler, Y., (2011). Gelişmiş Cam Teknolojileri ile Enerji Etkinliğinin Değerlendirmesi, VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, Kasım, İzmir, Bildiriler Kitabı, 84-93.
- Kienl, N., (2002) Evaluating Dynamic Building Materials, Doktora Tezi, Harvard University, Cambridge, 18-27,149-155.
- Koçyiğit, M. Ç., (2014). Isıl Olarak İşlenmiş Bentonit Örneklerinde Metilen Mavisi Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Orhon, A.V., (2012). Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı, *Ege Mimarlık*, 82,18-21.
- Orman, Y., (2014). Nano Yapılı Titanyum Dioksit İnce Filmlerin Büyütülmesi ve Nem Sensörlerinin Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ritter, A. (2007). *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Birkhause, Publishers for Architecture. Almanya.
- Şahin, O.Z., (2019), Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirme Cephe Sektörü Bağlamında Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Şam, E. D., Ürgen, M., & Tepehan, F. Z. (2011). TiO₂ fotokatalistleri. *İTÜDERGİSİ/d*, 6(5-6).
- Wilson, H. R. (2004). High-performance windows. *Freidburg Solar Academy*.
- Yağlı, S., (2019). Teknolojik Gelişmelerin Etkisi İle Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler, Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yüksel Ayvaz, Ö. (2019). Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Zamalloa, A., Embil, M. J., Zuñiga, J., Zubillaga, O., Cano, F., Flores, I., ... & INASMET-Tecnalia, M. P. (2006). PCM containing indoor plaster for thermal comfort and energy saving in buildings. *Vittoria, Spain*.
- URL-1: <http://www.duluthenergydesign.com/Content/Documents/GeneralInfo/PresentationMaterials/2014/Day3/hulsan-elegla.pdf>
- URL-2: https://sageglass.com/sites/default/files/mos_casestudy.pdf
- URL-3: <https://www.pilkington.com/en-gb/uk/householders/types-of-glass/self-cleaning-glass>
- URL-4: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Helen_DeVos_Children's_Hospital_1.jpg
- URL-5: <https://www.arch2o.com/bloom-installation-do-su-studio-architecture/>
- URL-6: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrol%C3%BCminesans>
- URL-7: <http://www.ledportali.com/oled-aydinlatma-uygulamaları/>
- URL-8: <https://pavegen.com/>
- URL-9: <https://v3.arkitera.com/yp76-karabuk-belediyesi-hizmet-binasi-ulusal-mimari-proje-yarismasi.html>
- URL-10: <http://www.karabukyeynice.bel.tr/karabukyeynice/?syf=habergoster&id=1277>



Dynamic Analysis of Hardened Double Bulkhead Structure Subjected to Blast Loading

Burak Can Ocaktan^{1*}, Özgür Demir²

¹ Yıldız Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0002-4576-0519)

² Yıldız Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0003-0865-0684)

(İlk Geliş Tarihi 19 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 27 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.691443)

ATIF/REFERENCE: Ocaktan, B. C. & Demir, Ö. (2020). Dynamic Analysis of Hardened Double Bulkhead Structure Subjected to Blast Loading. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 818-832.

Abstract

The set of the construction elements which are designed to divide the boat structure into compartments and enable the maintenance of the balance of the boat by keeping the water entering the hull in a certain region in case of any damage is called watertight bulkhead. The main factor taken into consideration while determining the number of watertight bulkheads and their structural strength properties is to protect the stability of the ship in case of filling with water after a collision and to ensure that the bulkhead has a resistance level that can endure this water pressure. In warships, these bulkheads can be used for other purposes and may be exposed to a number of military loads in addition to operational loads. This study examines the reinforced watertight double bulkhead structure designed to reduce the effects of blast caused by the explosion in the compartment after the weapon hit on warships and fragmentation effects only under blast loads.

Keywords: Hardened Double Bulkhead, Blast Loads, Warships

Patlama Yükleri Altında Güçlendirilmiş Çift Perde Yapısının Dinamik Analizi

Öz

Tekne yapısını bölmelere ayırmak için tasarlanan, gemilerin yaralanmaları durumunda tekne gövdesine giren suyu belli bir bölgede tutarak geminin denge durumunu korumasını sağlayan yapı elemanları bütününe su geçirmez perde adı verilir. Su geçirmez perdelerin sayısı ve yapısal dayanım özellikleri belirlenirken göz önüne alınan ana unsur geminin çatışma sonrasında su alması durumunda gemi stabilitesinin korunması ve perdenin bu su basıncını taşıyabilecek dayanım seviyesinde olmasıdır. Savaş gemilerinde ise bu perdeler, başka amaçlarla da kullanılabilmekte ve operasyonel yüklerin yanı sıra bir takım askeri yüklere maruz kalabilmektedirler. Bu çalışmada savaş gemilerinde silah isabeti sonrası kompartıman içinde patlamanın oluşturduğu şok ve parça tesiri etkilerinin azaltılmasına yönelik dizayn edilen güçlendirilmiş çift perde yapısı sadece patlama yükleri altında incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirilmiş Çift Perde, Patlama Yükleri, Savaş Gemileri

* Corresponding Author: Yıldız Technical University, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0003-0865-0684, ozgur@yildiz.edu.tr

1. Introduction

Surface warships are vessels that are used in military operations. Since modern combat environments may include unpredictable and undetermined threats, surface warships should be equipped with sufficient capabilities in both offense and defense (ISTK report, 2012). Survivability is a critical defensive capability for surface warships that is divided into three categories (Ball & Calvano, 1994). One of these categories, susceptibility, is the inability of a vessel to avoid damage. The second one, vulnerability, is the inability of a vessel to resist damage mechanisms by threatening weapons. Finally, recoverability defines a warship's ability to prevent losses and restore the mission (Said 1995). Due to the unpredictability of modern combat situations, surface warships should be designed to be as invulnerable as possible to help minimize damage by unforeseen hits (Kim 2011).

In the design and construction processes of warships, certain engineering disciplines need to be operated in addition to civil ship design and construction processes. The concept of vulnerability, which is included in the concept of survivability, leads to the existence of more watertight bulkheads in warships compared to civilian ships and the implementation of a design for these bulkheads to be exposed to more than expected load components in a commercial ship (Piperakis, 2012).

In addition to the watertight bulkheads on warships, blast and fragmentation resistant double bulkhead applications aim to prevent the blast effects to reach other spaces by being absorbed by the bulkhead during a blast that can occur in the compartment. The shock wave formed as a result of the blast transmits the energy it carries by hitting the resistance elements inside the compartment. As a result of this incident, pressure increases with the effect of heat in the space (Smith et al, 2003). In order to prevent this pressure from passing to the other compartments of the ship and damaging the equipment, it is aimed that the resistance elements on the bulkhead absorb as much energy as possible before reaching the plastic limit and the bulkhead is not damaged by preventing the accumulations of stress. For this purpose, it is suitable to use high hardness and low ductility material in bulkhead manufacturing.

Blast hardened bulkheads (BHBs) are transversely installed within warships against internal explosion threats to effectively improve invulnerability. However, conventional watertight bulkheads are designed not to withstand internal blast pressure, but to resist hydrostatic pressure (SNAK, 2012). BHBs prevent internal explosions by spreading the blast force to adjacent spaces (ROKN, 2009). However, installing such structures also increases the total weight of the vessel, leading to reduced mobility. Thus, the calculation of the risk–benefit ratio of BHBs (reduced speed vs. better survivability) is crucial in the early design stage.

In this study, the structural behavior of double bulkhead of a warship is investigated using finite element method by simulating the blast load help of the Load Blast Enhanced theory. As a result of these examinations, improvements have been made on the parts of the bulkhead that were not resistant to blast load, and in the subsequent studies, the internal blast is simulated by making the finite element model of the ship compartment. Then, detailed stress and displacement results are given in the last section.

2. Method

2.1. Protection Concept

While designing warships, it is aimed that the ships fulfill the task expected from them by preserving their capabilities to fight and move in an environment where the enemy threat is present. In accordance with this purpose, hardened double bulkhead is applied to the compartments, which have vital systems and equipment for the strike-stand power of the ship, to prevent the blast effects that may occur in other spaces (Piperakis, 2012).

2.2. Blast Loads and Solution Methods

Car crashes, drop tests of electronic devices, bird strike to turbine blades and exposure of structures to shock and blast loads can be given as examples for high-energy dynamic events. Dynamic simulations are often used to predict potential damages on the structures.

Traditional implicit analysis is used as an approach to this type of dynamic simulations. This type of analysis, which is used by the majority of commercial finite element software, uses the closed-time integration technique. Although this technique uses relatively large time steps, it may need many convergence iterations for nonlinear behaviors. In addition, it can be time-consuming since the inverse of the matrix needs to be calculated at each iteration.

Another approach to simulate high-energy events is the use of the explicit method. This method is called the open time integration scheme where the matrices are not inverted and are updated only at the end of each time step. To eliminate the need for convergence iterations, very small time steps that can be between 10^{-6} and 10^{-8} seconds are used depending on the model. Accordingly, unlike the implicit method, each time step is resolved very quickly; however, it often takes thousands of time steps to complete the solution. The need for a small time step limits this method to short-term events that typically take place in milliseconds or shorter periods. However, time scaling methods can be used to solve events that last longer.

The explicit method, which does not need convergence controls and uses very small time steps, saves users from most of the limitations of the implicit method for high-energy dynamic analyses. It can accurately simulate the propagation and interaction of stress waves caused by impacts and solve nonlinear and structurally unstable problems that cannot be easily solved with implicit methods due to convergence difficulties.

Explicit method is used by commercial finite element software such as LS-Dyna. LS-Dyna finalizes nonlinear and transient dynamic finite element analyses by using explicit time integration and provides 3 different methods for the simulation of blast load. These methods are Load Blast Enhanced (LBE), Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) and hybrid LBE-ALE methods (Rebelo et al,2017):

2.2.1. Load Blast Enhanced (LBE) Method

With the Load Blast Enhanced LBE method, which is the first method in Ls-Dyna, blast loads are calculated with the help of a hydrocode that developed by Randers-Pehrson and Bannister (Randers-Pehrson et al, 1997). There is a simplified pressure distribution caused by the blast loads on the structure without modeling the fluid between explosive and target. In structure designs where fast solution processes are privileged, it is appropriate to use the LBE method. However, in this method, it is not possible to observe and examine the shock waves reflected from the target and spreading in the fluid (Erdik et al, 2018)

Kingery and Bulmash carried out some experiments to investigate the behaviors of structures under blast load [6]. To obtain the blast parameters, they exploded various amounts of TNT explosives with sphere and hemisphere forms at different distances in front of a plate. These parameters constitute the basis of the CONWEP computer program (U.S. Army Corps of Engineers, 2002). CONWEP was implemented in Ls-Dyna under the *LOAD_BLAST_ENHANCED and *LOAD_BLAST_SEGMENT_SET keywords (Hallquist et al, 2006). Simplest form of blast wave is shown as Figure 1, the blast load can be calculated by Equation (1). This equation can be used to find air blast loads caused by the spherical explosive.

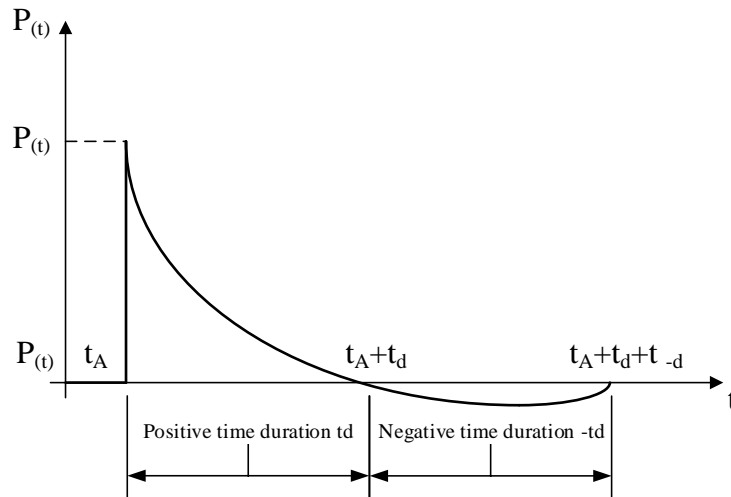


Figure 1. A Friedlander waveform is the simplest form of a blast wave (Lam et al, 2007)

$$P_e = P_0 + P_{so} \cdot \left(1 - \frac{t}{t_d}\right) \cdot e^{-\frac{t}{t_d}} \tag{1}$$

P_e is effective pressure, P_0 is the atmospheric pressure, P_{so} is the peak positive pressure, t is current time and t_d is time duration of positive pressure (Karlos et al, 2015).

2.2.2. Arbitrary Lagrange Eulerian (ALE) Method

The ALE method, which is the second method, is a combination of Lagrangian and Eulerian simulations (Donea et al, 1982). The combination of Lagrangian and Eulerian elements is performed thanks to the Fluid Structure Interaction (FSI) algorithm. The explosive and air fluid surrounding the explosive are modeled with the Eulerian mesh, while the target structure is modeled with the Lagrangian mesh. ALE method has certain advantages compared to other blast methods. The propagation of shock waves through the fluid medium can be simulated. In addition, physical values such as pressure, temperature and particle velocity on any point can be controlled (Kozak et al, 2016).

The Lagrangian approach, where the deformation of the finite element digital network occurs according to the deformation of the material, is not convenient for fluid modeling due to the large deformation of the fluid material (LS-DYNA Aerospace Working Group, 2013).

Unlike the Lagrangian solution, the Eulerian approach ensures that the material flow is in the constant Eulerian mesh in space. So that this modeling method is more convenient for fluid material and explosives (LS-DYNA Aerospace Working Group, 2013).

The ALE method provides an approach that allows interaction between the air domain and structure surrounded by high explosive. This approach is applied separately for air and explosive in the Ls-Dyna with the functions. The equations determining the material model and blast wave propagation status and pressure/volume relationships should be defined in the calculation domain. Calculation domain, i.e. Euler domain, consists of explosive and air.

2.2.3. Hybrid LBE-ALE Method

The hybrid LBE-ALE method allows for modeling by combining the advantages of these two methods. In this method, as in the LBE method, the loads calculated from the explosive modeling are transmitted on a specific fluid model that surrounds the target structure and simulated with the ALE method (Slavik et al, 2009). The blast loads are transmitted to the target structure through the fluid model shown as Figure 2. Thus, the whole fluid is not modeled and quick solution is achieved.

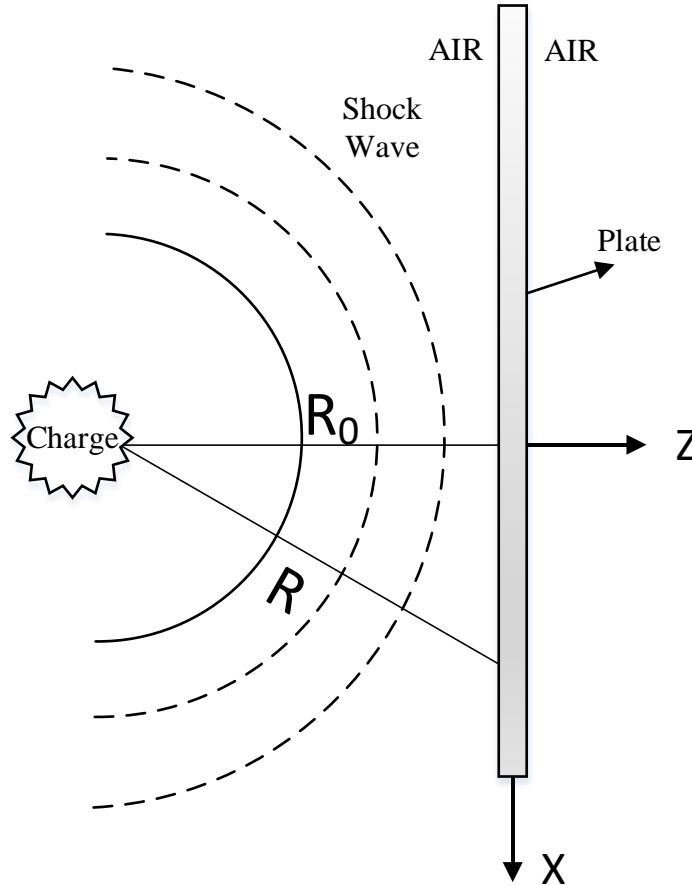


Figure 2. The basic hybrid LBE-ALE application (Erdik et al, 2018)

3. Geometric and Finite Element Model

3.1. Geometric Model Introduction

The ship structure is modeled as shown in the Figure 3 with all primary and secondary elements, blast and particle impact resistant double curtain is designed and shock brackets applications shown in detail C and detail D are applied. The purpose of these shock brackets is to absorb as much energy as possible without reaching the plastic limit by preventing burst effects thanks to its special geometry and to prevent tearing of the bulkhead by preventing stress accumulation.

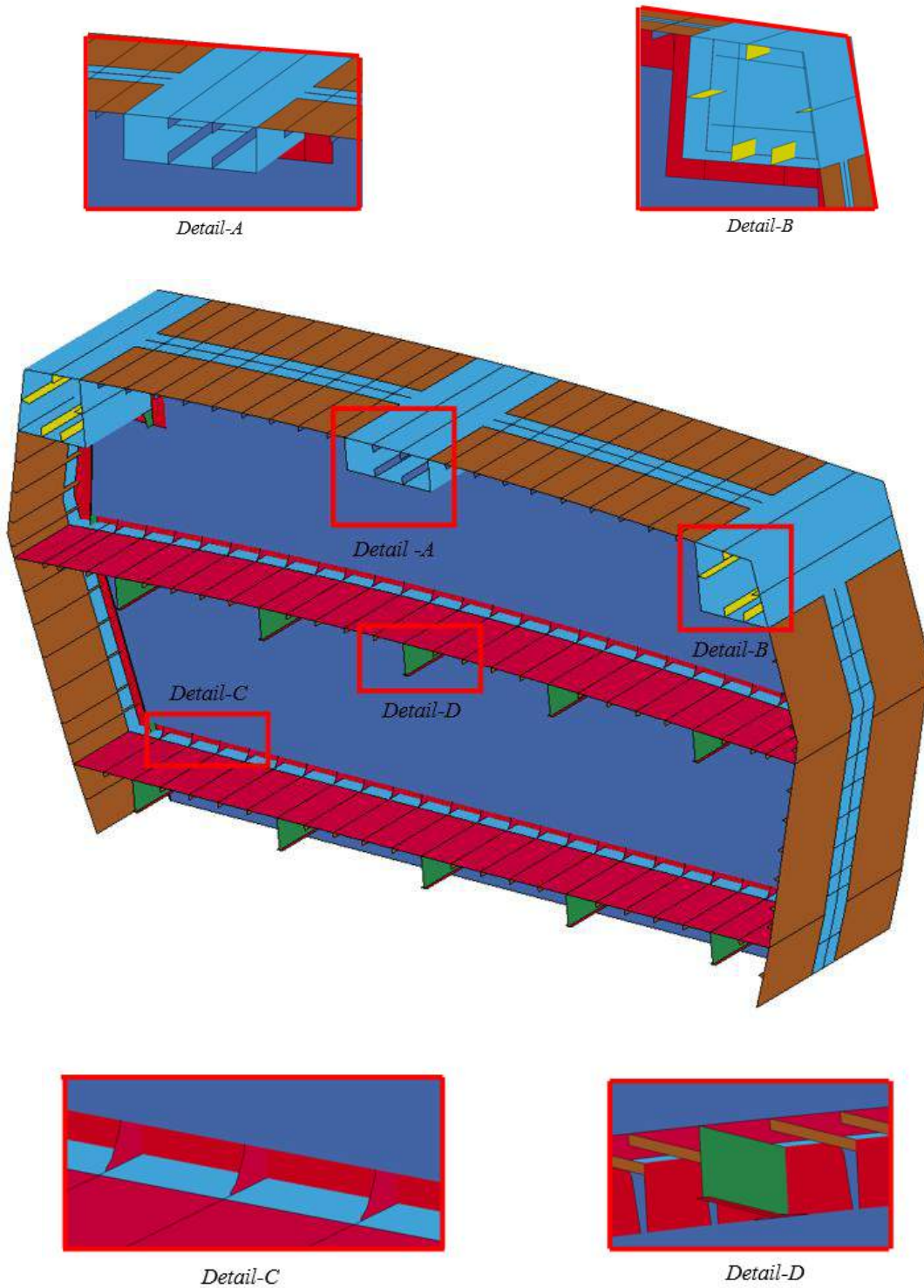


Figure 3. Hardened double bulkhead structure geometry

3.2. Finite Element Model Introduction

Finite element method is used to simulate and model the compartment structure and blast physics of the ship. The finite element method, which is widely used today, was first developed in 1956 for the stress analysis of fuselages and started to be used in the solution of applied sciences and engineering applications within the next ten years. The main logic in the finite element method is to solve a complicated problem by simplifying it. In this method, the solution region is divided into small, simple and interconnected sub-regions called finite element. With the finite element method, a solution of a very large model is simplified by cutting into pieces that are interconnected with many nodes. The structure resembling a grid formed by the nodes is called digital network (mesh). This network is programmed with the material information determining how the structure will behave under certain loading conditions.

Nodes give the stress levels of the structure emerging under operating conditions. The behavior of the structure under the relevant load is seen according to the calculated stress level (Korkut, 2019).

3.2.1. Selecting Shell Elements for Ship Structure

The steel structure used in ship linings and all deep construction is modeled as a shell element in finite element analysis. There are many formulations in the Ls-Dyna software for shell elements and the fully-integrated shell elements are used, which differ in the number of integration points and calculation algorithms.

3.2.2. Creating the Material Model

The behavior of the metal structure must be properly identified in order to analyze the response of the ship structure correctly in explosion analyses. This identification is realized by transferring the mathematical material model is used in the dynamic analysis to simulations. Johnson-Cook mathematical material model is included in the Ls-Dyna program and used to create the behavior of the dynamic behavior of the high strength DH-36 steel structure. The parameters of the Johnson-Cook model and DH-36 steel material used in the bulkhead structure are given as Table 1 and Table 2. The general formula of the mathematical model is given Equation (2):

$$\sigma = [A + B \cdot \epsilon^n][1 + C \cdot \ln \dot{\epsilon}^*][1 - T^{*m}] \tag{2}$$

here σ is the equivalent stress, and ϵ is the equivalent plastic strain. The material constants are A, B, n, C and m. A is the yield stress of the material under reference conditions, B is the strain hardening constant, n is the strain hardening coefficient, C is the strengthening coefficient of strain rate, and m is the thermal softening coefficient (Cao et al,2014).

The three parenthesis components in Equation (2) represent, from left to right, the strain hardening effect, the strain rate strengthening effect and the temperature effect, which influences the flow stress values (Murugesan et al,2017). In the flow stress model, $\dot{\epsilon}^*$ and T^* are

$$\dot{\epsilon}^* = \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_{ref}} \tag{3} \quad T^* = \frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} \tag{4}$$

$\dot{\epsilon}^*$ is the dimensionless strain rate, T^* is the homologous temperature, T_m is the melting temperature of the material, and T is the deformation temperature. $\dot{\epsilon}_{ref}$ and T_{ref} are the reference strain rate and the reference deformation temperature (Murugesan et al,2017).

Table 1. Johnson-Cook material model parameters (Klepaczko et al,2009)

Johnson-Cook Material Model Parameters								
A (Mpa)	B (Mpa)	C	n	ϵ (1/s)	m	$T = T_{ref}$ (K)	T_m (K)	$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_{ref}$ (1/s)
1020	1530	0.015	0.4	1×10^1	0.32	50	1773	1×10^1

Table 2. DH-36 material properties

Material	Elasticity Modulus (N/mm ²)	Poisson Ratio	Density (ton/mm ³)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)
DH-36 Steel	2.1×10^5	0.28	7.85×10^{-9}	355	490

3.2.3. Defining Boundary Conditions

Boundary conditions are constraints that necessary for the solution of the structural analysis. The way that the model is constrained can significantly affect the results expected from the structure and requires special consideration. Over or under constrained models can give results especially stress and displacement inaccurate. In order to reduce the effects of boundary conditions, all points 1 meter away from hardened double bulkhead in the direction of the stem and stern were defined as ALLDOF = 0 in Ls-Dyna as shown in the Figure 4.

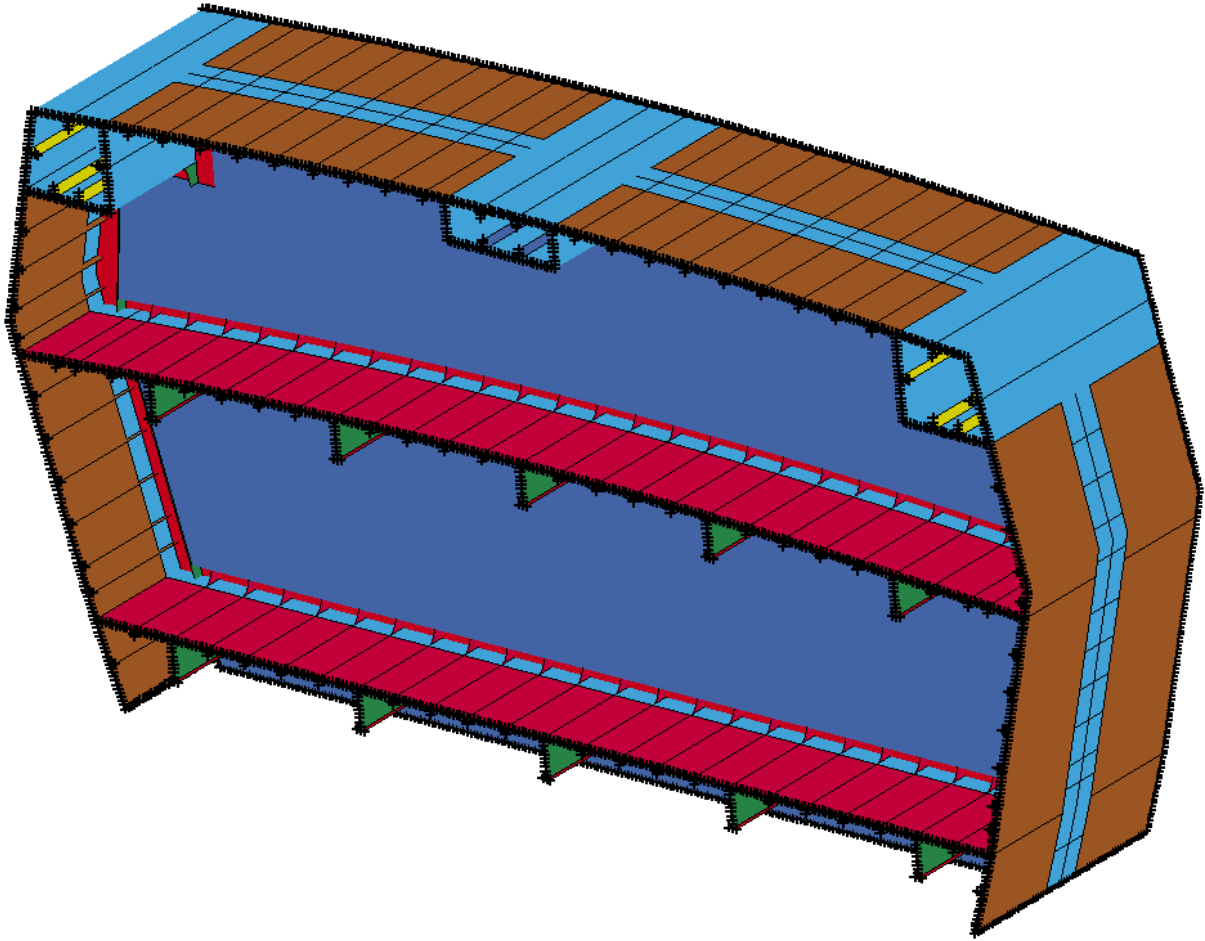


Figure 4. Boundary conditions

3.2.4. Explosive and Segment Set

In the light of the NATO standards, 0.845 tonnes TNT P-700 Granit Anti Ship Missile charge is located 5 meters away from the segment origin at naval ship compartment volume center as shown in the Figure 5. In addition, the time step is also an important parameter for blast analysis. The time step on the analyses is selected $1.8896E-03$ s which is enough to handle the whole distribution of the pressure and stresses on the structure.

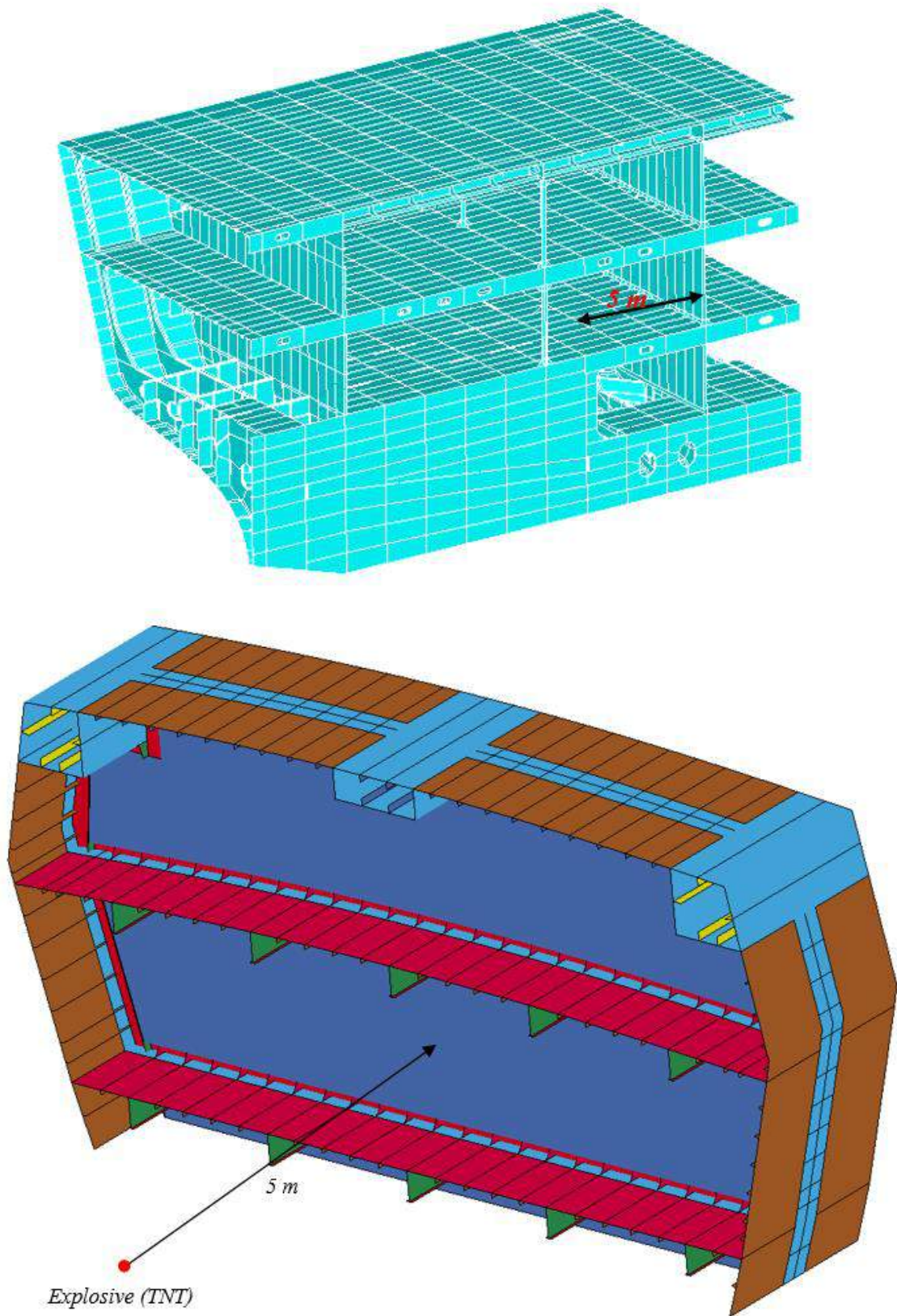


Figure 5. Explosive location

Explosive for the Load Blast Enhanced method is defined using two keywords, the keywords parameters are given in Table 3 and Table 4.

Table 3. Load blast enhanced keyword parameters in Ls-Dyna

*LOAD_BLAST_ENHANCED (metric ton,milimeter,second,Mpa)			
BID	M	XBO	YBO
1	0.845	5000.0	0
ZBO	TBO	UNIT	BLAST
0	-1.8896E-03	7	2

The second required keyword surface segments of elements have been defined as a *SET_SEGMENT with a SSID=1, these segments are to be loaded by the explosive with BID=1 (defined in the above *LOAD_BLAST_ENHANCED keyword). Blast segments area is shown in Figure 6.

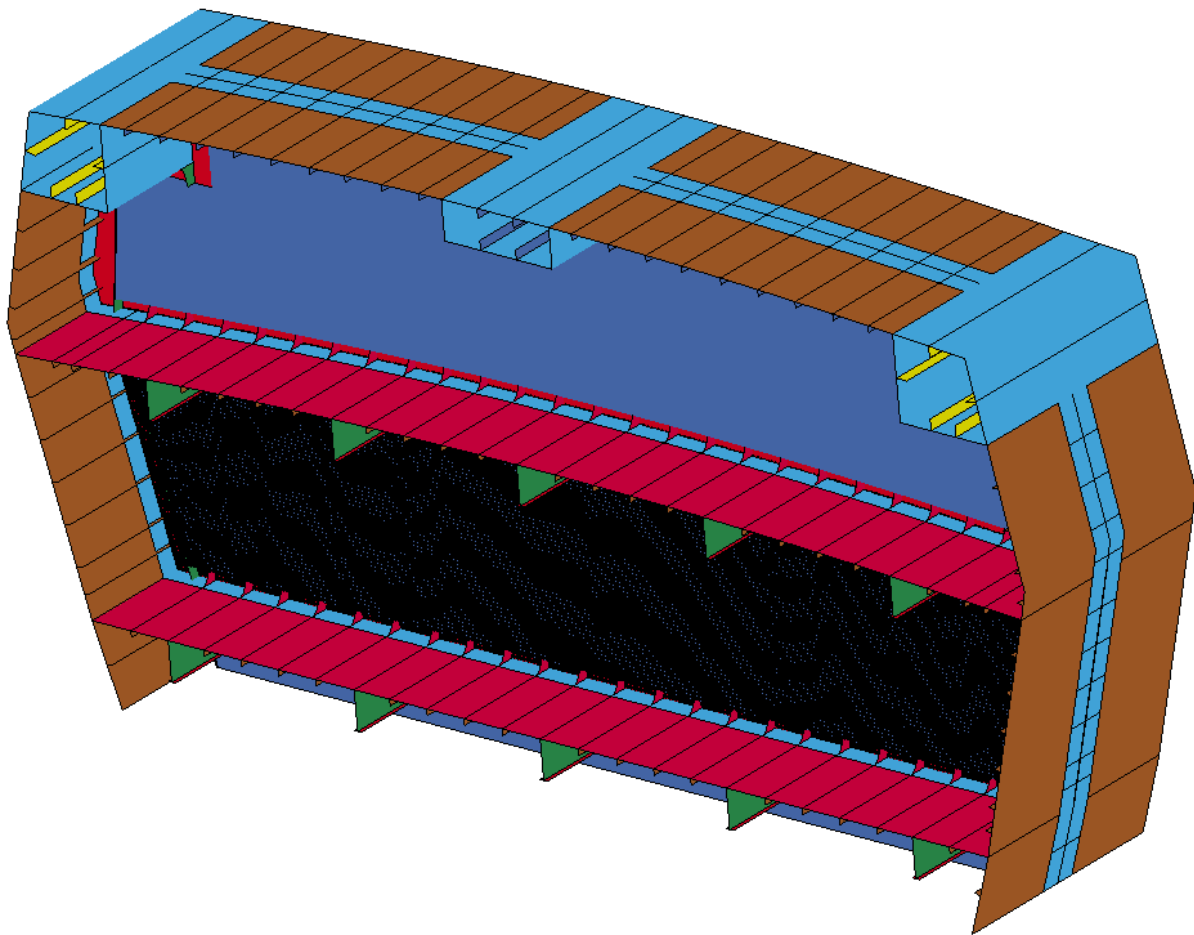


Figure 6. Blast Segments Area is shown as black

Table 4. Load blast segment set keyword parameters in Ls-Dyna

*LOAD_BLAST_SEGMENT_SET				
BID	SSID	ALEPID	SFNRB	SCALEP
1	1	0	0.0	1.0000000

3.2.5. Mesh Size, Number of Elements and Number of Nodes

Before starting the blast analyses of the bulkhead structure, a study is conducted on how the element size, especially the mesh convergence, affects the results. For this purpose 3 different mesh sized model are prepared and the stress results are investigated. The Finite element models are shown in Figure 7 and the max effective Von-Mises stress values depending on mesh size are given in Table 5.

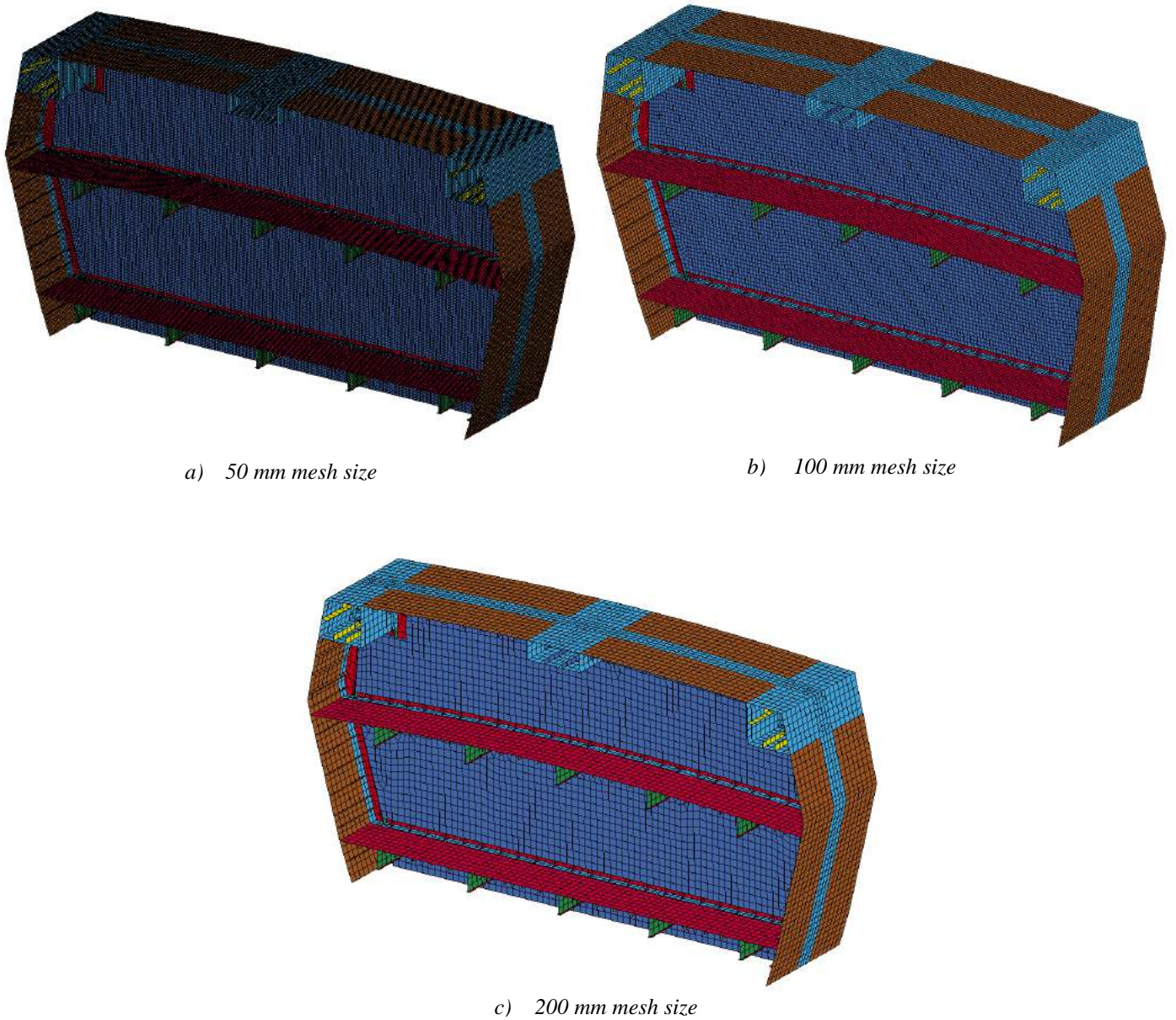


Figure 7. Mesh view of finite element model

The max effective Von-Mises stress results are given in Table 5 and it is decided to use 50 mm mesh size for the dynamic blast analyses of the hardened double bulkhead structure.

Table 5. Mesh size, number of elements and nodes

Mesh Size	Max Effective Von-Mises Stress
200 mm	713.216 Mpa
100 mm	764.000 Mpa
50 mm	772.400 Mpa

4. Blast Analyses of Bulkhead Structure

After making the necessary definitions and modeling studies in Ls-Prepost program, blast analysis was done with the help of Load Blast Enhanced (LBE) method in Ls-Dyna solver. Three control points (S8075, S7044, and S738) were selected from the center outwards on the segment and the pressure formed as a result of the blast coming on them was shown in the Figure 8, and these values were plotted on the Figure 9.

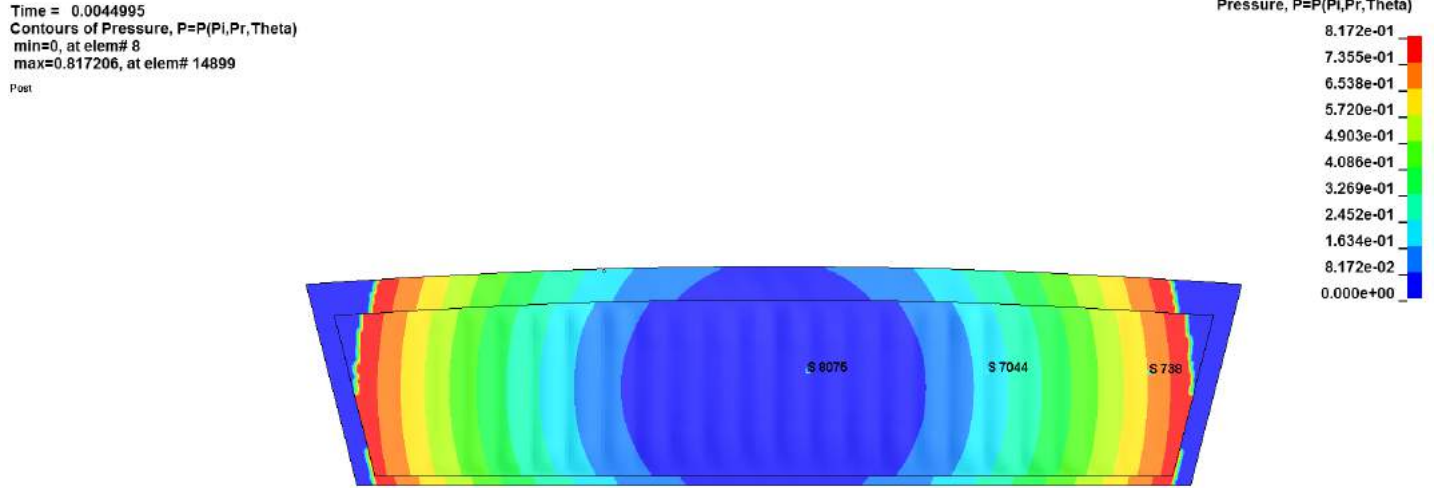


Figure 8. Blast pressure distribution on blast segments area

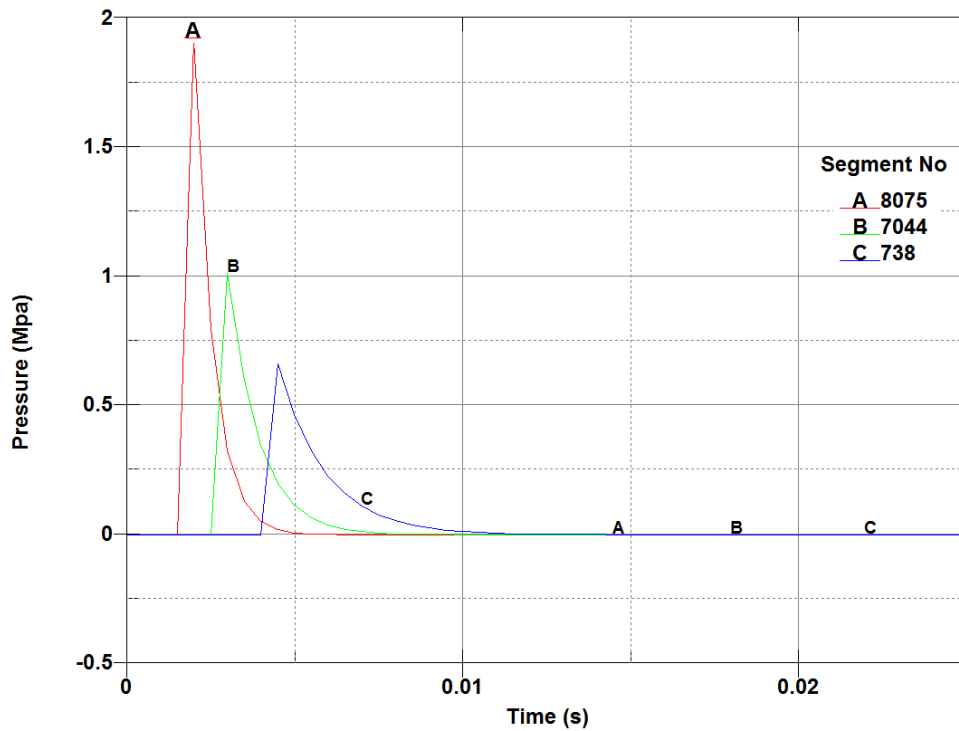


Figure 9. Effective pressure on control points

The Load Blast Enhanced (LBE) method of LS-DYNA is based on empirical explosive data analyzed by Kingery, (Kingery et al,1984) which has been implemented in LS-DYNA (Randers-Pehrson et al, 1997) and the algorithm basically calculates a Friedlander type load curve as shown in Figure 1, which is applied to all exposed elements of a target structure modelled with a Lagrangian mesh and lying in the line of sight of the point of detonation. The parameters of the curve will depend on the distance and angle of incidence of the wave blast and as shown in Figure 9, the blast induced pressure curves are suitable for the simplest form of a blast wave as shown Figure 1.

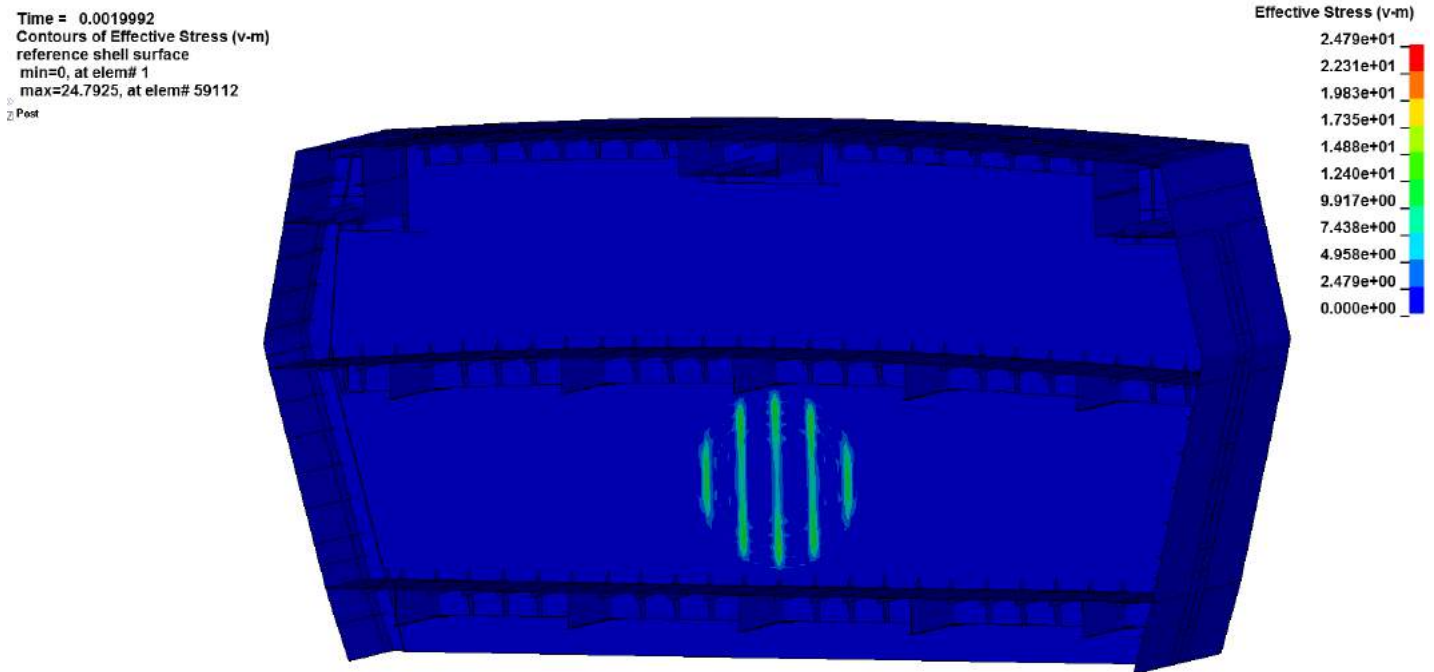


Figure 10. The first effects of blast wave on structure

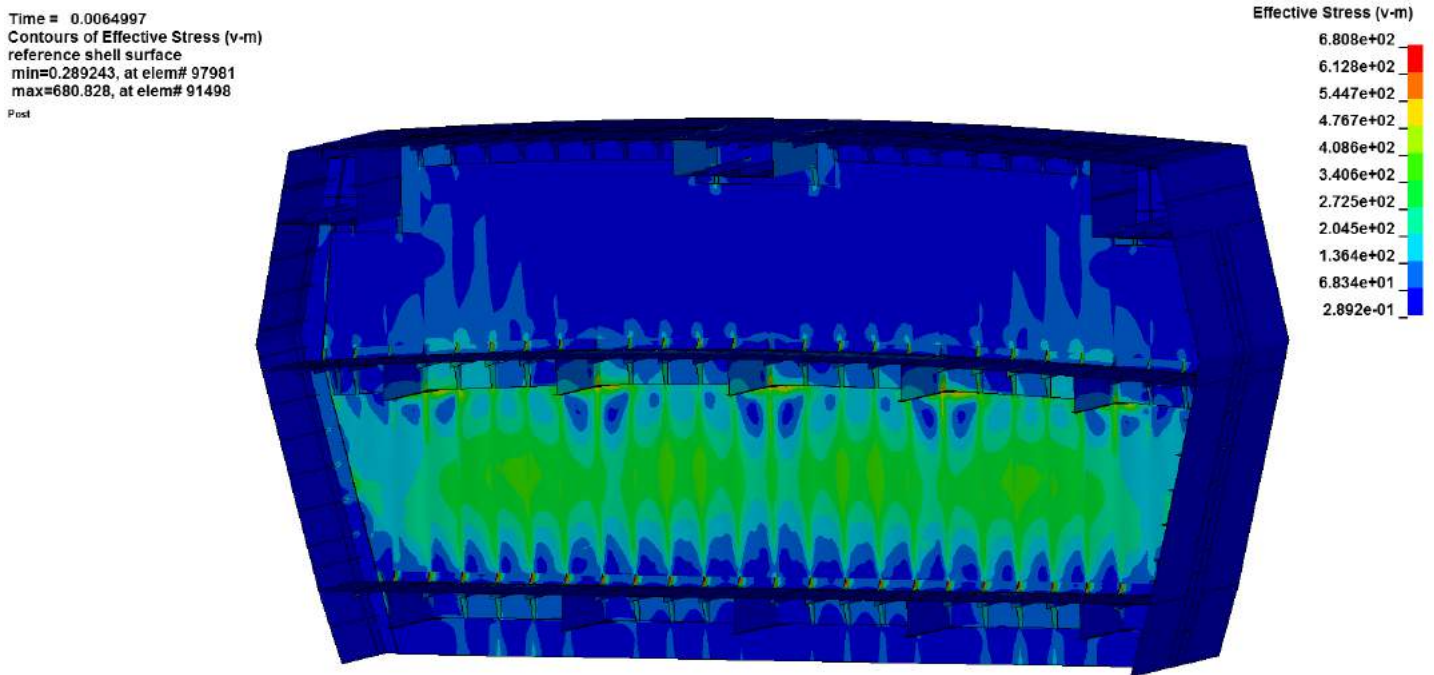


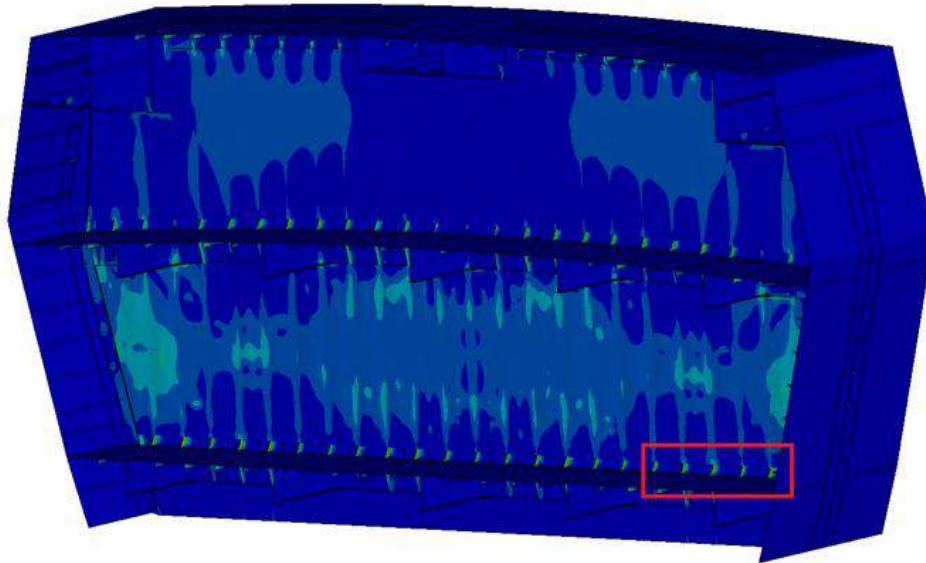
Figure 11. Distribution of blast wave on structure

The effective Von-Misses stress on the bulkhead structure shown in Figure 11 does not exceed 490 MPa tensile limit of the DH-36 Steel used for the ship section.

Time = 0.020999
Contours of Effective Stress (v-m)
reference shell surface
min=0.2194, at elem# 103154
max=772.419, at elem# 181340

Effective Stress (v-m)

7.724e+02
6.952e+02
6.180e+02
5.408e+02
4.635e+02
3.863e+02
3.091e+02
2.319e+02
1.547e+02
7.744e+01
2.194e-01



Detail-E

Figure 12. Maximum effective stress on shock brackets

However, the blast analysis shows that the maximum effective Von-Misses stress is calculated on the shock brackets and 772.419 MPa after 0.020999 seconds the start of the blast as shown Detail E in Figure 12 and exceeds the tensile limit of the DH-36 Steel used for the ship section.

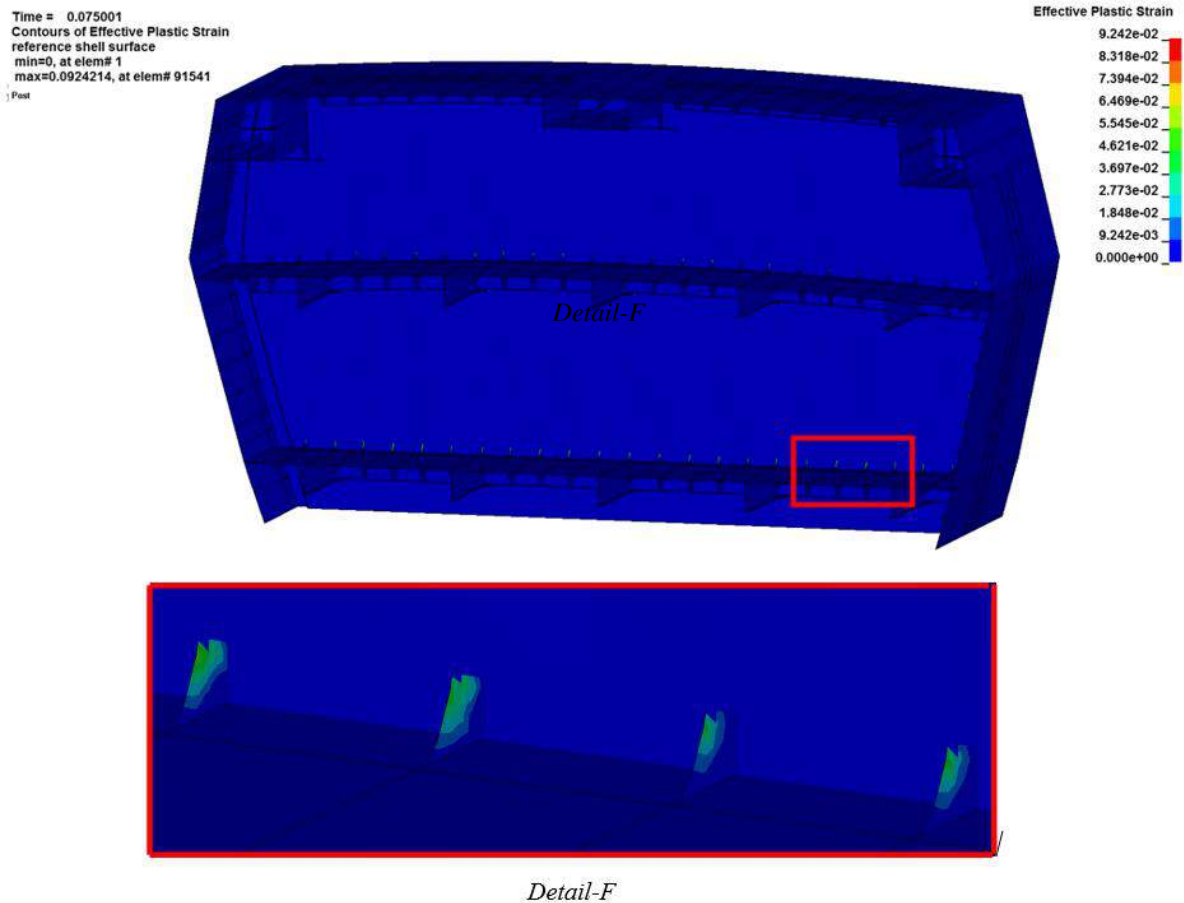


Figure 13. Maximum effective plastic strain on shock brackets

As shown in the Figure 13, the effective plastic strain value is measured as maximum 9.242×10^{-2} (9.242%) on the shock brackets, and the shock brackets exceeds the maximum effective plastic strain = 0.1 defined as failure criteria. It means that plastic deformation will occur in these brackets.

5. Conclusion and Further Works

It is necessary to restrict the damage zone for the ship survivability under the internal blast loading. Within the scope of this study, the hardened double bulkhead structure is designed with all its primary and secondary elements, and the finite element model is prepared for the blast simulations. Blast analyses are performed using LS-Dyna software and it is observed that the structural elements forming the hardened double bulkhead structure did not suffer structural damage from the blast loading scenario stated on the NATO standards. However, as shown in the Figure 13, the effective plastic strain value on the shock brackets exceeds the maximum effective plastic defined as failure criteria. That means plastic deformation will occur on these brackets, but the limit on the strain is below the ultimate strain value. Therefore, it is acceptable for the dynamic blast loading.

On the other hand, the results from analysis of double bulkhead structure showed that to get appropriate results from a blast analysis, proper discretization of the entire model is very important. Also the effect of mesh density and time-step size plays an important role. As a future work, the internal blast simulation of a ship's compartment containing the hardened double bulkhead structure can be performed using ALE method. This method provides more accurate results on stress and pressure and less time consuming.

References

- ISTK (2012), Development of design & analysis technology for total ship survivability enhancement, Korea Research Council for Industrial Science and Technology, NK165E, 158 pages.
- Ball, R.E. & Calvano, C.N. (1994), Establishing the fundamentals of a surface ship survivability design discipline, Naval Engineers Journal, 106(1), 71-74.
- Said, M.O. (1995), Theory and practice of total ship survivability for ship design, Blackwell Publishing Ltd. 107, 191-203.
- Kim, K.S. (2011), A study on the procedure to assess the vulnerability of warship, Master's Thesis, Inha University, Incheon, Republic of Korea, 59 pages.

- Piperakis, A. S. (2012). An integrated approach to naval ship survivability in preliminary ship design. PhD Thesis, University College London.
- Smith, P. D., & Hetherington, J. G. (2003). Blast and ballistic loading of structures. Eastbourne, Great Britain, Antony Rowe Ltd.
- Society of Naval Architects of Korea (2012), "Warship" Text Book, 613 pages.
- Republic of Korea Navy (2009), "Guideline for design of blast hardened bulkhead," 9 pages.
- Rebelo, H. B., & Corneliu, C. (2017). A comparison between three air blast simulation techniques in LS-DYNA. 11th European LS-DYNA Conference, Salzburg.
- Randers-Pehrson, G., & Bannister, K. A. (1997). Airblast loading model for DYNA2D and DYNA3D. US Army Research Laboratory: Aberdeen Proving Ground. Aberdeen
- Erdik, A., & Uçar, V. (2018). On evaluation and comparison of blast loading methods used in numerical simulations. *Sakarya University Journal of Science*.
- Kingery, C. N. & Bulmash, G. (1984). Airblast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical surface burst. Ballistic Research Laboratory: Aberdeen Proving Ground, Aberdeen
- U.S. Army Corps of Engineers, N.F.E.C., Air Force Civil Engineering Support Agency, (2002). Design and analysis of hardened structures to conventional weapons effects. Department of the Army: US Army Corps of Engineers and Defense Special Weapons Agency, Washington, DC.
- Hallquist, J. (2006). LS-DYNA theory manual. Livermore Software Technology Corporation.
- Lam, N., Mendis, P. & Ngo, T. (2007). EJSE Special Issue: Loading on structures: Editorial. *Electronic Journal of Structural Engineering*.
- Karlos, V., Larcher, M. & Solomos, G. (2015). Analysis of the blast wave decay coefficient in the Friedlander equation using the Kingery-Bulmash data. Joint Research Centre, Italy.
- Donea, J., Giuliani, S. & Halleux, J. P. (1982). An arbitrary lagrangian-eulerian finite element method for transient dynamic fluid-structure interactions. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, **33**(1-3): p.689-723.
- Kozak, A. L. (2016). Validation of the ALE methodology by comparison with the experimental data obtained from a sloshing tank." 14th International LS-DYNA Users Conference, Detroit.
- LS-DYNA Aerospace Working Group, (2013). Modeling guidelines document. Version 13-1.
- Slavik, T. P. (2009). A coupling of empirical explosive blast loads to ALE air domains in LS-DYNA. 7th European LS-DYNA Conference. Salzburg.
- Schwer, L., Teng, H. & Souli, M. (2015). LS-DYNA air blast techniques: Comparisons with experiments for close-in Charges. 10th European LS-DYNA Conference, Würzburg.
- Han, Y. & Liu, H. (2015). Finite element simulation of medium-range blast loading using LS-DYNA. *Shock and Vibration*.
- Korkut, S. (2019). "Sonlu elemanlar metodu", Retrieved from <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/09/sonlu-elemanlar-metodu/> (Access Date: 15.12.2019).
- Cao, Y., Di, H. S., Misra, R. D. K. & Zhang, J. (2014). Hot deformation behavior of Alloy 800 H at intermediate temperatures: Constitutive models and microstructure analysis. *J. Mater. Eng. Perform.*, **23**, 4298–4308.
- Murugesan, M., Lee, S., Kim, D., Kang, Y. H. & Kim, N. A. (2017). Comparative study of ductile damage models approaches for joint strength prediction in hot shear joining process. *Procedia Eng.* **207**, 1689–1694.
- Klepaczko, J. R., Rusinek, A., Rodríguez-Martínez, J. A., Pecherski, R. B. & Arias, A. (2009). Modelling of thermo-viscoplastic behaviour of DH-36 and Weldox 460-E structural steels at wide ranges of strain rates and temperatures, comparison of constitutive relations for impact problems. *Mechanics of Materials*.



Aktif Karbon ile Sulu Çözeltilerden Amoksisilin Giderimi: Kinetik ve Denge Çalışmaları

Elif Tümay Özer¹

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5225-0146)

(İlk Geliş Tarihi 15 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.697040)

ATIF/REFERENCE: Tümay Özer, E.. (2020). Aktif Karbon ile Sulu Çözeltilerden Amoksisilin Giderimi: Kinetik ve Denge Çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 833-839.

Öz

Amoksisilin (AMX), çok çeşitli mikroorganizmalara karşı geniş bir spektrumda kullanımı ve bakterilere karşı yüksek direnç göstermesi nedeniyle yaygın olarak tüketilen ticari bir antibiyotiktir. Bu nedenle özellikle çevresel sulardan uzaklaştırılması önemli olan bir bileşiktir. Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen aktif karbon, sulu fazdan AMX uzaklaştırılması için kullanıldı. Adsorpsiyon prosesini etkileyen pH, başlangıç AMX derişimi, sıcaklık ve temas süresi parametrelerinin adsorplanan AMX miktarına etkisi incelendi. Başlangıç AMX derişiminin etkisi 3-500 mg/L derişim aralığında incelendi. Adsorpsiyona pH etkisi ise 2-10 aralığında araştırıldı. Adsorpsiyon işlemleri üç farklı sıcaklık için (10°C, 25°C and 40°C) gerçekleştirildi. Maksimum AMX adsorpsiyon kapasitesi pH değeri 3 olan sulu çözeltide 223,9 mg/g (25°C) olarak hesaplandı. Adsorpsiyonun endotermik bir doğası olduğu belirlendi ve artan sıcaklıkla adsorpsiyon kapasitesinde artış gözlemlendi. Elde edilen adsorpsiyon verilerinin Langmuir izotermi ile uyum sağladığı belirlendi. Adsorpsiyonun yalancı-ikinci-derece kinetik modele uyum gösterdiği bulundu. Ayrıca aktif karbon, AMX ile kirletilmiş çeşme suyundan antibiyotiğin giderimi için etkin olarak kullanıldı.

Anahtar Kelimeler: Amoksisilin, Aktif karbon, Giderim.

Removal of Amoxicillin in Aqueous Solution by an Activated Carbon: Kinetic and Equilibrium Studies

Abstract

Amoxicillin (AMX) is a commercial antibiotic commonly consumed due to its wide spectrum of use against a wide variety of microorganisms and its high resistance to bacteria. For this reason, it is a compound that is especially important to be removed from environmental waters. In this study, commercially activated carbon was used to remove AMX from the aqueous phase. The effect of pH, initial AMX concentration, temperature and contact time parameters affecting the adsorption process on the adsorbed AMX amount was determined. The effect of the initial AMX concentration was examined in the range of 3-500 mg / L. The pH effect on adsorption was investigated in the range of 2-10. Adsorption processes were performed for three different temperatures (10 °C, 25 °C and 40 °C). The maximum AMX adsorption capacity was calculated as 223.9 mg / g (25 °C) in an aqueous solution with a pH of 3. Adsorption was determined to have an endothermic nature and an increase in adsorption capacity was observed with increasing temperature. Adsorption isotherms compatible with Langmuir isotherm. By evaluating the kinetic data, it was found to be compatible with the pseudo-second degree kinetic model. Activated carbon was also used effectively for AMX removal from tap water contaminated with AMX.

Keywords: Amoxicillin, Activated carbon, Removal.

¹ Sorumlu Yazar: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5225-0146, etumay@uludag.edu.tr

1. Giriş

Artan nüfus ile beraber kimyasalların yaygın kullanımı nedeniyle yüzey ve yeraltı sularının kirliliği, dünya çapında giderek daha ciddi bir sorun haline gelmektedir. Farmasötik bileşikler, yaygın kullanımları ve su ortamında uzun vadeli etkileri nedeniyle dünya çapında önemli ve hızla gelişen bir kirletici sınıfını oluşturmaktadır. Antibiyotikler, hem insanlarda hem de hayvanlarda çeşitli bulaşıcı hastalıkları tedavi etmek için yaygın olarak kullanılan bir ilaç grubudur (Garoma ve ark., 2010, Yu ve ark., 2016). Çoğu antibiyotik tamamen metabolize edilemez, kalıntıları ve bozunma ürünleri vücuttan atılır ve sucul ortama çeşitli yollarla girebilir. Antibiyotik kalıntılarına ve metabolitlerine maruz kalmak, çevrede mikroorganizmaların antibiyotik direncinin oluşması, organizmalar için kronik ve akut toksisite gibi çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır(WHO, 2014, Michael ve ark., 2013).

Amoksisilin (AMX), bakterilere karşı yüksek direnç göstermesi ve çok çeşitli mikroorganizmalara karşı geniş bir spektrumda kullanımı nedeniyle yaygın olarak tüketilen ticari bir antibiyotiktir. AMX'nin çok az bozunduğu ve çevrede biyolojik olarak biriktiği bilinmektedir(WHO, 2014). AMX'nin maksimum biyodegradasyonu, arıtılmış kanalizasyon atık sularında % 25,03 olarak rapor edilmiştir (Al-Gheethi ve Ismail 2014). Ayrıca farmasötik içerikli atık sulardaki amoksisilin, gıda zincirindeki birçok organizma üzerinde toksik bir etkiye sahip olduğu ve organizmaların fotosentez mekanizmalarını inhibe ettiği bilinmektedir (Pan ve Ark., 2008). Bu antibiyotikğin ortamda bulunması durumunda, sucul ve karasal ekosistem üzerinde endokrin bozucu ve büyüme inhibisyonu gibi olumsuz etkilere neden olduğu rapor edilmiştir (Al-Gheethi ve Ismail, 2014; Hughes ve ark., 2016).

Atık sulardan farmasötik maddelerin uzaklaştırılması için ozonlama (Andreozzi ve ark., 2005), membran filtrasyonu (Li ve ark., 2004), fotodegradasyon (Trovó ve ark., 2008) ve biyolojik arıtma (Al-Gheethi ve Ismail, 2014) gibi çeşitli teknikler mevcuttur. Bunların yanısıra uygulama, kolaylık, verimlilik ve maliyet açısından daha avantajlı olan adsorpsiyon tekniği de sıklıkla kullanılmaktadır (Hayati ve ark., 2018). Literatür, aktif karbon (AC) adsorpsiyonunun farklı farmasötikler de dâhil olmak üzere çeşitli su kirleticilerinin giderilmesinde etkili bir yaklaşım olduğunu göstermiştir (Redding ve ark., 2009). Bununla birlikte, antibiyotiklerin aktif karbon üzerindeki adsorpsiyon mekanizması, kullanılan aktif karbon kaynağı, üretim prosesi ve adsorban yapısına göre farklılıklar göstermekte ve aydınlatılmasına ilişkin çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu çalışmada, ticari olarak kullanılan toz aktif karbonun sulardan AMX uzaklaştırmasındaki etkinliği değerlendirilmiştir. Adsorpsiyon mekanizmasının aydınlatılması için, adsorpsiyona etki eden AMX derişimi, temas süresi, pH ve sıcaklık parametreleri incelenmiştir. Adsorpsiyon mekanizması, adsorpsiyon verilerinin farklı izoterm ve kinetik modellere uygulanması ile açıklanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasallar ve Cihazlar

Çalışmada kullanılan AMX standardı Sigma-Aldrich (St. Louis, ABD) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır. Adsorpsiyon işlemlerinde kullanılan toz aktif karbon Fluka marka olup, Sigma-Aldrich (St. Louis, ABD) firmasından alınmıştır. Ortalama parçacık büyüklüğü 40 µm'nin altındadır. Deneylerde kullanılan ultra saf su, Elga Flex3 ultra saf su cihazı (Veloia Water Solutions & Technologies, Fransa) kullanılarak üretilmiştir. pH ölçümlerinde cam elektroda sahip, Hanna Instruments pH 211 marka pH metre kullanılmıştır. Batch tipi adsorpsiyon çalışmalarında absorban takibi için UV-GB spektrofotometresi (UV-1700 Shimadzu) kullanılmıştır. Amoksisilin molekülünün sulu çözeltilerdeki derişimi 272 nm dalga boyunda kuartz (Hellma 100-QS, ışık yolu 10 mm) küvetler kullanılarak belirlenmiştir.

2.2. Adsorpsiyon Çalışmaları

Yaklaşık 1000 mg/L derişimde AMX çözeltisi (stok çözelti), gerekli miktarda AMX katısının saf su içinde çözülmesi ile hazırlanmıştır. Daha sonra stok çözelti, istenen derişimlerde AMX çözeltileri elde etmek için uygun şekilde seyreltilerek kullanılmıştır. Tüm adsorpsiyon çalışmaları aynı deney protokolü kullanılarak kesikli batch modda gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda genel olarak, sıcaklık kontrollü inkübatör sistemi (Heidolph Instruments, GmbH & Co.KG, Schwabach, Almanya) kullanarak sabit sıcaklık sağlanmıştır. Toplam 50 mL AMX çözeltilerine uygun miktarlarda aktif karbon (0,0200 g) ilave edilmiştir. Karışım yaklaşık 2 saat sabit hızda (300 rpm) karıştırılmış ve 0,45 µm gözenek büyüklüğüne sahip PVDF filtreden geçirilen sulu faz, UV-GB spektrofotometresi ile analiz edilmiştir. Adsorpsiyon işlemlerinde aktif karbonun t zamanında (q_t , mg/g) ve dengedeki (q_e , mg/g) adsorpsiyon kapasitesi aşağıdaki denklemlerden hesaplanmıştır.

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

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

q_t ve q_e t ve dengede adsorpsiyon kapasitesini (mg/g); C_0 , C_t ve C_e , sırasıyla başlangıçta, t zamanında ve dengeki amoksisilin derişimini (mg/L); m, aktif karbon kütlelerini (g); V ise çözeltinin hacmini (L) göstermektedir.

2.1.1. Adsorpsiyona pH Etkisi

Adsorpsiyon kapasitesine etki eden deneysel parametrelerin başında pH gelmektedir. Bu amaçla sabit derişimde (30 mg/L) AMX içeren farklı pH değerlerine sahip çözeltilere yaklaşık 0,0200 g aktif karbon eklenmiş ve adsorpsiyon kapasitesindeki değışimler izlenmiştir. Çözeltilerin pH ayarlamalarında HCl ve NaOH çözeltileri kullanılmıştır.

2.1.2. Adsorpsiyona Derişim Etkisi

Farklı derişimlerde ve pH 3'de (3-5-10-20-30-50-100-200-300-500 mg/L) AMX çözeltileri hazırlanmış ve ilave edilen 0,0200 g aktif karbon ile farklı sıcaklıklardaki (10°C / 25°C / 35 °C) adsorpsiyon kapasiteleri hesaplanmıştır.

2.1.3. Adsorpsiyona Süre Etkisi

Bu amaçla yaklaşık 30 mg/L derişiminde hazırlanan AMX çözeltilerine 0,0200 g kadar aktif karbon ilave edilmiş ve farklı süre ve sıcaklıklarda çalışılarak, sulu çözeltilerdeki AMX derişimi tayin edilmiş ve adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiştir.

2.1.4. Adsorpsiyon Çalışmasında Kullanılan İzoterm ve Kinetik Modeller

Su ortamındaki bir bileşenin adsorban üzerindeki tutulumunu ifade eden, bir kısmı ampirik birçok izoterm ve kinetik model geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan izoterm ve kinetik modeller Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan izoterm ve kinetik modeller

Model	Eşitlik	Parametreler
İzoterm modelleri		
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_L K_L} + \frac{C_e}{Q_L}$ $R_L = \frac{1}{1 + K_L \cdot C_e}$	q_e (mg /g) Dengedeki adsorpsiyon kapasitesi Q_L (mg /g) Maksimum tek katmanlı adsorpsiyon kapasitesi K_L (L/ mg) Langmuir denge sabiti R_L Ayırma faktörü
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e$	C_e (mg /L) denge çözeltilisindeki analit derişimi K_F (L/ g) Freundlich sabit adsorpsiyon kapasitesi (mg/g) n (mg/ g) Freundlich adsorpsiyon kapasitesi sabiti $0 < \frac{1}{n} < 1$ uygun
Kinetik modeller		
Yalancı birinci derece	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303}$	q_t (mg/ g) t zamanındaki adsorpsiyon kapasitesi q_e (mg/ g) Dengedeki adsorpsiyon kapasitesi k_1 (1/dk) yalancı birinci dereceden hız sabiti
Yalancı ikinci derece	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$	q_t (mg /g) t zamanındaki adsorpsiyon kapasitesi q_e (mg /g) Dengedeki adsorpsiyon kapasitesi k_2 (g /mg dk) yalancı ikinci dereceden hız sabiti

2.2. Gerçek Örneklerde Giderim Çalışmaları

Gerçek su örneklerine (musluk suyu) iki farklı derişimde (20 ve 200 mg/L) AMX standardı ilave edilerek, farklı aktif karbon miktarları (0,0200-0,0400-0,0600 g) ile oda sıcaklığında (25 °C) AMX giderim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her numune için üç tekrar deney yapılmıştır. Giderim verimi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

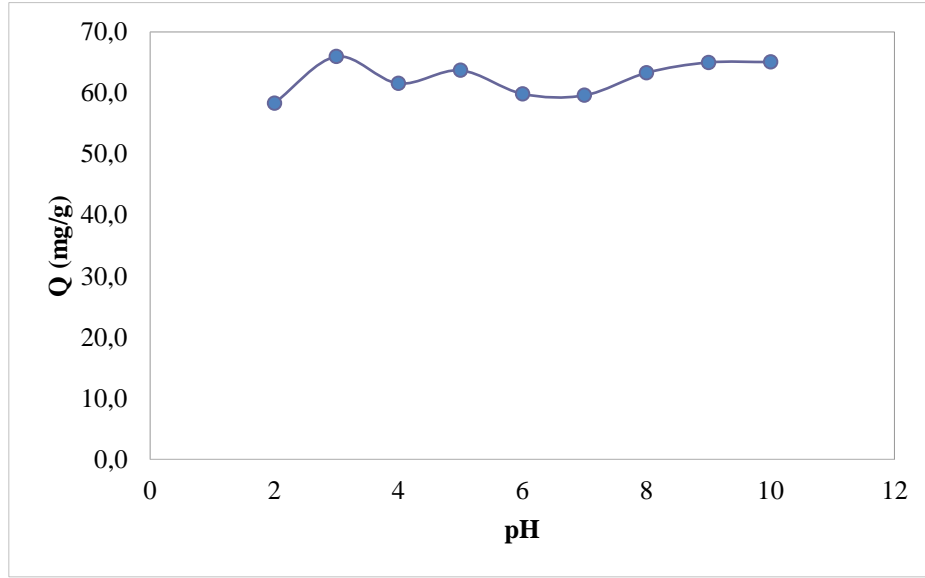
$$\% \text{ Verim} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

burada C_0 ve C_t (mg / L) başlangıç ve t (dk) zamanında çözeltide kalan AMX derişimine karşılık gelmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Adsorpsiyona pH etkisi

Çözelti pH'ı adsorpsiyon çalışmalarında adsorban yüzeyi ve analit yükünü etkileyen önemli bir parametredir. Amoksisilin proton verici gruplarının ($-COOH$ ve $-OH$) ve proton alıcı grubunun ($-NH_2$) etkisiyle amfoterik bir moleküldür. AMX molekülü 2,4 ($-COOH$), 7,4 ($-NH_2$) ve 9,6 ($-OH$) pKa değerlerine sahiptir. Bu sayede ortam pH'ına bağlı olarak katyon, yüksüz (zwitterion) ve anyonik formlarda bulunabilir. AMX molekülünde bulunan karboksil grubu ($-COOH$), asidik çözelti (pH 2-6) içerisinde karboksilat ($-COO^-$) olarak, amin grubu ise $-NH_3^+$ yapısında bulunur. Bu sayede oluşan nötr yüke sahip yapı sayesinde, pH 3'de en yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi ortam pH'ının adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkisi oldukça azdır. Bu da aktif karbon ile AMX etkileşiminin elektrostatik etkileşimden çok, zayıf Vander-Waals etkileşimlerine dayanması ile açıklanabilir. Her iki yapı arasında aromatikliğin getirdiği $\pi-\pi$ etkileşimleri olabilir. Böylelikle analit ve adsorbanın yüzey yükünden bağımsız bir etkileşim oluşur. Bu sonuç her çözelti pH'ında çalışmayı mümkün kılmaktadır (Li ve ark., 2017, Zandipak ve Sobhanardakani, 2018).

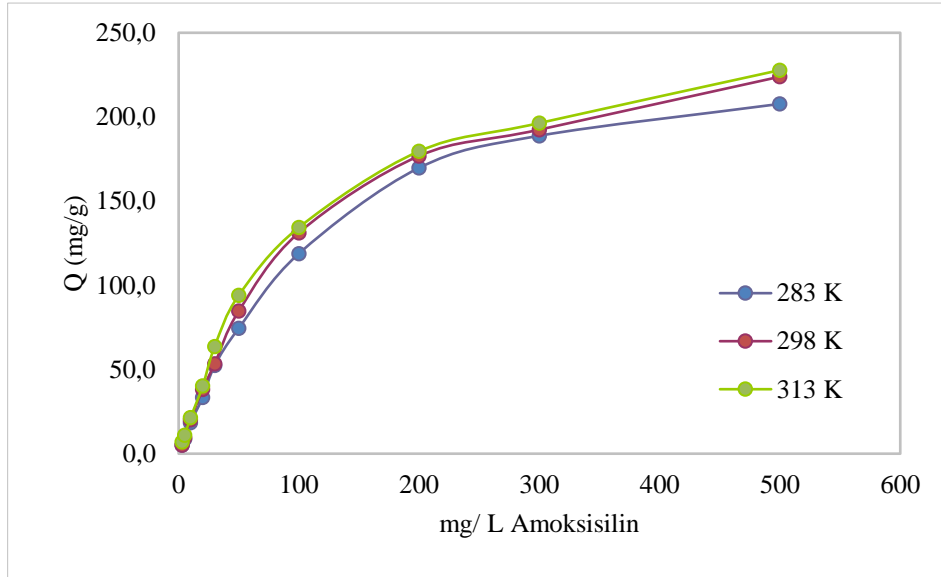


Şekil 1. Adsorpsiyona pH etkisi

3.2. Adsorpsiyona Derişim Etkisi

İlaç içeriğinin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi 3 ila 500 mg/L başlangıç AMX derişim aralığında araştırılmıştır. Aktif karbon tarafından AMX adsorpsiyonu için elde edilen veriler Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2'den görüldüğü gibi, AMX başlangıç derişiminde 3 mg/L'den 500 mg/L'ye artışla, adsorbe edilen AMX (q_e) değerleri de 10°C için 5,1'den 207,8'e; 25°C için 5,2'den 223,9'a; 40°C için ise 7,1'den 227,8'e yükselmiştir.

Adsorpsiyon denge çalışmaları için lineer Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinden yararlanılmıştır. Langmuir izotermi genellikle çözünen maddenin sıvı çözeltilerden adsorpsiyonunu açıklamak için kullanılır. Bu modelin varsayımları arasında, adsorbat moleküllerinin birbiri ile etkileşiminin olmadığı ve sınırlı sayıda özdeş bölgeye sahip homojen bir yüzeyde tek tabakalı adsorpsiyon vardır (Langmuir, 1918). Freundlich izoterm yaklaşımı ise, adsorpsiyon davranışı heterojen bir yüzeyde gerçekleştiğini kabul etmektedir (Freundlich ve Heller, 1939).



Şekil 2. Adsorpsiyona derişim etkisi.

Tablo 2. İzoterm modellerine ait parametre sonuçları

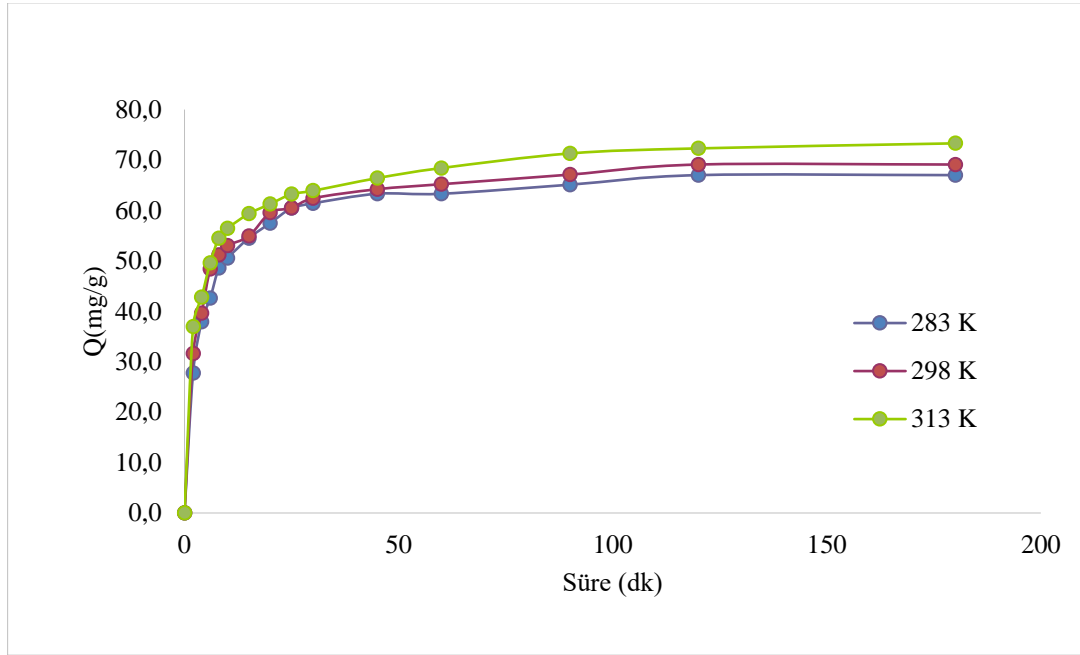
İzoterm	Parametreler	Sıcaklık		
		283 K	298 K	313 K
Langmuir	$Q_{max}(mg / g)$	207,8	223,9	227,8
	$q_m (mg / g)$	210,13	224,92	229,04
	$K_L (L / mg)$	0,0572	0,0639	0,0647
	R^2	0,9939	0,9938	0,9905
	R_L	0,9622-0,0396	0,9785-0,0357	0,9399-0,0362
Freundlich	$K_F (L mg^{(1-(1/n))} g^{-1})$	19,51	20,02	21,90
	n	2,116	2,154	2,282
	R^2	0,7882	0,8636	0,8219

Üç farklı sıcaklıkta (283 K, 298 K ve 313 K) incelenen adsorpsiyon eğrilerinde, sıcaklık artışının adsorpsiyon kapasitesi üzerinde 207,8 mg /g'dan 227,8 mg / g' a arttırıcı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Şekil 2). Bu da adsorpsiyon işleminin doğasının endotermik olduğunu göstermiştir.

AMX'nin adsorpsiyon dengesini analiz etmek için lineer formdaki Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri kullanılmıştır. İzoterm modellerinden elde edilen parametreler Tablo 2'de özetlenmiştir. Langmuir izotermi ile, üç farklı sıcaklık (283 K, 298 K ve 313 K) için yüksek korelasyon katsayılarına ($0,9905 < R^2 < 0,9939$) sahip deneysel veriler elde edilmiştir. Bunların yanısıra, hesaplanan AMX adsorpsiyon kapasitelerinin (q_m), deneysel olarak bulunan adsorpsiyon kapasitelerine (Q_{max}) yakın değerler verdiği görülmüştür. Langmuir izoterminin deneysel verilere çok iyi uyması sebebiyle, aktif karbon yüzeyin homojen olduğunu ve AMX 'nin tek tabakalı bir adsorpsiyon modeline uygun olarak yüzeyde homojen dağıldığı düşünülmektedir (Langmuir, 1916). Ayrıca R_L olarak hesaplanan ayırma faktörü değerinin 0 ila 1 aralığında değerler alması adsorpsiyonun uygun ve istemli oluşunun farklı bir göstergesidir (Polanyi, 1932). Deneysel hesaplamalar her sıcaklık ve derişim aralığında hesaplanan R_L değerleri (0,0357-0,9785) birden düşük bulunmuştur.

3.3. Adsorpsiyona Süre Etkisi

Adsorpsiyona temas süresinin etkisini incelemek için; 30 mg/L'lik AMX çözeltilerinin 283 K, 298 K ve 313 K sıcaklıklarda yaklaşık 0,0200 g adsorban tarafından değişen sürelerde (2-180 dakika) adsorpsiyonu incelenerek, elde edilen veriler Şekil 3'de verilmiştir. Görüldüğü gibi adsorpsiyon yaklaşık 50 dakika sonunda maksimum değerine ulaşmaktadır.



Şekil 3. Adsorpsiyon kapasitesine temas süresinin etkisi

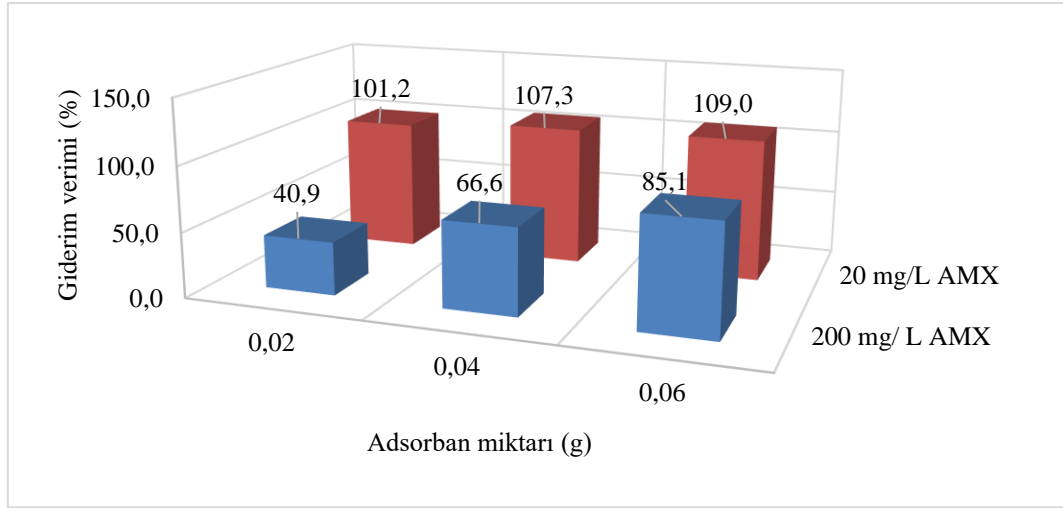
Adsorpsiyon kapasitesinin temas süresi ve sıcaklıkla değişim verileri, kinetik modellere ait matematiksel denklemlere uygulanmıştır. Tablo 3'de yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceli modellerin parametre sonuçları özetlenmiştir. Yalancı ikinci dereceden kinetik modelinin korelasyon katsayısının karesinin (R^2) üç farklı sıcaklık için 0,9996'dan büyük olduğu ve üç farklı sıcaklık için hesaplanan teorik adsorpsiyon kapasitelerinin (q_e) deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerine daha yakın olduğu görülmüştür. Bu veriler ışığında, yalancı ikinci dereceden kinetik modelinin hız kontrol basamağı olarak adsorpsiyon mekanizmasıyla uyumlu olduğunu söylenebilir.

Tablo 3. Adsorpsiyona ait kinetik parametreler

Sıcaklık (K)	Yalancı birinci derece kinetik model				Yalancı ikinci derece kinetik model		
	Deneysel q_e (mg/g)	$k_1 \times 10^2$ (1/dak)	q_e (mg/g)	R^2	$k_2 \times 10^3$ ((g/mg)/dak)	q_e (mg/g)	R^2
283	67,0	3,57	27,4	0,8252	4,15	68,5	0,9999
298	69,1	3,41	27,8	0,8477	4,04	70,4	0,9998
313	73,3	2,99	29,1	0,9145	3,58	74,6	0,9996

3.4. Gerçek Örnek Çalışmaları

Gerçek su numunelerindeki AMX giderim veriminin araştırılması amacıyla 20 ve 200 mg/L AMX ilave edilen çeşme suyu örneklerine farklı miktarlarda aktif karbon ilavesi ile elde edilen veriler Şekil 4'de verilmiştir. Giderim verimleri 200 mg/L AMX içeren örneklerde aktif karbon miktarının artışıyla % 40,9 dan 85,1'e yükselmiştir. Daha düşük miktarda AMX (20 mg/L) ilave edilen çeşme suyu örneklerinde ise giderim verimi 101,2 ila 109,0 aralığında olup, büyük bir farklılık göstermemiştir. Yapılan giderim çalışmalarına ait bağlı standart sapma değerleri ise %0,1 ile %2,3 aralığında bulunmuştur.



Şekil 4. Gerçek su numunesinde giderim verimleri

4. Sonuç

Bu çalışmada, toz formdaki ticari aktif karbonunun sulu fazdan AMX giderimi için etkinliği araştırılmıştır. Aktif karbon ile 25° C'de maksimum adsorpsiyon miktarı 223,9 mg AMX / g aktif karbon olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon işlemi endotermik karakter sergilemiştir. Adsorpsiyon verileri Langmuir izoterm modeli ve yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyum göstermiştir. Gerçek örneklerdeki matriks etkisi, giderim verimini etkilememiştir. Genel olarak, aktif karbonunun, çeşitli sıcaklıklar, pH değerleri ve iyonik kuvvet ortamında yeterince etkili, düşük maliyetli, AMX'in uzaklaştırılması için iyi bir adsorbent olduğu kanıtlanmıştır.

Kaynakça

- Al-Gheethi, A.A.S., Ismail, N. (2014). "Biodegradation of pharmaceutical wastes in treated sewage effluents by *Bacillus thilis* 1556WTNC". *Environ. Process.* 1, 459-481.
- Andreozzi, R., Canterino, M., Marotta, R., Paxeus, N. (2005). "Antibiotic removal from wastewaters: the ozonation of amoxicillin", *J Hazard Mater* 122 (3), 243-250.
- Freundlich, H., Heller, W. (1939). "The adsorption of cis- and transazobenzene", *J. Am. Chem. Soc.* 61, 2228-2230.
- Garoma, T., Umamaheshwar, S.H., and Mumper, A. (2010). "Removal of sulfadiazine, sulfamethizole, sulfamethoxazole, and sulfathiazole from aqueous solution by ozonation", *Chemosphere* 79, 814-20.
- Hayati, B., Maleki, A., Najafi, F., Gharibi, F., McKay, G., Gupta, V.K., Puttaiah, S.H., Marzban, N. (2018). "Heavy metal adsorption using PAMAM/CNT nanocomposite from aqueous solution in batch and continuous fixed bed systems", *Chem. Eng. J.*, 346, 258-270.
- Hughes, S.R., Kay, P., Brown, L.E. (2016). "Impact of anti-inflammatories, beta-blockers and antibiotics on leaf litter breakdown in freshwaters", *Environ Sci Pollut Res* 23 (4), 3956-3962.
- Langmuir, I. (1916). "The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids", *J. Am. Chem. Soc.*, 38, 2221-2295.
- Langmuir, I. (1918). "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum". *J. Am. Chem. Soc.* 40, 1361-1403.
- Li, S., Li, X., Wang, D. (2004). "Membrane (RO-UF) filtration for antibiotic wastewater treatment and recovery of antibiotics", *Sep Purif Technol* 34, 109-114.
- Li, H., Hu, J., Cao, Y., Li, X., Wang, X. (2017). "Development and assessment of a functional activated carbon-modified bio-hydrochar for amoxicillin removal" *Bioresource Technology* 246, 168-175.
- Michael, I., Rizzo, L., McArdell, C.S., Manaia, C.M., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Fatta-Kassinos, D. (2013). "Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: a review", *Water Res.* 47 (3), 957-995.
- Pan, X., Deng, C., Zhang, D., Wang, J., Mu, G., Chen, Y. (2008). "Toxic effects of amoxicillin on the photosystem II of *Synechocystis* sp. characterized by a variety of in vivo chlorophyll fluorescence tests", *Aquat Toxicol* 89 (4), 207-213.
- Polanyi M. (1932). "Section III- Theories of the adsorption of gases. A general survey and some additional remarks. Introductory paper to section III", *Trans Faraday Soc.* 28, 316-333.
- Redding, A.M., Cannon, F.S., Snyder, S.A., Vanderford B.J. (2009). "A QSARlike analysis of the adsorption of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals, and personal care products on modified activated carbons", *Water Res.*, 43 (15), 3849-3861.
- Trovó, A.G., Melo, S.A.S., Nogueira, R.F.P. (2008). "Photodegradation of the pharmaceuticals amoxicillin, bezafibrate and paracetamol by the photo-Fenton process—application to sewage treatment plant effluent", *J Photochem Photobiol Chem* 198 (2-3), 215-220.
- WHO (2014), *Antibiotics Resistance Global Report on Surveillance*, World Health Organization Press, Geneva.
- Yu, F., Li, Y., Han, S., and Ma, J. (2016). "Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials", *Chemosphere* 153, 365-85.
- Zandipak, R., Sobhanardakani, S. (2018). "Novel mesoporous Fe₃O₄/ SiO₂/CTAB-SiO₂ as an effective adsorbent for the removal of amoxicillin and tetracycline from water", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20, 871-885.



Bitkilerde Abiyotik Stres Koşullarında Selenyum Metabolizması ve Fizyolojik Etkileri

İlkay Yavaş^{1*} Volkan Mehmet Çınar² Aydın Ünay³

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Koçarlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın (ORCID: 0000-0002-6863-9631)

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri ABD, Aydın (ORCID: 0000-0001-5822-5649)

³ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Aydın (ORCID: 0000-0002-7278-4428)

(İlk Geliş Tarihi 6 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.685702)

ATIF/REFERENCE: Yavaş, İ., Çınar, V. M. & Ünay, A. (2020). Bitkilerde Abiyotik Stres Koşullarında Selenyum Metabolizması ve Fizyolojik Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 840-849.

Öz

Selenyumun (Se) özellikle abiyotik stres koşullarındaki bitkilerde antioksidan rol oynamakla birlikte biyofortifikasyonda yer almaktadır. Düşük dozlarda büyüme ve gelişmeyi teşvik etmekte buna karşın yüksek dozlarda toksik etkide bulunmaktadır. Bu derlemede selenyumun tuzluluk, yüksek sıcaklık ve kuraklık gibi stres koşullarındaki fizyolojik etkileri, topraktaki yarayışlılığı ve alım mekanizması üzerinde yoğunlaşmıştır. Toprakların selenyum içeriğinin, toprak tekstürü, organik madde, redoks potansiyeli, pH ve kil içeriğine bağlı olduğu belirlenmiştir. Bitkilerin selenat ve selenit gibi inorganik formdaki selenyum ile selenosistein ve selenometionin gibi organik formdaki selenyum aldığını görülmüştür. Selenyum alımı ve metabolizmasının bitki türüne, büyüme dönemine ve bitki organına bağlı olarak değişebilir. Düşük dozlarda selenyumun selenoprotein sentezini düzenlediği, antioksidan fonksiyonunu artırdığı ve bitkileri sıcaklık, kuraklık, UV-B, tuzluluk ve ağır metal stresi gibi çeşitli abiyotik streslere karşı koruduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, selenat, selenit, selenometionin, selenosistein

The Physiological Effects and Metabolism of Selenium in Abiotic Stress Conditions in Plants

Abstract

Selenium (Se) plays an antioxidant role especially in plants under abiotic stress conditions. At the same time this element is included in biofortification. It promotes growth and development at low doses, but at high doses it is toxic. This review focuses on the physiological effects of selenium under stress conditions such as salinity, high temperature and drought, its availability in soil and the mechanism of uptake. It was determined that the selenium content of soils is dependent on soil texture, organic matter, redox potential, pH and clay content. The plants can uptake organic form of selenium such as selenocysteine and selenomethionin and inorganic selenium forms such as selenate and selenite. Selenium intake and metabolism can vary depending on the plant species, growth period and plant organ. It was emphasized that Se regulates the synthesis of selenoprotein, increases the antioxidant function and protects plants against various abiotic stresses such as temperature, drought, UV-B, salinity and heavy metal stress at low selenium concentrations.

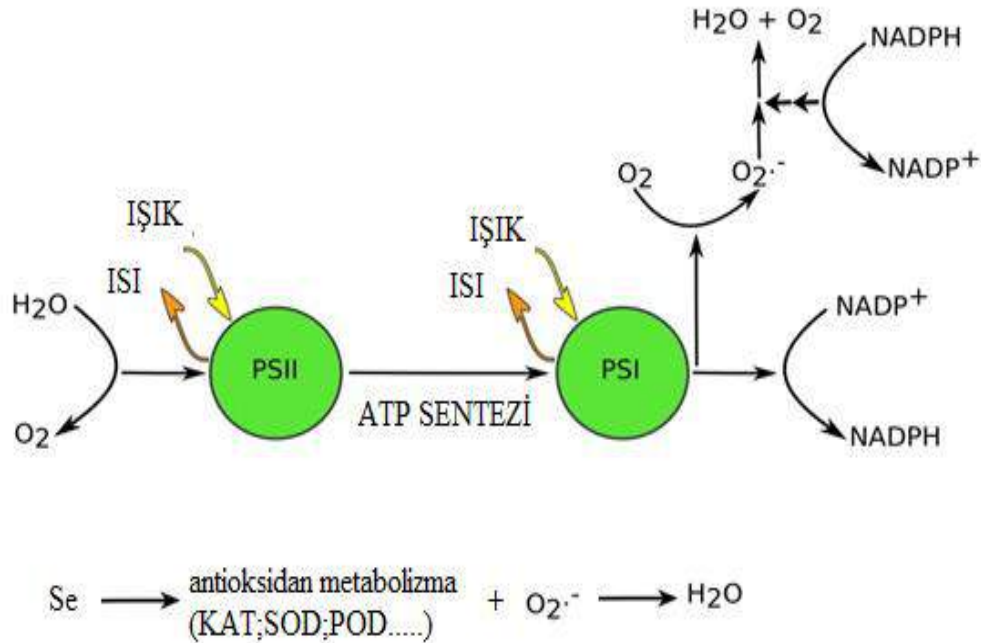
Keywords: Abiotic stress, selenate, selenid, selenomethionine, selenosisteine

* Sorumlu Yazar: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Koçarlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın, Turkey, ORCID: 0000-0002-6863-9631, iyavas@adu.edu.tr, Tel: +90 (256) 772 73 48, Fax: +90 (256) 772 74 60

1. Giriş

Küresel iklim değişikliği çok sayıda faktöre bağlı olarak kültür bitkileri üzerindeki baskısını artırmaktadır. Bu nedenle abiyotik stres faktörlerinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için çok sayıda araştırma yürütülmektedir. Birçok bitkide selenyumun farklı fizyolojik etkiler ve mekanizmalar üzerinden olumsuz etkileri hafiflettiği ortaya konulmuştur. Selenyum, önemli antioksidan enzim olan selenoproteinleri oluşturabilmek amacıyla proteinlere bağlanmaktadır. Çevresel stres koşullarında düşük dozlarda selenyum selenoprotein sentezini düzenleyerek antioksidan fonksiyonunu artırmakta, yaşlanmayı geciktirmekte, bitki gelişimini teşvik etmekte, kurak koşullarda bitki su durumunu düzenlemekte ve kloroplastlarda nişasta birikimini artırmaktadır (Goldhaber, 2003; Feng vd., 2009; Gökbulut, 2010). Buna karşın yüksek dozlarda amino asitlerdeki kükürt ile yer değiştirilebileceği için toksik olduğu ve proteinlerin üç boyutlu yapısını değiştirerek enzimatik fonksiyonları bozduğu hatta bitkilere zarar verdiği bildirilmiştir (Ekelund ve Danilov, 2001; Hashem vd., 2013; İbrahim ve İbrahim, 2016). Kaçar ve Katkat (1998) genellikle selenifer olmayan toprakların toplam Se içeriklerinin 0.1-2.0 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini buna karşın selenifer toprakların Se içeriklerinin ise 10 mg kg⁻¹ değerine ulaşabileceğini belirtmiştir. FAO raporlarına göre ülkemiz toprakları düşük Se içerikli topraklar olarak gösterilmiştir (Sillanpää ve Jansson, 1992). Buna karşın, Türkmen (2010) ülkemizde sarımsak yetiştirilen 7 ildeki toprakların Se içeriğinin 1.32 ile 11.16 µg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve 50 µg kg⁻¹ altında olduğu için selenifer olmayan topraklar sınıfında yer aldığını saptamıştır.

Selenyum, bitki büyümesini teşvik etmesi nedeniyle bitkilere faydalı bir element olarak kabul edilmektedir. Köklerde birikmekte ve bitkilerde L-selenometiyonin (SeMet) ve benzeri türlere dönüştürülmektedir. Bitkiler için yararlı içeriği bitki türlerine bağlı olarak değişmektedir. Yaklaşık 25 bitki cinsi selenyum akümülatörü olarak gruplandırılmaktadır. En büyük hiperakümülatör olarak *Brassicaceae* (*Stanleya*), *Fabaceae* (*Astragalus*) ve *Asteraceae* (*Xylorhiza*, *Oonopsis*, *Symphotrichum*) bitki grupları gösterilmiştir (Cappa vd., 2014; Harris vd., 2014). Bu bitkiler toksisite belirtileri göstermeden, 100-1000 mg kg⁻¹ kuru maddeye kadar Se biriktirebilmektedirler. Tahıllar içerisinde ise en etkili Se akümülatörü olarak buğday bitkisi gösterilmiştir (Lyons vd., 2003). Ülkemizde yapılan çalışmalarda, farklı coğrafik bölgelerden toplanan buğdayların ortalama 34 µg kg⁻¹ selenyum içerdiği saptanmıştır (Çakmak vd., 2009). Irmak ve Semercioğlu (2012) ise Çukurova bölgesinde içeriği 11.3 - 626.9 µg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve toprak Se varlığı ile tane içeriği arasında anlamlı bir pozitif ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Hiperakümülatör olmayan bitkiler (sebzeler ve patates) dokularında ancak 100 mg kg⁻¹ kuru maddeye kadar Se depolayabilirler (Natasha vd., 2018). Selenyumun hem selenit hem de selenat formlarında hiperakümülatör ve indikatör bitki türlerine uygulanması ağır metal stresinin etkilerinin azalmasına neden olmaktadır. Genellikle indikatör olarak kabul edilen monokotiledon bitkilerde koruyuculuğu teşvik etmek için daha düşük dozlarda selenyum (2-15 µM) uygulanırken, hiperakümülatör olarak dikotiledon bitkilerde bu maddelerin daha yüksek seviyelerine (800 µM'i aşan) ulaşılmaktadır (Sieprawska vd., 2015). Selenyum alımı ve metabolizması bitki türüne, büyüme dönemine ve bitki organına göre değişmektedir. Brokoli bitkisi selenometil-SeCys (SeMeSeCys) formunda selenoamino asitlerin büyük çoğunluğu ile yüksek oranda selenyum biriktirmektedir ve bitkilerin büyük bir çoğunluğu yaprak ve sürgünlerinde köklerinden daha fazla selenyum biriktirmektedirler. Buna karşın patatesin kök, stolon ve yumrularında selenyum içeriğinin selenyum gübrelemesi ile arttığı gözlenmiştir (Turakainen, 2006). Hamilton (2004) düşük selenyum içeriğinin normal büyüme ve gelişme için gerekli olduğunu ve orta dozlarda homeostatik fonksiyonların sürdürülmesinde, artan içeriklerinin ise toksik etki ile sonuçlanacağını vurgulamıştır. Selenyum uygulamasının buğdayda bitki su içeriğini düzenlediği, arpada azot asimilasyonunu, soyada sürgün kuru madde üretimini, patatesten yumru kalitesini artırdığı saptanmıştır (Hasanuzzaman vd., 2010).



Şekil 1. Fotosentez ışık reaksiyonlarında oksidatif stresin oluşumu (Skillman vd., 2011 den değiştirilerek).

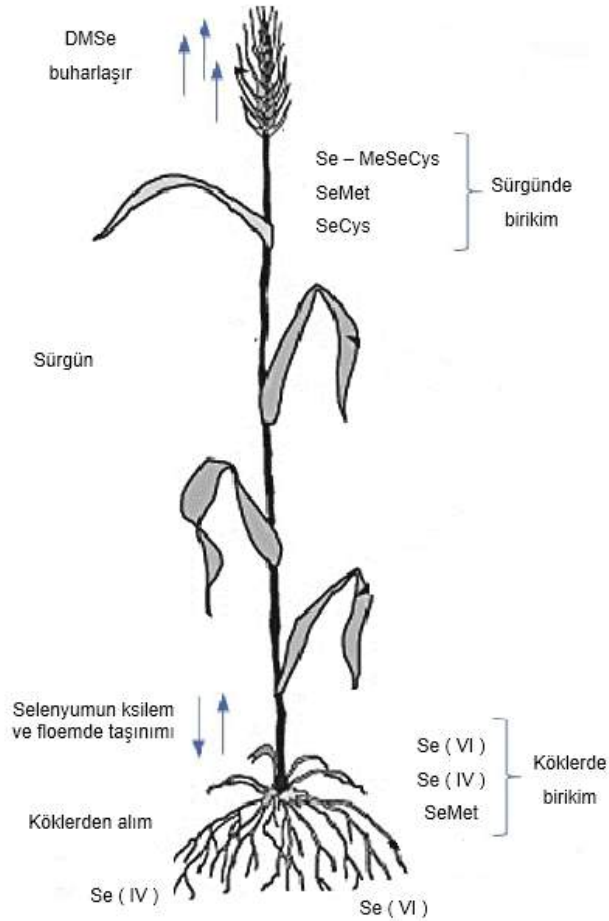
Şekil 1 de görüldüğü gibi normal koşullar altında fotosistem II'den fotosentetik elektron iletimi ile $NADP^+$ $NADPH$ 'a indirgenir. Ancak aşırı ışık koşullarında O_2 süperoksit radikaline ($O_2^{\cdot-}$) indirgenir. Bitkide selenyum varlığı ile fotosentetik oksidatif stresin onarılması (Şekil 1), hücre zarı ve kloroplast bütünlüğü gerçekleşir ve buna bağlı olarak fotosentez kapasitesinde artış gibi birçok fizyolojik olayda yer almaktadır. Aynı zamanda, selenyum antioksidan sistemlerde gerekli olan elementlerin alımını ve reorganizasyonunu düzenler, hücrenin iyon dengesini ve yapısal bütünlüğünü korur ve fotosentezde görev yapan bileşikler olumlu yönde etkileyerek elektron taşımında etkili olmaktadır. Tarımsal olarak ise yaşlanmanın gecikmesi ve bitki veriminde artış ön plana çıkmaktadır (Natasha vd., 2018). Selenyum, topraktaki yarayışlılığına veya dışarıdan Se uygulamasındaki doza bağlı olarak bitkilerde iki yönlü etkide bulunabilir. Tüm fizyolojik olaylardaki olumlu etkilerine karşın yüksek düzeyde Se varlığı bitki metabolizmasında düzensizliklere yol açar ve klorofil içeriğinin azalmasına neden olurken, düşük veya optimum selenyum miktarı bitkilerde klorofil içeriğini artırabilir. Börülce (Manaf, 2016), dereotu (Shekari vd., 2015), tütün (Jiang vd., 2015), arpa (Valkama vd., 2003), maş fasulyesi (Malik vd., 2012) gibi çok sayıda kültür bitkisinde optimum düzeyin üzerinde selenyum nedeniyle yapraklarda klorofil içeriğinin engellendiği belirtilmiştir. Selenyumun neden olduğu toksik etkilerin çoğu, ROS (serbest oksijen radikalleri) üretimi ile ilişkilidir. Yüksek düzeyde Se varlığında artan ROS üretimi hücre zarını ve hücre proteinlerinin yapısını ve fonksiyonunu bozmaktadır. Selenyum özellikle $O_2^{\cdot-}$ (singlet oksijen) gibi serbest radikalleri oluşturmak için tiyoller ve glutatyon (GSH) ile reaksiyona girmektedir (Feng vd., 2013; Natasha vd., 2018). Selenyum glutasyon peroksidaz enziminin yapı taşıdır ve her bir mol enzim 4 g Se atomu içermekte ve peroksidlerin toksik etkilerini önleyerek hücre membranlarını korumaktadır (Brown ve Arthur, 2001; Harmankaya, 2009). Bitkilerde önemli bir antioksidan olan glutatyon yüksek selenyum stresinde azalmakta ve ROS birikimi artmaktadır. Yüksek Se stresinde üretilen ROS, plazma membran lipitleri ve yağ asitleri ile etkileşime girebilmekte ve bu şekilde lipid peroksidasyonuna yol açabilmektedir. Benzer şekilde, yüksek dozda selenyum kaynaklı lipid peroksidasyonu düşük dozlarda selenyum bir antioksidan görevi gördüğü için engellenmektedir (Feng vd., 2013; Natasha vd., 2018).

Bu derlemede, Se alımı, fizyolojik fonksiyonları ve stres koşullarında özellikle kültür bitkileri üzerine etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Öte yandan selenyumun strese toleransla ilgili bazı gen gruplarının bir aktivatörü olabileceği değerlendirilmiştir.

Bitkilerde Selenyum Alımı ve Metabolizması

Bitkiler element formundaki selenyumunu suda çözünmediği için doğrudan alamamakta fakat inorganik selenyum [$Se(IV)$, $Se(VI)$] ve selenosistein ($SeCys$) ve selenometionin ($SeMet$) gibi organik selenyum formlarını alabilmektedirler (Harmankaya, 2009; Gökbulut, 2010; Natasha vd., 2018). Selenometioninlerin protein yapısında olması nedeniyle tahıllarda daha yüksek miktarda selenyum bulunmaktadır. Oksidasyon düzeyi ve toprak pH'sı arttıkça Se bitkiler tarafından daha kolay alınmaktadır (Harmankaya, 2009). Ayrıca toprağa uygulanan selenyumun çok az bir kısmı (<5%) bitki tarafından kullanılabilir. Selenat kök hücresinde plazma membranına kükürt taşıyıcıları aracılığı ile girmektedir. Bu nedenle toprağa kükürt ilavesi bitkiler tarafından selenyum alımını sınırlamaktadır. Asitli topraklarda kükürtün farklı formlarının (sülfür, sülfid, sülfid ve metionin) bitkilerde selenyum alımını azalttığı fakat alkali topraklarda durumun tam tersi olduğu vurgulanmıştır. Selenit büyük olasılıkla fosfor taşıyıcıları ile taşınmakta ve bitkilerde alım için rekabete girmektedir. Tüm bunlara bağlı olarak kükürt ve fosforun varlığı bitkilerde selenyum alımını azaltmaktadır. Bitkilerde birikim sonrası selenyum, S içeren proteinler ile birlikte kükürt ile rekabete girmektedir. Selenyum kükürt ile yer değiştirdikten sonra sistein selenosisteine dönüşmektedir (Natasha vd., 2018).

Köklerde birikimi yüksek olan kurşun, kadmiyum, nikel ve krom gibi metallerin aksine selenyum öncelikle sürgünlerde birikmektedir. Şekil 2'de görüleceği gibi selenyumun köklerden toprak üstü aksamalara taşınımı bitki türüne ve toprakta ya da büyüme ortamında mevcut olan selenyum formuna bağlı olarak değişmektedir. Selenit, $Se(VI)$ ile kıyaslandığında sürgünlerde daha az birikmekte, sürgünlerde en fazla Se taşınımı $Se(VI)$ formunda gerçekleşmektedir. $Se(IV)$, bitkide birikim sonrası kolay bir şekilde organik forma dönüşürken, $Se(VI)$ oldukça yavaş ve az miktarda dönüşmektedir. Bitki köklerine uygulanan $Se(VI)$ 'nın yarısından fazlası sürgünlere taşınırken, $Se(IV)$, köklerde kalmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı bitki dokularında selenyum türlerinin birikimi.

Kikkert ve Berkelaar (2013), buğday ve kanolada Se taşınımının Se(VI) > SeMet > Se(IV) / SeCys şeklinde olduğunu vurgulamışlardır. Carey vd. (2012), çeltik tanesine SeMet ve SeMeSeCys taşınımının Se (IV)'te Se (VI)'ya oranla daha etkin olduğunu bildirmişlerdir. Selenat, önce sürgünlerden köklere ksilem ile taşınmakta ve Se (VI)'un miktarı ksilemde 6-13 kat artmaktadır. Carey vd. (2010), çeltikte organik selenyumun (SeMet ve SeMeSeCys) floem, buna karşılık inorganik selenyumun [Se (IV) ve Se (VI)] hem ksilem hem floem aracılığı ile taşındığını vurgulamışlardır. Organik selenyum türleri, floeme hızlı bir şekilde yüklenmekte ve inorganik türlere nazaran taneye daha etkin bir şekilde taşınmaktadır. Se (VI) ksilem aracılığı ile doğrudan iyonik forma dönüşmekte ve taşınım sağlanmakta iken, Se (IV) önce organik forma dönüşmekte daha sonra ksilem aracılığı ile sürgünlere taşınmaktadır. Organik formu inorganik forma çeviren bitkiler arasında arpa, buğday, şalgam ve ayçiçeği gibi bitkiler gelmektedir (Gökbulut, 2010). Bitkilerde selenyum birikimi farklı kimyasal formlarda ve farklı dokularda gerçekleşmektedir (Şekil 2). SeMet, buğday, arpa ve çavdar gibi çoğu tahılda baskın olan Se türleri olup, toplam Se'nin % 60-80'ini oluşturmaktadır (Zu vd., 2009).

Bazı araştırmacılar ışık stresi altında patates bitkisinde (Seppänen vd., 2003), UV-B stresinde buğdayda (Yao vd., 2011), su stresinde ak üçgülde (Wang, 2011) ve yüksek sıcaklık stresinde tane sorgumda (Djanaguiraman vd., 2005) bitkilere Se ilavesinin, SOD aktivitesini artırdığını vurgulamışlardır. Ayrıca Hartikainen ve Xue (1999) selenyumun UV kaynaklı oksidatif strese karşı bitkileri koruduğunu hatta yüksek ışınlamalarda bitki büyümesini teşvik ettiğini vurgulamışlardır. UV ışınlarına maruz kalan *Euglena gracilis*'te de selenyumun olumlu etkileri gözlenmiştir (Ekelund ve Denilov, 2001). Selenyum dozuna paralel olarak bitkilerde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi artmaktadır. Bunun nedeni olarak toksik olabilecek selenyum dozuna bir tepki olarak serbest oksijen türevlerindeki artış gösterilmiştir. Benzer olarak, glutatyon, askorbat ve tokoferol gibi düşük molekül ağırlığına sahip maddeler ve katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon peroksidaz (GSH-Px) guaikol peroksidaz (GR) ve askorbat glutatyon (AsA) gibi diğer tip enzimler bitkinin serbest oksijen radikallerini dengelemek için sentezlenirler. Bu antioksidanlar, hidrojen peroksit (H₂O₂)' in zararsız hale getirilmesinden sorumludurlar. Stres koşullarında bitkilerde Se'nin APX ve katalaz (CAT) enzimini, özellikle de CAT'i önemli bir şekilde etkin hale getirdiği gözlenmektedir. Optimum düzeydeki Se ilavesinin, antimon (Sb) stresi koşullarında çeltik bitkisi, kurşun (Pb) stresinde bakla bitkisi, tuz ve kuraklık stresi koşullarında kolza bitkisi ve yüksek sıcaklık stresinde sorgum bitkisinde malondialdehit birikimini engellediği gözlenmiştir. Bitkiler çevresel strese maruz kaldıklarında, kloroplastlar zarar görmekte ve bu da fotosentezin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, uygun Se miktarının eklenmesi kloroplastlara verilen zararı azaltabilir ve klorofil içeriğini artırabilir. Bununla birlikte, fazla Se, bitkilerde fotosentez sistemine zararı artırabilir, engelleyebilir ve fazla nişasta üretimi ile sonuçlanabilir (Feng vd., 2013).

Hüresel bitki solunumunda, organik bileşikler oksitlenerek ATP formunda kullanılabilir kimyasal enerjiye dönüşmektedir. Bu olayın merkezinde mitokondride yer alan elektron taşıma sistemi (ETS) bulunmaktadır. Bu, NADH dehidrogenaz (kompleks I),

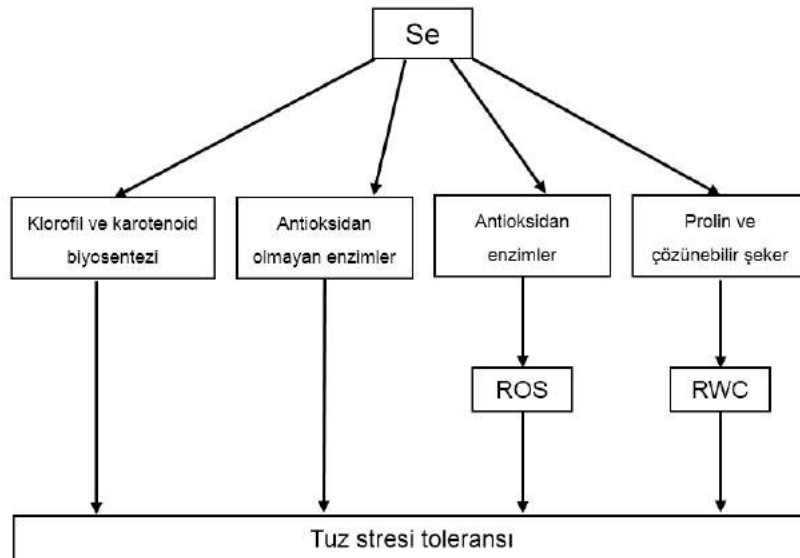
süksinat dehidrogenaz (kompleks II), sitokrom c redüktaz (kompleks III) ve sitokrom c oksidaz (kompleks IV) gibi 4 oksidoredüktaz kompleksinden oluşmaktadır (Şekil 1). Ayrıca bu sistemde sitokrom c ve lipid ubiquinon gibi 2 hareketli elektron taşıyıcısı yer almaktadır. Genel olarak, elektronlar NADH veya FADH₂ koenzimlerinden suya indirgenmiş moleküler oksijene aktarılmaktadır. Dört oksidoredüktaz kompleksinden üçü (kompleks I, III ve IV) elektron transfer reaksiyonlarını iç mitokondriyal zar boyunca proton translokasyonu ile birleştirmektedir. Sonuç olarak, ADP'nin fosforilasyonu için ATP sentaz kompleksi (kompleks V) tarafından kullanılabilir bir proton gradyanı oluşturulmaktadır. Klasik olarak açıklanan formunda, hücresel solunum, doğrusal bir ETS'ye (NADH'den I, III ve IV kompleksleri yoluyla moleküler oksijene kadar) dayanmaktadır. Bununla birlikte, elektronlar ETS'ye birkaç alternatif noktada girebilmektedir. Bu özellikle çok dallı olan bitki ETS sistemi için geçerli olmaktadır (Schertl ve Braun, 2014).

Abiyotik Stres Koşullarında Selenyum

Bazı araştırmacılar ışık stresi altında patates bitkisinde (Seppänen ve ark., 2003), UV-B stresinde buğdayda (Yao ve ark., 2011), su stresinde ak üçgülde (Wang, 2011) ve yüksek sıcaklık stresinde tane sorgumda (Djanaguiraman ve ark., 2005) bitkilere Se ilavesinin, SOD aktivitesini artırdığını vurgulamışlardır. Ayrıca Hartikainen ve Xue (1999) selenyumun UV kaynaklı oksidatif strese karşı bitkileri koruduğunu hatta yüksek ışınmalarda bitki büyümesini teşvik ettiğini vurgulamışlardır. UV ışınlarına maruz kalan *Euglena gracilis*'te de selenyumun olumlu etkileri gözlenmiştir (Ekelund ve Denilov, 2001). Se'ye maruz kalan bitkilerde süperoksit dismütaz (SOD) aktivitesini etkileyen ikinci faktör ise, Se'nin dozudur. SOD aktivitesindeki artış, Se'nin toksisitesi nedeniyle aşırı derecede O₂ üretimine neden olabilmektedir. Glutasyon peroksidaz (GSH-Px) ve SOD'a gibi diğer antioksidanlar örneğin katalaz (CAT), peroksidaz (POD), guaikol peroksidaz (GR), Glutasyon peroksidaz (GPX) ve askorbat peroksidaz (APX) enzimlerinin yanı sıra, askorbat glutasyon (AsA) ve tokoferol gibi bazı düşük moleküler maddelerde bitkilerde çevresel stresin zararını azaltmak için Se kullanıldığında işlev görebilir. Bu antioksidanlar, hidrojen peroksit (H₂O₂) temizlemesinden büyük ölçüde sorumludur. Stres koşullarında bitkilerde Se'nin APX ve katalaz (CAT) enzimini, özellikle de CAT'i önemli bir şekilde etkin hale getirdiği gözlenmektedir. Optimum düzeydeki Se ilavesinin, antimon (Sb) stresi koşullarında çeltik bitkisi, kurşun (Pb) stresinde bakla bitkisi, tuz ve kuraklık stresi koşullarında kolza bitkisi ve yüksek sıcaklık stresinde sorgum bitkisinde malondialdehit birikimini engellediği gözlenmiştir. Bitkiler çevresel strese maruz kaldıklarında, kloroplastlar zarar görmekte ve bu da fotosentezin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, uygun Se miktarının eklenmesi kloroplastlara verilen zararı azaltabilir ve klorofil içeriğini artırabilir. Bununla birlikte, fazla Se, bitkilerde fotosentez sistemine zararı artırabilir, engelleyebilir ve fazla nişasta üretimi ile sonuçlanabilir (Feng ve ark., 2013).

Tuzluluk

Genel olarak tuzlu koşullarda Se durumu değerlendirildiğinde; Se-akümülatör bitkiler selenat sülfat formunda aldığı için sülfattan kaynaklanan tuzluluğun bitki türlerine bağlı olarak selenat alımını büyük ölçüde engellediği vurgulanmıştır. Buna karşın klordan kaynaklanan tuzluluğun selenat alımı üzerinde sülfat tuzluluğundan çok daha az etkisi bulunduğu ve artan tuz seviyeleri ile birlikte sürgünlerde Se birikiminde azalmaya neden olduğu belirtilmiştir (Hasanuzzaman vd., 2010). Bu nedenle, Se uygulaması ile tuzluluk stresinin azaltıldığı çok sayıda çalışmada belirtilmiştir (Kong vd., 2005; Djanaguiraman vd., 2005; Hawrylak-Nowak, 2009). Aynı zamanda, bitki besin elementleri ile karşılıklı ilişkileri değerlendirildiğinde N, P, Ca ve Mg alımını artırdığı ve Na/K oranını azalttığı saptanmıştır. Öncelikle Se tuzlu koşullarda lipid peroksidasyona karşı hücre membranlarını korumaktadır. Se'un olumlu etkileri hücresel düzeyde antioksidan etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Tuzlu koşullarda uygulanan Se'un askorbat, katalaz, SOD, POD ve glutasyon gibi antioksidan enzimleri artırdığı buğday (Elkelish vd., 2019), kolza (Hashem vd., 2013) ve kuzukulağı (Kong vd., 2005) bitkilerinde saptanmıştır. Öte yandan Se uygulaması ile tuzlu koşullarda prolin ve çözünür şeker içeriğinin arttığı belirtilmiştir (Şekil 3) (Hashem vd., 2013; Elkelish vd., 2019).

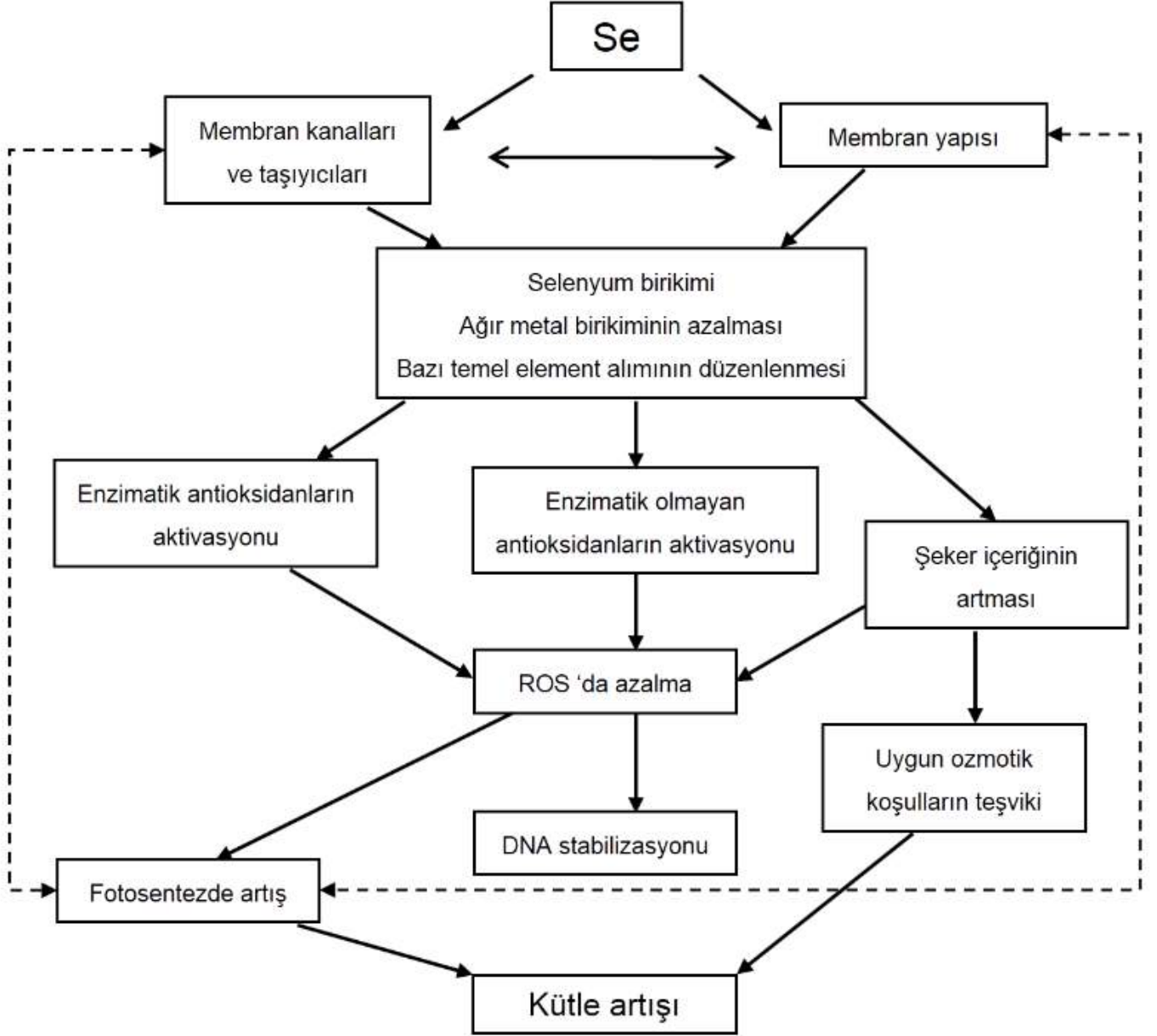


Şekil 3. Tuz stresi toleransında selenyumun rolü (ROS: Reaktif oksijen türleri, RWC: Nisbi nem içeriği) (Elkelish vd., 2019'dan değiştirilerek).

Ağır Metal Stresi

Ağır metaller toksik etkileri nedeniyle bitkilerde transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayı olumsuz yönde etkilemektedir. Toksik etkiler metalden metale değişebildiği gibi, organizmadan organizmaya da değişebilmektedir (Haktanır ve Arcak, 1998).

Ağır metal stresinin fotosentezi olumsuz yönde etkileyerek bitkilerdeki kuru madde sentezini etkilediği vurgulanmıştır. Fotosentez mekanizmasında özellikle ışık evrelerinde elektron transferinin engellendiği saptanmıştır. Ağır metaller enzim ve membran proteinlerindeki SH gruplarına geri dönüşümsüz bağlanırlar. Se uygulaması ile kloroplastlarda metal-protein kompleksi olan enzimler olumlu yönde etkilenmekte ve protein enzimlerinin aktivasyonunu destekleyen membran yapısının pozitif yönde değişmesi ortaya çıkmaktadır. Selenyumun ağır metal stresinde koruyucu rolü Şekil 4'te özetlenmiştir (Sieprawska vd., 2015).



Şekil 4. Stres koşullarına maruz kalan bitkilerin bazı biyokimyasal ve fizyolojik özellikleri üzerine selenyumun etkisi. Kesikli çizgiler selenyum uygulamasında membran lipitlerinin fotosentez üzerine doğrudan etkisini göstermektedir (Sieprawska vd., 2015'den değiştirilerek).

Çeşitli araştırmacılar ağır metal stresi koşullarında Se'nin bitkilerde toksik etkiyi önleyebileceğini vurgulamışlardır (Vorobets, 2006; Srivastava vd., 2009; Cartes vd., 2010). Se'nin koruyucu etkilerinin toksik olmayan Se-metal komplekslerinin oluşumundan kaynaklandığı öne sürülmüştür. α - tokoferol artışının, kloroplastlardaki singlet oksijen türlerinin atılmasını desteklediğinden bitkilerin stres toleransını arttırdığı bildirilmiştir. Bu nedenle, Cd'ye maruz kalan bitkilerde Se uygulamasının, stres koşullarına adaptasyonda yardımcı olduğu ve α - tokoferolün artmasına neden olduğu (Hasanuzzaman vd., 2010) ve As kaynaklı streste düşük dozda Se uygulamasının oksidatif zararı azalttığı (Pandey ve Gupta, 2015) gözlenmiştir. Se uygulamasının malondialdehit (MDA) içeriğini ve Cd'nin sürgünlere doğru taşınımını ve ağır metaller tarafından tetiklenen oksidatif stresi azalttığı ortaya çıkmıştır (Pedrero vd., 2008;

Hasanuzzaman vd., 2010). Benzer şekilde Sb stresi koşullarında çeltik bitkisinde ve Pb stresinde bakla bitkisinde serbest radikallerin etkileri ile makro moleküllerin oksidatif hasarı sonucunda açığa çıkan MDA birikimini engellediği gözlenmiştir (Feng vd., 2013).

Kuraklık

Kuraklık ve Se uygulamalarını birlikte ele alan çok sayıda çalışma yürütülmüş ve çoğunlukla serbest oksijen radikallerine karşın antioksidan tepki değerlendirilmiştir. Kurak koşullar altında selenyum uygulandığında SOD, POD, CAT, AsA ve GSH gibi antioksidan ve antioksidan olmayan çok sayıda enzimin arttığı (Xiaoqin vd., 2009; Hasanuzzaman vd., 2010; Keling vd., 2013; Habibi, 2013; Proietti vd., 2013; Ibrahim, 2014) ve MDA'nın özellikle kök içeriğinde azaldığı (Yao vd., 2009) gözlemlenmiştir. Fotosentezde PSII'nin fotokimyasal etkinliğinin ve stoma iletkenliğinin artışına (Tadina vd., 2007) bağlı olarak biyokütlenin kök aktivitesinin, prolin, karotenoid ve klorofil içeriğinin arttığı (Yao vd., 2009) saptanmıştır. Bitkinin organik bileşik kompozisyonundaki değişiklikler incelendiğinde ise toplam karbonhidrat ve protein içeriğinin (Emam vd., 2014; Ibrahim, 2014) ve organik olmayan Ca ve P gibi osmotik düzenleyici rolü olan bileşiklerin arttığı (İbrahim, 2014) vurgulanmıştır. Tüm bu olumlu etkilere karşın özellikle düşük dozda kuraklık stresi altındaki bitkilerin büyüme parametrelerini etkilemediği belirtilmiştir (Sieprawska vd., 2015).

Soğuk Stresi

Selenyumun bitkilerin direncini ve antioksidan kapasitesini arttırmakla birlikte, soğuk stresinde de bitkilerdeki rolü ortaya konulmuştur. Chu vd., (2010) soğuk stresi altında buğdaylara 1.0 mg kg⁻¹ Se uygulamasının POD ve CAT aktivitelerindeki artışlara bağlı olarak MDA içeriğini, O₂ üretim oranını ve membran lipid peroksidasyonu önemli ölçüde azalttığını saptamışlardır. Sonuçta, soğuk stresi koşullarında buğday bitkisine selenyum uygulamasının koruyucu etkisi olduğunu vurgulamıştır. Diğer bir farklı çalışmada, yapraklara uygulanan selenyum miktarı 20 µM'na çıkarılmış ve optimum 2.5-10 µM Se dozunun prolin miktarını artırırken MDA içeriğini azalttığı saptanmıştır. Ancak bu durumun aksine 20 µM'un üzerinde selenyum uygulaması bitkilerin köklerinde ve yapraklarında MDA içeriğini artırmıştır. Aynı çalışmada, kısa süreli soğuk stresi altında, selenyum uygulaması ile klorofil ve karotenoidlerin içeriğinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir (Hawrylak-Nowak vd., 2010).

Gen Ekspresyonu

Abiotik strese bitkinin tepkisi birçok gen ve biyokimyasal moleküler mekanizmaya bağlı olarak değişmektedir. Strese neden olan genlerin işlevleri, moleküler mekanizmalarını ve tepkilerini anlamak ve gen manipülasyonu ile bitkilerin stres toleransını geliştirme açısından önemlidir. Burada, abiotik stres tepkilerine yüzlerce genin katıldığı düşünülmektedir (Ciarmiello vd., 2011). Bocchini vd. (2018) selenyumun abiyotik strese toleransla ilgili belirli bir gen sınıfının bir aktivatörü olabileceğini vurgulamaktadırlar. Özellikle, yaprak karotenoid içeriğini korumak için gerekli olan PSY (fitoen sentaz), kuraklık stresi sırasında önemli osmolitlerin seviyesini düzenleyen SDH (sorbitol dehidrojenaz) ve çevresel streslere biyokimyasal adaptasyonda temel rol oynayan ADH (alkol dehidrojenaz) genleri akla gelmektedir. Örneğin, Se-biofortifikasyonu, daha yüksek bir kuraklık toleransı oluşturarak mısır bitkilerinin kuraklık stres koşullarıyla başa çıkmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca Jiang vd. (2017), 1µM Se ile muamele edilmiş mısır köklerinde ZmNHX1 ekspresyonunun, tuz stresi sonrası 24 saatte önemli ölçüde arttığını vurgulamışlardır. Özellikle, selenyum veya silisyum ile yapılan ön muamelenin hem TFs (transkripsiyon faktörleri), DREB2A, NAC5 ekspresyonunu, hem de OsRDCP1 genini içeren zincirin ekspresyonunu, OsCMO gibi çeltik kolin monooksijenaz ve dehidrin OsRAB16b gibi bazı kuraklık özel genlerini önemli bir şekilde artırdığı saptanmıştır. TFs ekspresyonu ve çalışılan genler, kuraklığa toleranslı IET 1444 çeşidinin Si-stresi altındaki sürgünlerinde belirgin bir şekilde arttığını göstermiştir. Hem Si hem de Se, DREB2A ve NAC (apikal olmayan merstem) TF yollarının aktivasyonu yoluyla OsCMO, OsRab16b ve OsRDCP1'in stres kaynaklı ekspresyonunu artırmaktadır (Khattab vd., 2014). Özellikle, NAC tipi TF OsNAC6, soğuk, kuraklık ve yüksek tuzluluk gibi abiotik stress koşullarında indüklenmektedir (Ciarmiello vd., 2011). Se, genellikle Se taşıyıcılarını ve birincil Se asimilasyonunda rol oynayan enzimleri ve toksik olmayan Se metabolitlerinin biyosentezini ve Se volatilizasyonunu oluşturan genlerin temel ekspresyonunu göstermektedir. Bununla birlikte, ıslah programlarına yardımcı olmak için yenilebilir dokularda Se konsantrasyonunu etkileyen, bilinen kromozomal kantitatif özellik lokuslarına (QTL) yönelik moleküler markerler geliştirilebilse de, bu değişimin temelini oluşturan gerçek genler büyük ölçüde bilinmemektedir (White, 2017).

Se uygulaması sonrasında, temel elementlerin seviyelerinde önemli azalmalar ile birlikte, ekspansin ve endotransglukosilaz/endohidrolaz (XHTs) genlerinin ekspresyon seviyelerinde de azalma gözlenmektedir. Se uygulaması yapılan bitkilerde, TCA döngüsü ara maddeleri ve sakkaroz, glukoz ve fruktoz gibi şekerlerde ayrıca hücre duvarı metabolizması ve birkaç temel besin maddesinin değişmiş seviyeleri ile ilişkili genlerin down regülasyonunda değişiklik ortaya çıkmaktadır. Gözlemler sonucu bitkilerde yavaş büyüme, karbon kaynaklarının korunmasına neden olarak ve stres koşullarına daha ılımlı bir şekilde adapte olmayı sağlamaktadır (Ribiero vd., 2016). Se'nin bu koruyucu etkileri, antioksidan etkisinden veya Se'nin, antioksidan aktivitede sorumlu genlerin ekspresyonu ve savunma tepkilerinden kaynaklanabilir. Bitkiler, gen ekspresyonundaki değişiklikler nedeniyle biyokimyasal ve fizyolojik işlemlerin değişikliklerini içeren sıcaklık stresi ile başa çıkmak için bir dizi yanıt geliştirmiştir. Se hiperakümülatörü *Stanleya pinnata* da, ikincil Se akümülatörü *Stanleya albescens*'e kıyasla kükürt alımı ve asimilasyonu, antioksidan aktiviteleri ve savunma ile ilişkili rol oynayan genlerin ekspresyonu daha yüksektir. Özellikle, hiperakümülatör türler, hem Se varlığında hem de Se yokluğunda BiP gibi Hsp ve lüminal şaperonları kodlayan genler için ilgili türlerden daha yüksek bir ekspresyon göstermektedir (Malerba ve Cerena, 2018). Liu vd. (2017) mor marulda düşük Se konsantrasyonlarının antosiyanin birikimini teşvik edebileceğini ve F3H ve UFGT genlerinin kilit bir rol oynadığını vurgulamışlardır. Bu nedenle selenyumun antosiyanin birikimi ve antosiyanin sentezinin moleküler düzenlemesi üzerindeki etkisi temel olarak F3H ve UFGT geninin ekspresyon seviyelerinden kaynaklanmaktadır.

2. Sonuç

Kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklıklar, tuzluluk, ağır metal, UV, su taşkınları ve oksidatif stres gibi abiotik stres koşulları hücrede fizyolojik hasara yol açarak, bitki verimini önemli derecede azaltmaktadır. Bitkiler stres koşullarına tepki olarak çeşitli proteinler, antioksidanlar ve çözümler üretmektedirler. Birçok kültür bitkisinde bu bileşiklerden sorumlu genler geliştirilerek örneğin kuraklık ve tuzluluk toleransına neden olan çeşitli genler tanımlanarak, bu genleri içeren transgenik bitkilerin geliştirilmesi sonucu bu bitkiler abiotik stres koşullarında değerlendirilmektedir. Selenyumun (Se) insanlar, hayvanlar ve bakteriler için bir mikro besin maddesi olmasına rağmen bitkiler için gerekliliği hala tartışılmaktadır. Fakat selenosistein gibi selenoproteinlerin bitkilerde gözlenmesi, selenyumun bitkiler için de gerekli bir element olduğunu göstermektedir. Bu çalışma Se alımı, metabolizması ve abiyotik stres koşullarında selenyumun rolünü aydınlatmaya odaklanmıştır. Se'nin düşük dozlardaki yararlı etkisinden ve abiyotik stres koşullarında Se-hiperakümülatör bitkilerinin kullanılabilmesi üzerinde durulmuştur. Ayrıca abiyotik stres koşullarına maruz kalan bitkilerde düşük dozlarda selenyum uygulamasının koruyucu rolünün antioksidan savunma sistemlerinin uyarılmasından ya da antioksidan aktivite ve savunma tepkilerinde belirtilen genlerin ekspresyonu üzerindeki etkisinden kaynaklandığı vurgulanmıştır.

Kaynakça

- Bocchini, M., D'Amato, R., Ciancaleoni, S., Fontanella, M. C., Palmerini, C. A., Beone, G. M., Onofri A., Negri V., Marconi G., Albertini E., Businelli, D. (2018). Soil selenium (Se) biofortification changes the physiological, biochemical and epigenetic responses to water stress in *Zea mays* L. by inducing a higher drought tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 27 (9): 389.
- Brown, K.M., Arthur, J.R. 2001. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutrition*, 4: 593–599.
- Cappa, J. J., Pilon-Smits, E.A.H. 2014. Evolutionary aspects of hyperaccumulation. *Planta*, 239: 267–275.
- Carey, A.M., Scheckel, K.G., Lombi, E., Newville, M., Choi, Y., Norton, G.J., Charnock, J.M., Feldman, J., Price, A.H., Meharg, A.A. 2010. Grain unloading of arsenic species in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiology*, 152: 309–319.
- Carey, A., Lombi, E., Donner, E. et al. A review of recent developments in the speciation and location of arsenic and selenium in rice grain. *Anal Bioanal Chem* 402, 3275–3286 (2012).
- Cartes, P., Jara, A.A., Pinilla, L., Rosas, A., Mora, M.L. 2010. Selenium improves the antioxidant ability against aluminium-induced oxidative stress in ryegrass roots. *Annals of Applied Biology*, 156: 297–307.
- Chu, J., Yao, X., Zhang, Z. 2010. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. *Biological Trace Element Research*, 136: 355–363.
- Ciarmiello, L.F., Woodrow, P., Fuggi, A., Pontecorvo, G., Carillo, P. 2011. Plant Genes for Abiotic Stress. Shanker, A., Venkateswarlu B. (Eds). *Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adaptations*. InTech, Croatia, pp. 283–308.
- Çakmak İ., Öztürk L., Başağa H., Cekic C., Taner S., Irmak S., Geren H., Kılıç H., Aydın N., Avcı M., Gezgin S. 2009. Türkiye’de seçilmiş bölgelerde buğdayların ve toprakların selenyum konsantrasyonunun araştırılması, selenyum gübrelemesine buğdayın reaksiyonu ve selenyumca zengin genotiplerin fizyolojik olarak karakterizasyonu, TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu. 178 s.
- Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Seeba, A., Bangarusamy, U. 2005. Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 272: 77–86.
- Ekelund N.G.A., Danilov, R.A. 2001. The influence of selenium on photosynthesis and "light-enhanced dark respiration" (LEDR) in the flagellate *Euglena gracilis* after exposure to ultraviolet radiation. *Aquatic Sciences*, 63: 457–465.
- Elkelish, A.A., Soliman, M.H., Alhaithloul, H.A., El-Esawi, M.A. 2019. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, 137: 144–153.
- Emam, M.M., Khattab, H.E., Helal, N.M., Deraz, A.E. 2014. Effect of selenium and silicon on yield quality of rice plant grown under drought stress. *Australian Journal of Crop Science*, 8: 596–605.
- Feng, R., Chaoyang, W., Tu, S. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87: 58–68.
- Feng, R., Wei, C., Tu, S., Sun, X. 2009. Interactive effects of selenium and arsenic on their uptake by *Pteris vittata* L. under hydroponic conditions, *Environmental and Experimental Botany*, 65: 363–368.
- Goldhaber, S.B. 2003. Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 38: 232–242.
- Gökbulut, T. 2010. Bazı buğday çeşitlerinde selenyum birikimi ve selenyum toksisitesinin antioksidan enzim aktivitesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112 s, Kayseri.
- Habibi, G. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta Agriculturae Slovenica*, 101: 31–39.
- Haktanır, K., Arcaç, S. 1998. Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı, Yayın No: 1503, 457 s, Ankara.
- Hamilton, S. J. 2004. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. *Science of The Total Environment*, 326: 1–31.
- Harmankaya, M. 2009. Orta Anadolu Bölgesinde Toprakların ve Buğdayın Selenyum Düzeyinin Belirlenmesi ve Selenyum Gübrelemesine Farklı Buğday Genotiplerinin Tepkisinin Araştırılması. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 129 s, Konya.
- Harris, J., Schneberg, K.A., Pilon-Smits E.A. 2014. Sulfur–selenium–molybdenum interactions distinguish selenium hyperaccumulator *Stanleya pinnata* from non-hyperaccumulator *Brassica juncea* (Brassicaceae). *Planta* 239: 479–491.
- Hartikainen, H., Xue, T. 1999. The promotiv effect of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet radiation. *Journal of Environmental Quality*, 28: 1372–1375.

- Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A., Fujita, M. 2010. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Sciences*, 5: 354–375.
- Hashem, H.A., Hassanein, R.A., Bekheta, M.A., El-Kady, F.A. 2013. Protective role of selenium in canola (*Brassica napus* L.) plant subjected to salt stress. *The Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany)*, 9 (2): 199–211.
- Hawrylak-Nowak, B. 2009. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. *Biological Trace Element Research*, 132: 259–269.
- Hawrylak-Nowak B., Matraszek, R., Szymańska, M. 2010. Selenium modifies the effect of short-term chilling stress on cucumber plants. *Biological Trace Element Research*, 138 (1–3): 307–15.
- Irmak, S., Semercioğlu, T. 2012. Çukurova Bölgesi'nde Yetiştirilen Bazı Buğday (*Triticum* spp.) Çeşitlerinde Toprak-Bitki Selenyum İçeriği Arasındaki İlişki. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 5 (2): 19-23.
- Ibrahim, H. M. (2014). and Reduces Oxidative Stress on Drought—Stressed Wheat (*Triticum aestivum* L.) Plants. *Asian Journal of Plant Sciences*, 13(3), 120-128.
- Ibrahim, M.F.M., Ibrahim, H.A. 2016. Assessment of Selenium Role in Promoting or Inhibiting Potato Plants under Water Stress. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 8 (3): 125–139.
- Jiang, C., Zu, C., Shen, J., Shao, F., Li, T. 2015. Effects of selenium on the growth and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 84 (1): 71–77.
- Jiang, C., Zu, C., Lu, D., Zheng, Q., Shen, J., Wang, H., Li, D. 2017. Effect of exogenous selenium supply on photosynthesis, Na⁺ accumulation and antioxidative capacity of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Scientific Reports*, 7:42039. doi: 10.1038/srep42039.
- Kacar, B., Katkat, A.V. 1998. Bitki Besleme. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 127, VİPAŞ Yayınları: 3, Bursa.
- Keling, H., Ling, Z., Jitao, W., Yang, Y. 2013. Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 82: 193–197.
- Khattab, H.I., Emam, M.A., Emam, M.M., Helal, N.M., Mohamed, M.R. 2014. Effect of selenium and silicon on transcription factors NAC5 and DREB2A involved in drought-responsive gene expression in rice. *Biologia Plantarum*, 58: 265–273.
- Kikkert, J., Berkelaar, E. 2013. Plant uptake and translocation of inorganic and organic forms of selenium. *Archives Environmental Contamination and Toxicology*, 65: 458–465.
- Kong, L., Wang, M., Bi, D. 2005. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation*, 45: 155–163.
- Liu, D., Li, H., Wang, Y., Ying, Z., Bian, Z., Zhu, W., ... & Jiang, D. (2017). How Exogenous Selenium Affects Anthocyanin Accumulation and Biosynthesis-Related Gene Expression in Purple Lettuce. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(2).
- Lyons, G., Stangoulis, J., Graham, R. 2003. High-Selenium Wheat: Biofortification For Better Health. *Nutrition Research Reviews*, 16: 45–60.
- Malerba, M., & Cerana, R. (2018). Effect of selenium on the responses induced by heat stress in plant cell cultures. *Plants*, 7(3), 64.
- Malik, J.A., Goel, S., Kaur, N., Sharma, S., Singh, I., Nayyar, H. 2012. Selenium antagonises the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) plants by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 77: 242–248.
- Manaf, H.H. 2016. Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 61: 41–48.
- Natasha, N., Shahid, M., Niazi, N.K., Khalid, S., Murtaza, B., Bibi, I., Rashid, M.I. 2018. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health. *Environmental Pollution*, 234: 915–934.
- Pandey, C., Gupta, M. 2015. Selenium and auxin mitigates arsenic stress in rice (*Oryza sativa* L.) by combining the role of stress indicators, modulators and genotoxicity assay. *Journal of Hazardous Materials*, 287: 384–391.
- Pedrero, Z., Madrid, Y., Hartikainen, H., Camara, C. 2008. Protective effect of selenium in broccoli (*Brassica oleracea*) plants subjected to cadmium exposure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 266–271.
- Proietti, P., Nasinia, L., Del Buono, D., D'amato, R., Tedeschini, E., Businella, D. 2013. Selenium protects olive (*Olea europaea* L.) from drought stress. *Scientia Horticulturae*, 164: 165–171.
- Ribeiro, D. M., Silva Junior, D. D., Cardoso, F. B., Martins, A. O., Silva, W. A., Nascimento, V. L., & Araújo, W. L. (2016). Growth inhibition by selenium is associated with changes in primary metabolism and nutrient levels in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, cell & environment*, 39(10), 2235-2246.
- Schertl, P., & Braun, H. P. (2014). Respiratory electron transfer pathways in plant mitochondria. *Frontiers in Plant Science*, 5, 163
- Seppänen, M., Turakainen, M., Hartikainen, H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*. 165: 311–319.
- Shekari, F., Abbasi, A., Mustafavi, S.H. 2015. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. *Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16: 367–374.
- Sieprawska, A., Kornaś, A., Filek, M. 2015. Involvement of selenium in protective mechanisms of plants under environmental stress conditions—review. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 57: 1–12.
- Sillanpää, M., Jansson, H. 1992. Status of Cadmium, Lead, Cobalt and Selenium in Soils and Plants of Thirty Countries, *FAO Soils Bulletin* 65 Rome, Italy: Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Skillman, J.B., Griffin, K.L., Earll, S., Kusama, M. 2011. Photosynthetic productivity: can plants do better? In: Pirajin JCM (Eds) *Thermodynamics-systems in equilibrium and non-equilibrium*. InTech, Shanghai, pp 36–68.
- Srivastava, M., Maa, L.Q., Rathinasabapathib, B., Srivastava P. 2009. Effects of selenium on arsenic uptake in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Bioresource Technology*. 100 (3): 1115–1121.
- Tadina, N., Germ, M., Kreft, I., Breznik, B., & Gaberščik, A. (2007). Effects of water deficit and selenium on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) plants. *Photosynthetica*, 45(3), 472-476.

- Turakainen, M., Hartikainen, H., Ekholm, P., Seppanen, M. 2006. Distribution of selenium in different biochemical fractions and raw darkening degree of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers supplemented with selenate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 8617–8622.
- Türkmen, N. 2010. Toprak özellikleri ile selenyum yarayışlılığı arasındaki ilişkiler ve sarımsağın selenyum ile zenginleştirilmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 192 s, Ankara.
- Valkama, E., Kivimäenpää, M., Hartikainen, H., Wulff, A. 2003. The combined effects of enhanced UV-B radiation and selenium on growth, chlorophyll fluorescence and ultrastructure in strawberry (*Fragaria x ananassa*) and barley (*Hordeum vulgare*) treated in the field. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120: 267–278.
- Vorobets, N. 2006. Glutathione peroxidase activity in sunflower shoots exposed to lead and selenium. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska*, 19: 151–154.
- Wang, C.Q. 2011. Water-stress mitigation by selenium in *Trifolium repens* L. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174 (2): 276–282.
- White, P.J. 2017. The Genetics of Selenium Accumulation by Plants. In: Pilon-Smits E., Winkel L., Lin ZQ. (Eds) *Selenium in plants. Plant Ecophysiology*, vol 11. Springer, Cham.
- Xiaoqin, Y., Jianzhou, C., Guangyin, W. 2009. Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31: 1031–1036.
- Yao ,X., Chu, J., He, X., Ba, C. 2011. Protective role of selenium in wheat seedlings subjected to enhanced UV-B radiation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 58 (2): 283–289.
- Yao, X., Chu, J., Wang, G. 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research*, 130: 283–290.
- Zhu, Y.G., Pilon-Smits, E.A.H., Zhao, F.J., Williams, P.N., Meharg, A.A. 2009. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. *Trends Plant Science*, 14: 436–442.



Güney ve Doğu Anadolu' da Soğurulmanın (1/Q_C) Yanal Heterojenitesi

Ufuk Aydın^{1*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü (ORCID: 0000-0001-7981-9550)

(İlk Geliş Tarihi 9 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.672557)

ATIF/REFERENCE: Aydın, U. (2020). Güney ve Doğu Anadolu' da Soğurulmanın (1/Q_C) Yanal Heterojenitesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 850-857.

Öz

Bu çalışma coda kalite faktörü ile sismik aktivite, tektonik süreksizlik ve litosferik heterojenite arasındaki olası uyum ve uyumsuzluklar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile farklı tektonik sistemler üzerinde bulunan ve sismik aktivitesi birbirinden farklı olan Kemaliye, Diyarbakır ve Erzurum sismik istasyonlarından elde edilen Sg dalgaları kullanılmıştır. Birbirinden farklı fay zonlarının etkisi altındaki bu üç alanda sığ kabuğa ait yanıl koda kalite faktörü (QC) ve soğrulma değerleri (1/QC) ile frekans bağımlılıkları (η) yanıl değişimleri belirlenerek karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada Qc ve η değerlerini elde etmek için izotropik tek saçılma yöntemi kullanılmıştır. En düşük koda Q1=(82±5) değeri Kemaliye istasyonundan, en yüksek Q2=(90±5) değeri Diyarbakır istasyonundan ve Q3=(86±3) değeri de Erzurum istasyonundan elde edilmiştir. En yüksek soğurma değerleri Kemaliye istasyonunda elde edilirken en düşük soğurma değerleri Erzurum istasyonundan elde edilmiştir. En yüksek η değerleri 0.96±0.04 olarak Kemaliye sismik istasyonu verilerinden en düşük η değeri 0.85±0.03 olarak Diyarbakır istasyonu kayıtlarından elde edilmiştir. Erzurum istasyonu için ise η değeri 0.88±0.02 olarak elde edilmiştir. Koda değerleri 82 ve 90, frekans bağımlılığı değerleri 0.66 ve 1.27 aralığında elde edilmiştir. Üç bölgenin 1/QC ve frekans bağımlılığı değerleri, kabuğun sismotektonik aktivitesindeki bölgesel farklılıklara bağılı olarak 0.001-0.014 arasında değişmektedir. Kemaliye bölgesine ait yanıl soğrulma değerlerinin Erzurum ve Diyarbakır bölgelerinden oldukça farklı bulunmuş olması bu bölgenin tektonik olarak diğeri iki bölgeden daha aktif olduğu gerçeği ile desteklenmiştir. Üç istasyona ait Koda ve frekans bağımlılığı değerleri ile bölgede bulunan üç farklı sismik rejim ve litosferik kabuk yapısına ait yeni bilgiler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Koda soğurulması, Kıtasalkabuk, Sismodinamik özellikler, Tektonik yapılar.

The Lateral Heterogeneity of Attenuation (1/Q_C) in Southeastern Anatolia

Abstract

In this study, possible adaptations and inadaptations between the coda quality factor and seismic activity, tectonic discontinuity and lithospheric heterogeneity were attempted to be determined. For this purpose, Sg waves obtained from Kemaliye, Diyarbakır and Erzurum seismic stations, which are on different tectonic systems and whose seismic activities are different from one another, have been used. In these three areas under the influence of different fault zones, the lateral code quality factor (QC) and attenuation values (1/QC) and frequency dependence (η) lateral change of the shallow crust have been determined and analyzed comparatively. The single isotropic scattering method has been used to obtain Qc and η values in the study. The lowest coda value Q1=(82±5) was obtained from Kemaliye station, the highest value Q2=(90±5) was obtained from Diyarbakır station and Q3 = (86±3) value was obtained from Erzurum station. The highest attenuation values were obtained at Kemaliye station, while the lowest attenuation values were obtained at Erzurum station. The highest η values were obtained from Kemaliye seismic station data as 0.96±0.04 and the lowest η value was obtained from Diyarbakır station records as 0.85±0.03. The value for Erzurum station η was obtained as 0.88±0.02. Coda values were obtained in the range of 82 and 90 and frequency dependence values 0.66 and 1.27. The 1/QC and frequency dependence values of the three regions range from 0.001 to 0.014, showing regional differences in the seismotectonic activity of the crust. The fact that the lateral attenuation

* Sorumlu Yazar: Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7981-9550)

values of Kemaliye region were found to be quite different from the regions of Erzurum and Diyarbakir was supported by the fact that this region was tectonically more active than the other two regions. New information has been obtained for coda and frequency dependence values of the three stations and three different seismic regimes and lithospheric crustal structure in the region.

Keywords: Coda attenuation, Continental crust, Seismodynamics properties, Tectonics structures.

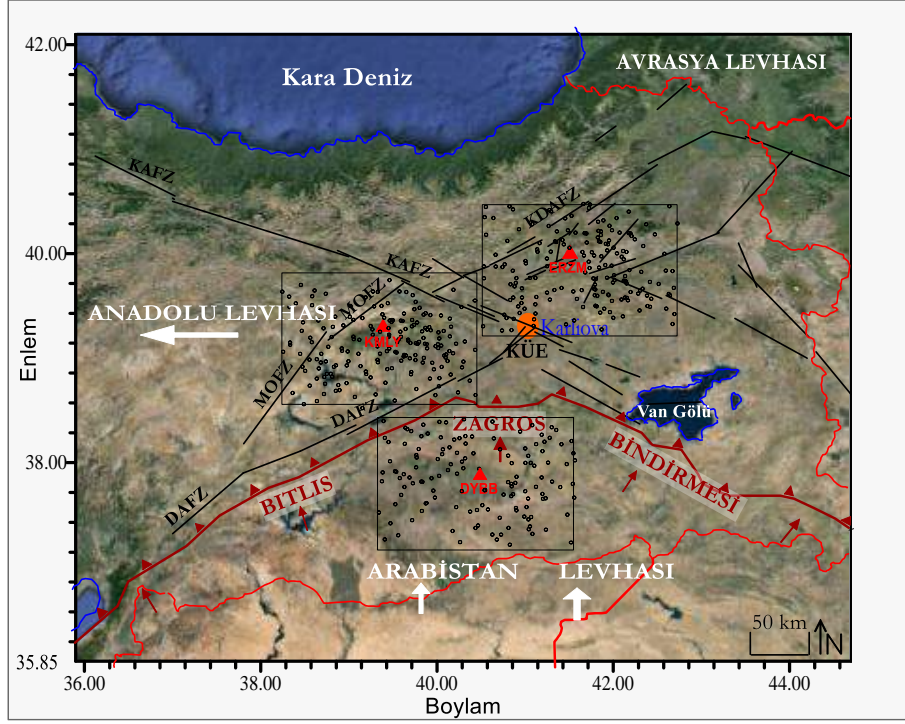
1. Giriş

Dünya mükemmel esnek değildir ve sismik enerjinin bir kısmını sürtünmeli kayma yoluyla ısıya dönüştürürken sismik dalga boylarına kıyasla çok küçük boyutlardaki yayıcı ortamda anormal yapısal kusurları içerir (Sato, Fehler, & Maeda, 2012). Bir bölgede deprem riskini belirleyen parametrelere ilaveten sismik kaynak zonlarının büyüklüğü ile faylanma yoğunluğu veya ortamın tektonik inhomojenitesi de değerlendirilebilir. Sismik dalgalar içinden geçtikleri ortamın birçok farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri etkisi altında soğurulurlar ve ayrıca özellikle tektonik süreksizliklerine bağlı olarak saçılırlar. Bu yüzden sismik dalgaların soğrulma veya saçılma özellikleri içinden geçtikleri ortamın tektonik heterojenitenin bir göstergesi olarak değerli bilgiler sunarlar. Anadolu plakası gibi sismik yönden oldukça aktif ve karmaşık tektonik birimlere sahip bölge için soğrulma özelliklerinin araştırılması kabuk içi tektonik farklılıkların ve deprem zonlarının belirlenmesi için oldukça önemlidir. Kalite Faktörü Q, sismik dalganın her bir dönüşte kaybettiği enerjinin toplam enerjiye oranı olarak tanımlanan boyutsuz bir birimdir (Johnston & Toksöz, 1981; Knopoff, 1964). Ayrıca kalite faktörü Q nun tersi olan Q-1 soğrulma olarak tanımlanmaktadır.

Doğrudan gelen S dalgalarından sonra oluşan koda (tail) dalgası gurubu kabuk ve manto içinin ortamın homojen olmaması ile ilgilidir (Aki, 1969; Aki & Chouet, 1975). Bölgesel Koda kalite faktöründeki değişimler bölgesel tektonik, sismik risk analizi ve mühendislik sismolojisini daha iyi anlayabilmemiz için kullanılmaktadır (Jin & Aki, 1988; Singh & Herrmann, 1983). Sismograflardan kaydedilen yerel depremler üst manto ve üst kabuğa ait sayısız heterojenitenin sıradan dağılımı tarafından geri saçılmış dalgacıkların oluşturduğu bir üst düşüm olarak kabul edilir (Aki, 1969; Rautian & Khalturin, 1978). Aki sismik koda dalgalarını saçılma ile oluştuğu için zaman ortamında koda soğrulma farklılıklarının yüzey stresini izlemekte kullanılabileceğini belirtmiştir (Aki & Chouet, 1975; Jin & Aki, 1988). Koda dalgaları rastgele bir saçılma işlemi sonucunda oluştuklarından kaynak etkileri yerine, ortamın etkilerini yansıtırlar (Aki, 1969; Aki & Chouet, 1975). Dünya çapında, ortamın sismik aktivite karakteristiğini ve sismik olarak durgun bölgelerin sismik olarak aktif bölgelerden ayırt etmek için sayısız sismik dalga soğrulması çalışmaları yapılmıştır (Aki, 1969; Aydın, 2015; Giampiccolo, Gresta, & Rascona, 2004).

2. DoğuveGüneydoğuAnadolu'nunTektoniği

Arabistan levhası, Bitlis-Zagros Bindirmesi (BZB) veya Güneydoğu Anadolu Bindirmesi boyunca Avrasya plakasının altına dalarak çarpışmışlardır (Sengör, 1980). Bitlis Zagros Bindirmesi Kıta-Kıta çarpışmasının en önemli jeolojik yapılarından biri olup iran sınırına kadar ulaşmaktadır (Sengör, 1979) (Şekil 1.). Arap levhasının kuzeye doğru itilmesi Doğu Anadolunun batıya doğru kaçma tektoniği oluşmasına sebep olmaktadır (Sengör, 1979). Bu sıkışma tektoniği sonucunda Kuzey Anadolu Bloğu doğuya ve Anadolu Bloğu ise batıya doğru hareket etmektedir (McClusky, Reilinger, Mahmoud, Ben Sari, & Tealeb, 2003) (Şekil 1.). Bu hareket ile Anadolu Levhasının kuzey sınırını oluşturan Kuzey Andolu Fay Zonu (KAFZ) sağ-yanal, güney sınırını oluşturan Doğu Anadolu Fay Zonu' da (DAFZ) ise sol-yanal haekete sahip fay zonları olarak Karlıova Üçlü Eklemin' de (KÜE) birleşirler (Allen, 1969; Barka & Kadinsky-Cade, 1988; Ketin, 1969; McKenzie, 1970; Toksöz, Shakal, & Michael, 1979) (Şekil 1.). Malatya-Ovacık Fay Zonu (MOFZ), Erzincan yakınlarındaki NAFZ' dan 240 km uzunluğunda sol yönlü doğrultu atımlı fay zonudur (Bozkurt, 2001).



Şekil 1. Çalışma alanına ait büyük ve önemli tektonik yapıları gösteren harita. Levhalar ve hareket yönleri beyazi oklar ile ana fay hatları siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan üç istasyona ait veri sınırları dikdörtgenlerle ve kullanılan depremlerin episantr dağılımları siyah çemberler ile gösterilmiştir. Kullanılan sismik istasyonlar kırmızı büyük üçgenler, Bitlis Zagros Bindirmesi kahverengi çizgi ve küçük üçgenler, turuncu daire Karlıova Üçlü Eklemine temsil etmektedir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu; KÜE: Karlıova Üçlü Eklemi; DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; MOFZ: Malatya Ovacık Fay zonu (Barka & Kadinsky-Cade, 1988; Bozkurt, 2001)

3. Meteyal veMetot

Koda dalgası deprem dalgalarının kabukta var olan süreksizlikler ve heterojen ortam nedeniyle dalgaların saçılmaları sonucunda oluşmaktadır. Bu çalışmada (Aki, 1980) tarafından kullanılan ve (Sato, 1977) tarafından geliştirilen tek izotropik saçılma yöntemi kullanılmıştır (Aki & Chouet, 1975; Sato, 1977). (Sato, 1977) modeli kaynak ve bir alıcı-kesit alanı σ olan sonsuz kapasite ve bir N saçılması rastgele bir dağıtım tarafından doldurulan sonsuz ortamda gömülü olduğunu varsayar. Bu modelde koda dalga zaman aralığı genlik modeli karekök ortalama metodu ile aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E(r,w | t) = N\sigma\Omega / (4\pi r^2) K(\alpha) \quad (1)$$

burada r; kaynak-alıcı mesafesi, N; birim alan saçılması, σ ; dağılım kesit alanı, $N\sigma$; etkili saçılma katsayısı, $\alpha = t/t_s$, t_s ; dalga zaman aralığı, $\Omega(\omega)$; bir birim içinde kaynak tarafından yayılan toplam enerji frekans bandı açısıdır. $K(\alpha)$ geometrik kayma faktörü,

$$K(\alpha) = 1/\alpha \ln[(\alpha+1)/(\alpha-1)] \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Cisim dalgaları ve enerji azalımı yayılan geometrik birleştirilerek olarak sismogram süzölmüş bir dar bant ortamı üzerinde koda dalgasının karekök ortalama metodu genlik enerji ile ilişkilidir ve aşağıdaki gibidir:

$$A(r,w | t) = 1/w |(\Omega(\omega)\Delta f)/2\pi\rho L|^{1/2} |K(\alpha)|^{1/2}/r \left[\exp \right]^{-wt/2Q} \quad (3)$$

Burada $L=1/N\sigma$; ortalama serbest yol. Kaynak ve yol şartlarını yeniden düzenleyerek ve doğal logaritma alarak, en son aşağıda olduğu gibi elde edilir:

$$\ln[A(r,e | t)/(K(\alpha))] = \ln C - (\pi f/Q)t \quad (4)$$

Son olarak bu çalışmada kullanılan frekans aralığı için azalım-frekans bağımlılığı aşağıdaki gibi uygulanabilir. Burada f frekans, Q_0 1 hz deki Q_c yi, η ise Q_c ' nin frekans bağımlılığını ifade etmektedir.

$$Q_c = Q_0 f^\eta \quad (5)$$

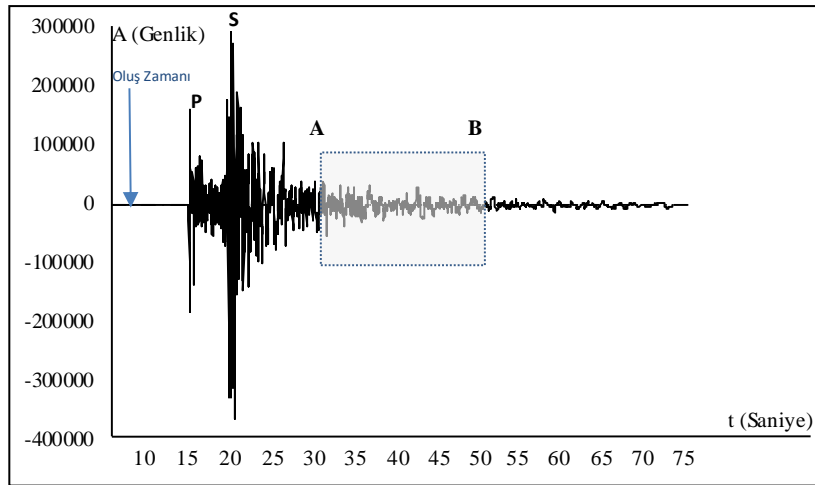
4. Veri Tabanı

Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Doğu Anadolu Fay Zonu arasında bulunan KMLY istasyonu kayıtları, Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonlarında bulunan ERZM istasyonu ve Bitlis Zagros Bindirmesinin kuzeyinde kalan DYBB istasyonu kayıtlarından elde edilen toplam 353 deprem verisi kullanılmıştır. Çalışma için seçilen istasyonlara ait üç alan da birbirine eşit olacak şekilde seçilmiştir (Tablo 1, Şekil 1.). Deprem episantr dağılımları ve deprem sayılarının, derinlik, magnitüd parametre değerlerinin birbirlerine yakın seçilmesine özen gösterilmiştir. Çalışma için 2006 ile 2015 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi tarafından işletilen ERZM ve KMLY ile Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi tarafından işletilen DYBB sismik istasyonlarına ait düşey bileşen kayıtları kullanılmıştır. Veri alınan bu üç sismik istasyon 0.5 -100 Hz frekans bandında, 96 db dinamik aralığı veri alan CMG-TD3 geniş bant sismometreleri ile donatılmıştır. Seçilen 345 depremin odak derinlikleri 1-19 km, episantr uzaklıkları 17 ile 189 km ve magnitüdüleri de 3 ile 5.1 aralığında değişmektedir (Şekil 1.).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan deprem istasyonları koordinatları ve deprem sayıları.

No	İsim	Kısaltma	Enlem	Boylam	Deprem sayısı
1	Kemaliye	Q ₁ -KMLY	38.53-39.68	38.13-40.42	127
2	Diyarbakır	Q ₂ -DYBB	37.24-38.39	39.22-41.51	108
3	Erzurum	Q ₃ -ERZM	39.32-40.47	40.55-42.84	118

Kullanılan düşey bileşenlerdeki sinyal gürültü oranı 4 ten daha düşük olan sinyaller kullanılmamıştır. Koda penceresi genişliği 20 saniye olarak seçilmiştir. İlk kayma zamanı S dalgası varış zamanından 4 saniye sonra ve en büyük kayma zamanı (t_s+24) saniye alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Q_c hesaplamalarında A ($t=t_s+4$) saniye ve B (t_s+24) saniye ile sınırlı, merkez frekansı 1.5 Hz (1-2) , 3 Hz (2-4), 6 Hz (4-8), 12 Hz (8-16) ve 20 Hz (16-24) olan Butterworth filtresi ile süzgeçlenmiş veriler kullanılmıştır. Şekil 2'de kullanılan ERZM istasyonu kaydının veri işlemleri örnekleme gösterilmiştir. Lokal depremlerde S dalga kodası genlikleri yatay ve düşey bileşenlerde çok az fark etmektedir (Sato et al., 2012) . Bu çalışmada düşey bileşen kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 2. Veri işlem örneği. Q_c hesaplamalarında A oku ile ($t=t_s+4$ s) ve B oku ile ($t=t_s+24$ s) ile pencere sınırları, P ile P dalgası varışı S ile S dalgası varış zamanı gösterilmiştir. Sinyaller merkezi 1.5, 3, 6, 12, 20 Hz' de frekansta filtrelenmiştir.

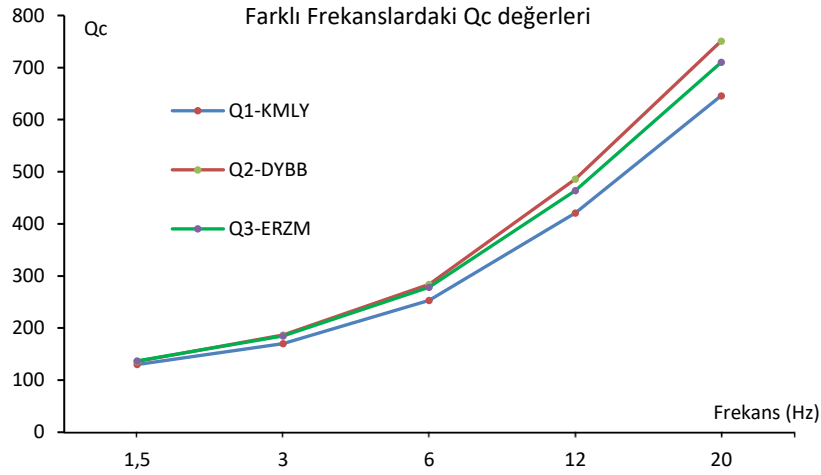
5. Bulgular

Her üç istasyonun için Q_c ve $1/Q_c$ değerleri 1.5, 3, 6, 12, 20 Hz frekansları ve frekans bağımlılığı (η) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3 ve 4, Tablo 3 ve 4). Üç çalışma alanına ait $1/Q_c$ soğurulma değerleri frekansın fonksiyonu olarak Şekil 5' da gösterilmiştir. Bu şekilde düşük frekans değerlerinde Q_c değerindeki büyük saçılma ve Q_c değerinin frekansa bağlı olarak arttığı görülmektedir. 1 Hz

frekansında Kemaliye istasyonundaki depremlerden elde edilen koda değeri $Q_f = (82 \pm 5)f^{0.96 \pm 0.04}$, Diyarbakır istasyonundan $Q_f = (90 \pm 5)f^{0.85 \pm 0.03}$, Erzurum istasyonundan $Q_f = (86 \pm 3)f^{0.88 \pm 0.02}$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4, Tablo 3). Şekil 3 ve Tablo 3 de görüldüğü gibi Koda değerleri en yüksek DYBB bölgesinde en düşük ise KMLY bölgesinden elde edilmiştir. Frekans bağımlılığı değerleri 0.66 ile 1.27 arasında değişmektedir. Frekans arttıkça Q_C değerlerinde bir artış görülmektedir. Frekans bağımlılığı değerleri en yüksek değerini 0.73 ile 1.27 arasında KMLY istasyonu kayıtlarından elde edilirken, en düşük değeri ise 0.66 ile 1.1 arasında DYBB istasyonundan elde edilmiştir. ERZM bölgesinden 0.7 ile 1.17 arasında diğer iki istasyonun arasında değerler elde edilmiştir. En düşük $1/Q_C$ değerleri 0.001 ile 0.0085 arında KMLY istasyonundan elde edilmiştir. En yüksek $1/Q_C$ değerleri ise 0.0015 ile 0.014 arasında ERZM bölgesinden elde edilmiştir. DYB ve ERZM ye ait $1/Q_C$ değerleri birbirine oldukça yakın olarak bulunmuştur (Tablo 4, Şekil 5 ve 7.). Fonksiyonlardan ve doğrusal grafik denklemlerinden de görüldüğü gibi soğrulma değerleri ERZM ve DYBB istasyonunda hemen hemen birbirine eşit KMLY bölgesinde ise diğer iki istasyona kıyasla daha fazla elde edilmiştir (Şekil 6.). $1/Q_C(f)$ değerleri frekans ile ters orantılı olarak azalan bir değer göstermektedir (Şekil 5.). Düşük Q_c ve yüksek frekans bağımlılık değerleri Kemaliye'de elde edilmiş ve bu da tüm bölgelerde en yüksek tektonik aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 3, 4, 5 ve Tablo 3.). Çalışmadan elde edilen bulgular üç bölgeye ait sismisite ve tektonik yapı ile uyumludur (Şekil 6.).

Tablo 2. Üç istasyonun 1.5, 3, 6, 12, 20 Hz frekanslarına ait Q_C ve standart sapma değerleri.

Hz	Q_1 -KMLY	Q_2 -DYBB	Q_3 -ERZM
Sayı	127	108	118
1.5	136±9	137±6	130±30
3	187±20	185±11	170±18
6	284±29	278±27	253±25
12	486±124	464±128	421±18
20	751±142	710±170	646±29



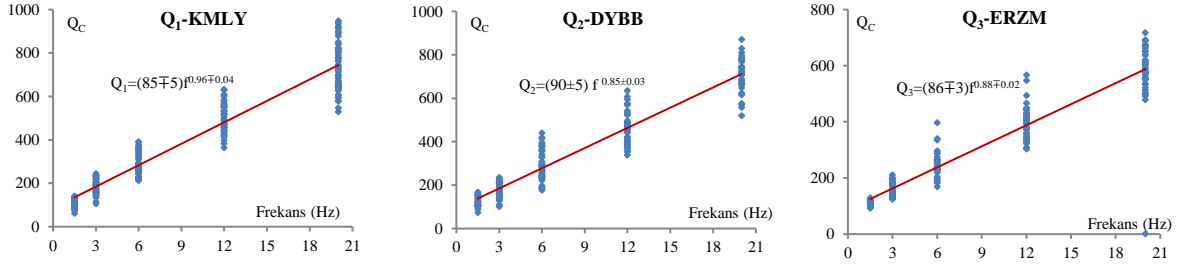
Şekil 3. KMLY, DYBB ve ERZM istasyonları için $Q_C(f)$ grafiği (Q_1 , Q_2 , Q_3).

Tablo 3. Kemaliye Diyarbakır ve Erzurum istasyonlarının enlem boylamları. 1Hz frekansında koda (Q_0), frekans bağımlılığı (η) ve standart sapma değerleri.

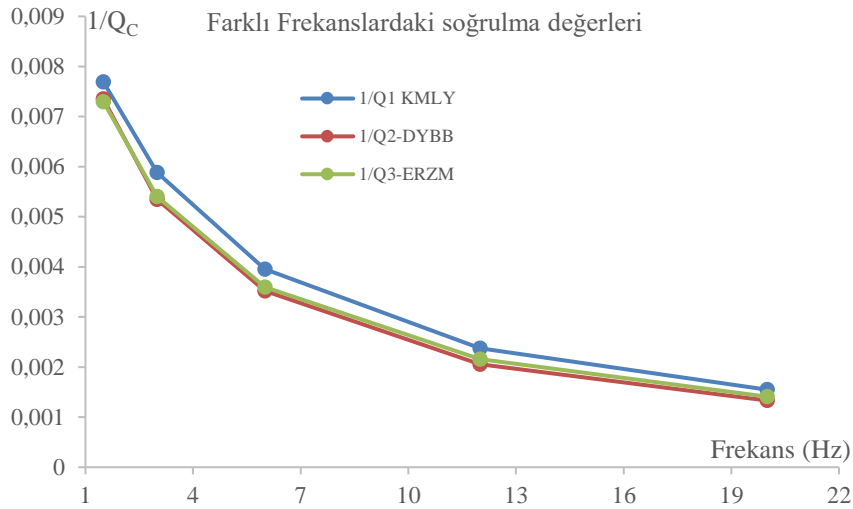
No	Kısaltma	$Q_C = Q_0(f)^\eta$
1	Q_1 -KMLY	$Q_1 = (85 \pm 5)f^{0.96 \pm 0.04}$
2	Q_2 -DYBB	$Q_2 = (90 \pm 5)f^{0.85 \pm 0.03}$
3	Q_3 -ERZM	$Q_3 = (86 \pm 3)f^{0.88 \pm 0.02}$

Tablo 4. Kemaliye Diyarbakır ve Erzurum istasyonlarında 1.5, 3, 6, 12, 20 Hz frekansları için $1/Q_C$ değerleri.

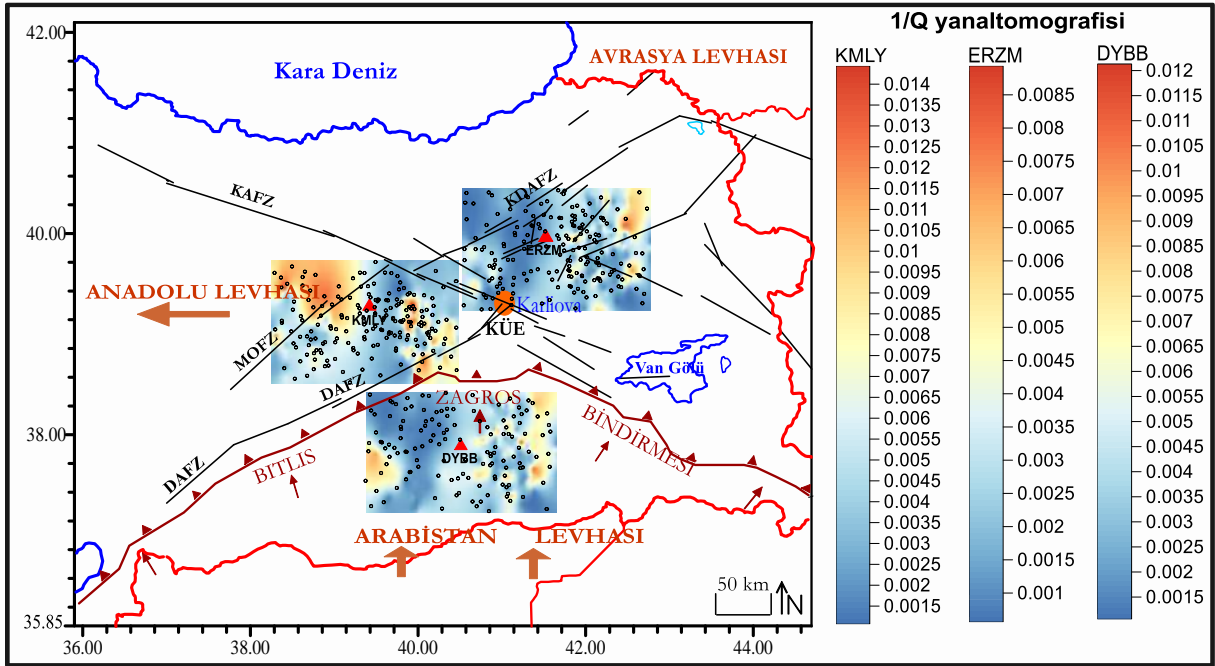
Hz	$1/Q_1$ -KMLY	$1/Q_2$ -DYBB	$1/Q_3$ -ERZM
1.5	0.007353	0.007299	0.007692
3	0.005348	0.005405	0.005882
6	0.003521	0.003597	0.003953
12	0.002058	0.002155	0.002375
20	0.001332	0.001408	0.001548



Şekil 4. Her üç istasyon için Q_C 'nin 1.5, 3, 6, 12, 20 Hz frekanslarına ait grafiği ve fonksiyonu $Q_C(f)$. Mavi noktalar tek bir istasyon için 1.5, 3, 6, 12, 20 Hz frekanslarına ait Q_C değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 5. Kemaliye, Diyarbakır ve Erzurum istasyonları için 1.5, 3, 6, 12, 20 Hz frekanslarına ait $1/Q_C(f)$ fonksiyonu.



6. Tartışma

Q_0 'nun düşük değerinin ve yüksek frekans parametresinin kırılğan sünek bölgelerdeki tektonik stres yükünün etkisi olan litosferin üst kesimindeki sismik aktivite ve heterojenlikten kaynaklandığı ileri sürülmüştür (Aki, 2004). Sismik azalım, kabuğun tektonik

rejimini tanımlamada gözlemlenebilir bir anahtar olarak kabul edilir (Romanowicz & Mitchell, 2012). Bölgesel koda kalite faktörünün mekânsal değişimi, tektonik, sismisite, sismik risk analizi ve mühendislik sismolojisini daha iyi anlamak için kullanılmıştır (Jin & Aki, 1988; Singh & Herrmann, 1983).

Aktif tektonik bölgeler düşük Q0 değerleri ile ilişkilidir (Jin & Aki, 1988; Mak, Chan, Chandler, & Koo, 2004; Singh & Herrmann, 1983). En yüksek frekans bağımlılığı ve en düşük Koda(Q0) değerlerinin KMLY istasyonundan elde edilmiş olması bu alanın DAFZ, MOFZ ve KAFZ' nun gibi büyük fay zonlarının etkisi altında olması ile açıklanabilir. En düşük frekans bağımlılığı ve en yüksek Koda(Q0) değerlerinin DYBB istasyonundan elde edilmiş olması bölgenin düşük sismik aktivitesi ile açıklanabilir. ERZM istasyonunun bu iki istasyon verilerinin arasında bir değere sahip olması bu alanın diğer iki alana nazaran ara bir sismotektonik yapı ve ayrıca yükselme zonu olması ile açıklanabilir. Doğu Anadolu' da ERZ ve OLTU istasyonlarına ait 95 deprem verisi kullanarak episantr uzaklığı ve genlik ilişkisini kullanarak düşey S dalgasına ait kalite faktörü ve soğrulma katsayılarını hesaplamışlardır (Aydın & Şahin, 2011). Doğu Anadolu' da dört istasyonda toplam 479 düşey S dalgası kayıtları kullanılarak 1 Hz frekansı için $QC=(97\pm 4)f^{0.93\pm 0.04}$ olarak elde edilmiştir (Aydın, 2015). Bu değer çalışmadan elde edilen QC değerleri ile yakın bir değerdir. Bu çalışmadan elde ettiğimiz bulgular doğu Anadolu' da Sertçelik (2012) tarafından yapılan çalışmada elde edilen $Qc=57.5f^{0.82}$ değerinden büyüktür. (Eyidoğan, Akıncı, Gündoğdu, Polat, & Kaypak, 1996) tarafından 1992 Erzincan depremine ait artçı şoklardan 1.5 ile 24 Hz frekanslarında 30 s kesme zamanı için elde edilen $QS= 35f^{0.83}$ bizim bu değerlerden daha küçüktür. Bu farklılıkların aynı olmayan çalışma alanları, farklı metot ve farklı deprem kayıtları ve farklı cihazın etkilerinden kaynaklandığı söylenebilir. Çalışmanın genel sonucu yoğun tektonik yapılarla sahip sismik olarak aktif bölgelerin, sabit alanlara kıyasla yüksek Q-1,düşük QC (yüksek zayıflatma), yüksek frekans bağımlılığı ile karakterize edildiğini göstermektedir. Her.

7. Sonuçlar

Çalışma bölgesindeki üç sismik istasyondan elde edilen üç kalite faktörü (QC), soğrulma ($1/QC$) ve frekans bağımlılıkları (η) arasındaki değişimler belirlenerek yanal heterojenitesi ile tektonik ve sismisitesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmanın en çarpıcı bulgusu Kemaliye'ye ait yanal soğrulma değerlerinin Erzurum ve Diyarbakır bölgelerinden oldukça farklı bulunması olmuştur. Buna bağlı olarak KAFZ ile MOFZ arasındaki alandan elde edilen soğrulma ($1/QC$) değerlerinde diğer iki istasyona nazaran belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu durum KMLY istasyonunun diğer iki istasyona göre daha çok ve büyük fay zonları etkisi altında olmasından kaynaklanmış olabilir. KMLY istasyonunun çalışılan diğer iki istasyona nazaran en aktif depremselliğe ve tektonik aktiviteye sahip bölge olduğu da bilinmektedir. Üç istasyondan edilen Koda (QC) soğrulma ($1/QC$) ve frekans bağımlılığı (η) değerleri var olan tektonik yapıları doğrular niteliktedir. Elde edilen kalite faktörü, frekans bağımlılığı ve soğrulma değerleri Arap plakasının Bitlis Zagros bindirmesini itmesi sonucunda oluşmuş üst kabuğa ait karmaşayı açıklar niteliktedir. Düşük Qc ve yüksek frekans bağımlılık değerleri Kemaliye'de elde edilmiş ve bu da tüm bölgelerde en yüksek tektonik aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular üç bölgeye ait sismisite ve tektonik yapı ile uyumludur. Doğu ve güneydoğu Anadolu'da seçilen üç bölgeye ait koda kalite faktörü (QC) ve soğrulma ($1/QC$) değerleri ile frekans bağımlılıkları (η) verilerinin yanal değişimleri kabuğa ait tektonik yapıları ve sismik etkinlikleri ile uyum içindedir.

Kaynakça

- Aki, K. (1969). Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. *Journal of geophysical research*, 74(2), 615-631.
- Aki, K. (1980). Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 85(B11), 6496-6504.
- Aki, K. (2004). A new view of earthquake and volcano precursors. *Earth, planets and space*, 56(8), 689-713.
- Aki, K., & Chouet, B. (1975). Origin of coda waves: source, attenuation, and scattering effects. *Journal of geophysical research*, 80(23), 3322-3342.
- Allen, C. R. (1969). Active faulting in northern Turkey.
- Aydın, U. (2015). Estimation of seismodynamics differences and lateral variations of coda Q in Eastern Anatolia. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8), 6363-6370.
- Aydın, U., & Şahin, Ş. (2011). Comparison of the attenuation properties for two different areas in eastern Anatolia, Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(8), 1192-1195.
- Barka, A., & Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663-684.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica acta*, 14(1-3), 3-30.
- Eyidoğan, H., Akıncı, A., Gündoğdu, O., Polat, O., & Kaypak, B. (1996). *Investigation of the recent seismic activity of Gökova Basin*. Paper presented at the National Marine Geology and Geophysical Programme Workshop I, Proceedings.
- Giampiccolo, E., Gresta, S., & Rascona, F. (2004). Intrinsic and scattering attenuation from observed seismic codas in southeastern Sicily (Italy). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 145(1-4), 55-66.
- Jin, A., & Aki, K. (1988). Spatial and temporal correlation between coda Q and seismicity in China. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78(2), 741-769.
- Johnston, D., & Toksöz, M. (1981). Definitions and terminology: Seismic Wave Attenuation, Geophysics reprint series no. 2. *Society of Exploration Geophysicists, Tulsa*.
- Ketin, I. (1969). Kuzey Anadolu fayi hakkında. *MTA Dergisi*, 72, 1-27.
- Knopoff, L. (1964). Q Rev. *Geophysics*, 2, 625-660.
- Mak, S., Chan, L., Chandler, A., & Koo, R. (2004). Coda Q estimates in the Hong Kong region. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(1), 127-136.

- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., & Tealeb, A. (2003). GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International*, 155(1), 126-138.
- McKenzie, D. (1970). Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, 226(5242), 239-243.
- Rautian, T., & Khalturin, V. (1978). The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(4), 923-948.
- Romanowicz, B., & Mitchell, B. J. (2012). *Q of the earth: Global, regional, and laboratory studies*: Birkhäuser.
- Sato, H. (1977). Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation. *Journal of Physics of the Earth*, 25(1), 27-41.
- Sato, H., Fehler, M. C., & Maeda, T. (2012). *Seismic wave propagation and scattering in the heterogeneous earth* (Vol. 496): Springer.
- Sengor, A. (1980). Türkiye'nin neotektoniklerinin esasları (The principles of neotectonics of Turkey, in Turkish). *Turkish Assoc Geol Press, Ankara*, 2.
- Sengör, A. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, 136(3), 269-282.
- Singh, S., & Herrmann, R. B. (1983). Regionalization of crustal coda Q in the continental United States. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 88(B1), 527-538.
- Toksöz, M., Shakal, A., & Michael, A. (1979). Space-time migration of earthquakes along the North Anatolian fault zone and seismic gaps. *pure and applied geophysics*, 117(6), 1258-1270.



İç Mekanda Doku Etkisinin Kurgulanmasında Tasarımcı Yaklaşımlarının İncelenmesi

Onur Kılıç^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6264-896X)

(İlk Geliş Tarihi 31 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.682979)

ATIF/REFERENCE: Kılıç, O. (2020). İç Mekanda Doku Etkisinin Kurgulanmasında Tasarımcı Yaklaşımlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 858-867.

Öz

Doku, yüzeylere tanım getiren bir tasarım öğesidir. Bu tanım, mimari açıdan kullanıcı algısını şekillendiren renk, biçim ve ışık öğelerinin tasarıma olan etkilerini tamamlamaktadır. Bu önemi nedeniyle iç mekanda doku, bir tasarım öğesi olarak tasarımcıların özgünlüğünü oluşturan önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada, doku kavramı tanımlanarak doğal ve yapay doku türlerine değinilmiştir. Doğal süreçler sonunda oluşan doku etkilerinin dışında, bilgisayar destekli tasarım ve dijital üretim teknikleri ile yapılan doku tasarımı, mekan örnekleri üzerinden değerlendirilmiştir. Tasarım unsurları kullanılarak mekanda yaratılan doku etkileri ve renk, ışık, biçim değişkenlerinin dokuya olan etkileri, bilgisayar destekli tasarım ile hazırlanan sanal mekanlar üzerinden yorumlanmıştır. Böylelikle değişen renk ve biçimin, doku algısında yarattığı değişimin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışmada, iç mekan tasarımındaki doku kullanım farklılıklarının ifade edilebilmesi için, tasarımcıların bu konudaki yaklaşımları mekan örnekleri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, iç mekan tasarımlarında doku kullanımı ile öne çıkan tasarımcıların özgün yaklaşımlarını ve dokunun tasarım öğesi olarak iç mekanda kullanılma biçimlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. İncelenen örnekler, doku kullanımı açısından tasarımcıların özgün yaklaşımlarını yansıtan örnekler arasından seçilmiştir. Buna göre, değerlendirilen tasarımcılar arasında yer alan Karim Rashid'in doğal dokular yerine, kendi tasarladığı yapay dokuları kullandığı görülmüştür. Philippe Stark'ın ise, malzemenin doğal dokusunu iç mekanda tercih ettiği, Fernández de la Hoz'un ise iç mekanda yer alan bir çok yüzeyde, biçim ve ışığın etkisini doku oluşumunda kullandığı görülmüştür. İç mekanda dokunun kullanım biçimi ve tercih edilen yüzeyler açısından da tasarım dilinin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bulgular sonucunda, iç mekanda dokunun yalnızca tasarımın önemli bir parçası değil, aynı zamanda tasarımcıların özgünlüğünü oluşturan bir kimlik unsuru olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doku, İç Mekan, Tasarım, Tasarımcı

An Analysis on Designer Approaches in Creating Texture Effect in Interior Space

Abstract

Texture is an element of design defining the surfaces. This definition completes the effects of color, form and light elements shaping the perception of users in terms of architecture on design. Due to this importance, texture in interior space, as an element of design, is one of the important elements that makes up the uniqueness of designers. In this study, the concept of texture is defined, and natural and artificial types of texture are addressed. In addition to the effects of texture as a result of natural processes, texture design created by computer-aided design and digital production techniques is evaluated through space samples. The texture effects created in the space using design elements and the effects of color, light and form variables on texture are interpreted through virtual spaces created by computer-aided design. Thus, the aim is to reveal the change created by the changing color and form in the perception of texture. In the study, approaches of designers are evaluated through space samples in order to display the differences of texture use in the interior design. This evaluation aims to reveal the unique

* Sorumlu Yazar: Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Adana, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6264-896X,

approaches of designers standing out with the use of texture in the interior space designs and the ways that texture is used in interior space as an element of design. The examined samples were selected from the ones reflecting the unique approaches of designers in terms of texture use. Accordingly, it has been observed that Karim Rashid one of the designers evaluated in the study prefers to use artificial textures he designed rather than natural textures. On the other hand, it has been observed that Philippe Stark prefers the natural texture of material in interior space while Fernández de la Hoz uses the effects of form and light in the texture formation on various surfaces in interior space. It has been found that design language also varies in terms of the use of texture and the preferred surfaces in interior space. In the light of these findings, it is considered that texture in interior space is not only an important part of design, but also an element of identity that makes up the uniqueness of designers.

Keywords: Texture, Interior Space, Design, Designer

1. Giriş

Doku kavramının farklı bilim dallarındaki ifadesi ve tanımı değişmektedir. En genel haliyle doku, birimlerin bir örüntü oluşturacak şekilde bir araya gelmesiyle oluşan bir özellik olarak tanımlanabilir. Bu özellik, mikro ya da gözle tanımlanabilecek şekilde makro boyutta iki veya üç boyutlu etkilere de sahip olabilmektedir. Mimaride ise makro boyutta tasarımı etkileyen görsel öge olarak ele alınarak tasarımcılar tarafından yorumlanmaktadır.

Mimarinin geçirdiği dönüşüm ele alındığında, mimari yönelimleri tanımlayan en önemli unsurlarından birinin “doku” olduğu görülmektedir. Örneğin barok dönemi mimari yaklaşımında özellikle iç mekanda tasarımı şekillendiren yoğun bir doku algısı zihinlerde oluşmaktadır. Bu doku algısını, yüzeylerde kullanılan renklerin ve süslemelerin oranı, iç mekan öğelerinin ve aydınlatma elemanlarının biçimsel özellikleri oluşturmaktadır. Bu durumu, mimarinin tüm dönemlerinde farklı şekilde görebilmek mümkündür. Ancak günümüzde, gelişmiş özelliklere sahip malzemeler, dijital üretim, biçimlendirme teknikleri ve tasarım anlayışının geldiği nokta “doku” kullanımını farklı bir boyuta taşımıştır. Dokunun tasarım ögesi olarak geldiği bu boyut, dokunun tasarımcılar tarafından bir kimlik ve imza olarak da kullanımı da ifade etmektedir. Bu kapsamda, dokunun iç mimari tasarım açısından ifade ettikleri, kullanıcı algısındaki olası etkileri ve tasarımcı yaklaşımlarının önemini ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla, öncelikle doku kavramı, doku algısını etkileyen değişkenler ve iç mekanda tasarım ögesi olarak doku kullanımını etkileyen faktörlerin açıklanması gerekli görülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Doku

Tabiatta gerçek doku daima bir fonksiyonun ifadesidir. İnsan yapısı objelerde de ancak böyle olduğu zaman doku bir değer kazanmaktadır. Bu konuda da insanoğlu en büyük örneklerini tabiattan almaktadır. Tabiatta canlı ve cansız tüm varlıklar birçok fonksiyonunu çeşitli dokuların kullanımı ile yerine getirmişlerdir. Sayısız örnekler arasından bir tanesi de korunma fonksiyonunu sert ve batıcı dokularla yerine getiren bitki ve hayvanlardır (Tüzcet, 1967; Oransay, 2006). Coates ve diğerleri (2011)’e göre doku bir nesnenin uyandırdığı histir: Pürüzlü, pürüzsüz, yumuşak veya sert. Doku aynı zamanda bir mekanın karakter ve özelliklerini tanımlamak için de kullanılabilir. Bir mekanın dokusu, kullanılan malzeme ya da nesnelere belli kültürel referanslar ya da belli fikirlere yapılan göndermeler ile manipüle edilebilir (s.70). Şekil 1’de doğal doku örnekleri yer almaktadır.



Şekil 1. Doğal doku örnekleri (Kılıç, 2020)

Doku etkisi yalnızca bir yüzeyde hacimsel olarak değil aynı zamanda ışık gölge gibi etkenlerin etkisiyle de oluşabilmektedir. Bu oluşumları da doğal doku olarak tanımlamak mümkündür. Şekil 2’de ahşap elemanların tekrarının yarattığı doku etkisi görülmektedir. Tekrar oranı ve boyutu arttıkça ortaya çıkan algısal etkide değişmektedir.



Şekil 2. Birim tekrarının oluşturduğu doku etkisi (Kılıç, 2020)

Renk, doku, ton (ışıklılık değeri), biçim, ölçü, aralık (espas) doğanın nesnel yapısında varolan öğelerdir. Anlam, içerik, kapsam, işlev ve psikolojik olarak doğa dilinin, plastik yaşama yansımalarıdır. Yine zıtlık, uygunluk, yineleme (tekrar), simetri, koram, egemenlik ilkeleri; doğanın yapılanış ve biçimleniş ilkeleridir (Atalayer, 2004 s.14). Doku, bir yüzeyin pürüzlülüğü ve pürüzsüzlüğüdür. Yüzey pürüzlü, pürüzsüz, sert, yumuşak, parlak ve mat olabilir (Michael, 2011 s.28). Bir nesnenin yüzeyinin dokusu mekansal algıyı etkilemektedir (Castell vd. 2019 s.1).

Doku etkisi yalnızca bir yüzeyde hacimsel olarak değil aynı zamanda ışık gölge gibi etkenlerin devreye girmesiyle de oluşabilmektedir. Bu oluşumları doğal doku olarak adlandırabiliriz. Doğal dokular düzenli, düzensiz ve değişken dokular olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. İç mekanda ise yapay dokular tasarımcı tercihinin bağlı olarak öne çıkabilmektedir. Özellikle bilgisayar destekli tasarımın yaygınlaşması ile yapay dokuların tasarımı mümkün hale gelmiştir. Bilgisayar destekli tasarımın yanısıra dijital üretim teknikleri de doku tasarımlarının üretilmesini sağlamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Yapay doku örnekleri [1,2]

Yapay dokulara bir çok farklı sektörde ihtiyaç duyulmaktadır. Doku tasarımlarında kullanılan nesnenin veya yüzeyin işlevsel olması, tasarıma değer katmaktadır. İç mekan tasarımı açısından ise kullanışlı yapı ürünlerini örnek vermek mümkündür. Temel tasarımda ise doku, tasarımın ana bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Buna bağlı olarak temel tasarımın ana prensiplerinin malzeme ve üretim teknolojileri kullanılarak uygulanması, iç mekanda istenilen etkilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu etkilerden biri olarak doku, tasarımcıların kullandığı önemli tasarım unsurları arasındadır.

2.1.1. Doku Algısını Etkileyen Değişkenler

Baş (2001)'e göre doğa ile tanıştığı ilk andan itibaren insanın en sık rastladığı ağaç, taş, toprak gibi doğal öğeler, yüzey olarak kullanılmaları ile oluşturulan mekan tasarımlarında da, kullanıcının görsel algılama süreci içinde en kolay ve en hızlı tanımladığı dokusal ifadeleri oluşturmaktadır (s.41).

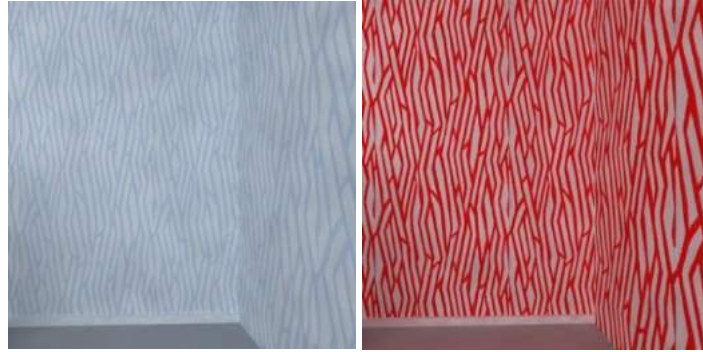
Dokuyu şekillendiren tekrar, ritim, denge ve vurgu faktörlerinin dışında renk, ışık, ve biçim faktörleri de dokunun oluşumunda etkilidir. İç mekanda kurgulanan doku etkisi, farklı ışık şiddeti, geliş yönü veya ışığın rengi ile büyük oranda değişebilmektedir. Öte yandan dokuyla bir bütün olan renk kavramı da değişiklik gösterdiğinde aynı türde olan dokular farklı şekilde algılanabilmektedir. Biçim etkeninde ise farklı biçimlere sahip yüzeylerde aynı doku etkileri farklı algılanabilmektedir. Bu noktada, kullanıcının tasarımı okuyabilme veya yorumlayabilme kabiliyetinin de değişkenlik gösterdiği unutulmamalıdır.

Doku etkisinin güçlü veya zayıf olarak algılanmasında renk faktörü belirleyicidir. Örneğin birimlerin tekrarı ile oluşan doku etkisinin renk değişimi sonucu farklılaştığı görülmektedir. Beyaz renkteki birimlerin tekrarının daha zayıf bir doku etkisi yarattığı, ancak siyah renk kullanıldığında doku etkisinin güçlendiği değerlendirilmektedir (Şekil 4).



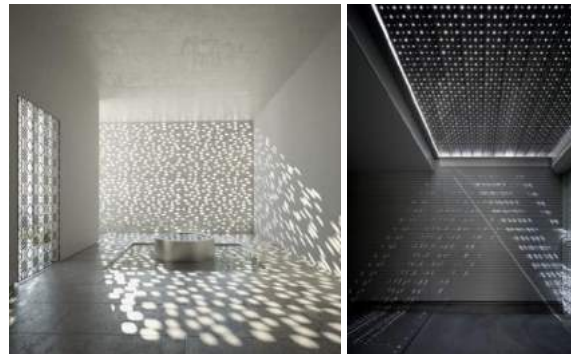
Şekil 4. Duvar yüzeyinde birimlerin tekrarıyla oluşan dokuya rengin etkisi (Kılıç, 2020)

Taylor (2000)'e göre doku, bir hacimde iki şekilde kullanılabilir: Bir hacmin belirli bir bölgesel veya tarihi stili ifade etmesi için; ya da cesur bir şekilde, dokunun hacmin ana odağı haline gelmesi şeklinde kullanılabilir (s.41). Mekanda dokunun odak haline gelmesi ise rengin doğru kullanımı ile mümkündür. Şekil 5'te de aynı birim tekrarında farklı renklerin kullanıldığı görülmektedir. Aynı bakış açısında, açık mavi renk kullanılan örnekte olan doku etkisi zayıf olarak algılanırken, kırmızı rengin kullanımı ile dokunun yoğun bir etki yaratarak mekanda öne çıktığı görülmektedir.



Şekil 5. Duvar yüzeyindeki doku algısının farklı renklerle gösterdiği değişkenlik (Kılıç, 2020)

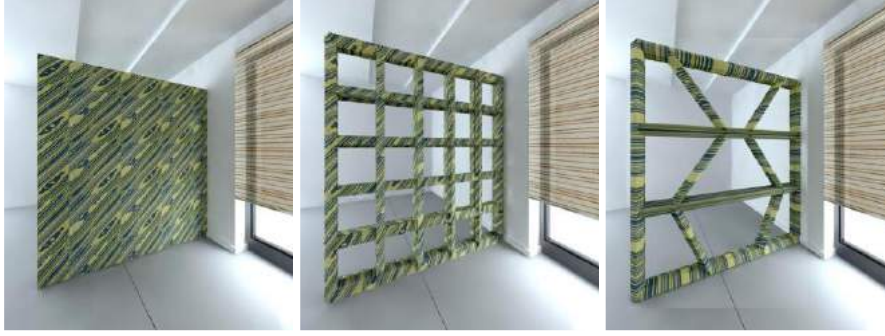
Işığın, iç mekan tasarımında hacimlerin algılanmasında önemli bir rolü vardır. Işık algı açısından hacmin fiziksel olarak niteliğini ve niceliğini doğrudan değiştirmektedir. Örneğin, görsel tanımlama yapılabilecek kadar aydınlatılmayan bir mekanın tasarım açısından istenen etkiyi yaratması mümkün değildir. Aynı şekilde ışık düzeyi doğru olmayan bir hacimde kullanıcıların konforunun sağlanması da mümkün değildir. Dokuyla ilişkisi açısından ise doğal ışığın biçimle birlikte kullanımı ise, genel ve lokal aydınlatma yaklaşımları, doku etkilerini oluşturabilmektedir. Bunun dışında ışık, doku algısında da aydınlatma düzeyinin yeterliliği açısından etkilidir.



Şekil 6. Biçim ve ışığın birlikte oluşturduğu doku etkisi [3,4]

Malzemelerin biçimlendirmeye elverişli olması, her biçimlendirmede malzemenin dokusal ifadesinde farklı düzenlemelere gidilmesine sebep olmaktadır. Bu durum ifadesizlikten, anlam sapmalarına kadar her türlü anlatımın yaratılmasında bu malzemelerin daha çok kullanılmasını sağlamaktadır (Baş, 2001 s. 69). Buna göre, biçim ve doku ilişkisinin tasarımla ve yaratılmak istenen anlamla doğrudan ilişkisi vardır. Buradaki farklılığı, tasarımcıların özgün yaklaşımları olarak değerlendirmek mümkündür.

İç mekanda farklı biçimler kullanılarak oluşturulan yapı elemanları ve donatılar, dokunun algılanmasında farklılık yaratabilmektedir. Aynı iki boyutlu dokunun, farklı biçim üzerine uygulanmasıyla, doku üç boyutlu hale dönüşerek algıda farklılık ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Şekil 7’de iç mekanda kullanılan separatörün aynı iki boyutlu doku ile farklı biçimlerde kullanımı görülmektedir.



Şekil 7. Biçimin doku algısına etkisi (Kılıç, 2020)

2.1.2 .İç Mekanda Tasarım Ögesi Olarak Doku Kullanımını Etkileyen Faktörler

Teknoloji, tüm yapım sürecini hızlandıracak ve kolaylaştıracak imkanları tasarımcılara sunmaktadır. Bu nedenle önceki dönemlerde üretilmesi veya uygulanması mümkün olmayan ya da çok zor olan tasarımlar günümüzde kolaylıkla elde edilebilmektedir. Özellikleri geliştirilmiş kompozit yapı ürünleri, yenilikçi bağlantı yöntemlerinin yanı sıra bilgisayar destekli tasarım ve dijital üretim teknolojileri bu gelişmenin lokomotif rolündedir. İç mekan tasarımında donatıların ve yapı elemanlarının tasarımı bilgisayar destekli tasarımın etkisiyle günümüzde oldukça çeşitlenmiştir. Yapılan tasarımların eşzamanlı olarak görülebilmesi ve üzerinde anında değişiklik yapılarak farklı form, biçim ve renklerin denenebilmesi tasarım sürecini hızlandırmıştır. Bilgisayar destekli tasarım imkanı zaman kaybını azaltarak, tasarımın birebir elde edilebilmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, iki ve üç boyutlu çizim ve tasarım programları bilgisayar destekli tasarımın temelini oluşturmaktadır.

Şekil 8’de bilgisayar destekli tasarım ile oluşturulan ve üretilen zemin kaplama malzemeleri görülmektedir. Sayısal ortamda yapılan tasarım hata olasılığını düşürmekte ve hassas ölçülendirme ile üretim yapabilme imkanı sunmaktadır. Benzer doku etkileri zemin ve duvar yüzeylerinin dışında iç mekandaki tüm yüzeylerde ve donatılarda, kısmı veya bir bütün oluşturacak şekilde kullanılabilir.



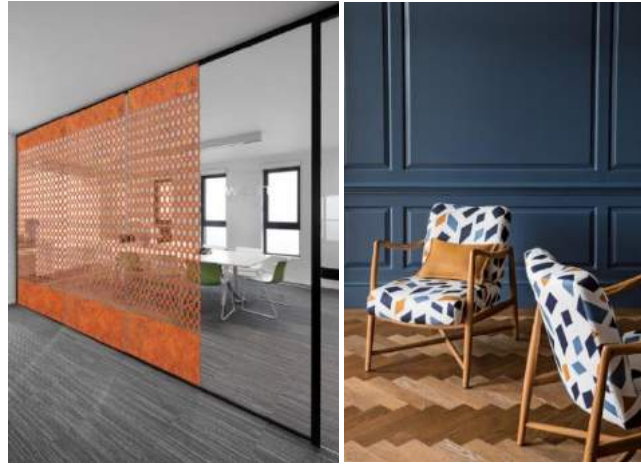
Şekil 8. Farklı renk, biçim ve tekrarın kullanımı ile zeminde ve duvarda doku etkisi [5,6]

Ahşap kompozit türlerinin yanı sıra, doğal ahşap türleri de doku etkisi nedeniyle tasarımcılar tarafından tercih edilmektedir. Malzemenin kendi yüzey dokusunun yanı sıra, birim tekrarının oluşturduğu doku etkisi tasarımın parçasını oluşturmaktadır. Şekil 9’da ahşap elemanların düşeyde ve yatayda kullanımı ile elde edilen doku etkileri görülmektedir. Düşeyde ahşap birimlerin düzensiz tekrarı ile elde edilen doku etkisinin mekanlarda sınırlayıcı olarak kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, ahşap malzemenin kendine has dokusunun mekanda sıcak bir atmosfer yaratılmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 9. Birim tekrarı ile oluşan doku etkisi [7,8,9]

Doku etkisine sahip tekstil yapı ürünlerinin dijital üretim teknikleriyle üretimi yaygındır. Özellikle bilgisayar destekli tasarım yoluyla iki boyutlu olarak yapılan tasarımların malzeme üzerine dokuma ya da baskı yoluyla aktarılması iç mekanda kullanımını sağlamaktadır. Özellikle günümüzde nano teknolojinin kullanımı yalnızca görsel olarak değil aynı zamanda fiziksel özelliklere de sahip tekstil ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Nano teknoloji sayesinde, akıllı olarak adlandırılan tekstil malzemeler aynı zamanda sağlık açısından olumlu etkilere sahip olmaktadır. Isıya duyarlı, su geçirimsiz, nefes alabilen, kendi kendini temizleyebilen, ve yıpranmama özellikleri ile nano tekstil malzemeler iç mekanda tercih edilmektedir.



Şekil 10. Doku etkisine sahip tekstil yüzeyler [10,11]

İç mekan tasarımda kullanılan tekstil malzemelerin mekan atmosferine etkisi, kullanım oranına ve doku özelliklerine de bağlı olarak yüksektir. Yoğun desen içeren bir tasarım karmaşık ve yorucu olarak algılanırken, daha sade tasarımlar kullanıcı üzerinde dinlendirici bir etki yaratabilir. Tekstil malzemeler genel olarak iç mekanda mobilyalarda, duvar ve tavan yüzeylerinde, aydınlatmalarda ve separatör olarak kullanılmaktadır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. İç Mekanda Dokunun Kurgulanmasında Tasarımcı Yaklaşımları

İç mekanda dokunun kullanımında, tasarımcıların kendilerine özgü tasarım yaklaşımları ön plana çıkmaktadır. Tasarımcılar, iç mekanda doku etkisinin oluşumunda malzemenin sahip olduğu doğal dokuyu farklı şekillerde kullanmanın yanısıra, bilgisayar destekli tasarım ve dijital üretim metodları ile oluşturulmuş yapay dokuları da yoğun biçimde kullanmaktadır. Örneğin çalışma kapsamında incelenen tasarımcılar arasında yer alan Karim Rashid, yapay doku kullanımını benimsemektedir. Zemin, duvar kaplama malzemelerini ve donatılarda kullanılan tekstil malzemelerin dokularını tasarlayarak iç mekan tasarımlarında bir imza niteliğinde kullanmaktadır. Bu yaklaşım, tasarımcının iç mekan tasarımının biçimlenişinde dokuyu etkili bir tasarım aracı olarak kullandığını göstermektedir. Şekil 11 'de Karim Rashid'in tasarladığı yüzeyler görülmektedir.



Şekil 11. Karim Rashid tasarım sergisi, Frankfurt- Karim Rashid [12]

Karim Rashid, yüzeylerde çok sayıda farklı desen motif ve renk kullanmaktadır. Desen ve motiflerin oluşumunda bilgisayar destekli tasarımdan yararlanılmaktadır. Ürünün elde edilebilmesi için ise dijital üretim teknikleri kullanılmaktadır. Tekstil ve kağıt malzeme üzerine baskı yöntemi tasarımcının en çok kullandığı yöntem olarak öne çıkmaktadır. Karim Rashid, bilgisayar destekli tasarımın dışında aynı zamanda birim tekrarını ve biçimi kullanarak da iç mekanda doku etkisi elde etmektedir. Şekil 12’de girişi tanımlayan duvar yüzeyindeki doku etkisi dikkat çekmektedir. Diğer görsel de duvar yüzeyinde oluşturulan hareketli biçimin gizli aydınlatmanın katkısı ile bir doku etkisi yarattığı görülmektedir. Zemindeki malzeme farkı, dokuyu ve oluşan görsel etkiyi desteklemektedir.



Şekil 12. Silk Road Restaurant, Las Vegas- Karim Rashid [12,13]

Şekil 13’de duvar yüzeylerinde biçimlerin tekrarı ve renk geçişleri ile oldukça güçlü bir doku etkisi elde edildiği görülmektedir. Duvar yüzeylerinde noktasal aydınlatmayı çağrıştıran yapı ve organik yüzey algısı yaratan dalgalı öğeler, bir bütün olarak doku etkisini oluşturmaktadır. Bu doku etkilerinin oluşumunda biçimin ve ışığın etkisini görmek mümkündür. Ayrıca tavanda kullanılan yazılar da kendi içinde diğer dokulardan farklı bir etki yaratarak tasarım yaklaşımını desteklemektedir. Genel olarak bu tasarımda kullanıcıların dokuların oluşturduğu bir kabuğun içerisinde kendilerini hissetmelerinin amaçlandığını söylemek mümkündür.



Şekil 13. Switch Restaurant Restaurant, Dubai- Karim Rashid [12]

Şekil 14’teki tasarımda yapay dokuların kullanım yoğunluğu açısından farklı bir yaklaşım bulunmaktadır. İç mekanda, neredeyse nötr yüzey olmaksızın tüm yüzeylerde ve donatılarda yoğun şekilde, bilgisayar destekli tasarım ile oluşturulan yapay dokuların kullanıldığı görülmektedir. Özellikle altıgen biçiminde tasarlanan oturma alanlarında, farklı renk, desen ve birim tekrarının kullanımı, bu yaklaşımı ifade etmektedir. Bu anlayış iç mekan tasarımını kurgulayan tasarım öğeleri açısından, dokunun en belirleyici tasarım unsuru olarak tercih edildiğini göstermektedir. Mekan kimliğinin parçası olarak bu noktada dokunun işlevi, kullanıcıya algılatılmak istenen atmosferin oluşumunda en belirleyici rolü üstlenmektedir.



Şekil 14. Casa Digitalia, Milan- Karim Rashid [12]

Philippe Stark, tasarım yaklaşımında doku kullanımı açısından yapay doku kullanımını tercih eden Karim Rashid'den farklı olarak, malzemelerin doğal dokularını kullanmayı tercih etmektedir. Doğal malzemelerin tekrarı ile yüzey oluşturma ve biçimin doku oluşumunda kullanımı, tasarım yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte karmaşadan uzak sınırlı sayıda renk kullanımı, dokunun oluşumunda tasarımcının diğer bir yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir. Şekil 15'te, Philippe Stark'ın bir iç mekan tasarımı yer almaktadır. Tasarımda tekstil malzeme seperatör olarak kullanılmış ve malzemenin doğal dalgalı biçimsel yapısı birim tekrarı oluşturarak doku etkisi meydana getirmiştir. Dokunun oluşumunda kullanılan renk sayısı, yoğunluğu ve yüzeydeki toplam oranı tasarımı doğrudan etkilemektedir. Bu örnekte doku etkisi tek renk kullanımı ile biçimin etkisi öne çıkarılarak oluşturulmuştur. Bu tasarım örneğini, dokuyu etkileyen faktörlerden rengin kullanımı açısından sade, ancak biçimin doku oluşumundaki rolü bakımından yoğun doku etkisine sahip bir örnek olarak değerlendirmek mümkündür.



Şekil 15. Yoo Gramercy, NewYork- Philippe Starck [14]

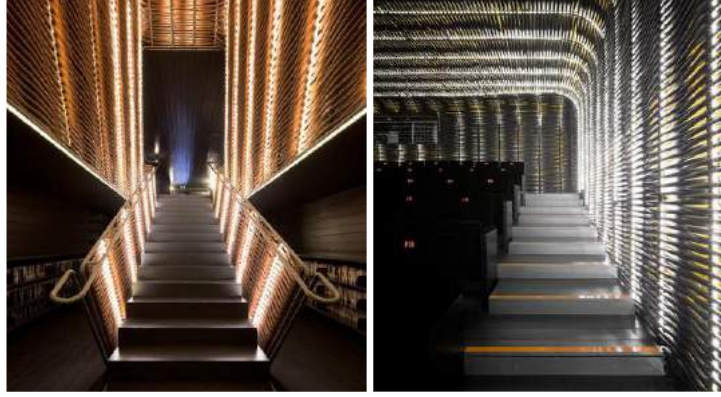
Şekil 16'da Philippe Stark'ın tüm duvar ve tavan yüzeylerinde ahşap dokusu kullandığı tasarımı yer almaktadır. Yoğun şekilde kullanılan doğal ahşabın mekanda sıcak bir atmosfer yarattığı görülmektedir. Buradaki tasarım yaklaşımı, bir önceki iç mekan tasarım örneğinde olduğu gibi malzemenin sahip olduğu dokuyu herhangi bir müdahale olamadan kullanmayı ifade etmektedir. Bilgisayar destekli tasarım ile üretilen yapay dokuların kullanıcılarda oluşturduğu yapaylık algısının aksine, doğal dokuların kullanımı ve oluşan doğal mekan etkisi tasarımcının benimsediği özgün bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 16. Paradis de Fruit, Paris- Philippe Starck [14]

Fernández de la Hoz, iç mekanın kurgulanmasında dokuyu tasarım ögesi olarak kullanmaktadır. İncelenen diğer iki tasarımcının aksine Fernández de la Hoz'un doku yaklaşımında, birim tekrarı ve ışığın kullanımı öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, Matedero Film Kütüphanesi iç mekandaki doku etkileriyle dikkat çekmektedir (Şekil 17). Aydınlatmanın düşeyde ve yatayda çeşitli yapı elemanlarıyla birlikte kullanımı, tasarımdaki doku etkisini güçlendirmektedir. Burada benimsenen doku yaklaşımı, ışık ve birim

tekrarının yoğun şekilde kullanımı ile şekillenmektedir. Düşey yüzeylerdeki katmanlı yapı da derinlik algısını artırarak, kullanıcıların dokuyu güçlü şekilde algılamasını sağlamaktadır. Dokunun mekan tasarımına fonksiyonel etkisi açısından da yatayda birimlerin tekrarıyla sınırlandırılmış boşluk, başka bir bölüme geçişi tanımlamaktadır.



Şekil 17. Matedero Film Kütüphanesi, Madrid- Fernández de la Hoz [15]

Tasarımcıların doku kullanımındaki yaklaşımlarını ortaya koymak için incelenen örnek sayısını artırmak mümkündür. Ancak tasarımcıların yaklaşım farklılıklarının ifade edilmesi için sınırlı sayıda örnek yeterli olabilmektedir. Bu bağlamda, incelenen örneklerde görüldüğü gibi iç mekanda doku kullanımında tasarımcıların birbirlerinden farklı yaklaşımları olduğu açıktır. Bu farklılık tasarımcıların özgünlüğünü oluşturan tasarım yaklaşımlarını şekillendirmektedir.

4. Sonuç

Her yüzeyin farklı ve ancak yarattıkları etki ile birbirinden ayrılan doku etkisi vardır. Bu etkiler mimaride tasarım ögesi olarak kullanıcıların algısını yönlendirmektedir. Bu kapsamda, algıyı etkileyen faktörler olan renk ve biçim değişkenlerinin dokuya olan etkileri bilgisayar destekli tasarım ile oluşturulan sanal mekanlar üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre sıcak veya soğuk renklerle aynı yüzeyin dokusunun farklı şekilde algılandığı, biçimin doku algısına olan güçlendirici veya zayıflatıcı etkileri olduğu görülmüştür. Işık şiddetinin doku algısını etkilemesi, biçim ve ışığın birleşimi ile doku etkisinin oluşması da diğer bulgular arasındadır. Bununla birlikte dokuların bilgisayar destekli tasarım ve dijital üretim tekniklerinin sunduğu hız ve hataları revize edebilme imkanı ile elde edilebildiği görülmüştür. Özellikleri geliştirilmiş malzemelerin de doku tasarımında bir faktör olarak öne çıktığı görülmüştür.

Tasarımcıların iç mekanda doku kullanım yaklaşımları ise, bazı mekan tasarımları üzerinden incelenmiştir. İncelenen örnekler, doku kullanımını açısından tasarımcıların özgün yaklaşımlarını yansıtan örnekleri kapsamaktadır. Bu inceleme neticesinde, tasarımcı Karim Rashid'in hazır malzeme dokusunu kullanmak yerine, bilgisayar destekli tasarım ile dokuyu tasarlayarak kullandığı görülmüştür. Bu yaklaşım tasarımcının iç mekanda kurgusunda abartılı doku etkilerinin kullanımına imkan vermektedir. Philippe Stark'ın ise tasarımlarında rengin sınırlı kullanımı ile malzemelerin doğal dokusunu kullanmayı tercih ettiği görülmüştür. İncelenen diğer bir tasarımcı olan Fernández de la Hoz'un ise özellikle düşey yüzeylerde katmanlı bir yapı oluşturarak birim tekrarı ve ışığın etkin kullanımı ile doku etkileri oluşturduğu görülmüştür. Bununla birlikte Hoz'un dokuyu mekan içerisindeki alanları tanımlamak için de kullanarak, görsel etkilerin ötesinde dokuya işlevsel bir amaç da yüklediği değerlendirilmiştir. Tasarımcılar arasında görülen tüm bu yaklaşım farklılıkları neticesinde, iç mekanda dokunun kullanım biçiminin birbirinden ayrıştığı tespit edilmiştir. Tüm bu bulguların ışığında, iç mekanda dokunun yalnızca tasarımın önemli bir ögesi değil, aynı zamanda tasarımcıların özgünlüğünü oluşturan ve tasarımı şekillendiren bir kimlik unsuru olduğu değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- Atalayer, F. (2004), Çağdaş Temel Sanat (Tasarım) Eğitimi ve Postmodernite-Geleneksellik, Anadolu Üniversitesi Dergileri, Anadolu Sanat, Sayı:15, Eskişehir.
- Baş, D. (2001) Yüzeylerin Dokusal İfadeleri ile Mekan Kimliğinin Oluşturulmasında Yapısal Çözümlemeye Dayanan Bir Yöntem Önerisi, Sanatta Yeterlik Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Castell, C. Hecht, H. ve Oberfeld, D. (2019) Wall patterns influence the perception of interior space, Quarterly Journal of Experimental Psychology, DOI: 10.1177/1747021819876637.
- Coates, M., Brooker, G., Stone, S., (2011) Görsel İç Mimarlık Sözlüğü, Literatür Kitapevi.
- Faullener, R., Ziegfield, E., Hill, G., 1956, Art Today, Henry Holt and Company, New York
- Guidot, R., 2006. Industrial Design Techniques and Materials, Flammarion, Paris
- Kocks, U.F., Tome, C.N., Wenk, H.R., 1998. Texture and Anisotropy, Cambridge University Press, Cambridge
- Taylor, R. (2000) Interior Colour: The Secrets the Interior Style, Cassell&Co, London.
- Michael M. (2011) Art and Design: A Comprehensive guide for Creative Artist.
- Oransay, L. (2006) Doku, strüktür ve tekrar ilkelerinin seramik alanında kullanım olanakları, Sanatta Yeterlik Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

Tüzcet, Ö. (1967) Form ve Doku, Matbaa Teknisyenleri Kollektif Şirketi, İstanbul, 1967.

İnternet Kaynakları

- [1] <https://tr.pinterest.com/pin/429741989419410992/>
- [2] <http://0fs.me/8363067>
- [3] <http://leibal.com/architecture/light-grain/>
- [4] <https://www.dezeen.com/2009/10/29/486-mina-el-hosn-by-lan-architecture/>
- [5] <http://www.contemporaryrugs.eu/hallway-modern-rugs-want-fall/>
- [6] <https://www.architecturaldigest.com/gallery/kitchen-tile-sources-guides>
- [7] <http://www.tasarimdergisi.com/etkinlik.php?id=436>
- [8] <http://0fs.me/6275956>
- [9] <http://0fs.me/3837199>
- [10] <http://0fs.me/4735269>
- [11] <http://0fs.me/9087108>
- [12] <http://www.karimrashid.com/>
- [13] <https://www.contemporist.com/silk-road-by-karim-rashid/>
- [14] <http://www.starck.com/>
- [15] <http://mitademo.com/mimarlik/matadero-film>



Alaca Çayı Havzası Erozyon Durumunun Morfometrik Ölçümler ile İlişkisi

Ali İmamoğlu^{1*}

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9197-1029)

(İlk Geliş Tarihi 01 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.710987)

ATIF/REFERENCE: İmamoğlu, A. (2020). Alaca Çayı Havzası Erozyon Durumunun Morfometrik Ölçümler ile İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 868-878.

Öz

Erozyon tarım ve mera alanlarının sürdürülebilir kullanımı konusunda önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri programları ile havza çalışmalarında kullanılan morfometrik yöntemlerin kullanımı da yaygınlaşmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile morfometrik hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmekte ve doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışma morfometrik özellikler ile erozyon ilişkisini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanı Alaca Havzası seçilmiştir. Havza Orta Karadeniz Bölümü'nde, Çorum ile Yozgat illeri içerisinde yer almaktadır. Havzanın toplam alanı 1656.4 km²'dir. Alaca Çayı havzası, Yeşilirmak'ın su toplama havzasında bulunur. Havza Kızılırmak havzası ile sınırında yer almaktadır. Saha Alaca Çayı tarafından drene edilmekte ve bu akarsu araştırma sahasından çıkınca Çorum Çayı ve Çekerek ırmağıyla birleşmektedir.

Araştırmada havzanın çevre uzunluğu, havza alanı, havza uzunluğu, maksimum ve minimum yükseklik, çatallanma oranı, Hipsometrik Eğri Analizi, Drenaj Yoğunluğu, Akarsu Sıklığı, Tekstür Oranı, Havza Reliefi, Engebelilik Değeri, Havza Şekli Analizi, Şekil İndeks değeri, Gravelius İndeks, Uzunluk Oranı, Form Faktörü incelenmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken ArcGIS 10.3 programından faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemler ile doğrulanmıştır.

Havza genelinde drenaj yoğunluğu değeri 0.4'tür. Alaca havzasının alanının büyük fakat yoğunluğun düşük olması, havzanın infiltrasyona elverişli koşullar sunduğu sonucunu ortaya koymuştur. Havzanın yükselti ve eğim değerlerinin arttığı yerlerinde erozif faaliyetler artarken havza şekline bağlı olarak özellikle eğim değerlerinin düştüğü yerlerde erozyon miktarı düşüktür. Akarsu havzasında yapılan morfometrik analizler sonucunda; çatallanma oranına göre birinci dizinlerin bulunduğu sahalarda erozyonel şekillerin yaygın olduğu görülmüştür. Havzanın yuvarlak şekline bağlı olarak zaman zaman sağanak yağışlar sonrasında akarsu seviyesi aniden yükselmekte ve şiddetli erozyon yaşanmaktadır. Bu çalışma erozyonel süreçlerinin incelenmesi konusunda morfometrik indislerin önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Erozyon, Morfometri, Alaca Çayı

Relation of Erosion Status with Morphometric Measurement in Alaca Stream Basin

Abstract

Erosion is an important problem in the sustainable use of agriculture and pasture lands. The use of morphometric methods used in watershed studies has also become widespread with Geographic Information Systems programs. Morphometric calculations can be

* Sorumlu Yazar: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9197-1029), aliimamoglu@vandex.com

made easily with Geographical Information Systems and accurate results can be obtained. This study was carried out to reveal the relationship between morphometric properties and erosion.

This study was carried out in Alaca Watershed. This watershed located at between Çorum and Yozgat provinces in Central Blacksea Region. Total area of the study area is 1656.4 km². Alaca Stream basin is located in Yeşilirmak's water collection basin. The basin forms a border with the Kızılırmak basin. Alaca stream collects the water of the field and when this stream leaves the research area, it combines with Çorum Stream and Çekerek river.

In the study, the circumference of the basin, basin area, basin length, maximum and minimum height, bifurcation rate, Hypsometric Curve Analysis, Drainage Density, Stream Frequency, Texture Rate, Basin Relief, Roughness Value, Basin Shape Analysis, Shape Index value, Gravelius Index, Length The ratio, Form Factor was examined. ArcGIS 10.3 program was used while making these calculations. The results obtained were confirmed by observations made during field studies.

The drainage density value across the basin is 0.4. The fact that the area of the Alaca basin is large but the density is low revealed that the basin offers favorable conditions for infiltration. While erosive activities increase in places where elevation and slope values of the basin increase, the amount of erosion is low, especially where the slope values decrease depending on the basin shape. As a result of morphometric analysis in the river basin; According to the bifurcation rate, it has been observed that erosional shapes are common in the areas where the first knees are located. Depending on the round shape of the basin, after the occasional downpours, the river level suddenly rises and severe erosion is experienced. This study reveals the importance of morphometric indices for the examination of erosional processes.

Keywords: Erosion, Morphometry, Alaca Stream.

1. Giriş

Erozyon tarım ve mera alanlarının sürdürülebilir kullanımını sağlanması konusunda önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda, erozyonun tespitine ve önlenmesine yönelik yapılan araştırmalar daha çok modelsel çalışmalardır. Coğrafi bilgi sistemleri ile modelsel çalışmalar kolaylaşmış aynı zamanda doğal ortamın farklı morfometrik özellikleri de daha kolay ölçülebilir hale gelmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri programları ile mevcut teknikler daha hızlı ve güvenilir olarak uygulanabilir hale gelmiştir. Bu tekniklerin kullanımı ile birlikte havza çalışmalarında kullanılan morfometrik yöntemlerin kullanımı da yaygınlaşmıştır. Bu alanda yapılan araştırmalarda; morfometrik analizler sonucu elde edilecek veriler ile havzanın morfolojik evriminin daha iyi yorumlanabilmesi ve havzada meydana gelebilecek doğal afetlerin derecelerinin anlaşılabilmesi hedeflenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile morfometrik hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmekte ve hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Özdemir, 2007, 2011; Turoğlu, 2007; Aydın, 2008; Bahadır ve Özdemir, 2011; Bharadwaj vd., 2014; Uzun, 2014; Ghany, 2015; Turoğlu, 2016; Köle, 2016; Eraslan vd., 2017; Elbaşı ve Özdemir, 2018). Bu çalışma morfometrik özellikler ile erozyon ilişkisini ortaya koymaktadır.

Morfometri; farklı topografik şekillerin karşılaştırılması ve parametrelerin hesaplanmasında doğabilimcilerin daha nesnel olmasına yardımcı olur (Keller ve Pinter, 2002). Morfometri; topografik ölçümler yapılan matematiksel bir analiz yöntemidir (Agarwal, 1998; Reddy vd., 2002). Dünyanın farklı bölgelerinde akarsu havzalarında uygulanan morfometrik ölçümler havzaların farklı özelliklerinin incelenmesi ve ortaya konulmasında uygulanan önemli yöntemler ortaya koymuşlardır (Horton, 1945; Strahler, 1964; Kumar vd., 2000).

Havza çalışmalarında ele alınan indisler çok sayıda olmakla birlikte genellikle; çevre uzunluğu, havza alanı, havza uzunluğu, maksimum ve minimum yükseklik, toplam dizin sayısı ve uzunluğu, hipsometrik eğri analizi, çatallanma oranı, havza şekli, tekstür oranı, dairesellik oranı gibi indisler yaygın olarak kullanılmaktadır (Özdemir, 2011; Withanage vd., 2014; Avcı ve Günek, 2015; Avcı ve Sunkar, 2017; Bahadır vd., 2017; Altıparmak ve Türkoğlu, 2018; Fural, 2018; Utlu ve Özdemir, 2018).

Morfometrik analizler sonucunda havzanın doğal kaynaklarının yönetimi ile ilgili zorlukların azaltılacağı ve havza yönetiminin daha etkili olacağı düşünülmektedir (Martins ve Gadiga, 2015; Turoğlu ve Aykut, 2019). Bu sebeple havza çalışmalarında en başta uygulanacak yöntemlerin başında morfometrik ölçümler gelmektedir. Bu ölçümlerin cevap verebileceği önemli sorunlardan birisi de; havzanın erozyon duyarlılığı ve akış hidrografının davranışıyla ilgili yorum yapılabilecek çözümler üretmesidir (Görür ve Karadeniz, 2018). Bu araştırmada Alaca çayı havzasının bazı morfometrik özellikleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçların erozyon ile ilişkisi tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemler ile doğrulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırma Alanı Sınırları

Araştırma sahası; İç Anadolu Bölgesi'nin Orta Kızılırmak Bölümü'nün kuzey kısmında bulunmaktadır. Orta Kızılırmak Bölümü ile Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü sınırında yer alır (Şekil 1). Araştırma sahası Alaca havzasının tamamından oluşmaktadır. Saha Alaca (Çorum) ilçesi dışında idari yönden Sorgun (Yozgat) ve Sungurlu (Çorum) ilçeleri sınırlarına da taşmaktadır.

Havza Yeşilirmak su toplama havzasında bulunur. Saha Alaca Çayı tarafından drene olmakta ve araştırma sahasından çıkınca Çorum Çayı ve Çekerek ırmağıyla birleşmektedir. Araştırma sahasında çok sayıda irili ufaklı baraj bulunmaktadır. Bu barajların en önemlisi Alaca ilçesinin içme suyu problemini de çözmesi planlanan, açılışı 2011 yılında yapılmış olan Çorum-Alaca-Koçhisar Barajı'dır.

Çalışma sahasının toplam alanı 1656,4 km²'dir. Araştırma sahası yükselti değerleri 825 m ile 1726 m aralığındadır. Araştırma sahasının güney kesimlerindeki dağlık alanlar Bozok platosunun kuzey kesimlerinde yer almaktadır.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan yöntemler

Morfometrik Parametre	Formül	Kaynak
Çatallanma Oranı	$R_b = Nu / (Nu + 1)$	Strahler, (1964)
Hipsometrik Eğri Analizi	$Y = h/H$ $X = a/A$	Keller ve Pinter, (2002)
Drenaj Yoğunluğu	$D_d = \Sigma L/A$	Verstappen, (1983)
Akarsu Sıklığı	$F_u = \Sigma Nu/A$	Horton, (1932)
Tekstür Oranı	$T = ND1/P$	Reddy vd., (2004)
Havza Reliefi	$B_h = H_{max} - H_{min}$	Horton, (1945); Strahler, (1964); Baker vd., (1988)
Engebelilik Değeri	$R_h = B_h * D_d$	Reddy vd., (2004)
Havza Şekli Analizi	$R_f = A / L_b^2$	Horton, (1945); Verstappen, (1983)
Şekil İndeks Değeri	$S_w = \frac{L}{W} = \frac{L^2}{A}$	Horton, (1932)
Gravelius İndeks	$K_c = 0.28 * \frac{P}{0.5 * A}$	Gravelius, (1914)
Uzunluk Oranı	$R_Q = \frac{2}{L_m} * \left[\frac{A}{\pi} \right]^{0.5}$	Reddy vd., (2004)
Form Faktörü	$R_f = A / L_b^2$	Reddy vd., (2004)

Y: Rölatif yükseklik, X: Rölatif alan, Nu: Dizin sayısı, Σ : Toplam, ND1: Birinci dizinlerin toplamı, L_b : Havza uzunluğu, h: Değerlendirmeye alınan yükseklik (m), H: Havza reliefi, a: Alınan yükseklik üzerindeki gerçek alan değeri (m^2), A: Havzanın gerçek alanı (m^2), P_u =havzanın alanıyla aynı alana sahip çemberin çevresi, L: Ana akarsuya paralel havza uzunluğu(km), W: Ortalama genişlik (A/L), P: Havza çevre uzunluğu (km), Lca: Havza ortasından ağza olan uzaklık (km), Lm: Havzanın maksimum uzunluğu (km)

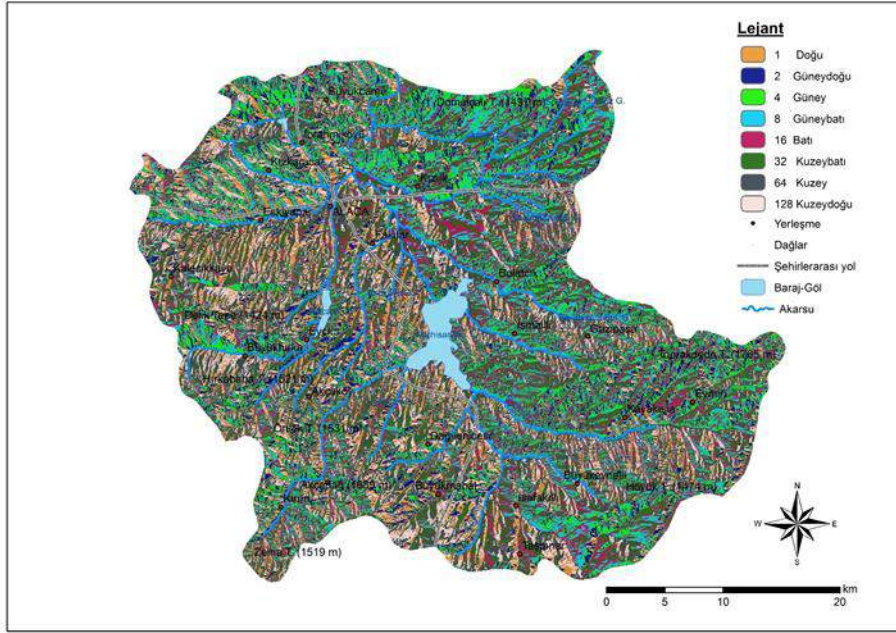
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Alaca Çayı Havzası Morfometrik Analizleri

3.1. Akarsu Ağı ve Relief Özellikleri

Akarsu ağı oluşturmak amacıyla SYM kullanılmıştır. SYM'den üretilecek olan akarsu ağının doğruluğunun yüksek olması için SYM'nin çözünürlüğünün yüksek olması gerekmektedir, aksi takdirde düzlük sahalarda gerçek olmayan bir drenaj oluşabilmektedir (Maidment., 2002). Ayrıca SYM'nin içindeki hatalı ve boşluklu yerler düzeltilmesi gerekmektedir. Bu düzeltmenin sebebi oluşacak akarsu şebekesindeki bozuklukları engellemektir (Tarboton vd., 1991). Araştırmada düzeltilmiş SYM görüntüsü elde edilmiş ve akarsu havzasındaki doğal akış yönleri belirlenmiştir (Şekil 2).

Doğal akış haritasında yüzey sularının doğrudan akışa geçtiği kabul edilmektedir. Doğal akış yönleri toplamı doğal akımı verir. Sahada oluşabilecek maksimum akarsu ağını doğal akım ortaya koymaktadır. Bu değere göre havzanın akarsu akımlarındaki maksimum değerler kabaca hesaplanmaktadır.



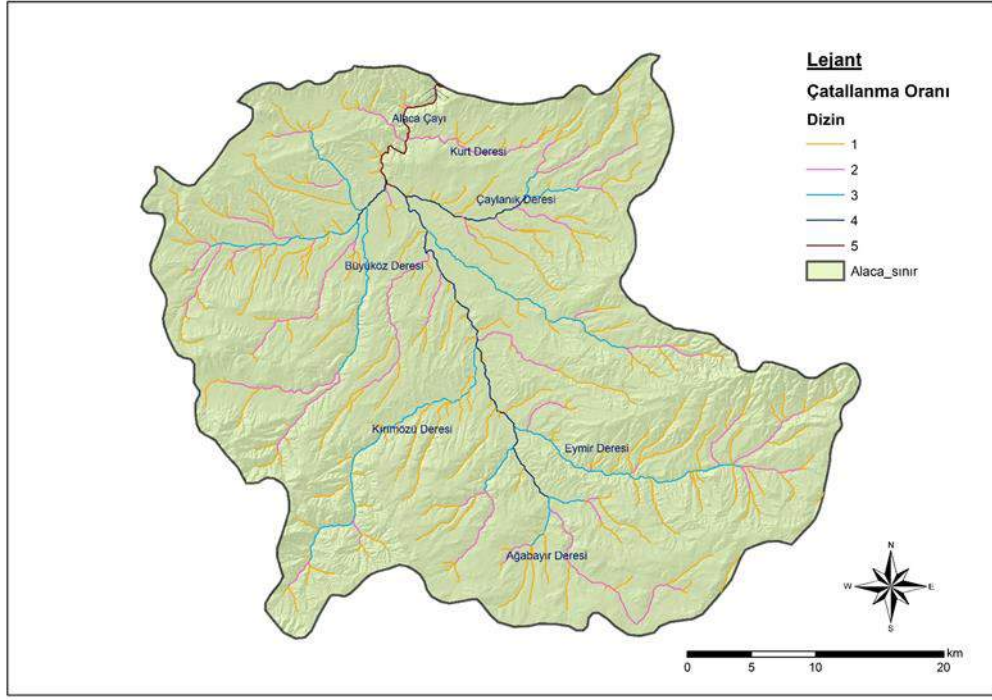
Şekil 2. Doğal Akış Yönleri (Flow Direction)

3.2. Çatallanma Oranı

Akarsularda çatallanma oranı havzanın büyüklüğü, yarıma ve eğim derecesi, bulunduğu sahanın iklim özellikleri gibi etkenlere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir (Cürebal, 2004; İmamoğlu, 2016). Bu bağlamda genç akarsu, ana yataktan itibaren birinci, ikinci, üçüncü derece ve diğerleri ile artan bir sıklıkla sahaya yerleşir (Turoğlu, 1997). Herhangi bir sıradaki dere sayısının bir sonraki sıradaki dere sayısına oranını ifade etmek için kullanılır (Rai vd., 2018). Düşük çatallanma oranı varsa hidrograflar keskin ve yüksek, yüksek çatallanma oranı varsa hidrograflar düşük ve devamlıdır (Strahler, 1964). Ayrıca dizin çatallanma oranı 3-5 arasında çıkan havzalarda homojen bir jeoloji hakimdir (Verstappen, 1983; Ritter, 2002).

Sayısal yükselti modelinden elde edilen akarsu şebekesine ait özellikler incelenirken Strahler (1964) dizinleri kullanılmıştır. Alaca Çayı havzasının sahip olduğu akarsu ağı ve çatallanma oranı Şekil 3'de ele alınmıştır.

Havzada bulunan birinci ve ikinci dizinler arasında çıkan değerlerin, en yüksek dizin ve bir önceki dizin arasından çıkan değerden ne kadar fazla olursa havza içinde oyuk, oyuntu erozyonu şekillerinin (gully) ve dar-derin vadilerin oranında o kadar fazlalaşır (Verstappen, 1983). Bu durum araştırma sahasında yapılan gözlemlerde doğrulanmış, özellikle birinci dizinlerin bulunduğu sahalarda erozyonal (suya dayalı) şekillerin yaygın olduğu görülmüştür. Araştırmalara göre; birinci ve ikinci dereceli dere sayısı bulunan havzaların çatallanma oranı, daha yüksek derecedeki derelerin çatallanma oranından daha yüksek olduğu belirtilmiş ve bu durumun erozyonal süreçlerinde bir göstergesi olduğu (Verstappen, 1983; Sreedevi vd., 2013; Magesh ve Chandrasekar, 2014) tespit edilmiştir.



Şekil 3. Strahler metoduna göre üretilmiş çatallanma oranı ve değerleri

3.3. Hipsometrik Eğri Analizi

Hipsometrik eğri, yükseltinin akarsu havzası içindeki dağılımını gösterir. Hipsometrik eğriye, toplamdaki havza yüksekliği oranının toplamdaki havza alanı oranı ile birlikte ele alınması sonucu ulaşılır.

Hipsometrik eğrinin dışbükey olması topografyanın genç olduğunu, akarsuların akım gücünün yüksek olduğunu gösterir (İmamoğlu, 2016). Buna göre su erozyonunun yüksek, akarsuyun taşıdığı sediment miktarı ise çok olduğu söylenebilir. Hipsometrik eğrinin içbükey olması ise akarsudaki akım gücünün az olduğunu gösterir. Araştırma sahası hipsometrik eğrisi içbükey özelliktedir. Akım gücü düşük ve taşıdığı sediment miktarı düşük akarsu olarak nitelendirilmektedir. Bu sonuca göre sahada akarsu erozyonunun şiddetli olmadığı düşünülmektedir.

Sahanın hipsometrik eğrisi genel görüntüsü iç bükey özellik göstermektedir. Bu durum akarsuların akımlarının düşük ve taşıdığı malzemenin az olduğunu ortaya koymaktadır. Saha yarı kurak bir iklime sahip olup, akarsular dönemsel olarak bol miktarda su taşımakta, sediment taşınımı da sellenmelerle bağlı değişiklik göstermektedir. Eğimli akarsu vadilerinde, sağnaklarla olan sellenme izleri görülmektedir.

3.4. Drenaj Yoğunluğu (Dd)

Drenaj yoğunluğu topografyanın parçalanma derecesini gösterir. Toplam akarsu uzunluğunun, havza alanına bölünmesiyle elde edilir (Horton, 1932, 1945; Verstappen, 1983; Turoğlu, 1997). Drenaj yoğunluğunun düşük olması, derelerin genç oluşumlu olduğunu göstermektedir (Özşahin, 2008). Drenaj yoğunluğunun düşük olduğu sahalar topografyanın nispeten daha alçak olduğu alanlar ve alttaki anakayanın sağlam veya geçirgen olduğu bölgelerdir. Yüksek drenaj yoğunluğu ise genellikle bitki örtüsünün cılız olduğu ya da olmadığı, toprak geçirgenliğinin düşük olduğu alanlarda görülmektedir (Hızal, 1984). Alaca havzası yüzey topraklarında yapılan hidrolik iletkenlik haritasına bakıldığında geçirgenliğin yüksek olduğu sahaların drenaj ağının daha yoğun sahalar olduğu görülmektedir. Drenaj yoğunluğu, havzadaki malzeme taşınımını doğrudan etkilemektedir (Özdemir ve Bird, 2009). Drenajın yoğun olması sahadan taşınan sediment miktarını ve verimli yüzey toprağı kaybını arttırmaktadır. Drenaj yoğunluğu; zeminin geçirgenlik özelliği, infiltrasyon kapasitesi, bitki örtüsü yoğunluğu, relief ve iklimsel faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Morisawa, 1968). Bu özellikler aynı zamanda toprak erozyonu oluşumunda da etkili olan faktörlerdir.

Havza genelinde Drenaj yoğunluğu değeri 0.4'tür (Tablo 3). Alaca Havzası'nın alansal büyüklüğüne rağmen yoğunluğun düşük olması, yüzey sularının akışa geçmeden önce infiltre olmasına uygun bir ortam olduğunu ortaya koyar.

3.5. Akarsu Sıklığı (Fu)

Akarsu sıklığı, alt havzalar ve kollarının havza içinde birim alanda bulunan yatak sayısını ifade eder (Hoşgören, 2004). Toplam dizinin toplam alana bölünmesi sonucu bulunur. Yüksek değerler, geçirimsiz zemini, cılız bitki örtüsünü gösterirken, düşük değerler ise geçirgenliği ve alçak reliefi ortaya koymaktadır (Hoşgören, 2004; Turoğlu, 1997). Ria vd.,'ne göre (2018) akarsu sıklığını belirleyen temel etken kayaç özellikleri tarafından kontrol edilir. Araştırma sahasında yüksek sıklık değeri görülmektedir. Arazi çalışmaları sırasında da sahanın geçirgenliği düşük zemin özellikleri gösterdiği alanlarda, akarsu erozyonunun yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Altıparmak ve Türkoğlu'na (2018) göre akarsu sıklığının yüksek olduğu yerlerde akarsu yatakları ile vadi sınırları arasındaki mesafe azdır ve pekçok küçük keskin sırt bulunmaktadır. Bu durum arazi çalışmaları sırasında incelenmiş ve araştırma

sahasının güney doğu ve güneybatı kesiminde havza sınırlarına yakın eğim değerleri yüksek alanlarda akarsu sıklığının oldukça yüksek olduğu ve küçük sırtlar şeklinde erozyonel oluşumlar olduğu tespit edilmiştir.

3.6. Tekstür Oranı (T)

Tekstür oranı havza içindeki toplamdaki birinci dizinin, çevre uzunluğuna bölünmesiyle bulunur (Reddy vd., 2004). T değeri havzanın litolojik yapısına, yüzey geçirgenliğine, havzanın bakı özelliklerine bağlı değişiklik gösterir. Değer yüksek ise 1. düzeydeki kollar fazla, az ise bu kollar az anlamına gelmektedir. T değeri dairesel havzalarda yüksek, uzunlamasına havzalarda ise düşük değerler gösterir (Özdemir, 2001). Alaca havzası tekstür oranı 0.6 olarak bulunmuştur. Bu oran yükseldikçe sahada yüzeysel akış ve buna bağlı olarak görülecek erozyon olayları artmaktadır. Araştırma sahasında 1. düzeydeki kolların oldukça fazla olduğu buna bağlı olarak sahada diğer şartların da uygun olduğu alanlarda erozyon miktarının yüksek olduğu görülmüştür.

3.7. Havza Reliefi

Havzada relief özelliklerinin ve havza eğiminin önemini belirten birçok çalışma yapılmıştır (Horton, 1945; Strahler, 1964; Baker vd., 1988). Havza reliefi havzanın maksimum yüksekliğinden minimum yüksekliğinin çıkarılması sonucu elde edilir (Tablo 5). Araştırma sahasının havza relief oranı 938.08'dir (Tablo 6). Relief değerinin artması daha dik yamaçların görülmesine ve eğimli yatağa sahip akarsuların artmasına yüzeysel akışın hızlanmasına ve taşkın değerlerinin yükselmesine sebep olur (Baker vd., 1988). Bu durum havzada güney kesimlerde yüksek değerler oluşmasına zemin hazırlamıştır. Buna bağlı olarak havza güneyinde erozyonel süreçlerin etkinliği daha yüksektir.

3.8. Engebelilik Değeri (Rn)

Engebelilik değeri (Rn) havzanın infiltrasyon sızma kapasitesi yüzeysel akış durumu ve erozyonel süreçler hakkında bilgi verir (Reddy vd., 2004). Havzada engebelilik fazla ise erozyonel faaliyetler için uygun bir ortamdır. Ayrıca yüksek engebelilik varsa yüksek sel riskinde söz konusudur (Baker vd., 1988). Alaca havzasında engebelilik değeri 375.23'tür. Arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemlerle güneydeki sahalarda engebeliliğe bağlı olarak aşınmanın güçlü olduğu görülmüştür. Fakat tek başına engebelilik değerlerinin yüksek olması erozyonun güçlü olması anlamına gelmemektedir. Araştırma sahası güneybatısında kalan bölgede engebelilik fazla olmasına rağmen buralarda toprağın tekstürel yapısına bağlı olarak infiltrasyon hızı yüksek olduğu için sular yüzeysel akışa geçmeden kaybolmaktadır. Ancak şiddetli sağanak yağmurlar olduğunda engebelilik suların yüzeysel akışa geçmesi açısından önem arz etmektedir.

3.9. Havza Şekli

Havzanın şekil özelliği akarsuların akım grafiğini doğrudan etkileyen parametrelerden biridir (Verstappen, 1983). Bunun için havzanın nas bir şekle sahip olduğu önemlidir. Havza uzun ve dar yan kollara sahipse bu kollardan ana akarsuya akım farklı zamanlarda ulaşmakta ve bu nedenle de taşkın riski az olmaktadır. Geniş ve yuvarlak şekilli havzalarda kollardan gelen akım ana kola neredeyse aynı anda ulaştığı için akım değerleri birden yükselmekte ve havzada sağanak yağışlar sonrasında taşkın meydana gelmektedir (Atalay, 1986).

Havza şekli ile ilgili farklı formüller ortaya konulsada havza uzunluğu, çevre uzunluğu alan gibi parametreler her formülde kullanılmıştır. Bu çalışmada CBS yardımı ile hesaplanmış formüller ve sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

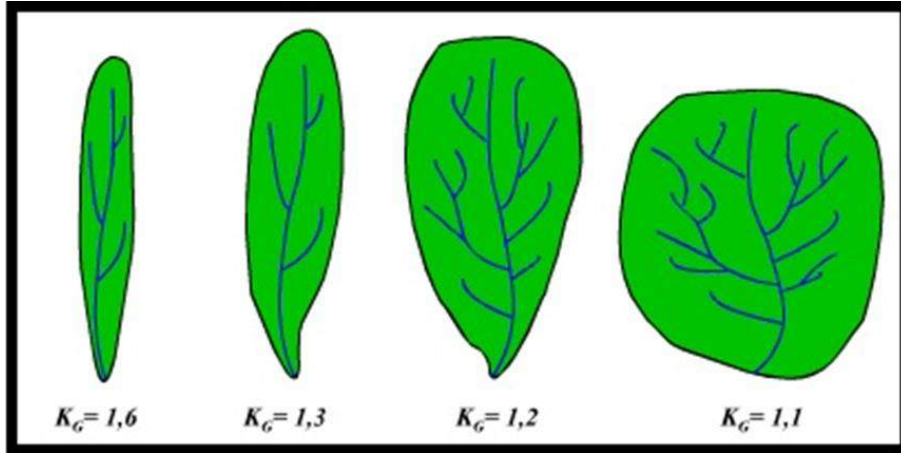
3.10. Şekil İndeks (Sw) Değeri

İnceleme alanında, şekil indeks (Sw) değeri 1.99'dur. Bu özellik havza alanı ile uzunluğu arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Alan büyüdükçe şekil faktörü küçülmekte, uzunluk arttıkça yükselmektedir.

3.11. Gravelius İndeks (Kc)

Gravelius indeksine göre; sonuç değer ne kadar küçükse havza o kadar dairesel bir görünüm arz eder (Hoşgören, 2001). Uzunlamasına ve dairesel havzalarda farklı Kc değeri ortaya çıkmaktadır (Şekil 4).

Buna göre Alaca havzasının değeri 0.06 'dır. Kc değerlerine ait şekillere baktığımızda en küçük Kc değerinden daha küçük olan havza değeri araştırma sahasının daireselliğinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Dairesel şekilli havzalarda, toplanma zamanı kısa olacağından, kısa sürede yüksek akımlar oluşacaktır (Veeranna vd., 2017). Yüksek akım görülen alanda ise erozyonel süreçlerin hızla gerçekleşmesi olağan bir durumdur. Alaca Havzası gravelius indeksi sonucuna göre dairesel görünümlü yüzeysel akışın daha etkin olduğu ve buna bağlı olarak yüzeysel erozyonun fazla olduğu havza tipine girmektedir. Bu bilgiler ile arazi çalışmalarındaki gözlemler birleştirildiğinde birbir örtüştüğü, havzada çizgisel erozyondan ziyade yüzeysel erozyonun daha etkili olduğu görülmüştür (Şekil 27).



Şekil 4. Farklı Kc değerlerine sahip havzalar (Musy, 2001). Bu şekillerden ince ve uzun olanlarda çizgisel erozyon, konkav ve oval olanlarda ise yüzey erozyonu daha şiddetli olmaktadır.

3.12. Uzunluk Oranı

Uzunluk oranı; havzanın infiltrasyonu ve yüzeysel akışı hakkında bilgi verir. Yüksek değerler geçirgenliğin fazla ve yüzeysel akışın az olduğunu, düşük değerler ise erozyonun yüksek olduğunu ve fazlaca malzeme taşındığını ortaya koyar (Reddy vd., 2004). Balcı ve Özyuvacı (1988) uzunluk değerinin 1 olmasının alçak topoğrafyayı temsil ettiği belirtmişlerdir. Havza genelinde Re 0.91'lik bir değer göstermektedir (Tablo 4). Bu durum havzanın dairesel şeklini doğrulamaktadır. Öte yandan havza genelinde olmasa da yüksek kesimlerde ve eğimli sahalarda erozif etkilerin fazla olduğunda arazi çalışmalarında gözlenmiş buralardaki alt havzaların uzunluk oranlarının daha düşük değerler göstereceği düşünülmektedir.

3.13. Form Faktörü

Form faktörü düşük havzalar; yan kollardan kısa sürede gelen akımla, uzun süreli yüksek ana akımın görüleceği bir şekil özelliği gösterir. Form faktörü yüksek ise uzun sürede yan kollardan gelen yüksek akımla, kısa süreli düşük ana akımın görüldüğü ve kısa süreli maksimum akıma neden olan bir şekil ortaya çıkar (Reddy vd., 2004; Biswas vd.,1999).

Havza form faktörü 0,89'dur. Bu değer havzada yan kollardan gelen yüksek akımla, kısa süreli maksimum akımlara neden olan bir şekle sahiptir. Bu da akarsuda zaman zaman taşkınlar olabileceğini göstermektedir. Bu durum ani yükselimlerle birlikte şiddetli bir malzeme taşımına işaret etmektedir. Akarsu yataklarında bol miktarda görülen çakıl depolarıda bu durumu doğrular niteliktedir.

Tablo 2. Alaca havzası akarsu ağı ve reliefi

Havza Formül	Çevre Uzunluğu (km)	Havza Alanı (km ²)	Havza Uzunluğu (km)	Maksimum Yükseklik	Minimum Yükseklik (m)	Akarsu Dizinleri					Toplam Dizin Sayısı	Toplam Dizin Uzunluğu
						1	2	3	4	5		
(P)	(A)	(L)	(H Max.)	(H Min.)							(ΣNu)	(ΣL)
Alaca Havzası	202.608	1648	57.30	1762.37	824.29	124	5	2			185	693.36

Tablo 3. Topoğrafya haritasından üretilmiş akarsu ağı ve reliefi

Dizin Çatallanma Oranı	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	Tekstür Oranı	Havza Reliefi	Engbelilik Değeri
2.7 3.7 4 3 3.3	0.4	0.1	0.6	938.08	375.23

Tablo 4. Alaca havzası şekil analiz tablosu

	Çevre Uzunluğu	Havzanın Max. Uzunluğu	Havza Uzunluğu	Yatak Uzunluğu (havza ortasından ağza)	Şekil İndeksi	Gravelius İndeksi	Uzunluk Oranı	Form Faktörü
Alaca Havzası	202.608	42.8	57.30	15.7	1.99	0.06	0.91	0.89

4. Sonuç

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesi, Orta Kızılırmak Bölümü kuzey kesiminde bulunmaktadır. Araştırma sahası Alaca havzasının tamamından oluşmaktadır. Havza Yeşilirmak'ın su toplama havzasında bulunmaktadır. Araştırma alanı Alaca Çayı tarafından drene edilmektedir. Alaca havzasının toplam alanı 1656.4 km²'dir. Araştırma sahası yükselti değerleri 825 m ile 1726 m arasında değişmektedir.

Akarsu havzasında yapılan morfometrik analizler sonucunda; çatalanma oranına göre birinci dizinlerin bulunduğu sahalarda erozyonel şekillerin yaygın olduğu görülmüştür. Havza genelinde Drenaj yoğunluğu (Dd) değeri 0.4'tür. Alaca havzasının alansal büyüklüğüne rağmen yoğunluğun düşük olması, yüzey sularının hızlıca infiltre olmasına uygun zemin olduğu sonucunu ortaya koymuştur. İmamoğlu vd., (2016) yaptıkları çalışmada da sahada aşınım değeri ile tekstürel özellikler arasında yüksek önem tespit etmiştir. Alaca havzası tekstür oranı 0.6 olarak bulunmuştur. Bu oran yükseldikçe sahada yüzeysel akış ve buna bağlı olarak görülecek erozyon olayları artmaktadır. Havzanın yükselti ve eğim değerlerinin arttığı yerlerinde erozif faaliyetler artarken havza şekline bağlı olarak özellikle eğim değerlerinin düştüğü yerlerde erozyon miktarı düşüktür. Bu durum arazi çalışmaları sırasında kontrol edilmiş ve sahada İmamoğlu vd. (2017) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile de uyum gösterdiği görülmüştür. İnfiltrasyonun yüksek olmasına rağmen, engebeli yerlerde şiddetli sağanak yağışlar sonrasında yüzeysel akışa geçen sular erozyona sebep olmaktadır. Havzanın yuvarlak şekline bağlı olarak zaman zaman sağanak yağışlar sonrasında akarsu seviyesi aniden yükselmekte ve şiddetli erozyon yaşanmaktadır. Dairesel görümlü havzalarda yüzeysel akışın daha etkin olduğu buna bağlı olarak yüzeysel erozyonun çizgisel erozyona göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Havza genelinde olmasa da yüksek kesimlerde ve eğimli sahalarda erozif etkilerin fazla olduğu görülmüş, buralardaki alt havzaların uzunluk oranlarının düşük değerlere sahip olacağı öngörülmüştür.

Burada elde edilen sonuçlar arazi çalışmaları sırasında incelenmiş ve doğrulukları sahada test edilmiştir. Bu çalışma erozyonel süreçlerinin incelenmesi konusunda morfometrik indislerin önemini ortaya koymaktadır.

Kaynakça

- Agarwal, C.S. (1998). Study of Drainage Pattern Through Aerial Data İn Navgarh Area Of Varanasi District, U.P. Journal Indian Society of Remote Sensing, 26: 169-175.
- Altıparmak, S. ve Türkoğlu, N. (2018). Yakacak Çayı Havzasının (Hatay) Morfometrik Analizi. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 58(1), 353-374.
- Atalay, İ. (1986). Uygulamalı hidroğrafya. Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 38, İzmir.
- Avcı, V. ve Sunkar, M. (2017). Jeomorfik İndislerle Varto Havzası'nda (Muş) Tektonik Aktivitenin Belirlenmesi. Türk Coğrafya Kurumu 75. Kuruluş Yılı Kongresi Tam Metin Bildiriler Kitabı (s. 730 - 742). Ankara: Türk Coğrafya Kurumu.
- Avcı, V. ve Günek, H. (2015). Uludere Havzası'nın (Bingöl) Jeomorfolojik Özelliklerinin Belirlenmesinde Morfometrik Analizlerin Kullanımı. Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi(21), 745-766.
- Aydın, A. (2008). Büyük Menderes nehri sağ sahil derelerindeki sel kontrol çalışmalarının irdelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bahadır, M., Uzun, A., Zeybek, H.İ. ve Hatipoğlu, İ.K. (2017). Terme Çayı Havzası'nın Morfometrik Analizi, (Ed) Yılmaz, C., Terme Araştırmaları, Serander Yayınları, Trabzon.
- Bahadır, M. ve Özdemir, M. A. (2011). Acıgöl Havzası'nın Sayısal Topoğrafik Analiz Yöntemleri İle Morfometrik Jeomorfolojisi. Journal of International Social Research, 4(18).
- Baker, V.R. Kochel, R.C., Paton, P.C. (1988). Flood Geomorphology. John Wiley & Sons, USA.
- Balci, N., Özyuvacı, N. (1988). Havza Amenajmanı II. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yüksek Lisans Ders Notları, İstanbul.
- Bharadwaj A.K., Pradeep. C., Thirumalaivasan D., Shankar C.P., Madhavan N. (2014). Morphometric Analysis Of Adyar Watershed. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 71-77.
- Biswas, S., Sudhakar, S. and Desai V.R. (1999). Prioritisation Of Subwatersheds Based On Morphometric Analysis Of Drainage Basin: A Remote Sensing And GIS Approach. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 27, No:3, p. 155-166.
- Cürebal, İ. (2004). Madra Çayı'nın Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı:11, 11-24.
- Elbaşı, E., Özdemir, H. (2018). Marmara Denizi Akarsu Havzalarının Morfometrik Analizi. Coğrafya Dergisi, 36, 63-84.
- Eraslan, S., İmamoğlu, A., Çoşkun, A., Saygın, F. ve Dengiz, O. (2017). İnebolu Havzası Topraklarının Erozyon Duyarlılık Durumları ve Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü ile Olan İlişkinin Belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27(1), 95-108.

- Erol Görür, A., Karadeniz, C. (2018). Morfometrik Parametrelerin Havza Hidrolojisi Bakımından Değerlendirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 19(4): 447-454.
- Fural, Ş. (2018). Acısu Çayı'nın (Serik-Antalya) Drenaj Özelliklerinin Morfometrik Analizi, Jass Studies-The Journal of Academic Social Science Studies, Number: 72 Autumn III 2018, p. 541-556.
- Ghany, M.K.A. (2015). Quantitative Morphometric Analysis Of Drainage Basins Between Qusseir and Abu Dabbab
- Gravelius, H. (1914). Grundrifi Der Gesamten Gewässerkunde. Band I: Flufkunde (Compendium of Hydrology, vol. I.
- Hızal, A. (1984). Havza Fotoğrafları Yorumlamasının Havza Amenajmanı (Ova Deresi Havzası, Kocaeli) Çalışmalarında Uygulanma Olanaklarının Araştırılması. İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3144, Orman Fakültesi Yayın No: 341, İstanbul, s. 190.
- Horton, R.E. (1932). Drainage basin characteristics. Trans. American Geophysical Union 13: 350-361.
- Horton, R.E. (1945). Erosional Development Of Stream And Their Drainage Basin. Hydrogeological Approach To Quantitative Morphology, Bulletin of Geological Society of America, 56: 275-361.
- Hoşgören, M. Y. (2001). Hidroğrafyanın Ana Çizgileri I- Yeraltıları- Kaynaklar- Akarsular. İstanbul, Çantay Kitabevi.
- Hoşgören, M. Y. (2004). Hidroğrafyanın ana çizgileri II, Göller. Çantay Kitabevi, ISBN 975-7206-85-7. İstanbul.
- İmamoğlu, A. (2016). Alaca Havzası'nın Eroz-yon Risk Değerlendirmesi ve Planlaması, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Samsun.
- İmamoğlu, A., Bahadır, M. ve Dengiz, O. (2016). Çorum Alaca Havzasında Toprak Erozyon Duyarlılık Faktörünün Farklı Enterpolasyon Modelleri Kullanılarak Konumsal Dağılımlarının Belirlenmesi. Toprak Su Dergisi, 5(1).
- İmamoğlu, A., Bahadır, M. ve Dengiz, O. (2017). Alaca Havzasında Uygulanan Rusle Erozyon Modelinde, C Faktörünün (Arazi Örtüsü /Arazi Kullanımı) Zamansal Değişimi ve Toprak Kaybına Etkisi, International Journal of Social Science, Number: 61 , p. 321-336.
- Keller, E.A. ve Pinter, N. (2002). Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Köle, M. M. (2016). Devrez Çayı Vadisinin Tektonik Özelliklerinin Morfometrik İndisler İle Araştırılması. Coğrafya Dergisi, (33), 20-36.
- Kumar, R., Lohani, A.K., Nema, R.K., Singh, R.D. (2000). Evaluation of Geomorphological characteristics of catchment using GIS. GIS India, 9 (3): 13-17.
- Magesh, N.S., Chandrasekar, N. (2014). GIS Model-Based Morphometric Evaluation Of Tamiraparani Sub-Basin, Tirunelveli District, Tamil Nadu, India. Arab J. Geosci, 7: 131-141.
- Maidment, D.R. (2002). ArcHydro GIS For Water Resources. Esri Press, California.
- Martins, A. K., Gadiga, B. L. (2015). Hydrological and Morphometric Analysis Of Upper Yedzaram Catchment of Mubi in Adamawa State, Nigeria. Using Geographic Information System (GIS), World Environment 5(2): 63-69.
- Morisawa, M. (1968). Streams: Their Dynamics And Morphology. New York: McGraw Hill.
- Musy, A. (2001). Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne, Suisse.
- Özdemir, H and Bird, D. (2009). Evaluation of Morphometric Parameters Of Drainage Network Drived From Topographic Maps And DEM İn Point Of Flood. Environmental Geology 56, 1405-1415.
- Özdemir, H. (2001). Havza Morfometrisi Ve Taşkınlar. Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistemik ve Bölgesel Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, Sayı: 6, s. 507-526.
- Özdemir, H. (2007). Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın Ve Heyelan Risk Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar, Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistemik ve Bölgesel, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, 5, 507-526, İstanbul.
- Özsahin, E. (2008). Keçidere (Gönen Çayı'nın bir kolu) Havzasının Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5 (10): 301-317.
- Rai, P.K., Chandel, R.S., Mishra, V.N, Singh, P. (2018). Hydrological İnferences Through Morphometric Analysis Of Lower Kosi River Basin Of India For Water Resource Management Based On Remote Sensing Data. Applied Water Science, 8:15,
- Reddy, G.P. O., Maji A.K., Gajbhiye K.S. (2002). GIS For Morphometric Analysis Of Drainage Basins. GIS India, 4: 9-14.
- Ritter, D.F., Kochel, R.C., Miller, J.R. (2002). Process geomorphology. Fourth Edition, McGraw- Hill.
- Sreedevi, P.D., Sreekanth, P.D., Khan, H.H., Ahmed, S. (2013). Drainage Morphometry And İts İncidence On Hydrology İn A Semi-Arid Region: Using SRTM Data And GIS. Environmental Earth Sciences, 70(2):839-848.
- Strahler, A.N. (1964). Quantitative Geomorphology Of Drainage Basins And Channel Networks. In: V. T. Chow (Ed.) New York: McGraw Hill, Handbook of Applied Hydrology, pp. 4-76
- Tarboton, D.G., Bras, R.L. and Rodriguez-Iturbe, I. (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. Hydrological Processes. Volume: 5, 81-100.
- Turoğlu, H. (1997). İyidere Havzasının Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım. Türk Coğrafya Dergisi, Sayı:32, İstanbul, s. 355-364.
- Turoğlu, H. (2016) Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları (Genişletilmiş 4. Baskı). ISBN 987-975-9060-51-0, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Turoğlu, H. ve Aykut, T. (2019). Ergene Nehri Havzası için Hidromorfometrik Analizlerle Taşkın Duyarlılık Değerlendirmesi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, (2), 1-15.
- Turoğlu, H. (2007). Flood And Flash Flood Analysis For Bartın River Basin Management, 22-24 Mart, Antalya-Türkiye, http://www2.dsi.gov.tr/english/congress2007/chapter_4/113.pdf
- Utlu, M. ve Özdemir, H. (2018) Havza Morfometrik Özelliklerinin Taşkın Üretmedeki Rolü Biga Çayı Havzası Örneği, Coğrafya Dergisi - Journal of Geography, 36, pp. 49-62.

- Uzun, M. (2014). Lale Dere (Yalova) Havzası'nın Jeomorfolojik Özelliklerinin Jeomorfometrik Analizlerle İncelenmesi, *Route Educational and Social Science Journal*, 1(3), October.
- Veeranna, J., Gouthami, K., Yadav, P. B., Mallikarjuna, V.R. (2017). Calculating Linear And Areal And Relief Aspect Parameters Using Geo-Spatial Techniques (ArcGIS 10.2 and SWAT model) for Akkeru River Basin Warangal. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (10): 1803-1809.
- Verstappen, H. (1983). *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier, New York.
- Withanage, N.S., Dayawansa, N.D.K., De Silva R.P. (2014). Morphometric Analysis Of The Gal Oya River Basin Using Spatial Data Derived From GIS. *Tropical Agricultural Research*, 26 (1), 175-188.



Treatment of Fizzy Drink Factory Wastewaters by Microalgae and Evaluation of Algae Oil for Biofuel Production

Togayhan Kutluk¹, Nurcan Kapucu^{2*}

¹ Kocaeli University, Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0001-7249-9902)

² Kocaeli University, Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department, Kocaeli, Turkey (ORCID:0000-0002-5542-7816)

(First received 4 Şubat 2020 and in final form 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.684478)

ATIF/REFERENCE: Kutluk, T. & Kapucu, N. (2020). Treatment of Fizzy Drink Factory Wastewaters by Microalgae and Evaluation of Algae Oil for Biofuel Production. *European Journal of Science and Technology*, (18), 879-884.

Abstract

As a result of city, industrial and agricultural activities, a large amount of wastewater is generated every year. The wastewater generated must be treated. When the nitrogen concentration in wastewater reaches more than 1.9 mg/L, favorable environmental conditions are provided for the microalgae to multiply. In the presence of microalgae in wastewater treatment technologies, treatment has gained importance in recent years and has become a more environmentally-friendly alternative in treatment. Research on the availability of biomass as a source of raw materials in the production of alternative energy sources is increasingly important. In this paper, *Chlorella variabilis* microalgae growth, lipid productivity and nutrient removal in wastewater media were investigated. Before the inoculation of microalgae, wastewater was centrifuged at 4000 rpm to remove the solid particles and was diluted with tap water in different ratios (0-40%). Wastewaters were inoculated with *Chlorella variabilis* in 250 mL open flasks in a 200 rpm shaking incubator for a month at 27 °C. After incubation maximum cell concentration ($X_{max}=1.03$ gdw/L), growth rate ($\mu_{max}=4.0 \times 10^{-3} h^{-1}$), and doubling time (173 h) of the microalgae were reached in 40% diluted medium. Fat content (21%) and lipid productivity (6×10^{-3} g/L.d) were determined concurrently for 20% diluted media. It was determined that microalgae lipids were rich in oleic (C18:1, 38%) and linolenic acid (C18:3, 35%). The efficiency of COD (Chemical oxygen demand) and total phosphor removal in the presence of microalgae had been almost 60% and 77% respectively. According to the experimental results, the treatment of wastewater in the presence of microalgae is promising for future applications.

Keywords: Algae oil, Fizzy drink, Microalgae, Wastewater

Gazlı İçecek Endüstri Atık Suyunun Mikroalg ile Muamelesi ve Mikroalgal Yağın Biyoyakıt Üretimi için Değerlendirilmesi

Öz

Şehir, sanayi ve tarım faaliyetleri sonucunda her yıl büyük miktarlarda atık su üretilmektedir. Üretilen atık sular arıtılmalıdır. Atık suda varolan azot derişimi 1,9 mg/L değerinin üzerine çıktığında, mikroalglerin çoğalması için uygun çevresel koşullar sağlanır. Atıksu arıtma teknolojilerinde mikroalg varlığında arıtma, son yıllarda önem kazanmış ve arıtmada daha çevre dostu bir alternatif haline gelmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının üretiminde hammadde kaynağı olarak biyokütlenin bulunabilirliği üzerine araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, atık su ortamlarında *Chlorella variabilis* mikroalg büyümesi, lipit üretkenliği ve nütrient giderimi araştırılmıştır. Mikroalglerin aşılmasından önce atık su, katı parçacıkların uzaklaştırılması amacıyla 4000 rpm koşulunda santrifüjlenmiş ve farklı oranlarda (%0-40) musluk suyu ile seyreltilmiştir. Farklı oranlarda seyreltilmiş olan atıksular, 250 mL hacimli ağzı açık olan şişeler içinde *Chlorella variabilis* mikroalgi ile aşılansmış, 27 °C sıcaklık ve 200 rpm çalkalama hızına sahip olan inkübatörde, bir ay süre boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucunda maksimum mikroalg derişimi ($X_{max} = 1.03$ gdw/L), hücre büyüme miktarı ($\mu_{max} = 4.0 \times 10^{-3} h^{-1}$) ve mikroalglerin ikiye katlanma süresine (173 saat) % 40 oranında musluk suyu ile seyreltilmiş olan atık su ortamında ulaşılmıştır. Mikroalgal biyokütleden elde edilen lipit yağ içeriği (% 21) ve lipit üretkenliği (6×10^{-3} g/L.d), % 20 oranında seyreltilmiş atık su ortamı için eşzamanlı olarak belirlenmiştir. Mikroalg lipidlerinin oleik asit (C18:1, % 38) ve linolenik asit (C18:3, % 35) bakımından zengin olduğu tesbit edilmiştir. Mikroalglerin varlığında Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve toplam fosfor giderimi etkinliği sırasıyla, yaklaşık olarak % 60 ve % 77 değerinde olmuştur. Deney sonuçlarına göre, atık suyun mikroalglerin varlığında arıtımı gelecekteki uygulamalar için umut vericidir.

Anahtar Kelimeler: Alg yağı, Atık su, Gazlı içecek, Mikroalg

* Corresponding Author: Kocaeli University, Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department, Kocaeli, Turkey, ORCID:0000-0002-5542-7816, nurcan.kapucu@kocaeli.edu.tr

1. Introduction

The rapid increase in the human population has led to industrial development, which represents a vital factor in the economic development of countries. In research conducted; It is stated that the increase in wastewater in developing countries is related to population growth. The wastewater from agricultural and industrial sources has significant organic matter content. Some wastewater also contains oil, grease, heavy metals and toxic chemicals. Most of the industrial wastewater needs to be treated to protect human health from environmental pollution and to ensure the safety of water resources (Girard et al, 2014). Effective treatment is very costly to relevant industry organizations. Therefore, in the treatment of such wastes, which is the most important problem of many industrial organizations today; Extensive scientific studies are carried out for the treatment processes that will provide convenience in economically cheap and environmentally friendly applications. Three types of methods are generally used for the treatment of wastewater; physical treatment, chemical treatment, and biological treatment. Biological treatment is an environmentally friendly process according to other methods. The legal regulations of governments today and the development of more environmentally friendly processes have increased the importance of biological treatment (Li et al, 2013). Therefore, industrial wastewater treatment by microalgae has gained great importance recently in the reduction of high organic compounds and heavy metals. At the same time, this technology is also capable of producing biofuels as an alternative energy source in the form of biodiesel, bioethanol, and biogas. Microalgae are used in wastewater treatment as part of new breeding technology compared to conventional wastewater treatment processes (Abinandan & Shanthakumar, 2015). Microalgae can be grown in industrial wastewater. Industrial wastewater contains sufficient amounts of phosphorus and ammonia necessary for the growth of the microorganism. Although some wastewater has a high content of heavy metals, and also this kind of metals has negative effects on microalgae growth, they can be removed by pretreatments (dilution, precipitation, etc.) in wastewater. Some studies are investigating the treatment of different industrial wastewater with different types of microalgae in the literature. In their study, Wu et al. investigated the possibility of microalgae removal of nitrogen and phosphorus from industrial wastewater. *Chlamydomonas* cells removed approximately 95% of the ammonium from the wastewater in the second day of treatment. Ammonium removal was determined to be 19.2 mg /L.d. After 10 days of purification, approximately 33% of the phosphorus was removed (Wu et al, 2012). Hongyang et al. have determined that COD is eliminated in approximately 70% yield in the presence of microalgae (*C. pyrenoidosa*) of soybean wastewater. At the same time, 90% ammonia removal was achieved by treatment of pig farm wastewater in the presence of the same type of microalgae (Hongyang et al, 2011). Li et al. investigated the treatment of citric acid production plant wastewater in the presence of *C. vulgaris* C9-JN2010 type microalgae. After 20 days of treatment, 90% COD provided nitrogen and phosphorus removal. Also, 95% of the total organic carbon (TOC) contained in the wastewater has been eliminated (Li et al, 2013). When the literature is examined, there is no study investigating the treatment potential of wastewater in the presence of *Chlorella variabilis* microalgae. In this study, *Chlorella variabilis* microalgae growth, lipid productivity and nutrient removal in wastewater media were investigated. At the same time, the availability of microalgae oil as a raw material for biofuel production was evaluated.

2. Material and Method

2.1. Materials

The wastewater is supplied from a local fizzy drink factory. Microalgae specie (*Chlorella variabilis*) was donated from the Department of Molecular Biology and Genetics of Istanbul Civilization University. *Chlorella variabilis* strain stock culture was cultivated in Blue Green Medium (BG 11) in tap water. The chemical composition of this medium was (g/L); NaNO₃, 1.5; KH₂PO₄, 0.04; MgSO₄.7H₂O, 0.075; CaCl₂.2H₂O, 0.036; H₃BO₃, 0.0029; Na₂CO₃, 0.02; Fe(III)citrate, 0.006; citric acid 0.006. The chemicals used in the study were in analytical purity. Osram brand LED with the light intensity value of 3 Klux, were used for the light source.

2.1. Microalgae cultivation in wastewater media

Microalgae strain was cultured at INNOVA 40 shaker incubator, at 27 °C rpm and 200 rpm shaking rate. In 250 ml flasks, 6 ml of *Chlorella variabilis* was inoculated into 200 ml of diluted wastewater. The solid impurities were precipitated and removed by centrifugation at 4000 rpm for 20 minutes from wastewater before using as culture media. Then it was diluted with tap water in different ratios (0-10-20-30-40-50%). The pH values of the culture media were initially measured as approximately 6.05. The cultures were aerated by naturally from the surface.

2.3. Determination of cell concentration

The cell concentration and growth was determined spectrophotometrically at 680 nm using Jenway 6800 UV Vis. Spectrophotometer. The growth rates of cultures were determined by using equation 1:

$$\mu_{max} = \frac{\ln(x_2 - x_1)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

where X is the cell concentration (g/L), t is the time (h). The maximum growth rate (μ_{max}) is the growth rate obtained during the logarithmic phase of the growth plots. The time required to double the microbial mass (τ_d) is given by equation 2:

$$\tau_d = \frac{\ln 2}{\mu_{max}} = \frac{0.693}{\mu_{max}} \quad (2)$$

After the treatment, microalgae were harvested by centrifugation at 5000 rpm for five minutes.

2.4. Determination of lipid contents

The lipid content of the microorganism was analyzed according to the method of Dyer (Bligh & Dyer, 1959). The lipid productivity of the microorganism (g/L.day) is called grams of lipid, which can be produced per day per liter. The lipid productivity of the *Chlorella variabilis* was calculated as a result of thirty-three days of incubation.

2.5. Determination of COD and total phosphor

After treatment, Chemical Oxygen Demand (COD) and total phosphor contents in wastewater were determined by using the UV-VIS spectroscopic technique, in the presence of Hach Lange LCK kits 514 and 349 respectively. COD removal was determined by using equation 3:

$$COD \text{ Removal } \% = \frac{COD_o - COD}{COD_o} \quad (3)$$

where COD_o is pre-treatment COD value and COD is post-treatment COD value. The same calculation is valid for total phosphorus removal.

2.5. Determination of fatty acid composition

The fatty acid composition was determined using a GC 7820 Agilent gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (FID) and a 30 m x 320 μm x 0.25 μm capillary column (CARBOWAX 20M) according to the Davit et al. Agilent Application note (David et al, 2005). The composition of the fatty acid was determined by comparing the peak area of the fatty acid to the total peak areas of the fatty acids.

Sample preparation: 0,1 gr of oil dissolved in n-heptane with %99 purity and mixture adding 0,1 N KOH solution for obtaining derivated fatty acids methyl esters. The injection volume was 1 μl into the GC. No internal standard was used.

Oven conditions: After waiting for 1 minute at 50 °C, it was reached at 200°C with an increase of 25°C per minute, and 230°C with an increase of 3°C per minute and kept for 18 minutes at this temperature. Then, it increased to 280°C with an increase of 40°C per minute and the analysis was terminated by waiting for 3 minutes at this temperature. The total analysis time takes 35 minutes. Helium was used as a carrier gas.

3. Results and Discussion

Microalgae make photosynthesis by using light. The light distribution in the growth environment is desired to be good. Wastewater is often dirty dark color. On the other hand, the higher opacity of wastewater occasioned stress conditions, limiting light penetration and thus directly affecting photosynthesis (Magri et al, 2013; Lavine et al, 2011). The effect of different dilution rates of wastewater medium on the growth of *Chlorella variabilis* microalgae are shown in Figure 1. Microalgae growth was observed in all culture media, and the highest cell concentration (1.03 g/L) was reached in undiluted culture media. Figures 2 shows the pH changes in these culture media. The pH increases when the microalgae use nitrate in the culture medium. Initially 6, the pH value increased up to 236th hour and reached to 9.5, then remained stable around this value until the end of the runs.

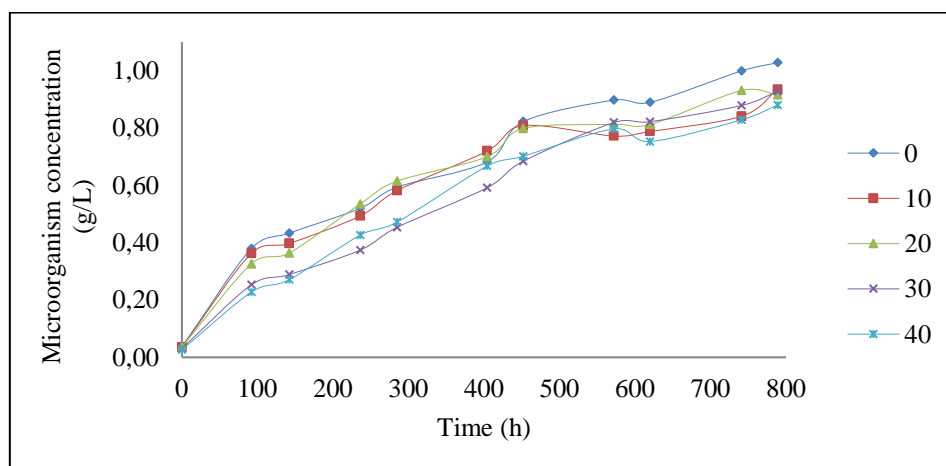


Figure 1. Microorganism growth curve under different dilution rates

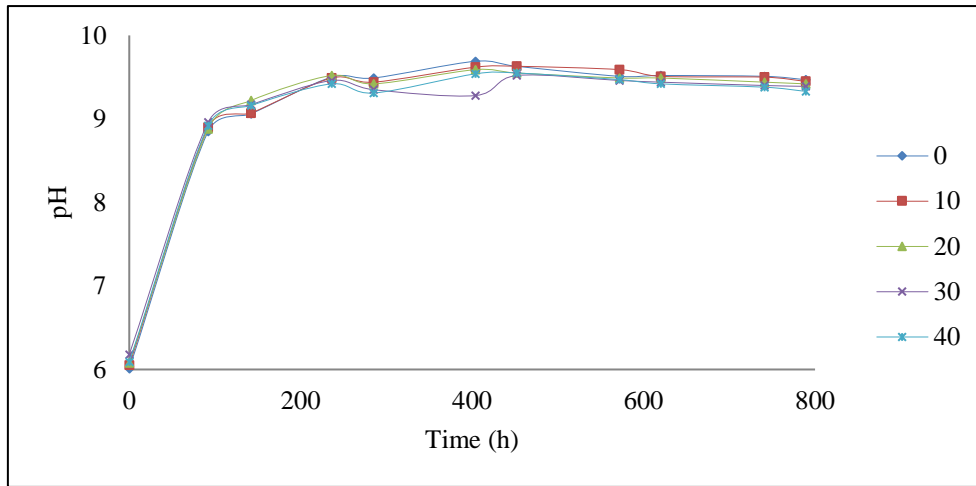


Figure 2. pH changes in cultures under different dilution rates

Table 1 shows that the properties of microorganisms grown at different dilution rates in wastewater media. The maximum growth rate ($\mu_{max} = 0.004 \text{ h}^{-1}$) and the doubling time (173 hours) were obtained a 30% dilution rate. The highest lipid content (21%) and lipid productivity ($6 \times 10^{-3} \text{ g/L.d}$) were achieved in the presence of 20% dilution in wastewater. According to the experimental results, while dilution did not significantly affect proliferation, it affected lipid content and lipid productivity. In this study, for the first time in the literature, wastewater treatment potential and also lipid productivity of *Chlorella variabilis* microalgae were investigated.

Table 1. Obtained experimental data in wastewater microalgal treatment

Dilution rate	X_{max}	μ_{max}	Doubling time	Lipid content	Lipid productivity
(%)	(g/L)	h^{-1}	(h)	(%)	$\text{g/L.d} \times 10^{-3}$
0	1.03	0.0026	266	3.70	1
10	0.93	0.0034	203	11.00	3
20	0.92	0.0029	239	21.00	6
30	0.93	0.0040	173	14.23	4
40	0.88	0.0030	181	14.60	3

The fatty acid profile of the microalgal lipid, cetane number of these fatty acids and their usability as a raw material in biodiesel production was also investigated. The fatty acid composition of *Chlorella variabilis* grown at 20% diluted media is given in Table 2. It was determined that microalgae lipids were rich in oleic (C18:1, 38%) and linolenic acid (C18:3, 35%). Cetane number is an expression of fuel ignition quality. Fuel with a high cetane number can easily ignite and burn quickly. The cetane number of biodiesel is higher than that of diesel fuel and the number of cetane increases as the number of carbon of fatty acids increases (Klopfenstein, 1985; Gopinath ET AL, 2009). The amount of cetane in biodiesel varies between 55 and 75. The cetane number of oil obtained from microalgae was calculated as 56.2 bu using equation 4. It can be said that it is suitable as a raw material for biodiesel production.

$$CN = 58.1 + \frac{2.8(n - 8)}{2} - 15.9 \times \text{number of double bonds} \quad (4)$$

where n is carbon (C) number.

Table 2. Fatty acid composition of *Chlorella variabilis* grown at 20% diluted media

Fatty acid	Composition %
C16:0 Palmitic	16.41
C17:0 Margaric	2.02
C17:1Heptadecanoic	4.98
C18:0 Stearic	2.75
C18:1 Oleic	37.24
C18:2 Linoleic	1.05
C18:3 Linolenic	34.63
C20:1Eisoneic	0.92

COD (mg/L) and total phosphor (mg/L) removal achieved at the end of 33 days of treatment is illustrated in Table 3, and Table 4, respectively. The efficiency of COD and total phosphor removal in the presence of microalgae had been almost 60%, and 77% respectively. In literature, after 10 days of industrial wastewater purification, approximately 33% of the phosphorus was removed using *Chlamydomonas* cells [4]. In another study, COD is eliminated in approximately 70% yield in the presence of microalgae (*C. pyrenoidosa*) of soybean wastewater [5]. It was investigated that the COD removal of citric acid production plant wastewater in the presence of *C. vulgaris* C9-JN2010 type microalgae, and it was found to be 90%, after 20 days of treatment (Li et al, 2013).

Table 3. Concentrations (mg/L) COD before and after microalgae treatment, and COD removal

Dilution %	COD ₀ (mg/L)	COD	COD removal %
0	4250	1620	62
10	3825	1570	59
20	3400	1600	52
30	2975	1530	49
40	2550	1470	42

Table 4. Concentrations (mg/L) total phosphor before and after microalgae treatment and total phosphor removal

Dilution %	P ₀ (mg/L)	P (mg/L)	P removal %
0	14.50	3.38	77
10	13.05	3.00	77
20	11.60	3.18	73
30	10.15	2.62	74
40	8.70	2.32	73

4. Conclusions and Recommendations

In this study treatment ability and lipid productivity of microalgae *Chlorella variabilis* in fizzy drink wastewater media have been investigated. After treatment, COD and total phosphor removal had been almost 60% and 77%, respectively, in the presence of *Chlorella variabilis*. Also, up to 22% of microalgal lipids by dry weight of microalgae were obtained at the end of the treatment. From the obtained experimental data, it is possible to draw some conclusions on this study;

- ✓ A certain effect of the dilution in the wastewater media for microalgal treatment was not observed on growth, but it affected lipid content and lipid productivity. Microalgae are useful for wastewater treatment.
- ✓ Obtained lipids after treatment from microalgae paste are promising to use as raw materials in the production of biodiesel according to the cetane number of *Chlorella variabilis* oil.

4. Acknowledge

The authors thank the Pakmaya Environmental Laboratory for COD and total phosphorus analysis.

References

- Abinandan, S., Shanthakumar, S. (2015). Challenges and opportunities in application of microalgae (*Chlorophyta*) for wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 123–132.
- Bligh, E.G., Dyer, W.J. (1959). A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37, 911-917.
- David, F, Sandra P, Vickers, A.K. (2005). Column selection for the analysis of fatty acids methyl esters. *Application Agilent Technologies Inc.*
- Girard, J-M., Roy, M-L., Hafsa, B.M., Gagnon, J., Faucheux, N., Heitz, M., Tremblay, R., Deschenes, J-S. (2014). Mixotrophic cultivation of green microalgae *Scenedesmus obliquus* on cheese whey permeate for biodiesel production. *Algal Research*, 5, 241–248.
- Gopinath, A, Puhan, S, Nagarajan, G. (2009). Relating the cetane number of biodiesel fuels to their fatty acid composition: A critical study. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 223, 565-583.
- Hongyang, S., Yalei, Z., Chunmin, Z., Xuefei, Z., Jinpeng, L. (2011), Cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* in soybean processing wastewater. *Bioresource Technology*, 102(21), 9884-9890.
- Klopfenstein, W.E. (1985). Effect of molecular weights of fatty acid esters on cetane numbers as diesel fuel. *Journal of American Oil Chemical Society*, 62, 1029– 1031.
- Levine, R. B., Costanza-Robinson, M.S., Spatafora, G.A. (2011). *Neochloris oleoabundans* grown on anaerobically digested dairy manure for concomitant nutrient removal and biodiesel feedstock production. *Biomass and Bioenergy*, 351, 40-49.
- Li, C., Yang, H., Xia, X., Li, Y., Chen, L., Zhang, M., Zhang, M., Wang, W. (2013). High efficient treatment of citric acid effluent by *Chlorella vulgaris* and potential biomass utilization. *Bioresource Technology* 127, 248–255.
- Magri, A., Beline, F., Dabert, F. (2013). Feasibility and interest of the anammox process as the treatment alternative for anaerobic digester supernatants in manure processing: An overview. *Journal of Environmental Management*, 131, 170-184.
- Wu, L.F., Chen, P.C., Huang, A.P., Lee, C.M. (2012). The feasibility of biodiesel production by microalgae using industrial wastewater. *Bioresource Technology*, 113,14-18.



Pamuklu Kumaşın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Enzimatik Muamele Etkisinin Araştırılması

Şeyda Eyüpoğlu^{1*}, Nigar Merdan²

¹ İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4522-2056)

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7246-4849)

(İlk Geliş Tarihi 9 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.672653)

ATIF/REFERENCE: Eyüpoğlu, Ş. & Merdan, N. (2020). Pamuklu Kumaşın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Enzimatik Muamele Etkisinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 885-894.

Öz

Tekstil endüstrisinde, pamuklu kumaşların yüzeyindeki havları uzaklaştırmak için alazlama (yakma) işlemi yapılmaktadır. Son yıllarda pamuklu kumaşlara alazlama yerine enzimatik hav giderme işlemi uygulanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada enzimatik işlem uygulanmış pamuklu kumaşların özellikleri incelenmiştir. Enzimatik işlem numunelere boyamadan önce, boyama esnasında ve boyama işleminden sonra uygulanmıştır. Selüloz enzimi uygulanmış numunelere, enzimatik işlemden sonra klasik ve ultrasonik enerji yöntemi ile yıkamalar yapılmıştır. Ardından çalışmada kullanılan kumaşların beyazlık dereceleri, renk ölçümleri, yıkama, sürtünme, ter ve ışık haslığı ve boncuklanma özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, enzimatik işlem uygulanması ile birlikte numunelerin özelliklerinde iyileşmeler görülmüştür. Yıkamalarda ultrasonik enerjinin kullanımı ile enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enzimatik işlem, beyazlık derecesi, kolorometrik ölçümler, haslık değeri, boncuklanma.

Investigation of the Effect of Enzymatic Treatment on Some Physical and Chemical Properties of Cotton Fabric

Abstract

In textile industry, in order to remove of cotton nap, the scorching treatment has been carried out. In recent years, enzymatic nap removal treatment has been used to cotton fabrics instead of the scorching treatment. For this reason, in this study, the properties of cotton samples treated with enzymatic process were investigated. Enzymatic treatment was applied to the samples before, during and after dyeing process. After the enzymatic treatment, the samples were washed with convantional method and ultrasonic energy. After whitness index, colour measurement, washing, rubbing, perspiration and light fastness, and pilling properties of samples were investigated. According to the results, it was observed that properties of samples develop with enzymatic treatment. Using of ultrasonic energy in washing causes to energy saving.

Keywords: Enzymatic treatment, whitness index, colourometric measurement, fastness, pilling.

1. Giriş

Son yıllarda tekstil terbiyesinde çevre dostu üretim yaklaşımlarının kullanılması önemli bir konu haline gelmiştir. Enzimlerin tekstil terbiyesinde kullanımı çevre dostu üretim yaklaşımlarının başında gelmektedir. Bu işlemlerde kullanılan enzimler bakteri türünden elde edilen canlı organizmaların metabolik ürünlerinden oluşan biyokatalizatorlerdir (Stöhr, 2004). Amilaz; haşıl sökmede, katalaz; ağartmadan sonra hidrojen peroksitin uzaklaştırılmasında, lakkaz; kot kumaşlarda indigo boyarmaddenin uzaklaştırılmasında, peroksidaz; reaktif boyarmaddelerde kovalent bağlanmamış boyarmaddenin oksidasyonunda, lipaz; iplik

* İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4522-2056)

eğirmede yağların varlığında haşıl sökme işleminde, pektinaz; ham pamuk veya ketenin biyo temizlenmesinde, selüloz; jeans ve kot giysilerin enzimatik taş yıkanmasında ve mekanik etki ile lif yüzeyinden serbest fibril uçlarının uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Kumaş yüzeyinden çıkan lif uçları boncuklanma probleminin nedenidir. Terbiye işlemlerinden önce enzimatik işlemin uygulanması ile boncuklanma probleminin önlenmesi hedeflenmektedir. Selülozlar, *Aspergillus niger*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Fusarium solani*, *Trichoderma viride* dan elde edilmiş yüksek moleküllü koloidal proteinlerdir. Endüstriyel selülozlar, selüloz, sellobiaz ve ilgili enzimlerin tamamen düzgün olmayan bileşiklerinin kompleksleridir. Enzim katalizliğinde enzim-substrat kompleksi oluşturulur (selüloz- seluloz kompleksi). Selülozlar selulozun 1,4 β -glukozit bağlarını koparabilme yeteneğine sahiptirler (Galante ve Formantici, 2003; Buschle ve ark. 1999).

Araştırmacılar tekstil işlemlerinde çevre dostu üretim yaklaşımlarına yönelmiş ve çevre dostu üretimi, enzimlerin kullanımı ile gerçekleştirilebileceğine dair birçok araştırma yapmışlardır. Navone ve arkadaşları yün/polyester kumaş karışımlarının yeniden kullanılabilirliğinde enzimatik işlemlerin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu kapsamda, yün ve polyesteri ayırmak için yün/polyester karışımı kumaş keratinaz enzimi ile muamele edilmiş ve polyester elyaf geri kazandırılmıştır. Bu işlemle polyester elyaf, polyester ipliğe geri dönüştürülmeye ve yeni giysilerin imaltında kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Enzimatik işlemle ortaya çıkan keratin hidrolizat ise gübre ve hayvan yemi olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır (Navone ve ark. 2020). Bir diğer çalışmada oldukça hidrofobik olan indigo karmin boyanın boya sonrası banyoda lakkaz enzimi ile parçalanması incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre enzimlerin farklı yüzey aktif madde esaslı iyonik sıvılarla birlikte hidrofobik boyaların parçalanmasını iyileştirdiği sonucuna varılmıştır (Bento ve ark. 2020). Fritze ve arkadaşları sedir ağacı yaprağı peroksidaz enzimini karakterize etmişler ve tekstil sektöründe kullanılan boyaların parçalanmasında kullanımını araştırmışlardır. Elde edilen enzimin 50 °C-62 °C ve pH 5'de gayakolon substrat olarak kullanımında en yüksek aktiviteyi sergilediği sonucuna varılmıştır. Sedir yaprağı peroksidaz enziminin, tekstil boyaları içeren atık suların arıtılması için bir alternatif olabileceği belirtilmiştir (Fritze ve ark. 2020). Parajapati ve arkadaşları yün/polyester kumaş karışımına dekoratif efekt vermek için protaz enzimi kullanmışlardır. Kontrollü protaz enzimi işlemi, boyanmış yün/polyester kumaş karışımından yün elyafının uzaklaştırılmasını sağlamış ve kumaşta dekoratif bir efekt meydana getirmiştir. İşlem sonunda karışım kumaştaki yün elyafının %85'i uzaklaştırılmıştır (Prajapati ve ark. 2019). Bu çalışmalara ek olarak rami lifinin hidrofilleştirilmesinde ksilen-pektinolitik (Singh ve ark. 2020), keten lifinin eldesinde *Aspergillus niger* ve ksilen (De Prez ve ark. 2019), polyesterin polietilen tarafalat ve etilen glikole ayrılmasında *Humicola insolens* enzimi (Quartinello ve ark. 2017), ve boyarmaddelerin bozunmasında peroksidaz enzimi kullanılmıştır (Baumer ve ark. 2018).

Ultrasonik ses dalgaları 20kHz-20MHz arasındaki frekanslara sahiptir. Ultrasonik enerjinin gücü, kimyasal etkisini kaviteasyon yoluyla ortaya çıkarır. Herhangi bir ses dalgası gibi ultrasonik enerji de dalgalar yolu ile iletilmektedir. Bu dalgalar içinden geçmekte olduğu ortamın molekül yapısında sıkışma ve gevşemeler oluşturmaktadır. Sıvıya yeterli miktarda negatif basınç uygulandığında sıvıda parçalanma gözlenir ve kaviteasyon baloncukları oluşur. Birbirini takip eden sıkıştırma periyodlarında bu balonlar birbirine çarparak büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasına neden olur (Mason, 1998). Tekstil yaş işlemlerinde ultrasonik enerjinin kullanımı, işlem süresi, enerji ve kimyasal maddelerin tasarrufu ve ürün kalitesinin artırılması açısından yarar sağlamaktadır. Katı/sıvı ara yüzeyde oluşan kaviteasyon neticesinde sıvıdan katıya doğru kütle transferinde artış olmaktadır (Duran ve ark. 2006).

Ultrasonik enerjinin haşıl banyoları ve emülsiyon patlarının hazırlanmasında, haşıl sökme, bazik işlem ve ağartma işlemlerinde, boyama ve son yıkamalarda, enzimatik işlemlerde kullanılabilirliğine dair araştırmalar devam etmektedir. Ultrasonik yöntemde hidrojen peroksit ağartmasında işlem süresinin azaldığı ve beyazlık derecesinin düşük sıcaklıklarda çalışmaya rağmen arttığı (Mistik ve Yükselöglü, 2005), ham pamuğun pektinaz ile biyo temizlenmesinde malzemenin kopma dayanımı, ıslanabilirlik ve beyazlık derecesi üzerinde sonikasyonun olumlu etkileri olduğu (Yachmenev ve ark. 2001), klasik ve ultrasonik yöntem kombinasyonunun enzim tüketimini, işlem süresini ve lif hasarını azalttığı, ultrasonik enerjinin pamuğun enzimatik ön işlemlerinde kumaş dayanımını azaltmaksızın enzim etkisini önemli ölçüde geliştirdiği (Yachmenev ve ark. 1998; Karaboğa ve ark. 2007; Yachmenev ve ark. 2004) belirtilmektedir.

Bu çalışmada enzimatik işlem pamuklu kumaş numunelerine boyamadan önce, boyama esnasında ve boyama işleminden sonra uygulanmıştır. Selüloz enzimi uygulanmış numunelere, enzimatik işlemden sonra klasik ve ultrasonik enerji yöntemi ile yıkamalar yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra numunelerin beyazlık dereceleri, renk ölçümleri, yıkama, sürtünme ter ve ışık haslığı ve boncuklanma özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kumaş

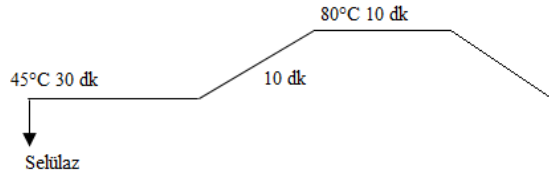
Bu çalışmada %100 pamuk ipliğinden elde edilen pamuklu kumaş numuneleri kullanılmıştır. Kumaş özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kumaşların Özellikleri

Örgü Tipi	Gramaj (g/m ²)	Atkı ve Çözgü İplik No	Atkı ve Çözgü Sıklıkları
Dimi 3/1 Z	270	Ne 10/2	11 tel/cm
Dimi 2/1 Z	272	Ne 10/2	11 tel/cm

2.2. Enzimatik İşlem

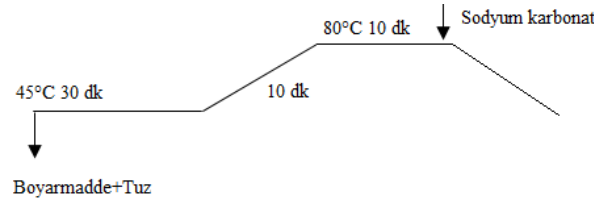
Numunelere boyamadan önce, boyama esnasında ve boyamadan sonra enzimatik işlem uygulanmıştır. Enzimatik işlem, 2 g/L selüloz enzimi (Megenzim-6, Meg Kimya San ve Tic A.Ş.) ile pH 5’de 1:10 flote oranında gerçekleştirilmiş olup işlem koşulları Şekil 1’de verilmiştir. Bütün uygulamalarda işlemin tekrarlanabilirliği için her uygulamaya ait üç tekrar yapılmıştır.



Şekil 1. Enzimatik işlem sıcaklık-zaman diyagramı

2.3. Boyama İşlemi

Numuneler reaktif boya ile laboratuvar tipi HT boyama makinesinde boyanmıştır. Boyama işleminde %4 reaktif boyarmadde (Sunfix Blue RSP-4, Birkim Kimya San ve Tic A.Ş.), 180 g/L sodyum sülfat ve 120 g/L sodyum karbonat kullanılmıştır. Boyama diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Boyama diyagramı

2.4. Yıkama İşlemi

Numunelere boyama işleminden sonra Tablo 2’de belirtilen koşullarda yıkama işlemi yapılmıştır. Yıkama işlemi konvansiyonel metot ve ultrasonik enerji yardımıyla olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Yıkama İşlemi Koşulları

	Son işlemler	Koşullar
1	Soğuk su ile durulama	6 L / 5 g materyal
2	Asetik asitle nötralizasyon	pH 7
3	Sıcak su ile durulama	1000 mL / 5 g materyal
4	Kaynar sabunlama	95°C - 2 dk - 1000 mL / 5 g materyal
5	Soğuk su ile durulama	1000 mL / 5 g materyal

2.5. Beyazlık Derecesi Ölçümü

Numunelerin beyazlık derecesi Macbeth Color Eye (Gretag Machbeth) spektrofotometresi ile 400-700 nm dalgaboyları için 10 nm ara 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

2.6. Renk Ölçümü

Boyanmış örneklerin renk ölçümleri Datacolor SF 600 Renk Ölçüm Cihazı ile Datamaster bilgisayar programı kullanılarak CIELab sistemine göre gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, D₆₅ illüminatı altında 10° standart gözlemci kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.7. Renk Haslığı Ölçümleri

Boyanmış numunelerin yıkama haslıkları, ISO 105-C06 standardına göre gerçekleştirilmiş ve gri skala ile değerlendirilmiştir. 1-5 arasında yıkama haslık notu değerlendirilmesinde “5” en iyi değeri karşılamaktadır. Numunelerin ter haslıkları ISO 105 E04 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ışık haslığı tayini, EN ISO 105-B02 standardına göre Atlas Alfa 150S test cihazında, sürtme haslığı ise ISO 105X12 standardına göre H.Heal 255 sürtme test cihazında gerçekleştirilmiştir.

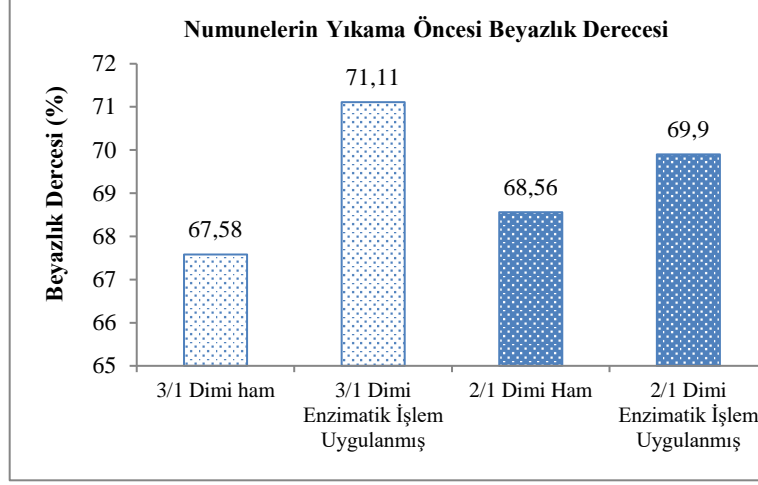
2.8. Boncuklanma Ölçümü

Kumaşların boncuklanma derecesi TS EN ISO 12945-2 standardına göre Martindale test cihazında 5 tekrarlı yapılmıştır [16].

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

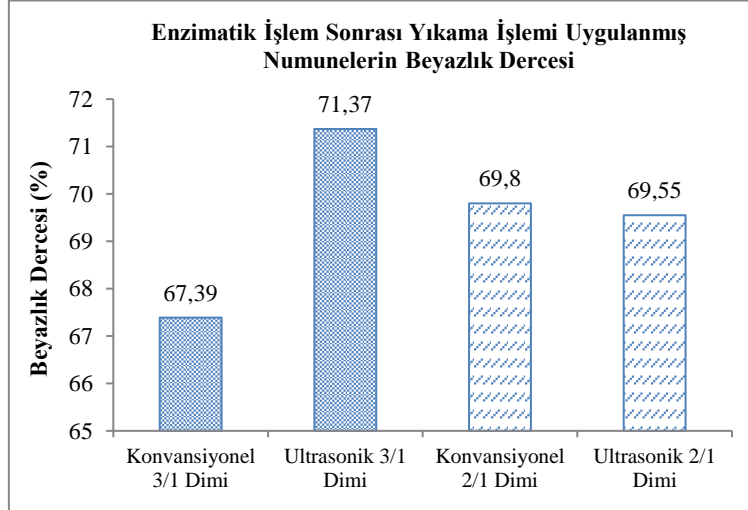
3.1. Beyazlık Derecesi Ölçüm Sonuçları

Numunelerin beyazlık derecesi ölçümü 400-700 nm dalga boyları için 10 nm ara ile spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir. Numunelerin spektrofotometrede ölçülen remiyon değerleri yardımıyla Berger Beyazlık İndeksi Formülüne göre (Davulcu, 2008) beyazlık dereceleri hesaplanmıştır. Numunelerin beyazlık derecesi Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Boyama öncesi enzim uygulaması yapılmış ve yapılmamış numunelerin beyazlık dereceleri

Beyazlık derecesi ölçümü sonuçları enzimatik işlem uygulamasıyla numunelerin beyazlık derecesinde artış olduğunu göstermektedir. Enzimatik işlem uygulaması ile birlikte pamuklu kumaş numunelerinde bulunan renkli yabancı maddeler enzimler vasıtasıyla parçalanıp uzaklaştırılmaktadır. Ağartma işleminde sıklıkla kullanılan sodyum hipoklorit, sodyum hidroksit, hidrojen peroksit, asitler, yüzey aktif maddeler, sodyum silikat, ve sodyum fosfat gibi kimyasallar atık suya yüksek oranda kimyasal madde bırakmaktadır. Tekstil ağartma işlemlerinde bu kimyasal maddelere ikame olarak enzim kullanımı, işlem türüne bağlı olarak su tüketimini ve hava emisyonunu azaltmaktadır. Böylece ekolojik üretim yanında maliyetler de azalmaktadır (İnkaya ve ark. 2010). Beyazlık derecesi kumaş deseni açısından incelendiğinde dimi 3/1 numunelerin beyazlık derecesinden daha yüksektir. Bu sonuç üzerinde iki kumaş arasındaki iplik yüzme miktarı farklılığının neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 3/1 dimi deseninde atlama sayılarının daha fazla olması ve selülaz enziminin kumaş içine daha kolay nüfuz edebilmesi nedeni ile en fazla beyazlık derecesi artışının dimi 3/1 kumaşa olduğu belirlenmiştir.

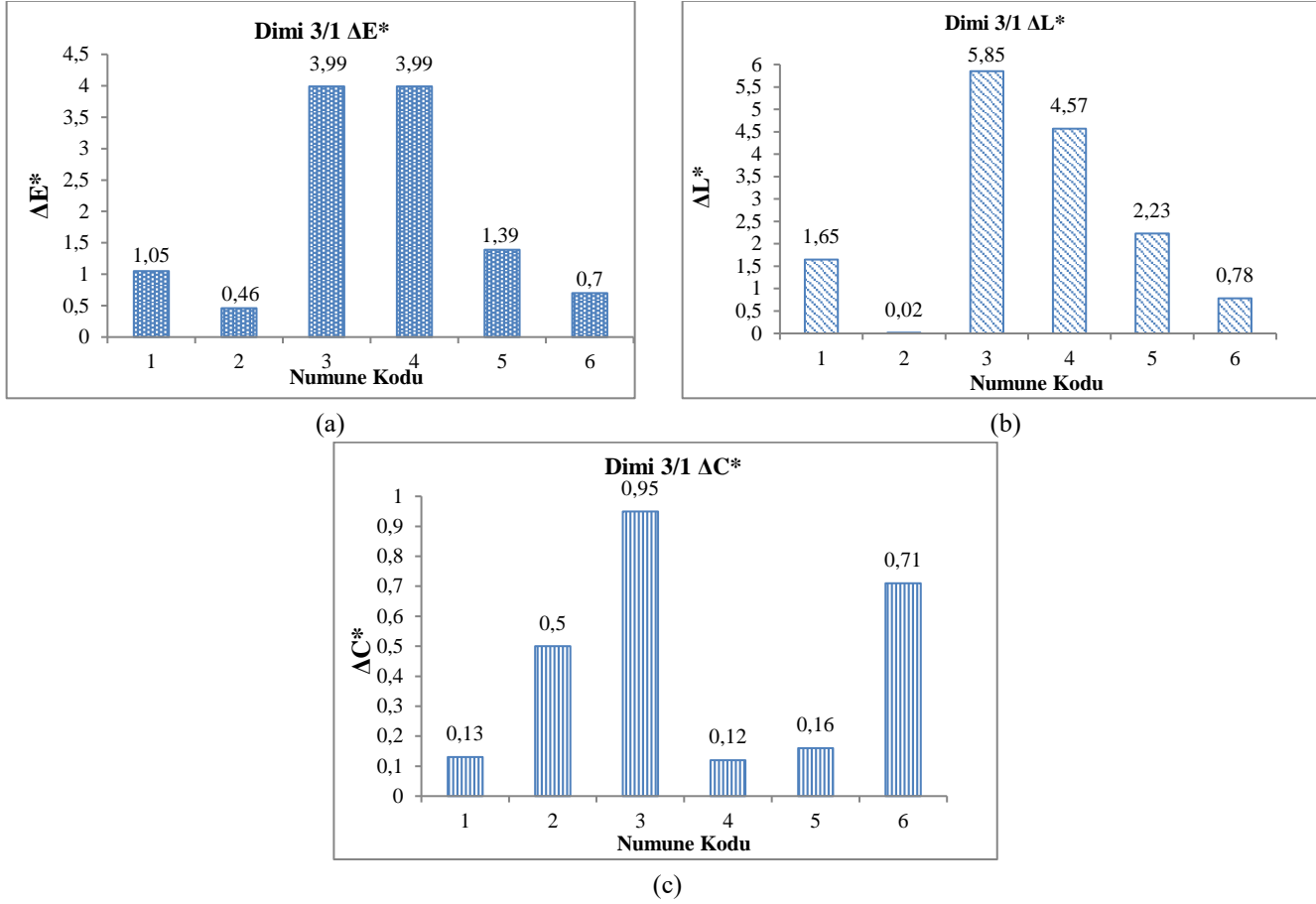


Şekil 4. Konvansiyonel ve ultrasonik enerji yardımıyla yıkanmış numunelerin beyazlık derecesi

Enzimatik işlem sonrasında konvansiyonel ve ultrasonik enerji yardımıyla yıkanan numunelerin beyazlık derecelerinde artış görülmüştür. Yıkama işlemi, enzimatik işlem ile numunelerden kopartılan ancak numuneler üzerinde kalan renkli pigmentleri uzaklaştırdığı düşünülmektedir. Konvansiyonel ve ultrasonik yıkama yöntemleri karşılaştırıldığında beyazlık derecesi üzerine ultrasonik yıkama yönteminin konvansiyonel yöntemine göre daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ultrasonik yıkamada ses dalgaları ile yıkama banyosunda kaviteasyonlar oluşturulmakta ve bu kaviteasyonların mamul üzerinden yabancı maddeleri uzaklaştırmada konvansiyonel ısıtmaya göre daha etkili olduğu düşünülmektedir.

3.2. Renk Ölçüm Sonuçları

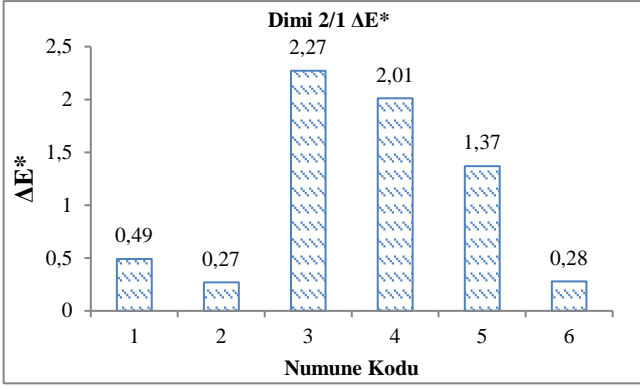
Boyama işlemi sonrası konvansiyonel ve ultrasonik enerji yardımıyla yıkanmış numunelerin spektrofotometrik ölçüm sonuçları (CIELab değerleri) Şekil 5 ve Şekil 6 'da verilmiştir. Ölçümlerde enzimatik işlem uygulanmamış, boyanmış ve konvansiyonel yıkama yapılmış numune standart numune olarak kabul edilmiştir.



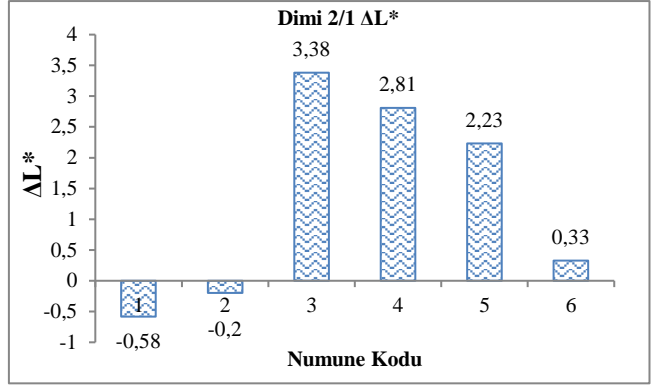
1. Enzimatik işlem → boyama → konvansiyonel yıkama
2. Enzimatik işlem → boyama → ultrasonik yıkama
3. Boyama anında enzimatik işlem → konvansiyonel yıkama
4. Boyama anında enzimatik işlem → ultrasonik yıkama
5. Boyama → enzimatik işlem → konvansiyonel yıkama
6. Boyama → enzimatik işlem → ultrasonik yıkama

Şekil 5. Numunelerin spektrofotometrik ölçüm sonuçları: (a) Dimi 3/1 kumaş numunelerinin ΔE^* değerleri, (b) Dimi 3/1 kumaş numunelerinin ΔL^* değerleri, (c) Dimi 3/1 kumaş numunelerinin ΔC^* değerleri

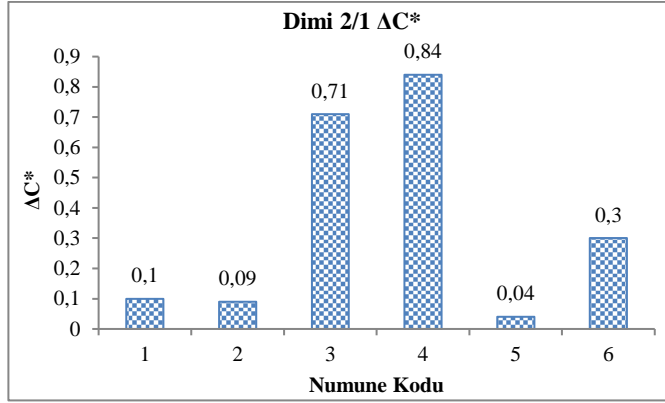
Dimi 3/1 desenindeki kumaş numunelerinin kolorimetrik ölçümlerinde enzimatik işlem uygulanmamış, boyanmış ve konvansiyonel yıkama yapılmış numune standart numune olarak kabul edilmiştir. Ölçümlerde ΔE^* değeri toplam renk farklılığını ifade etmektedir. $\Delta E^* < 1$ ise, standart numune ile ölçüm yapılan numune arasında renk farklılığı çok az; $\Delta E^* > 1$ ise standart numune ile ölçüm yapılan numune arasında renk farklılığı çok fazladır. Şekil (a) incelendiğinde standart numune ile diğer numuneler arasındaki farkın fazla olduğu belirlenmiştir. Ölçümlerde ΔL^* değerlerinin (-) olması, örneğin standarda göre daha koyu olduğunu, (+) olması ise daha açık olduğunu ifade etmektedir. Buna göre; bütün boyanmış numunelerin rengi standart numunenin renginden daha açıktır. ΔC^* değerinin (+) olması ise yüksek kromayı yani doygunluğu ifade eder. Tüm numunelerde doygunluk değerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Enzimler lifin yapısındaki bağları hidrolize eden biyokatalizörlerdir. Selülaz enziminin pamuk lif yapısında gevşemelere neden olarak boyarmadde moleküllerinin lif içine difüzyonunu kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Böylece standart numune ile diğer numuneler arasındaki renk farkı ve doygunluk artmıştır (Atav ve ark. 2014; Mavruz ve Oğulata, 2007).



(a)



(b)



(c)

1. Enzimatik işlem → boyama → konvansiyonel yıkama
2. Enzimatik işlem → boyama → ultrasonik yıkama
3. Boyama anında enzimatik işlem → konvansiyonel yıkama
4. Boyama anında enzimatik işlem → ultrasonik yıkama
5. Boyama → enzimatik işlem → konvansiyonel yıkama
6. Boyama → enzimatik işlem → ultrasonik yıkama

Şekil 6. Numunelerin spektrofotometrik ölçüm sonuçları: (a) Dimi 2/1 kumaş numunelerinin ΔE^* değerleri, (b) Dimi 2/1 kumaş numunelerinin ΔL^* değerleri, (c) Dimi 2/1 kumaş numunelerinin ΔC^* değerleri

Dimi 2/1 desenindeki kumaş numunelerinin kolorimetrik ölçümlerinde enzimatik işlem uygulanmamış, boyanmış ve konvansiyonel yıkama yapılmış numune standart olarak kabul edilmiştir. Ölçümlerde ΔE^* değeri toplam renk farklılığını ifade etmekte olup; $\Delta E^* < 1$ ise, standart numune ile ölçüm yapılan numune arasında renk farklılığı çok az; $\Delta E^* > 1$ ise çok fazladır. Kolorimetrik ölçümlerde standart numune ile diğer numuneler arasındaki farkın fazla olduğu belirlenmiştir. Ölçümlerde ΔL^* değerlerinin (-) olması, örneğin standarda göre daha koyu olduğunu, (+) olması ise daha açık olduğunu ifade etmektedir. Buna göre; 1 ve 2 numaralı numunelerin rengi standart numunenin renginden daha koyu, 3,4,5 ve 6 numaralı numuneler daha açık renktedir. ΔC^* değerinin (+) olması ise yüksek kromayı yani doygunluğu ifade eder. Tüm numunelerde doygunluk değerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

3.3. Haslık Ölçüm Sonuçları

Bu çalışmada numunelerin yıkama, sürtünme, ter ve ışık haslıkları ISO standartlarına göre test edilmiş ve gri skala yardımı ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Ölçümlerde enzimatik işlem uygulanmamış, boyanmış ve konvansiyonel yıkama yapılmış numune standart numune olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin Yıkama, Sürtme, Ter ve Işık Haslığı Değerleri

Standart numune→ Konvansiyonel yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
3-4	4	3	4-5	5	4-5
Standart numune→ Konvansiyonel yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4	4-5	3	4	5	4-5
Standart numune→ Ultrasonik yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4	4-5	3	4	5	4-5
Standart numune→ Ultrasonik yıkama					
Dimi 3/1					
Yıkama	Sürtme	Ter	Işık		
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4	4-5	4	4-5	5	4
Enzimatik işlem→ Boyama → Konvansiyonel yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4	4	3-4	5	5	4-5
Enzimatik işlem→ Boyama → Konvansiyonel yıkama					
Dimi 3/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
3-4	3-4	3	4-5	4	4-5
Enzimatik işlem→ Boyama → Ultrasonik yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
5-4	5-4	4	5	5	4-5
Enzimatik işlem→ Boyama → Ultrasonik yıkama					
Dimi 3/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
5-4	5-4	4	4-5	4-5	5
Boyama anında enzimatik işlem→Konvansiyonel yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4	4-5	3-4	5	5	4
Boyama anında enzimatik işlem→Konvansiyonel yıkama					
Dimi 3/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4-5	4	4	4-5	4-5	4
Boyama anında enzimatik işlem→Ultrasonik yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
5	4-5	4-5	5	5	4-5
Boyama anında enzimatik işlem→Ultrasonik Yıkama					
Dimi 3/1					

Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
5	4	4-5	4-5	5	5
Boyama → Enzimatik işlem → Konvansiyonel yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4	4-5	4	5	5	4-5
Boyama → Enzimatik işlem → Konvansiyonel yıkama					
Dimi 3/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4	4-5	4	5	5	4-5
Boyama → Enzimatik işlem → Ultrasonik yıkama					
Dimi 2/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
4-5	5	4-5	5	5	4-5
Boyama → Enzimatik işlem → Ultrasonik yıkama					
Dimi 3/1					
Yıkama	Sürtme		Ter		Işık
	kuru	yaş	asidik	bazik	
5	5	4-5	5	5	5

Tablo 3 incelendiğinde, kumaş deseninin numunelerin yıkama, sürtünme, ter ve ışık haslığı üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. Boyamalarda enzimatik işlemin uygulanma şeklinin yıkama, sürtünme, ter ve ışık haslığı üzerine çok fazla etkili olmadığı belirlenmiştir. Numunelerin haslık değerleri yıkama yöntemi açısından incelendiğinde yıkama yönteminin numunelerin haslık değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ultrasonik enerjinin kullanıldığı yıkamalarda yıkama flottesine, ultrasonik enerji uygulanmakta ve yıkama ultrasonik enerji yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Flotte ultrasonik enerji yardımıyla ısıtılmakta ve harekete geçirilmektedir. Konvansiyonel yöntemle yıkamanın tersine flottede daha homojen bir ısıtma ve karıştırma sağlamaktadır. Konvansiyonel yıkamada flotte alttan ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılmakta ve flotte manuel olarak karıştırılmaktadır. Yıkama banyosunun belirli bir sıcaklığa ulaşması için geçen süre ultrasonik enerjinin kullanımına kıyasla çok daha uzundur. Manuel karıştırma ve uzun süreli işlem nedeniyle boyarmadde ve lif arasındaki fiziksel bağların zayıflaması nedeniyle haslık değerleri konvansiyonel yıkamalarda daha düşüktür.

3.4. Boncuklanma Ölçüm Sonuçları

Martindale boncuklanma testi 5 ölçümün ortalaması alınarak yapılmış olup, test sonuçları Tablo 4' de verilmiştir. Ölçümlerde enzimatik işlem uygulanmamış, boyanmış ve konvansiyonel yıkama yapılmış numune standart numune olarak kabul edilmiştir.

Tablo 4. Numunelerin Boncuklanma Değerleri

	Dimi 3/1		Dimi 2/1	
	Konvansiyonel yıkama	Ultrasonik yıkama	Konvansiyonel yıkama	Ultrasonik yıkama
125 dev /dak				
Standart Numune	4	4-5	4-5	4-5
Enzimatik işlem→ Boyama→ Konvansiyonel yıkama	5	5	5	5
Boyama anında enzimatik işlem→Konvansiyonel yıkama	5	5	5	5
Boyama→ Enzimatik işlem → Konvansiyonel yıkama	5	5	5	5
500 dev /dak				
Standart Numune	4	5	4-5	5
Enzimatik işlem→ Boyama→ Konvansiyonel yıkama	5	5	5	5
Boyama anında enzimatik işlem→Konvansiyonel yıkama	5	5	5	5
Boyama→ Enzimatik işlem → Konvansiyonel yıkama	5	5	5	5
2000 dev /dak				
Standart Numune	1-2	2	2-3	3
Enzimatik işlem→ Boyama→ Konvansiyonel yıkama	4	5	5	5
Boyama anında enzimatik işlem→Konvansiyonel yıkama	4	5	5	5
Boyama→ Enzimatik işlem → Konvansiyonel yıkama	4	5	5	5

Tablo 4’ de numunelerin 125, 500 ve 2000 devirdeki boncuklanma değerleri yer almaktadır. Kumaşların boncuklanma dereceleri incelendiğinde selülaz enzimi ile işlem gören bütün numunelerin boncuklanma sonuçları enzimatik işleme tabi tutulmamış numuneden daha yüksek değerde olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Martindale test cihazında devir sayısı artışı ile numunelerin boncuklanma eğiliminde dikkate değer bir düşüş gözlenmemiştir. Enzimatik işlem uygulaması ile numunelerin yüzeyinden tüycüklerin uzaklaştırılması sonucu numunelerin boncuklanma değerinde iyileşme belirlenmiştir. Devir sayısı artışı ile standart numunenin boncuklanma değeri oldukça azalırken, diğer numunelerin boncuklanma eğiliminde dikkate değer bir düşüşe rastlanılmamıştır. Ayrıca enzimatik işlemin uygulanma sırası ve işlemlerden sonra yıkama şeklinin numunelerin boncuklanma değeri üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir (Mavruz ve Oğulata, 2007).

4. Sonuç

Enzimatik işlemin pamuklu kumaş numunelerine boyamadan önce, boyama esnasında ve boyama işleminden sonra uygulandığı bu çalışmada, enzimatik işlemin uygulanma ve yıkama şeklinin beyazlık derecesi, renk değeri, yıkama, sürtme, ter ve ışık haslığı ve boncuklanma derecesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Numunelere enzim uygulamalarında; kumaşların beyazlık dereceleri karşılaştırıldığında enzimatik işlemin kumaşların beyazlık derecesini olumsuz yönde etkilemediği gibi, beyazlık derecesinde bütün kumaş tiplerinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca hem klasik hem de ultrasonik enerji yardımıyla yıkama sonundaki beyazlık dereceleri karşılaştırıldığında ultrasonik enerji yardımı ile yıkamalarda genellikle beyazlık derecesinde artışlar olduğu belirlenmiştir. Kolorimetrik ölçümlerden, standart numune ile diğer numuneler arasındaki farkın fazla olduğu, bütün boyanmış numunelerin renginin standart numunenin renginden daha açık olduğu ve genel olarak numunelerin doygunluk değerinin standart numuneden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ultrasonik yöntem kullanılarak yapılan yıkama işlemleri sonucunda elde edilen numuneler, klasik yöntemle yapılan yıkamalar sonucunda elde edilen numunelere göre, standart numunenin rengine çok daha yakındır. Numunelerin haslık özellikleri incelendiğinde, kumaş deseninin ve enzimatik işlemin uygulanma şeklinin haslıklar üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. Numunelerin haslık değerleri yıkama yöntemi açısından incelendiğinde yıkama yönteminin numunelerin haslık değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Numunelerin boncuklanma dereceleri incelendiğinde enzimatik işleme tabi tutulan bütün numunelerin boncuklanma sonuçları enzimatik işleme tabi tutulmamış numuneden daha yüksek değerde olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

Atav, R., Namırtı, O., & Karabulut, K. (2014). Enzimatik Ön İşlemin Poliester Liflerinin Düşük Sıcaklıkta Boyanması İçin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu*, 2-5 Nisan, İzmir, Türkiye.

- Baumer, J. D., Valério, A., de Souza, S. M. G. U., Erzinger, G. S., Furigo Jr, A., & de Souza, A. A. U. (2018). Toxicity of enzymatically decolored textile dyes solution by horseradish peroxidase. *Journal of hazardous materials*, 360, 82-88.
- Bento, R. M., Almeida, M. R., Bharmoria, P., Freire, M. G., & Tavares, A. P. (2020). Improvements in the enzymatic degradation of textile dyes using ionic-liquid-based surfactants. *Separation and Purification Technology*, 235, 116191.
- Buschle-Diller, G., Walsh, W. K., & Radhakrishnaiah, P. (1999). Effect of Enzymatic Treatment on Dyeing and Finishing of Cellulosic Fibers: A Study of the Basic Mechanisms and Optimization of the Process. *National Textile Centre Research Briefs*, 35-36.
- Davulcu, A. (2008). Pamuklu Kumaşların Ön Terbiye Proseslerinin Enzimatik Yöntemlerle Kombine Edilmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
- De Prez, J., Van Vuure, A. W., Ivens, J., Aerts, G., & Van de Voorde, I. (2019). Effect of enzymatic treatment of flax on fineness of fibers and mechanical performance of composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 123, 190-199.
- Duran, K., Bahtiyari, M. İ., Körlü, A. E., Dereli, S., & Özdemir, D. (2006). Ultrasound Technology. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(3), 155-158.
- Fritzke, W., Salla, E. G., Bagatini, M. D., Bonadiman, B. D. S. R., Skoronski, E., Moroni, L. S., & Kempka, A. P. (2020). Peroxidase of *Cedrela fissilis* leaves: Biochemical characterization and toxicity of enzymatically decolored solution of textile dye Brilliant Sky-Blue G. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24, 101553.
- Galante, Y. M., & Formantici, C. (2003). Enzyme applications in detergency and in manufacturing industries. *Current Organic Chemistry*, 7(13), 1399-1422.
- İnkaya, T., Eren, H. A., & Pervin, A. N. İ. Ş. (2010). Pamuk ağartılmasında lakkaz/mediatör sistemlerinin oksijen ve ozon ile kombine edilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 77-82.
- Karaboğa, C., Körlü, A. E., Duran, C., & Bahtiyari, M. I. (2007). Use of ultrasonic technology in enzymatic pretreatment processes of cotton fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (4 (63)), 97-100.
- Mason, T. J. (1988). Theory. Applications and uses of ultrasound in chemistry. *Sonochemistry*.
- Mavruz, S., & Oğulata, R. T. (2007). Tekstil Terbiyesinde Biyoparlatma Uygulamaları Ve Pamuklu Örme Kumaşların Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi. *Tekstil ve Mühendis*, 14(66), 15-22.
- Mistik, S. I., & Yükselöglu, S. M. (2005). Hydrogen peroxide bleaching of cotton in ultrasonic energy. *Ultrasonics*, 43(10), 811-814.
- Navone, L., Moffitt, K., Hansen, K. A., Blinco, J., Payne, A., & Speight, R. (2020). Closing the textile loop: Enzymatic fibre separation and recycling of wool/polyester fabric blends. *Waste Management*, 102, 149-160.
- Prajapati, C. D., Smith, E., Kane, F., & Shen, J. (2019). Selective enzymatic modification of wool/polyester blended fabrics for surface patterning. *Journal of cleaner production*, 211, 909-921.
- Quartinello, F., Vajnhandl, S., Volmajer Valh, J., Farmer, T. J., Vončina, B., Lobnik, A., Acero, H. E., Pellis, A., & Guebitz, G. M. (2017). Synergistic chemo-enzymatic hydrolysis of poly (ethylene terephthalate) from textile waste. *Microbial biotechnology*, 10(6), 1376-1383.
- Singh, A., Varghese, L. M., Battan, B., Patra, A. K., Mandhan, R. P., & Mahajan, R. (2020). Eco-friendly scouring of ramie fibers using crude xylano-pectinolytic enzymes for textile purpose. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 6701-6710.
- Stöhr, R. (1995). Enzymes-biocatalysts in textile finishing. *Melliand Textilberichte International Textile Reports*, 76, 1010-1015.
- Test for colour fastness of textiles-colour fastness to washing*, International Organization for Standardization ISO 105-C06, 1997.
- Tests for colour fastness-Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test*, International Organization for Standardization, 2014
- Tests for colour fastness-Colour fastness to perspiration*, International Organization for Standardization, 2006
- Tests for colour fastness-Part X12: Colour fastness to rubbing*, International Organization for Standardization, 2006
- Yachmenev, V. G., Bertoniere, N. R., & Blanchard, E. J. (2001). Effect of sonication on cotton preparation with alkaline pectinase. *Textile Research Journal*, 71(6), 527-533.
- Yachmenev, V. G., Blanchard, E. J., & Lambert, A. H. (1998). Use of ultrasonic energy in the enzymatic treatment of cotton fabric. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 37(10), 3919-3923.
- Yachmenev, V. G., Blanchard, E. J., & Lambert, A. H. (2004). Use of ultrasonic energy for intensification of the bio-preparation of greige cotton. *Ultrasonics*, 42(1-9), 87-91.



Atıksu Arıtma Tesislerinde Arıtma Çamurları ve Bertaraf Uygulamaları

Mert Yüksekdağ¹, Semir Gökpnar², Bekir Yelmen³

¹İskenderun Teknik Üniv. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2419-9021)

²İskenderun Teknik Üniv. Mühendislik ve Fen Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay Türkiye (ORCID: 0000-0003-1509-6036)

³Adana Büyükşehir Belediyesi ASKİ Genel Müdürlüğü, Adana, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7655-530X)

(İlk Geliş Tarihi 6 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.699952)

ATIF/REFERENCE: Yüksekdağ, M., Gökpnar, S. & Yelmen, B. (2020). Atıksu Arıtma Tesislerinde Arıtma Çamurları ve Bertaraf Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 895-904.

Öz

Atıksu arıtma tesislerinden (AAT) nihai çamurun yok edilmesi AAT lerinin başlıca sorunları olup Avrupa Atıksu Standartları Mevzuatında belirtilen hususlar doğrultusunda, çamurun içerisindeki patojen, organiklerin %75'inin bertaraf edilmesi zorunludur. AAT lerinden nihai çamur ek tesisler yapılarak, yok edilerek elektrik enerjisi elde edilebilir. Bu çalışmada AAT lerinden nihai çamurun yok edilmesi, AAT leri açısından uygulanabilir yöntemler, buna bağlı örnekler ve bir tesisin yıllık proses değerleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtma tesisi, Çamur bertaraf yöntemleri, Biyogaz, Ceyhan

Abstract

The destruction of the final sludge from the wastewater treatment plants (WWTP) is the main problems of WWTPs. According to the European Waste Water Standards Legislation, 75% of the pathogens and organics in the sludge must be disposed of. Electrical energy can be obtained by destroying the final sludge from the WWTPs by making additional facilities. In this study, the destruction of the final sludge from the WWTPs, applicable methods in terms of WWTPs, related examples and the annual process values of a facility are examined.

Keywords: Wastewater treatment plant, Sludge disposal methods, Biogas, Ceyhan

1. Giriş

İnsan nüfusundaki hızlı artış beraberinde artan bir tüketim trendine neden olmaktadır. Artan bu tüketim trendi üretim ile direkt olarak orantılı olup, tüm bu üretim ve tüketim proseslerinde beraberinde bertaraf edilmesi gereken devasa atıkları getirmektedir. Atıkların bertaraf edilmesi için yaygın olarak kullanılan atık su arıtma sistemleri, kirletilmiş suların toplama alanlarında kullanılan ve bu alanda suyun kirleticilerden arıtılmasını sağlayan sistemlerdir.

Günümüzde de atık su arıtma tesislerinde (AAT) çamur yönetimi teknik ve ekolojik uygulamalar açısından çözülmesi gereken problemlerin başlıcalarındandır. Atıksuların arıtılmasında biyolojik proses önemli bir husus olmasına rağmen çıkan arıtma çamuru AAT'lerinde istenmeyen ve çözüm bekleyen bir problemdir. AAT'lerinin analizi ve iyileştirilmesi üzerine birçok çalışma mevcuttur. Buonocore ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada güney İtalya'da bulunan bir atık su arıtma tesisindeki; atık su ve çamurun bertarafı için farklı senaryolar geliştirmişlerdir. Dahası, bu senaryolar sonucunda elde edilen veriler baz alınarak sistemlerin çevresel etkilerini karşılaştırmak için yaşam döngüsü değerlendirmesi metodunu sistemlere uygulamışlardır [1].

Molinos-Senante ve ark. (2018), atıksu arıtma teknolojileri için enerji yoğunluğunu modellemişlerdir. Çalışma kapsamında 305 farklı AAT için modelleme yapılmış olup, çalışma sonucunda kirletici temizleme verimliliğin AAT sistemleri üzerinde düşük etkilerinin olduğunu görmüşlerdir [2].

Çamurların bertaraf edilmesi hususunda uzun yıllardır birçok bilimsel çalışma ve araştırma gerçekleştirilmiştir.[3]. Ancak yapılan çalışmaların çoğunda enerji verimliliği arka planda tutulmuş, bu konuda verimliliğe dayalı bir tesis neredeyse hiç planlanmamıştır [4]. AAT lerde geri kazanım ile enerji üretilmektedir. Fakat tüketilen enerjinin tamamının üretildiği bir tesis neredeyse mevcut değildir [5]. Ayrıca yapılan bir başka çalışmada dünyada ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi yapılmış olup, sonuçları aktarılmıştır. [6]

Gelişmiş bazı ülkelerde AAT’lerinden çıkan arıtma çamurlarının düzenli depolama yapılarak bertaraf edilmesi, ülke çevre yönetmelikleri açısından sakıncalıdır. Yeni yönetmeliklere göre çıkan çamur önce kurutulmalı daha sonra yakılma sonucu elde edilen küllerin sızdırmazlığı sağlanan uygun depolarda muhafaza edilmesi öngörülmektedir.

Tesislerden çıkan çamurun değerlendirilmesi ve farklı sektörlerde kullanılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur [7]. Örneğin çamurun gübre olarak kullanılabilmesi [8], veya çamurun bir ısı enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi de görülmüştür [9].

Çamur bertaraf işlemi, arıtma tesislerindeki başlıca maliyet unsurlarından birisidir. Çünkü bir arıtma tesisinde çamur bertaraf yöntemleri tesisin toplam yapım maliyetinin %20-%30 unu, işletme maliyetinin ise %50-%70 lik bir kısmı çamur bertaraf yöntemlerine harcanmaktadır [10]. Bu bağlamda ele aldığımızda yapılan çalışmaların büyük bir bölümü aslında bu maliyeti düşürmeye veya faydalı bir şekilde kullanmaya yöneliktir. Bertaraf maliyetlerinin yüksek olmasına karşın, birçok ekonomik bertaraf yöntemleri de bulunmaktadır [11].

Atıklar işlenerek çevre sorunlarının çözünebilirliğinin yanı sıra, ülke ekonomisine de fayda sağlamaktadır. Örneğin doğanın ve atmosferin korunması ve verilen zararların minimize edilmesi için biyogaz eldesi organik atıklarda en uygun geri kazanım yöntemi olmakla birlikte; biyogaz üretimi ekonomiye önemli ölçüde kar sağladığı için uygun ve faydalı bir yöntemdir [12].

Liu ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada seri kesikli biyogaz reaktörüne manyetik toz eklenmesinin reaktör performansı ve mikrobiyolojik topluluk üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda manyetik aktive edilmiş çamur sekanslı parti reaktörünün geleneksel seri kesikli biyogaz reaktöründen daha yüksek amonyak azotu ve kimyasal oksijen ihtiyacı giderim verimine sahip olduğunu göstermiştir [13].

Bu çalışmada Ceyhan atıksu arıtma tesisinin 2017 yılı arıtma tesisi kapasitesi, biyogaz üretimi, Biyogazdan enerji üretimi ve yıllık enerji tüketimini karşılaşma oranları incelenmiştir.

2. Atıksu

Sıvı veya başka bir ifade ile suyun taşıyabildiği evsel, endüstriyel nitelikli atıklar ile yüzey sularının, yeraltı sularının ve yağışların karışımına Atıksu denilmektedir. Daha farklı bir anlatım ile bir topluluğun ihtiyaçları sonucunda meydana gelen kullanılmış su atıksu olarak tanımlanmaktadır [14].

İçeriğinde kompleks organik madde içeren organizmalar mikrobiyolojik etmenler ile bozunmaya uğrayabilir. Örneğin kanalizasyon suyu. Sınıflandırmada atıksular bozunabilir kirletici olarak tasniflendirilmiştir [15] .

Atıksular evsel, endüstriyel ve kentsel atıksular olmak üzere 3 e ayrılır.

- **EVSEL ATIKSULAR:** Günlük yaşamın idame ettirildiği ev gibi yerleşim alanları, insanların toplu olarak bulunduğu hastane, okul ve otel vb. alanlardan kaynaklı atıksulardır [16].
- **ENDÜSTRİYEL ATIKSULAR:** Yağmur suları, evsel atık sular dışında endüstriyel veya ticari faaliyet yürütülen alanlardan kaynaklı atıksulara denilmektedir [16].
- **KENTSEL ATIKSULAR:** Kentsel atıksu ifadesi endüstriyel atıksu ve/veya yağmur suyunun karışımı ile oluşan atıksuya denilir.

3. Atıksu Arıtımı

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler vasıtasıyla değişik kullanımlar neticesinde bakteriyolojik, fiziksel ve kimyasal vasıflarını yitirmiş atıksuların bu özelliklerinin tamamının veya bir kısmının doğaya boşaldıkları alıcı ortam şartlarını değiştirilmeden kazandırma yöntemlerini kapsar [16].

3.1 Atıksu Arıtma Yöntemleri

- **FİZİKSEL ARITMA:** Farklı boyut ve ebatlarda ki yüzebilir çökebilir katı cisimlerin çözünmüş halde ki organik/inorganik madde ve gazların atıksudan uzaklaştırılması koşuluyla atıksuya uygulanan işlemlere denilmektedir.
- **KİMYASAL ARITMA:** Çeşitli kimyasal tepkimeler yardımıyla atıksu içerisinde kirletici etmenlere sebep olan çözünmüş, askıda veya kolloidal maddelerin giderimini sağlamak adına uygulanan yöntemlerdir.

- **BIYOLOJİK ARITMA:** Atık suyun içerisinde bulunan mikroorganizmaların organik ve kısmen de anorganik kirleticileri enerji ve besin kaynağı adederek atıksudan uzaklaştırma metoduna dayanan arıtma yöntemidir.
- **İLERİ ARITMA:** Bileşenleri biyolojik yöntemler ile kolayca ayrışamayan organik maddeleri, ağır metalleri ve toksik maddeleri fiziko kimyasal yöntemleri içine alan ileri düzeyde arıtmaya verilen addır.

4. Biyogaz

Organik atıkların oksijensiz ortamda mikrobiyolojik flora ve bakterilerin etkisi ile kullanılabilir gazla dönüşümüyle meydana gelen gaz biyogaz adı verilir. Metan gazı ve karbondioksit organik maddelerin parçalanması sonucu oluşmaktadır. Biyogazın üretilme işlemi temel olarak organik yapının parçalanma ve ayrıştırılmasına dayandığı için hayvansal gübreler, bitkisel atıklar, endüstriyel atıklar temel madde olarak kullanılabilir [17].

5. Arıtma Çamurları

AAT lerinden çıkan çamur; kokulu, yarı katı ve sıvı halde ki formlar “arıtım çamurları” olarak isimlendirilir. Nihai çamurların hacimlerinin büyük olmasının önemli sebebi; çamurun içerisinde ki Kuru Katı madde miktarının az, su miktarının ise fazla olmasıdır. AAT lerinden çıkan çamur arıtma proseslerine bağlı olmakla birlikte uygulanan tekniklerin farklılığına göre genel olarak %5 - %12 aralığında kuru katı madde içerir [18].

Arıtma sonucu çıkan çamurun bertaraf sebebi; çamurun kokuşma ve bozulmaya yatkın olmasıdır. AAT lerinden çıkan arıtma çamur yükü ve özellikleri atıksuyun bileşimine, atıksuyun arıtılmasında kullanılan arıtma tekniğine bağlıdır [19]. Çamur tiplerini oluşturan 3 ana çamur tipi mevcuttur. Bunlar; Ön çökeltme çamurları, kimyasal çamurlar ve biyolojik çamurlardır. Arıtma işlemlerinde kullanılan aktif çamur içerisinde ki mikroorganizma yükü gerekli miktarı aştığında fazla miktarın sistemden uzaklaştırılması gerekir ve ‘Atık Aktif Çamuru ‘ olarak adlandırılır ve arıtma tesisleri için önemli sorun teşkil etmektedir.

Biyolojik arıtma sistemlerinde ön çökeltim depolarından çekilen çamurların organik madde içeriği yüksek olurken, son çökeltim depolarından çıkan çamurların ise, aktif çamur tankında gelişen biyolojik kütleden kaynaklı olarak organik madde miktarı daha azdır [20].

5.1. Çamur Bertaraf Yöntemleri

Stabilizasyon: Arıtma sonrası elde edilen çamurun barındırdığı patojenlerin azaltılması ve buna bağlı olarak ortaya çıkan kokunun minimuma düşürülmesi, ayrıca; çürüme, bozunma gibi sorunların da giderilmesi için uygulanan bir çamur bertaraf yöntemidir. Belirttiğimiz bu bozunma, çürüme ve koku oluşumunu gidermek için eklediğimiz kimyasalların oluşturduğu çevresel koşullar, mikro organizmaların üreme ve büyümesini engelleyerek stabilizasyon çalışmasına fayda sağlamaktadır. Stabilizasyon yöntemlerinin başlıcaları; kireçle stabilizasyon, kompostlaştırma, havalı ve havasız çürütmedir.

AAT den çıkan çamurların stabilizasyonu 3 ana başlık altında incelenebilir. Bunlar Kimyasal, Biyolojik ve Termal yöntemlerdir. Dezenfeksiyon uygulanabilirliği açısından stabilizasyon uygulamaları incelendiğinde bazı ham arıtma çamurları dezenfekte olabilirken bazılarının dezenfeksiyonu tam olarak gerçekleştirilememektedir [21]. AAT lerden çıkan çamurların istenilen kurulukta olması için çok iyi stabilize edilmesi gereklidir [19]. Çamur stabilizasyonunun gerçekleşmesi; temel patojenlerin giderilmesi, istenmeyen koku ve kokuşmanın önlenmesi açısından gereklidir [22].

Çamur stabilizasyonu hacim azaltılmasının yanı sıra gaz üretimi için etkilidir. Stabilize olan arıtma çamurları; yeraltı suyu kalitesi, bitki örtüsü, toprak ıslahı üzerine olumsuz bir etki yaratmadığı gibi istenildiğinde ekolojik bakımdan güvenli olarak kullanılabilir [23].

Şartlandırma: Bu yöntem, çamurun su bırakabilme yetisinin artırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Mekanik yoğunlaştırma, çamur susuzlaştırmanın önemli bir parçası olan şartlandırma, ısıtma, eritme, katılaştırma gibi fiziksel yöntemlerle veya organik-inorganik kimyasallar, çamur yakma fırınlarından çıkan küllerin kullanılmasıyla desteklenerek tatbik edilebilir. Çamur susuzlaştırmayı daha uygun hale getirmek için geliştirilmiş bir prosestir. Kimyasal şartlandırma ve ısı arıtımı bu proses için en çok kullanılan yöntemlerdir.

Yoğunlaştırma: Çamurun içerdiği suyun uzaklaştırılarak, katı madde yoğunluğunun artırılmasını, bunun sonucunda çamurun hacminin azalmasını sağlayan bir prosestir. Yoğunlaştırma işleminden sonra çamur akışkanlık özelliğini kaybetmemektedir.

AAT lerinde çamur yoğunlaştırma sistemlerinin kullanılmasının başlıca sebepleri; Yüksek çamur konsantrasyonu eldesi, daha az hacim ile daha ekonomik çürütücü deposu elde etmektir. Katı madde konsantrasyonu yoğunlaştırma ile yirmi beş katına çıkarılabilir.

Susuzlaştırma: Bu işlem, çamurun içerdiği nem oranının düşülmesi için uygulanan fiziksel bir yöntemdir. Bu işlem sonucunda hacimde ciddi bir azalma olurken aynı zamanda çamur kekinin kolay taşınabilirliği ve kekin kokusuz ve kokuşmaya elverişsiz olarak meydana gelmesine yardımcı olmaktadır.

AAT lerinden çıkan çamurun bertaraf edilmesi için sıvı halden katı hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Yoğunlaştırma sonucu çıkan çamur susuzlaştırma işlemine tabidir.

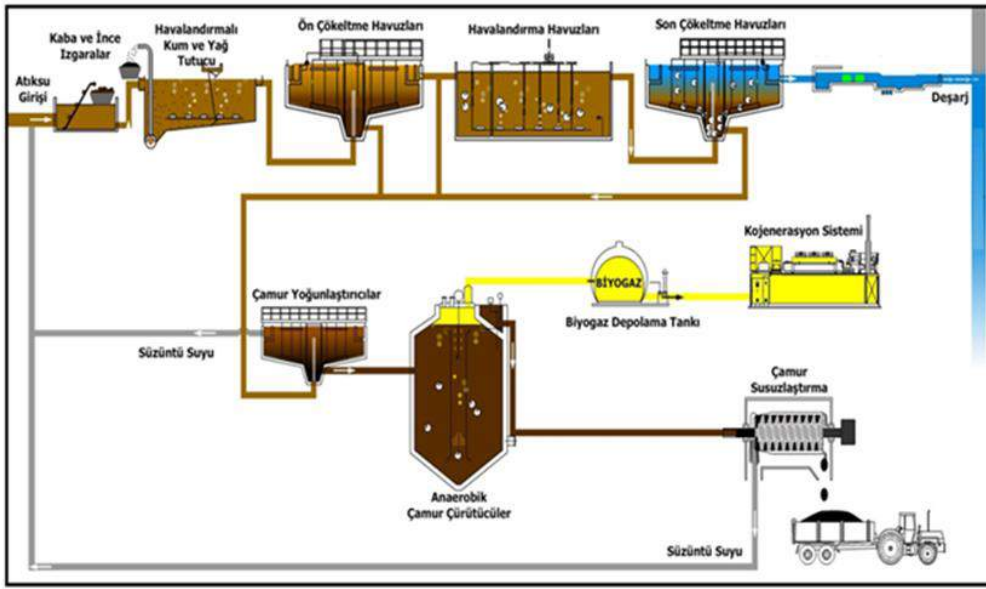
Yakma: Çamur içerisindeki yanmaya elverişli maddelerin ekzotermik biçimde oksidasyonuna denilmektedir. Su içeriği azaltılmış olan çamur, oksijen içeren bir ortamda 420-500 °C derecede tutuşabilir. Organik katıların tamamının yanması ise minimum 760-820 °C derece sıcaklıkta gerçekleşmektedir.

Yakma işlemi sonucunda katı atıklar kütleli olarak %75, hacimsel olarak ise %90 azalma kaydedilir [24].

AAT lerinden çıkan çamurlar yakılarak bertaraf edilir. Yakma sonucunda ortaya çıkan küller asfalt altı dolgu maddesi, kimya sanayisinde ve son yıllarda fosfor eldesinde kullanılabilir. [25].

Düzenli depolama: Belirlenen bir alanda arıtma çamurlarının tek olarak kabul edildiği (monolitik) ya da kentsel katı atıklarla beraberce depo edildiği uygulamalardır.

Bu depolama çeşidinde toprak kirliliğine neden olmaması için; depo yapılacak alan ekolojik bakımdan önem arz etmektedir. Ayrıca düzenli depolamada en önemli husus, çamurun suyunun doğal veya mekanik yöntemlerle alındıktan sonra depolanmasıdır. Bu sayede çevreye vereceği zarar minimize edilmiş olur [25]. Düzenli depolama yöntemi, uygulanabilirlik açısından zor olmayan ve ekonomik bir yöntemdir. Atıksu arıtma tesisi akış şeması şekil 1’de verilmiştir [26].



Şekil 1. Atıksu Arıtma Tesisi Akış Şeması [26]

Şekil 1. de görüldüğü üzere; Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine gelen evsel atık sular ilk olarak mekanik ön arıtmanın ilk ünitesi olan kaba ızgaralara gelir. Bu üniteye 20 mm den büyük giriş pompalarına zarar verebilecek katı maddeler ayrılır. Atıksu daha sonra terfi pompaları vasıtası ile 7.5 m yükseltilerek ince ızgara ünitesine gelir. 5 mm den büyük pislikler perfore ızgaralar tarafından tutulur ve ayrıştırılır. Kaba ve ince ızgaralardan geçemeyen atıklar ise taşıyıcı bantlar vasıtası ile çöp konteynerine dökülür. İnce ızgaralardan geçen atıksu bu üniteye sonra kum ve yağ ayırma havuzuna gelir. Bu üniteye suya yüksek basınçta hava üflenir ve kaba, ince pisliği alınmış atıksuyun bu havuzlarda yağ ve kumu alınır, ayrıştırılır. Daha sonra bu üniteye çıkan atıksu ön çökeltim havuzlarına gelir. Burada çöktürme işlemine tabi tutulur. Yerçekimi vasıtasıyla atıksu içerisinde bulunan kuru katı maddeler çökeltir. Bu çökeltim neticesinde sıyrıcıların çamur haznelarında biriktirmesi ile oluşan çamur pompalar vasıtası ile ön çamur yoğunlaştırıcıya pompalanır. Ön çökeltim havuzlarından geçen atıksu havalandırma havuzlarının geri devri ile birleşerek biyolojik arıtmanın başladığı ilk yer olan havalandırma havuzlarına gelir. Havalandırma havuzu oksijensiz ve oksijenli olmak üzere iki bölüme oluşmaktadır. Bu havuzlarda kirlilik olarak kabul edilen amonyum, karbon, fosfor, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM) gibi maddelerin giderimi yapılır. Buradan yoluna devam eden atıksu son çöktürme havuzlarına gelir. Yerçekimi etkisiyle nihai son çöktürme işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra atıksu dağıtım yapısına gelir ve buradan da servis suyu istasyonuna gider. Oluşan çamur ise artan çamur ve geri devir pompa istasyonlarına gelir. Artan çamur pompaları çamuru, çamur yoğunlaştırıcıya pompalarken, geri devir pompaları ise biyolojik çeşitliliği var edebilmek ve aşılama yapabilmek adına ön çökeltimden gelen atıksu ile birleşmek üzere havalandırma havuzu önüne pompalanır. Ön çökeltim çamur yoğunlaştırıcı ve son çökeltim çamur yoğunlaştırıcıdan gelen çamurlar digester (çamur çürütücüye) gönderilir. Çamur digester girmeden önce ısıtıcılar (eşanjörler) vasıtası ile digester içerisinde çamurun istenilen sıcaklık değerinde olabilmesi adına ısıtılır. Çürütücülerden biyogaz eldesi yapılarak gazın CHP motorlarında yakılabilir hale getirilmesiyle enerji üretmek adına biyogaz yakılır. Daha sonrasında CHP’den çıkan egzoz gazları ORC ile incelenebilir [27,28]. Biyogaz eldesi sonrasında çürütülmüş olan çamur öncelikle çamur depo

tankına ardından da santrifüj makinelerine (Dekantör) gelir. Dekantörde susuzlaştırma işlemi ardından da vidalı konveyör vasıtası ile traktöre alınıp depo sahasına taşınır.

6. ARITMA TESİSİ GENEL PARAMETRELERİNE ÖRNEK BAKIŞ

Bu çalışmada enerji tüketiminin belirlenmesinde örnek olması açısından Adana Ceyhan Atıksu arıtma tesisinde yıllık bakış açısıyla alınan değerlerden tesisin giriş çıkış su debileri, çamur miktarları, üretilen gaz ve enerji miktarları esas alınmıştır. Tesis için gereken enerji, tesisdeki jeneratörün ürettiği enerji ve şebekeden çekilen enerji miktarları ölçülerek gerekli olan enerji hesaplamaları yapılmaktadır. Adana Ceyhan Atıksu arıtma tesisinde 1 yıl süresince her ay tesis girişinde ki ve çıkışında ki günlük debi, AAT ndeki mekanik arıtma birimlerinde, biyolojik arıtma birimlerinde, diğer birimler ve AAT tamamı için toplam enerji kullanımı ve AAT ait tasarım argümanları elde edilmiştir. Bu verilere dayanarak, AAT girişteki yükleri, enerji ilişkileri, şebekeden çekilen enerji, giderim verimleri, jeneratör enerji üretimi incelenerek toplam enerji tüketimi açısından kWh/m³ cinsinden arıtım enerji miktarları, m³/kişi ve harcanan enerji/kişi miktarları bulunmuştur. Tablo1.'de Ceyhan AAT 2017 yılına ait verilerin aylık bazda çamur değerleri verilmiştir, Tablo2.'de de Ceyhan AAT nin 2017 yılı süresince takip edilen enerji değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Ceyhan AAT Yıllık Çamur Parametreleri(2017)

Aylar	Debi m ³ /ay	Nihayi Çamurkeki Miktarı m ³ /ay	Kullanılan Polimer miktarı kg/ay	Dekantör Kuruluk %			Gaz Miktarı (Üretilen) Nm ³ /ay	Çakmakta Yakılan Gaz Miktarı Nm ³ /ay
				Ortalama %				
<i>Ocak</i>	1.049.660,00	528,46	1383,2	25,49	25,99	26,05	48.550,00	0,00
<i>Şubat</i>	916.951,00	497,16	1253,2	25,40	25,54	25,46	42.840,00	506
<i>Mart</i>	973.550,00	510,98	1417,45	25,34	25,47	25,65	47.550,00	280
<i>Nisan</i>	863.321,00	538,26	1120,05	25,94	25,98	26,05	28.590,00	0
<i>Mayıs</i>	1034123	800,18	1150,2	25,77	26,42	26,09	30.075,00	0
<i>Haziran</i>	932.447,00	931,65	1237,05	25,96	26,33	26,20	35.394,00	0
<i>Temmuz</i>	1.031.175,00	670,46	1188,9	25,79	25,80	25,96	36.609,00	0
<i>Ağustos</i>	834.529,00	381,60	827,1	25,62	25,81	25,86	22.213,00	0
<i>Eylül</i>	842.349,00	360,36	840,9	26,28	25,96	25,78	22.016,00	0
<i>Ekim</i>	729.106,00	309,60	733,5	25,59	25,43	25,69	24.346,00	0
<i>Kasım</i>	874.709,00	533,57	1102,3	25,52	25,69	25,36	29.844,00	0
<i>Aralık</i>	974.030,00	491,50	1435,05	25,47	25,21	25,58	40.531,00	0
<i>Ortalama</i>	921.329,17	546,15	1.140,74	25,68	25,80	25,81	34.046,50	65,50
Toplam	11.055.950,00	6.553,83	13.688,90				408.558,00	786,00

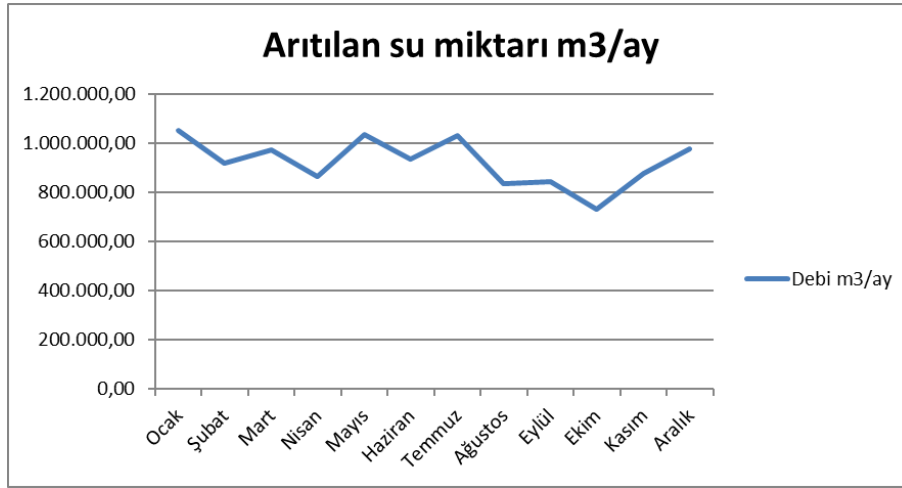
Ceyhan AAT nde yıllık ortalama 546,15 m³ çamur keki çıkarken; yıllık ortalama 34046,50 m³'te gaz üretilmektedir. Yine tesiste yıllık periyotta toplam 6553,83 m³çamur keki çıkarken yıllık toplam 408.558 m³'te gaz üretilmektedir. Ceyhan'da yayla ve deniz turizminin çok olması sebebiyle yaz aylarında polimer miktarı 827,1 kg/ay kadar düşmektedir. Yaz aylarında tesise giren debiye de bakıldığında zaman Temmuz ayında olağan dışı bir artış görülmektedir. Bu artışın sebebi 2017 yılının haziran ayı sonunda Ramazan Bayramının olması ve bayram sonunda da bu yoğunluğun devam etmesiyle debi girişinin artmış oluşudur. Bir önemli noktaya daha değinmek gerekirse kullanılan polimer miktarı debi ile bağlantılı olmakla birlikte asıl önemli olan skala çamurunun yoğunluk derecesidir. Bu sebeple mevsimsel olarak belirli bir ortalama olmuş olsa da polimer miktarının bazı aylarda dikkat çekici şekilde farklı oluşu çamur yoğunluğu ile alakalıdır. Ceyhan AAT lerinde elde edilen 2017 yıllık enerji değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ceyhan AAT lerinde Elde Edilen 2017 Yıllık Enerji Değerleri

Aylar	Debi m ³ /ay	Jeneratör	Şebekeden Alınan	Toplam	E.Geri
		E. Üretimi (kWh/ay)	E. (kWh/ay)	E. Tüketimi (kWh/ay)	Kazanımı (%)
<i>Ocak</i>	1.049.660,00	83.804,83	78.780,59	162.585,48	51,60

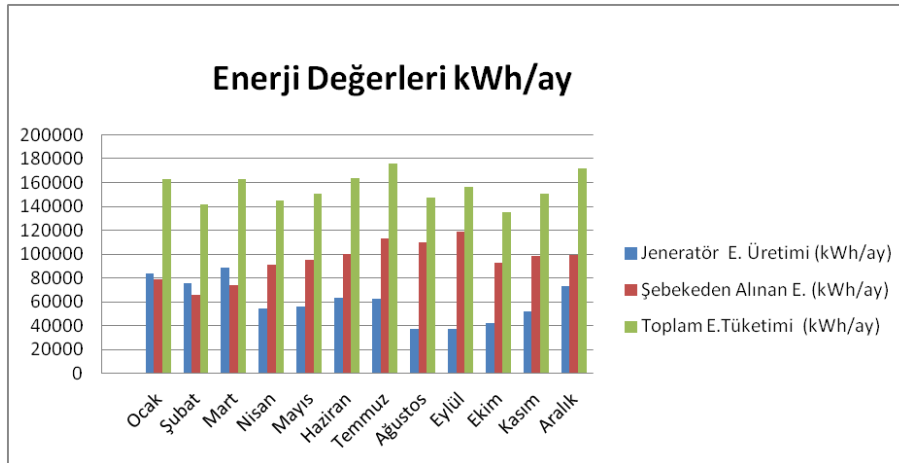
Şubat	916.951,00	75.714,51	65.768,22	141.482,73	53,67
Mart	973.550,00	88.936,64	73.998,88	162.935,52	54,41
Nisan	863.321,00	54.039	90.833,4	144.872,40	37,44
Mayıs	1034123	56.042	94.783,5	150.825,50	37,38
Haziran	932.447,00	63.526,07	100.056,6	163.582,67	38,91
Temmuz	1.031.175,00	62.769,47	11.2738,5	175.507,97	35,95
Ağustos	834.529,00	37.543	10.9941,3	147.484,30	25,45
Eylül	842.349,00	37.090	118.918,8	156.008,80	23,93
Ekim	729.106,00	42.086	92.723,4	134.809,40	31,76
Kasım	874.709,00	52.194	98.539,62	150.733,62	34,97
Aralık	974.030,00	72.908	99.243,9	172.151,90	42,63
Ortalama	921.329,17	60.554,46	94.693,89	155.248,36	39,01
Toplam	11.055.950,00	726.653,52	1.136.326,71	1.862.980,29	

Ceyhan AAT nden yıllık ortalama 155248,36 kWh enerji tüketilirken; bunun ortalama 60.554,46 kwh'ı gaz jeneratöründen üretilmektedir. Yine tesiste yıllık periyotta toplam 1.862.980,29 kWh enerji tüketilirken; bu enerjinin 726.653,52 kwh'ı gaz jeneratöründen üretilmektedir.



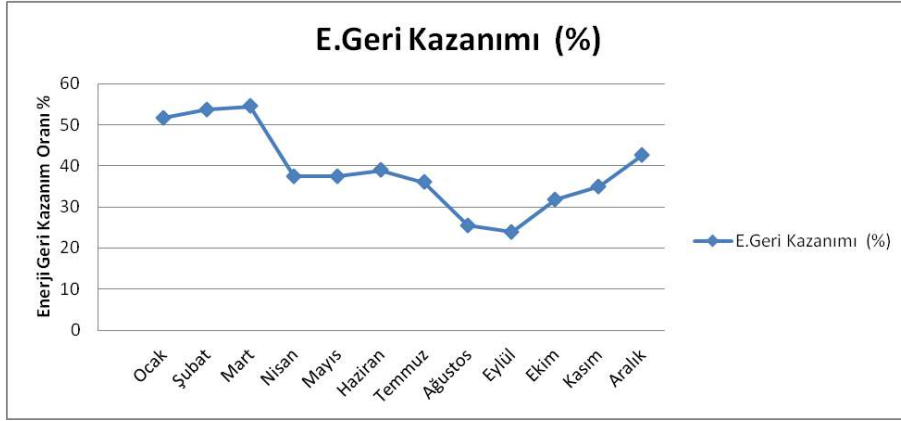
Şekil 2. Ceyhan AAT Aylık Arıtılan Atıksu Verileri (2017)

Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine ait; Şekil 2. de, görüldüğü gibi 2017 yılı aylık arıtılan atık su verilerinden en yüksek debinin 1.049.660,00 m3/ay ile Ocak ayı olurken en düşük debi ise 729.106,00 m3/ay Ekim ayıdır. Şekil 3'de ise enerji değerleri verilmiştir.



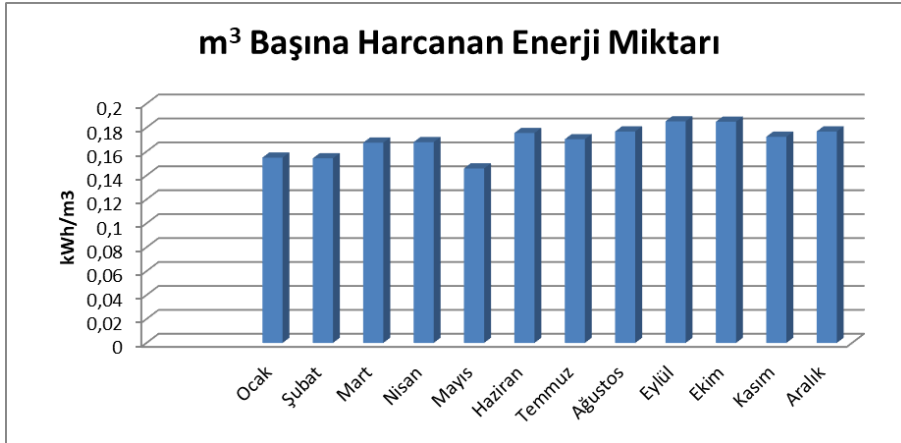
Şekil 3. Ceyhan AAT Aylık Enerji Verileri (2017)

Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine ait; Şekil 3. de, görüldüğü gibi 2017 yılı aylık enerji değerleri verilerinden en yüksek enerji üretiminin 88.936,64 kwh/ay ile Mart ayında olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4'de ise enerji geri kazanımının yüzdesi verilmiştir.



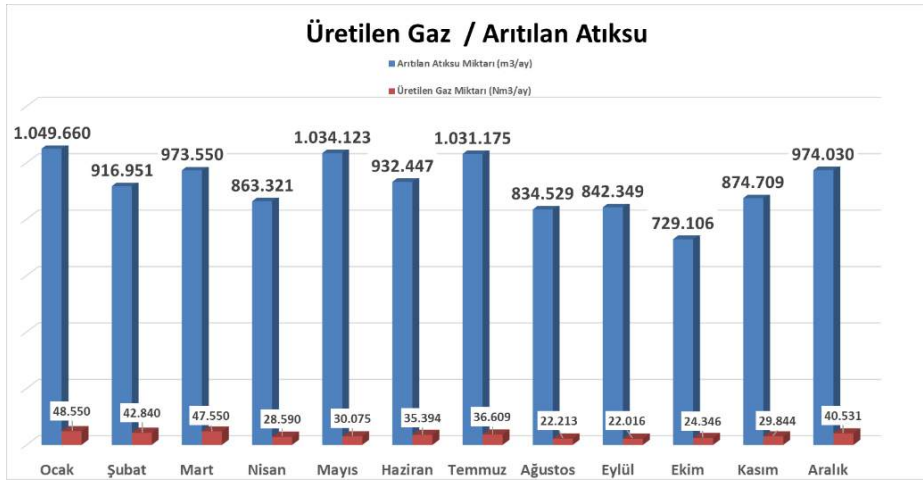
Şekil 4. Ceyhan AAT Aylık Enerji Geri Kazanım Verileri (2017)

Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine ait; Şekil 4. te, görüldüğü gibi 2017 yılı aylık enerji değerleri geri kazanımı verilerinden en yüksek kazanımın %54,41 ile Mart ayında olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5'de m³ başına harcanan enerji miktarı verilmiştir.



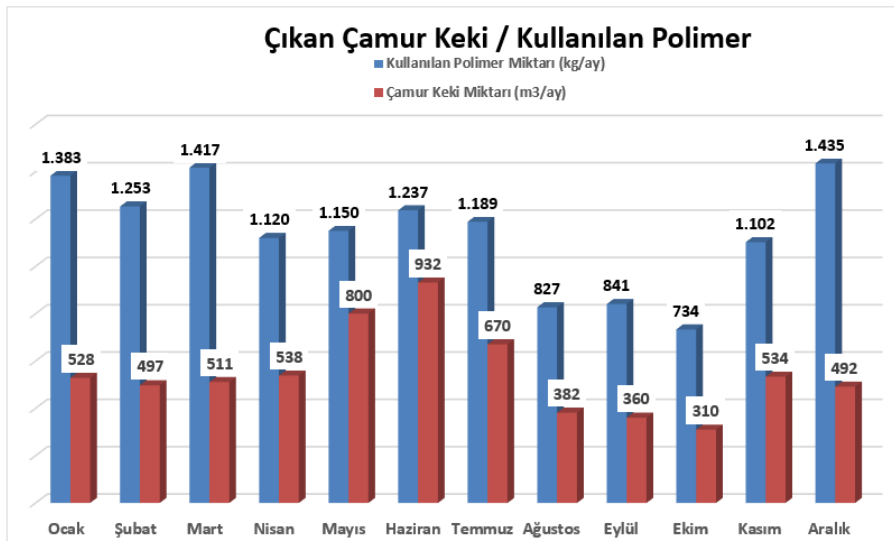
Şekil 5. Ceyhan AAT Aylık m³ başına arıtım için Enerji Tüketimi Verileri (2017)

Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine ait; Şekil 5. te, görüldüğü gibi 2017 yılı atıksu arıtımı aylık m³ başına harcanan kWh enerji değerleri en az 0,14 ile Mayıs ayında olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6'da üretilen gaz ile arıtılan suyun kıyaslama verileri gösterilmiştir.



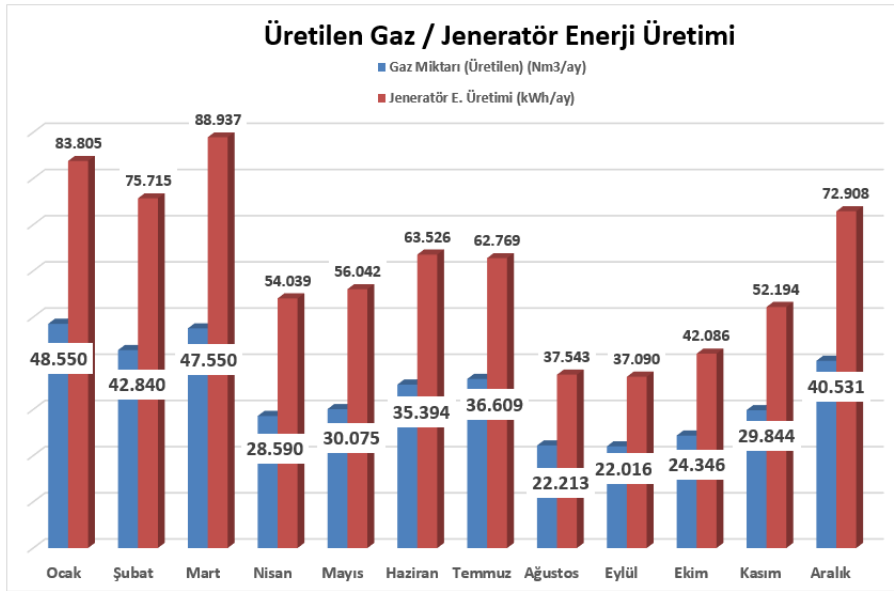
Şekil 6. Ceyhan AAT Aylık Arıtılan Atıksu Miktarı Üretilen Gaz İlişkisi (2017)

Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine ait; Şekil 5. te, görüldüğü gibi 2017 yılı aylarında arıtılan su miktarı ve üretilen gaz miktarının sırasıyla 1.049.660,00 m³/ay ve 48.550,00 m³/ay ile Ocak ayında en yüksek seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Ağustos ayında arıtılan su miktarı 834,529 m³/ay Üretilen gaz miktarının ise 22,213 m³/ay olması Ceyhan da yayla ve deniz turizmin çok olmasından dolayı yaz aylarında nüfusun azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7’de çıkan çamur keki ile kullanılan polimer oranı verilmiştir.



Şekil 7. Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisi 2017 Yılı Aylık Çıkan Çamur Keki-Kullanılan Polimer İlişkisi

Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine ait; Şekil 7. de, görüldüğü gibi 2017 yılı aylık çıkan çamur keki ve kullanılan polimer miktarları sırasıyla 309,6 m³/ay ve 733,5 kg/ay ile Ekim ayında en düşük seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Bunun en önemli sebebi ölçülen çamur yoğunlukları neticesinde polimer ihtiyacının bu denli yeterli oluşu ve prosesi kurtarışdır. Şekil 8’de üretilen gaz ile jeneratör üretimi oranı verilmiştir.



Şekil 8. Ceyhan Üretilen Gaz Miktarı-jeneratör enerji üretim ilişkisi(2017)

Ceyhan Atıksu Arıtma Tesisine ait; Şekil 7. de, görüldüğü gibi 2017 yılı aylık üretilen gaz ve jeneratörün enerji üretim miktarları sırasıyla 48550,00 m³/ay ile Ocak ayında ve 88936,64 kwh/ay ile Mart ayında en yüksek seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Bunun en önemli sebebi kış aylarında Ceyhan da nüfusun yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi Ceyhan da yazla ve deniz turizmin çok olmasından dolayı yaz aylarında nüfusun azalmasından dolayı üretilen gaz ve jeneratörün enerji üretiminin de azalmasından kaynaklanmaktadır.

7. SONUÇLAR

Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma prosesleri sonucu nihai ürün olarak fazla miktarda arıtma çamuru meydana gelmektedir. Arıtma çamurlarının bertarafı genelde çamurun susuzlaştırılarak hacminin azaltılması, depolama ünitelerine taşınması ile yapılabilir iken kullanılan yöntem ekstradan bir mali yük ile beraber boş alan işgaline sebep olması bakımından istenmeyen bir durumdur. Ayrıca vahşi depolama alanları da çevre için büyük oranda risk taşımaktadır. Atıksuların çevreye vermesi muhtemel zararlı etkilerinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Atıksuların arıtımından geriye kalan artık maddeler, genelde ızgaralardan çıkan çöp, kum, biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda ortaya çıkan çökebilir ve yüzdürülebilir katı maddelerdir. Bugün Dünyada mevcut çamur uzaklaştırma yöntemlerinin önümüzdeki yıllarda, çamur artışından kaynaklanan problemlerin çözümünde yeterli olamayacağı düşünülmekte olup yeni yöntem ve teknolojilerin geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Dünyada çamur uzaklaştırma yöntemleri çamurların ziraatta-toprakta kullanılması, çamurun toprağın niteliğini iyileştirmesi, ürünün verimi ve kalitesinin artırımı açısından ekolojik bir adım olarak görülmektedir. Çamur susuzlaştırma ünitelerinden çıkan çamurun bertaraf edilme zorluğu ve ekonomisi çamur yönetiminde daha yüksek kuru madde miktarının elde edilmesi açısından önem arz etmektedir. Atıksu arıtma tesisinden çıkan çamurun kurutulup, yakılarak hem bertaraf edilmesi hem de çıkan ısı ile elektrik üretecek sistemlerin yaygınlaşmasıyla; arıtma tesislerinden günlük tonlarca çamur çıktığı ve bu çamurun da kurutulup yakıldıktan sonra geriye kalan kısmın da neredeyse tamamının bertaraf edilebileceği, gelecekte yapılacak çalışmalar açısından umut veren bir bilgidir. Adana Ceyhan Atıksu Arıtma tesisi, yıllık periyotta incelendiğinde elde edilen değerler doğrultusunda; Adana Ceyhan Atıksu arıtma tesisi aktif çamur tesisidir. Bu tür tesislerde yüksek enerji ve işletme giderleri ile bilinmektedir. Düşük hacimlerde aşırı debiyi karşılayabilen bu sistem Ceyhan Atıksu arıtma tesisi için elverişli olduğu hesaplanmıştır. Atıksu arıtma tesisi tespit edilen araştırma neticeleri sonucunda; Atıksu arıtma tesisi genelinde arıtma verimleri, 2017 yılında en yüksek verim % 54,41 ile Mart ayıdır. Yıllık ortalama ise % 39,008'dir.

Kış aylarında Ceyhan da nüfusun yoğun olmasından dolayı gaz üretimi ve polimer tüketimi yüksek değerlerdedir. Yaz aylarında ise Ceyhan halkının yazla ve deniz turizmine ilgi duyması neticesinde nüfusun azalmasıyla üretilen gaz azalmaktadır, dolayısıyla jeneratörden elde edilen enerji üretiminde azalmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma enerji verimliliği temelinde kentsel Atıksu arıtma tesisi yatırımların sürdürülebilirliğinin belirli bir standarda göre sağlanması açısından da önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Buonocore, E., Mellino, S., De Angelis, G., Liu, G., & Ulgiati, S. (2018). Life cycle assessment indicators of urban wastewater and sewage sludge treatment. *Ecological indicators*, 94, 13-23.

- [2] Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R., & Iftimi, A. (2018). Energy intensity modeling for wastewater treatment technologies. *Science of the Total Environment*, 630, 1565-1572.
- [3] Özyazıcı M A, Özyazıcı G (2012). Arıtma Çamurunun Toprağın Bazı Temel Verimlilik Parametreleri Üzerine Etkileri. *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*, 27(2): 101-109.
- [4] Rojas, J., & Zhelev, T. (2012). Energy efficiency optimisation of wastewater treatment: Study of ATAD. *Computers & Chemical Engineering*, 38, 52-63
- [5] WERF. (2011). Energy Management. Alexandria, VA: Water Environment Research Foundation.
- [6] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ. (2018). dünyada ve türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 86-114.
- [7] Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Gomez, A., Bernal, M.P. and ROIG, A., (2002). Growth of Ornamental Plants in Two Composts Prepared from Agroindustrial Wastes. *Biores.Technol.* 83, 81–87.
- [9] Logan, B. E. (2005). Simultaneous wastewater treatment and biological electricity generation. *Water Science and Technology*, 52 (1-2), 31-37.
- [10] İRDEMEZ, Ş., YILMAZ, A. E., & ANLATICI, E. Evsel Atıksu Arıtma Çamurlarının Termal Kurutma-Yakma Prosesi ile Uzaklaştırılmasında Arıtma Verimi–Enerji İlişkisinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(4), 65-73.
- [11] Lee, K. M., Griffith, P., Farrell, J. B., & Eralp, A. E. (1987). Conversion of municipal sludge to oil. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 884-889.
- [12] <http://www.osbuk.org/atıksu.aspleri>, R., 2000. Çevre Biyoteknolojisi. Değişim Yayınları, Adapazarı.
- [13] Liu, Y., Li, J., Guo, W., Ngo, H. H., Hu, J., & Gao, M. T. (2018). Use of magnetic powder to effectively improve the performance of sequencing batch reactors (SBRs) in municipal wastewater treatment. *Bioresource technology*, 248, 135-139.
- [14] Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (1991). *Wastewater engineering. Management*, 7, 1-4.
- [15] Arceivala, S. J. (1981). *Wastewater treatment and disposal: engineering and ecology in pollution control*.
- [16] Gazete, R. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar, 8289.
- [17] YAĞLI, H., & Yıldız, K. O. Ç. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 35-48.
- [18] Spinoza, L. ve Vesilind P.A., 2001. *Sludge into Biosolids: Processing, Disposal and Utilization*, IWA Publishing, United Kingdom.
- [19] Ünlü, A. ve Tunç, M.S., 2007. Elazığ kenti atıksu arıtma tesisi çamur işleme birimlerinin işletiminin değerlendirilmesi. *Fırat Ü.Fen ve Mühendislik Bilimi Dergisi*, 19(1), 53-60.
- [20] OSBÜK-Atıksu, 2007. Atıksu arıtımının esasları, Organize Sanayi Bölgesi Üst Kurulması resmi web sitesi, Eylül 2007
- [21] Filibeli, A. (1998) Arıtma çamurlarının işlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları No:225, ISBN 975-441-117-4, 1-25 / 71-100
- [22] Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D., 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Mc Graw Hill Press, New York U.S.
- [23] Sopper, W.E., 1989. Utilisation of Sewage Sludge in the United States for Mine and Reclamation. *Alternative Uses for Sewage Sludge Conference Proceedings.U.K.* 5-7 September 1989, 21-40.
- [24] Palabıyık, H., Çevre Sorunu Olarak Kentsel Katı Atıklar (Çöpler) ve Entegre Katı Atık Yönetimi, *Türk İdare Dergisi*, 70(420):45-64, 1998, Ankara.
- [25] Aksu, T. (2008). Isparta Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2008
- [26] Boztoprak, H. (2014). Görüntü işleme teknikleri ve yapay zeka yöntemleri kullanarak atık su arıtmada performans analizlerinin incelenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [27] Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat.
- [28] Koç, Y., Yağlı, H., & Koç, A. (2019). Exergy analysis and performance improvement of a subcritical/supercritical organic rankine cycle (ORC) for exhaust gas waste heat recovery in a biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine through the use of regeneration. *Energies*, 12(4), 575.



Isolation and identification of the pyrethroid insecticide deltamethrin degrading bacteria from insects

Özlem Gür Özdal^{1*}, Ömer Faruk Algur²

¹ Science Faculty, Department of Biology, Ataturk University, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0003-3460-3638)

² Science Faculty, Department of Biology, Ataturk University, Erzurum, Turkey (ORCID: 0000-0001-6447-3454)

(İlk Geliş Tarihi 23 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.677008)

ATIF/REFERENCE: Gür Özdal, Ö. & Algur, Ö. F. (2020). Isolation and identification of the pyrethroid insecticide deltamethrin degrading bacteria from insects. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 905-910.

Abstract

Many studies have showed that the pesticide residues in the environment increase day by day because of their continuous use. Pesticides can degrade chemically, physically and biologically. Biodegradation is an eco-friendly, inexpensive and highly effective approach compared to other methods. Bacteria are the most commonly used biological agents in biodegradation studies. Widespread use of pyrethroid pesticides such as deltamethrin causes pollution of environment. A total of 14 bacterial isolates were isolated from insects (*Poecilimon tauricola*, *Locusta migratoria*, *Gryllus bimaculatus* and *Forficula auricularia*) living in pesticide contaminated environments. These bacterial isolates were identified and characterized as *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus atrophaeus*, *Acinetobacter lwoffii*, *Rhodococcus coprophilus*, *Brevundimonas vesicularis*, *Pseudomonas syringae*, *Yersinia frederiksenii*, *Bacillus licheniformis*, *Enterobacter intermedius* and *Serratia marcescens* based on biochemical and morphological properties and fatty acid profiles. As a result, these bacterial isolates can be used for the remove of deltamethrin at various environments.

Keywords: Bacteria, Biodegradation, Deltamethrin, Isolation

Böceklerden Piretroid İnsektisit Deltametrin Yıkıcı Bakterilerin İzolasyonu ve Tanımlanması

Öz

Birçok çalışma, sürekli kullanımları nedeniyle ortamdaki pestisit kalıntılarının her geçen gün arttığını göstermiştir. Pestisitler kimyasal, fiziksel ve biyolojik olarak parçanabilirler. Biyodegradasyon, diğer yöntemlere kıyasla çevre dostu, ucuz ve oldukça etkili bir yaklaşımdır. Biyodegradasyon çalışmalarında bakteriler en sık kullanılan biyolojik ajanlardır. Deltametrin gibi piretroid pestisitlerin yaygın kullanımı çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır. Pestisit kontamine ortamlarda yaşayan böceklerden (*Poecilimon tauricola*, *Locusta migratoria*, *Gryllus bimaculatus* ve *Forficula auricularia*) toplam 14 bakteri izolatu izole edilmiştir. Bu bakteri izolatları, biyokimyasal ve morfolojik özellikleri ve yağ asidi profillerine dayanarak *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus atrophaeus*, *Acinetobacter lwoffii*, *Rhodococcus coprophilus*, *Brevundimonas vesicularis*, *Pseudomonas syringae*, *Yersinia frederiksenii*, *Bacillus licheniformis*, *Enterobacter intermedius* ve *Serratia marcescens* olarak tanımlanmış ve karakterize edilmiştir. Sonuç olarak, bu bakteri izolatları çeşitli ortamlarda deltametrinin parçalanması için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Bakteriler, Biyodegradasyon, Deltametrin, İzolasyon

* Sorumlu Yazar: Ataturk University, Department of Biology, Erzurum, Turkey, ORCID: 0000-0003-3460-3638, ozlemgur55@gmail.com

1. Introduction

Natural or synthetic pesticides (organochlorine, organophosphate, carbamate, pyrethroids) are widely used to control unwanted pests. Pyrethroids account for about one-fifth of the global agrochemical market. Pyrethroids have potent neurotoxic activity against insects and low toxicity to animals. With the permanent use of pyrethroid worldwide, its residue has become a problem to animals, including humans. Pyrethroid insecticides, e.g., cyphenothrin, fenvalerate, esfenvalerate, deltamethrin, cypermethrin, cyhalothrin, fluvarinate, tralomethrin, cycloprothrin, acrinathrinallethrin, imiprothrin, permethrin and fenpropathrin are used in agriculture, animal health, home, and garden pest control throughout the world (Cycoń and Piotrowska-Seget, 2016; Zhang et al., 2016; Hao et al., 2018).

Pesticides are degraded into simpler and often less toxic chemicals in various ways such as chemical reactions, photodegradation and biodegradation. Biodegradation is an environment friendly, cheap and high efficiency approach compared to other methods. Bacteria and fungi with high enzyme (transferases, isomerases, ligases and hydrolases especially esterases, peroxidases and oxygenases) activity are used in biodegradation studies (Ortiz-Hernández et al., 2013; Ozdal et al., 2017).

Deltamethrin (C₂₂H₁₉Br₂NO₃) is a broad-spectrum insecticide belonging to pyrethroids (Figure 1). Deltamethrin is widely used in agriculture because of its low cost, persistence, stability and low toxicity to mammals. It is used for the control of pests such as mosquitoes, cockroaches, flies, ants and fleas due to effective at very low concentrations (Hao et al., 2018; Lu et al., 2019)

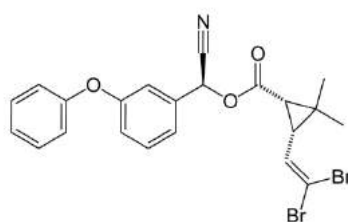


Figure 1. Chemical structure of deltamethrin

Microflora in the digestive tract of insect species is being investigated. The nutrient-rich digestive tract of insects is an appropriate growth environment for these microorganisms. The bacterial flora in the digestive tract of the insect has a very variable and broad enzymatic potential. Insect gut bacterial isolates have been demonstrated to break down many compounds such as pesticide (Ozidal et al., 2016a, b). Insect intestines provide a suitable medium for gene transfer between bacteria. Microorganisms can adapt to new environments by acquiring different features with horizontal gene transfer, conjugative plasmid and simple mutations to different environmental conditions (Pietri et al., 2018; Ramakrishnan et al., 2019). In this context, it is highly possible to isolate pesticide resistant microorganisms from insect intestines.

In many insect groups, resistance to pesticides occurs as a result of the use of pesticides. The intestinal flora of insects, which are observed to be resistant to pesticides, is very rich in bacteria that can be used in the biodegradation of pesticides. The purpose of this study was to isolate the bacteria capable of degrading deltamethrin from different insects.

2. Materials and Methods

2.1. Chemicals

Deltamethrin and other chemicals used in the study were of analytical purity and were obtained from Sigma and the media were obtained from Merck and Difco.

2.2. Preparation of media and solutions used in the study

Carbon-free mineral salt medium (MSM) was used for isolation of deltamethrin degrading bacteria. The medium contained 2.0 g of (NH₄)₂SO₄, 0.2 g of MgSO₄ 7H₂O, 0.01 g of CaCl₂ 2H₂O, 0.001 g of FeSO₄ 7H₂O, 1.5 g of Na₂H-PO₄ 12H₂O, and 1.5 g of KH₂PO₄ per litre of deionized water (Cycoń et al., 2014). The final pH value was adjusted to 7.2. After autoclaving (121 °C, 15 min) and cooling, the medium was supplemented with 100 mg/L deltamethrin.

2.3. Insects used in the study

The insects belonging to Orthoptera and Dermaptera were collected from different regions during the spring-summer period and species identification Prof. Dr. Orhan Erman. Bacteria that can use deltamethrin as a carbon source were isolated from insects.

2.4. Isolation of Deltamethrin Degrading Bacteria

The insect samples were subjected to surface sterilization with 70% ethyl alcohol for 3 minutes and after alcohol removal with sterile physiological water (SFS), homogenized by crushing in a sterile mortar with SFS (Okay et al., 2013). Serial dilutions of homogenate were prepared and 0.1 mL of liquid was inoculated to liquid minimal medium containing 100 mg/L of deltamethrin. After one week, 1 ml of each culture was re-inoculated into new deltamethrin-MSM medium and further incubated at 30°C and 150 rpm for 7 days. This

subculture was repeated under the same culture conditions, and then an aliquot (0.2 ml) from each culture was applied to solid deltamethrin-MSM for isolation of single colonies. Colonies of different character were isolated by transferring to Tryptic Soy Agar plates and stored on slant agar at + 4 ° C.

2.5. Identification of isolates

Deltamethrin degrading bacteria were identified using morphological, cultural, biochemical properties (Gram, cell shape, endospores, movement, catalase, oxidase) (Harley and Prescott, 2002) and fatty acid profiles (Kotan et al., 2006).

3. Results and Discussion

There is a close relationship between bacteria and other living things. Therefore, insect microflora enables us to find new and biotechnological microorganisms. *Serratia marcescens* MO-1 isolated from grasshopper (*Poecilimon tauricola*) has both chitinase activity (Okay et al., 2013) and the ability to produce prodigiosin pigment (Kurbanoglu et al., 2015) which has antimicrobial and anticancer properties. Also, *Pseudomonas aeruginosa* OG1 isolated from cockroaches (*Blatta orientalis*) can produce pyocyanin, a pigment of biotechnological importance (Ozdal, 2019). Insects can change their ecological and physiological properties thanks to symbiotic bacteria (Pietri and Liang, 2018). Kikuchi et al., (2012) indicated that bacteria of the genus *Burkholderia* develop resistance against the fenitrothion (organophosphate pesticide) in the bean bug (*Riptortus pedestris*). Chlorpyrifos and fipronil resistant strains of diamond back moth (*Plutella xylostella*) have higher levels of Lactobacillales, Pseudomonadales and Xanthomonadales compared to susceptible insects (Xia et al., 2013). *Stenotrophomonas maltophilia* OG-2, isolated from the intestine of the cockroach (*Blatta orientalis*), can degrade both α -endosulfan (Ozdal et al., 2017) and synthetic pyrethroid α -cypermethrin (Gur et al., 2014).

In this study, insects belonging to Orthoptera and Dermaptera were collected from the areas where insecticides were used (Table 1). As a result of isolations, 14 bacteria were isolated on solid medium containing deltamethrin. Table 1 lists the insect species and isolate groups from which the isolates were obtained.

Table 1 Insect species from which isolates were obtained

Strain Group	Insect Name	Place of collection	Family	Order
DPT	<i>Poecilimon tauricola</i> (Ramme 1951)	Erzurum	Tettigoniidae	Orthoptera
DLM	<i>Locusta migratoria</i> (Linnaeus 1758)	İzmir	Acrididae	Orthoptera
DGB	<i>Gryllus bimaculatus</i> (De Geer 1773)	Antalya	Gryllidae	Orthoptera
DFA	<i>Forficula auricularia</i> (Linnaeus 1758)	Samsun	Forficulidae	Dermaptera

A total of 14 bacterial isolates were isolated from medium containing deltamethrin based on visible colony differences. Among all these 14 deltamethrin degrading bacterial isolates, 3 were Gram-positive rods and 11 were Gram-negative rods. Total 2 isolates indicated positive results for endospore. All the isolates were catalase positive. Of these isolates, 3 were oxidase positive, 10 were motile and 3 were urease positive (Table 2).

Table 2 Cultural, morphological and biochemical properties of isolates

Isolate code	Gram	Cell shape	Endospor	Motile	Catalase	Oxidase	Urease
DGB1	-	Rod	-	+	+	+	-
DLM1	+	Rod	-	-	+	-	+
DPT1	+	Rod	+	+	+	-	-
DPT2	-	Rod	-	+	+	-	-
DLM2	-	Rod	-	-	+	-	+
DFA1	+	Rod	+	+	+	-	-
DPT3	-	Rod	-	+	+	-	-
DPT4	-	Rod	-	+	+	-	-
DPT5	-	Rod	-	+	+	+	-
DLM3	-	Rod	-	+	+	-	+
DFA2	-	Rod	-	+	+	-	-
DGB2	-	Rod	-	+	+	+	-
DGB3	-	Rod	-	-	+	-	-
DLM4	-	Rod	-	-	+	-	-

Table 3 Fatty acid profiles of bacteria isolated from insects

Fatty acids	Bacteria													
	DGB1	DGB2	DGB3	DFA1	DFA2	DPT1	DPT2	DPT3	DPT4	DPT5	DLM1	DLM2	DLM3	DLM4
10:0		0.32			0.62				0.30	0.26		0.47	0.21	
10:0 3OH		3.14			0.16		3.3		10.12	3.18			2.2	
12:0		4.3	6.37		2.67		4.9	5.7	1.13	4.2		6.4	5.09	9.8
12:0 2OH		4.9					4.7	0.4	0.42	4.7			4.29	
12:0 3OH	2.4		4.92		2.82		4.3		2.3		0.4			3.2
13:0 iso					0.41									
14:0 iso				1.1	0.67	1.1								
14:0	3.05	0.63			3.80			6.3	4.7	0.58	1.9	1.7	0.65	
14:0 3OH								5.57						
15:0 iso				19.1	33.67	12.47								
15:0 Antesio				40.8	12.10	50.34								
15:0	3.38							2.1			2.8	0.2		
16:0 iso				4.7	1.10	3.3								
16:1 w7c								29.76	12.1		6.2			
16:1 w9c					3.58									
16:1 w11c				2.2										
16:0	20.7	24.8	12.5	5.1	9.05	2.74	26.4	29.99	27.3	25.2	23.2	37.2	25.66	19.44
16:0 10-methyl											14.4			
17:1 w8c	2.2		0.93											
17:0 cyclo		0.85					2.3	3.2	13.7	1		2	0.48	
17:0	1.1	0.13						1.9	0.44	0.15	1.9	0.1		
17:1 iso w10c														
17:0 iso				5.9	3.11	5.7	0.3					0.1		
17:0 antesio				15.8	0.41	16.1								
17:0 10-methyl											2.4			
17:0 w Cyclo 7-8												29.1		
18:1 w7c	52.7	42.4	5.85		0.84		13.7	11.7	14.2	41.3		2.1	44.14	3.45
18:1 w9c			37.21		1.62						2.3			21.67
18:0	0.4	0.38	2.33		0.22		2.3	0.46	0.3	0.44		1.1	0.64	
18:0 10-methyl											6.7			
19:0												0.7		
16:1 w7c/15:0 iso	6.8	16.66	26.45		10.96		30.6			17.43		3.6	18.29	39.6
2OH														
17:1 w8c	2.2	0.22								0.20	0.8			
14:0 3OH/16:1 iso												9.4		

According to the results of MIS analysis, fatty acid profiles of the isolates are summarized in Table 3. As a result of MIS analysis, 8 different genera and 13 different species of bacterial isolates were identified. Isolates based on morphological, biochemical and fatty acid data were identified as *Acinetobacter lwoffii* (DLM4), *Pseudomonas aeruginosa* (DPT5, DGB2), *Stenotrophomonas maltophilia* (DFA2), *Bacillus licheniformis* (DFA1, DLM1), *Bacillus atrophaeus* (DPT1), *Pseudomonas syringae* (DPT2), *Yersinia frederiksenii* (DLM2), *Enterobacter intermedius* (DPT3), *Serratia marcescens* (DPT4) and *Flavimonas oryzihabitans* (DLM3). The genera of the isolated bacteria were mainly identified as *Pseudomonas* and *Bacillus*. The highest bacterial diversity was observed in *Poecilimon tauricola* (5) and *Locusta migratoria* (4).

Table 4 Deltamethrin degrading microorganisms isolated from different environments

Strain	Source	Reference
<i>Streptomyces aureus</i> HP-S-01	Activated sludge	Chen et al., 2011
<i>Bacillus cereus</i> Y1	Deltamethrin contaminated soil	Zhang et al., 2016
<i>Lysinibacillus fusiformis</i> ZJ6	Soil	Hao et al., 2018
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> MCm5	Pyrethroid contaminated soil	Akbar et al., 2015a
<i>Brevibacillus parabrevis</i> FCm9		
<i>Sphingomonas</i> sp. RCm6		
<i>Bacillus megaterium</i> JCm2	Pyrethroid contaminated soil	Akbar et al., 2015b
<i>Rhodococcus</i> sp. JCm5		
<i>Ochrobactrum anthropi</i> JCm1		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> JQ-41	Pyrethroid contaminated soil	Song et al., 2015
<i>Serratia marcescens</i> DeI-1, DeI-2	Deltamethrin treated soil	Cycoń et al., 2014
<i>Acinetobacter baumannii</i> ZH-14	Sewage sludge	Zhan et al., 2018

Many different bacteria have been isolated and characterized with their ability to degradation various pesticides. In previous studies, bacteria capable of degrading deltamethrin were mostly isolated from agricultural areas where intensive pesticides were used. However, the potential of these microorganisms to degrade deltamethrin has been confirmed for some bacteria of the genera *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Rhodococcus* (Table 4). Song et al., (2015) studied the deltamethrin biodegradation with *Pseudomonas aeruginosa* JQ-41 strain isolated from the pyrethroid contaminated soil. In another study, *Acinetobacter calcoaceticus* MCm5 was used in biodegradation of deltamethrin (Akbar et al., 2015a). Similar bacteria were isolated

in this study. When Table 4 is analyzed, it is seen that the bacteria used in deltamethrin degradation are generally isolated from soil and sludge. All bacteria obtained from this study were isolated from insect flora. In addition, it has been determined that new species may be effective in deltamethrin biodegradation.

The bacteria isolated in this study can undoubtedly be used in biodegradation studies. As seen in Table 5, different strains of the species isolated in this study have been reported to have been used for the degradation of many different pesticides. It has been determined that insects are important source for the isolation of bacteria that break down pesticides.

Table 5 Comparison of the use of the isolated species in the degradation of different pesticides

Bacteria	Pesticide	References
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	Endosulfan	Ozidal et al., 2016b
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Atrazine	Yang et al., 2017
	Endosulfan	Ozidal et al., 2016b
	Fenvalerate	Fulekar, 2009
	Acephate, dimethoate, parathion, chlorpyrifos, malathion	Ramu and Seetharaman, 2014
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	chlorpyrifos and dichlorvos	Gaonkar et al., 2019
	α -endosulfan, α -cypermethrin	Gur et al., 2014; Ozidal et al., 2017
<i>Bacillus licheniformis</i>	Diazinon	Pourbabae et al., 2018
	Fenvalerate	Tang et al., 2018
<i>Bacillus atrophaeus</i>	β -cyclodextrin, β -cypermethrin	Zhao et al., 2015
	α -Endosulfan	Ozidal et al., 2016b
<i>Pseudomonas syringae</i>		
<i>Yersinia frederiksenii</i>	Permethrin	Lee et al., 2004
<i>Enterobacter intermedius</i>		
<i>Serratia marcescens</i>	DDT	Neerja, Grewal et al., 2016
<i>Flavimonas oryzihabitans</i>	DDT	Barragan-Huerta et al., 2007

4. Conclusion

Strains of *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Bacillus atrophaeus*, *Acinetobacter lwoffii*, *Rhodococcus coprophilus*, *Brevundimonas vesicularis*, *Pseudomonas syringae*, *Yersinia frederiksenii*, *Bacillus licheniformis*, *Enterobacter intermedius* and *Serratia marcescens*, able to use deltamethrin as the only carbon source, were isolated from *Poecilimon tauricola*, *Locusta migratoria*, *Gryllus bimaculatus* and *Forficula auricularia*. Pesticide resistant insect microbiota has been shown to be a rich source for isolation of microbes that can degradation pesticides and a promising tool for biotechnological discovery in bioremediation programs. In order to find new biocatalysts in the degradation of pesticides, isolation can be made from insects that can live in pesticide environments. As a result, it can be said that isolated deltamethrin degrading microorganisms can be used in the treatment studies in the dirty areas of this insecticide. However, optimization studies are also needed to make biodegradation highly efficient and feasible.

References

- Akbar, S., Sultan, S., & Kertesz, M. (2015a). Determination of cypermethrin degradation potential of soil bacteria along with plant growth-promoting characteristics. *Current Microbiology*, 70(1), 75-84.
- Akbar, S., Sultan, S., & Kertesz, M. (2015b). Bacterial community analysis of cypermethrin enrichment cultures and bioremediation of cypermethrin contaminated soils. *Journal of Basic Microbiology*, 55(7), 819-829.
- Barragan-Huerta, B. E., Costa-Pérez, C., Peralta-Cruz, J., Barrera-Cortés, J., Esparza-García, F., & Rodríguez-Vázquez, R. (2007). Biodegradation of organochlorine pesticides by bacteria grown in microniches of the porous structure of green bean coffee. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 59(3), 239-244.
- Chen, S., Lai, K., Li, Y., Hu, M., Zhang, Y., & Zeng, Y. (2011). Biodegradation of deltamethrin and its hydrolysis product 3-phenoxybenzaldehyde by a newly isolated *Streptomyces aureus* strain HP-S-01. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(4), 1471-1483.
- Cycoń, M., & Piotrowska-Seget, Z. (2016). Pyrethroid-degrading microorganisms and their potential for the bioremediation of contaminated soils: a review. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1463.
- Cycoń, M., Żmijowska, A., & Piotrowska-Seget, Z. (2014). Enhancement of deltamethrin degradation by soil bioaugmentation with two different strains of *Serratia marcescens*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5), 1305-1316.
- Fulekar, M. H. (2009). Bioremediation of fenvalerate by *Pseudomonas aeruginosa* in a scale up bioreactor. *Romanian Biotechnological Letters*, 14, 4900-4905.
- Gaonkar, O., Nambi, I. M., & Suresh Kumar, G. (2019). Biodegradation kinetics of dichlorvos and chlorpyrifos by enriched bacterial cultures from an agricultural soil. *Bioremediation Journal*, 23(4), 259-276.
- Gür, Ö., Özidal, M., & Algur, Ö. F. (2014). Biodegradation of the synthetic pyrethroid insecticide α -cypermethrin by *Stenotrophomonas maltophilia* OG2. *Turkish Journal of Biology*, 38(5), 684-689.
- Hao, X., Zhang, X., Duan, B., Huo, S., Lin, W., Xia, X., & Liu, K. (2018). Screening and genome sequencing of deltamethrin-degrading bacterium ZJ6. *Current Microbiology*, 75(11), 1468-1476.
- Harley, J. P., & Prescott L.M. 2002. Laboratory Exercises in Microbiology. McGraw-Hill Pub. 5th edition.

- Kikuchi, Y., Hayatsu, M., Hosokawa, T., Nagayama, A., Tago, K., & Fukatsu, T. (2012). Symbiont-mediated insecticide resistance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(22), 8618-8622.
- Kotan, R., Sahin, F., & Ala, A. (2006). Identification and pathogenicity of bacteria isolated from pome fruit trees in the Eastern Anatolia region of Turkey. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 8-13.
- Kurbanoglu, E. B., Ozdal, M., Ozdal, O. G., & Algur, O. F. (2015). Enhanced production of prodigiosin by *Serratia marcescens* MO-1 using ram horn peptone. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(2), 631-637.
- Lee, S., Gan, J., Kim, J. S., Kabashima, J. N., & Crowley, D. E. (2004). Microbial transformation of pyrethroid insecticides in aqueous and sediment phases. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 23(1), 1-6.
- Lu, Q., Sun, Y., Ares, I., Anadón, A., Martínez, M., Martínez-Larrañaga, M. R., Yuan, X., Wang, M.A., & Martínez, M. A. (2019). Deltamethrin toxicity: A review of oxidative stress and metabolism. *Environmental Research*, 170, 260-281.
- Neerja, Grewal, J., Bhattacharya, A., Kumar, S., Singh, D. K., & Khare, S. K. (2016). Biodegradation of 1, 1, 1-trichloro-2, 2-bis (4-chlorophenyl) ethane (DDT) by using *Serratia marcescens* NCIM 2919. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 51(12), 809-816.
- Okay, S., Özdal, M., & Kurbanoğlu, E. B. (2013). Characterization, antifungal activity, and cell immobilization of a chitinase from *Serratia marcescens* MO-1. *Turkish Journal of Biology*, 37(6), 639-644.
- Ortiz-Hernández, M. L., Sánchez-Salinas, E., Dantán-González, E., & Castrejón-Godínez, M. L. (2013). Pesticide biodegradation: mechanisms, genetics and strategies to enhance the process. *Biodegradation-Life of Science*, 251-287.
- Ozdal, M., Ozdal, O. G., & Algur, O. F. (2016a). Isolation and characterization of α -endosulfan degrading bacteria from the microflora of cockroaches. *Polish Journal of Microbiology*, 65(1), 63-68.
- Ozdal, Ö. G., Özdal, M., Algur, Ö. F., & Sezen, A. (2016b). Isolation and identification of α -Endosulfan degrading bacteria from insect microflora. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(4), 248-254.
- Ozdal, M. (2019). A new strategy for the efficient production of pyocyanin, a versatile pigment, in *Pseudomonas aeruginosa* OG1 via toluene addition. *3 Biotech*, 9(10), 374.
- Ozdal, M., Ozdal, O. G., Algur, O. F., & Kurbanoglu, E. B. (2017). Biodegradation of α -endosulfan via hydrolysis pathway by *Stenotrophomonas maltophilia* OG2. *3 Biotech*, 7(2), 113.
- Pietri, J. E., & Liang, D. (2018). The Links Between Insect Symbionts and Insecticide Resistance: Causal Relationships and Physiological Tradeoffs. *Annals of the Entomological Society of America*, 111(3), 92-97.
- Pietri, J. E., Tiffany, C., & Liang, D. (2018). Disruption of the microbiota affects physiological and evolutionary aspects of insecticide resistance in the German cockroach, an important urban pest. *PLoS One*, 13(12), e0207985.
- Pourbabae, A. A., Soleymani, S., Farahbakhsh, M., & Torabi, E. (2018). Biodegradation of diazinon by the *Stenotrophomonas maltophilia* PS: pesticide dissipation kinetics and breakdown characterization using FTIR. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(5), 1073-1084.
- Ramakrishnan, B., Venkateswarlu, K., Sethunathan, N., & Megharaj, M. (2019). Local applications but global implications: Can pesticides drive microorganisms to develop antimicrobial resistance? *Science of The Total Environment*, 654, 177-189.
- Ramu, S., & Seetharaman, B. (2014). Biodegradation of acephate and methamidophos by a soil bacterium *Pseudomonas aeruginosa* strain Is-6. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 49(1), 23-34.
- Song, H., Zhou, Z., Liu, Y., Deng, S., & Xu, H. (2015). Kinetics and mechanism of fenpropathrin biodegradation by a newly isolated *Pseudomonas aeruginosa* sp. strain JQ-41. *Current Microbiology*, 71(3), 326-332.
- Tang, J., Liu, B., Shi, Y., Zeng, C. Y., Chen, T. T., Zeng, L., & Zhang, Q. (2018). Isolation, identification, and fenvalerate-degrading potential of *Bacillus licheniformis* CY-012. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 32(3), 574-582.
- Xia, X., Zheng, D., Zhong, H., Qin, B., Gurr, G. M., Vasseur, L., Lin H., Bai J., He, W., & You, M. (2013). DNA sequencing reveals the midgut microbiota of diamondback moth, *Cimex xylostella* (L.) and a possible relationship with insecticide resistance. *PLoS One*. 8(7): e68852.
- Yang, F., Jiang, Q., Zhu, M., Zhao, L., & Zhang, Y. (2017). Effects of biochars and MWNTs on biodegradation behavior of atrazine by *Acinetobacter lwoffii* DNS32. *Science of the Total Environment*, 577, 54-60.
- Zhan, H., Wang, H., Liao, L., Feng, Y., Fan, X., Zhang, L., & Chen, S. (2018). Kinetics and novel degradation pathway of permethrin in *Acinetobacter baumannii* ZH-14. *Frontiers in Microbiology*, 9, 98.
- Zhang, H., Zhang, Y., Hou, Z., Wang, X., Wang, J., Lu, Z., Zhao, X., Sun, F., & Pan, H. (2016). Biodegradation potential of deltamethrin by the *Bacillus cereus* strain Y1 in both culture and contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 106, 53-59.
- Zhao, J., Chi, Y., Liu, F., Jia, D., & Yao, K. (2015). Effects of two surfactants and beta-cyclodextrin on beta-cypermethrin degradation by *Bacillus licheniformis* B-1. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(50), 10729-10735.



FPGA Kullanılarak Görüntülerin Gerçek Zamanlı Olarak OTSU Metodu ile Bölütlenmesi*

Halil Kaygısız^{1†}, Abdülkadir Çakır²

¹Akdeniz Üniversitesi, Korkuteli MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Antalya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5685-4799)

²Teknoloji Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-00002-2902-9996)

(İlk Geliş Tarihi 30 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.682278)

ATIF/REFERENCE: Kaygısız, H. & Çakır, A. (2020). FPGA Kullanılarak Görüntülerin Gerçek Zamanlı Olarak OTSU Metodu ile Bölütlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 911-917.

Öz

OTSU, gri seviye görüntülerin bölütlenebilmesinde kullanılabilen bir eşik tespit metodudur. Görüntünün başarılı bir şekilde bölütlenmesinde eşik değeri büyük önem taşımaktadır. Eşik değerinin çok büyük seçilmesi ile oluşturulacak yeni görüntüde yanlışlıkla piksellerin birçoğu beyaz, küçük seçilmesi durumunda ise siyah olacaktır ve görüntüde saklanan veri azalacaktır. Belki de aranan bilgi kaçırılacaktır. Ayrıca OTSU metodunda, ortamdaki ışık değişimlerinden bölütleme sonucunun en az şekilde etkilenmesini sağlayacak eşik değeri otomatik olarak hesaplanmaktadır. OTSU metodunun gerçek zamanlı olarak görüntüye uygulanabilmesinde işlem yükünün çok fazla olmasından dolayı yüksek kapasiteli ve maliyetli donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada yüksek işlem kapasitesine sahip olması ve düşük maliyeti olması sebebiyle FPGA kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: FPGA, OTSU Metodu, Görüntü Bölütleme, Gerçek Zamanlı Sistem

Real Time Image Segmentation Using FPGA with OTSU Method

Abstract

OTSU is a threshold value calculation method, which use to segmentation of grayscale images. Threshold value is very important for successful segmentation of the images. If you mistakenly select big threshold value, many pixels in the new image will be white or If you select small threshold value, a lot of pixels in the new image will be black and data stored in the image will be reduced. Maybe the requested data will be lost. In addition, the threshold value is calculated automatically with OTSU method ensuring that the segmentation result is minimally affected from change in ambient light. Because the OTSU method can be applied to the image in real time, high capacity and costly equipment are required due to the high processing load. This study was used in the FPGA due to its low cost and having high processing capacity.

Keywords: FPGA, OTSU Method, Image Segmentation, Real-Time System

* Bu çalışma daha önce düzenlenen Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı'nda tam metin bildiri olarak sunulmuştur.

† Sorumlu Yazar: Akdeniz Üniversitesi, Korkuteli MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Antalya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5685-4799, halilkaygisiz@akdeniz.edu.tr
<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

1. Giriş

Bölütleme; görüntü işleme uygulamalarının önemli bir aşamasıdır. Görüntü içerisindeki bilginin doğru analiz edilmesi uygulamanın sonucunu doğrudan etkilemektedir. Bölütleme işlemi global veya adaptif olarak eşik değerlerinin belirlenmesiyle yapılmaktadır. Adaptif eşik değeri ile yapılan bölütleme ortamdaki ışık değişimlerine göre değişmektedir. Bu yüzden ışık şiddetinin değişimine göre eşik değerinin değişmesi ile bölütlemeye başarılı sonuçlar alınmıştır [1]. OTSU olasılık temelli olarak çalışan görüntü işleme uygulamalarında sıkça kullanılan bir algoritmadır. Fakat görüntüdeki tüm pikseller için olasılıksal hesaplama yapılması işlem yükünü artırmaktadır. Zamanın çok önemli olduğu gerçek zamanlı uygulamalarda yüksek maliyetli donanımlar kullanılmaktadır. Son yıllarda görüntü işleme çalışmalarında paralel programlama yeteneği, yüksek performansı ve düşük maliyeti ile FPGA kartlar tercih edilmektedir.

Literatür incelendiğinde; Wang ve arkadaşları jpg formatındaki görüntüyü FPGA karta aktarmışlardır ve OTSU metodu ile eşik belirlenerek görüntünün bölütlenmesini sağlamışlardır [2]. Ieno ve arkadaşları; simulink programını kullanarak FPGA karta aktardıkları görüntüyü görüntü işleme arabirimini kullanarak hazır OTSU aracı ile eşik değerini tespit etmişlerdir [9]. Literatürdeki çalışmalarda görüntüler kameralar aracılığı ile FPGA karta aktarılmamaktadır. Görüntüler genellikle jpg formatında veya matris olarak FPGA karta aktarılmıştır. Bu çalışma ile kameradan alınan gerçek zamanlı görüntülerin FPGA kullanılarak alınması ve gerçek zamanlı olarak bölütlenmesi gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. FPGA

FPGA, “Sahada Programlanabilir Kapı Dizileri” anlamındaki “Field Programmable Gate Array” ifadesinin kısaltılmış şeklidir. FPGA’in yapısı GateArrayASIC’lere benzer bu nedenle kapı dizileri ismi verilmiştir.

FPGA, üretimi yapıldıktan sonra istenilen fonksiyonlara göre kullanıcı tarafından donanım yapısı tekrar tekrar değiştirilebilen tümeleşik devre olarak tanımlanabilir. Kullanıcının uyguladığı probleme göre, içerisindeki mantık kapıları birbirlerine bağlanarak istenilen yapı gerçekleştirilebilir [3].

FPGA paralel işlem yeteneğinden dolayı işlem yükü fazla olan işlemlerde tercih edilmektedir. Görüntü işleme ve görüntü tanıma alanlarında yapılan işlemlerin işlem yükünün fazla olmasından dolayı bu çalışma alanlarında FPGA’lar sıkça kullanılmaktadır [4].

Gerçek zamanlı görüntü uygulamalarında işlem yükünün fazla olmasına karşın hızlı sonuç üretmek zorundadır. OTSU metodunun çalışma yapısı ve matematiksel işlem yükü göz önünde bulundurulduğunda FPGA kullanımı gerekli donanım maliyetini düşürerek başarılı sonuçlar alınmasını sağlamıştır [5].

Çalışmada Altera firmasının DE2i-115 FPGA kartı ve D5M CMOS mozaik kamerası kullanılmıştır.

2.2. OTSU METODU

Eşikleme; gri seviye görüntülerinin ikili görüntülere dönüştürülme işlemidir. Eşikleme işlemi belirlenen eşik değerinin altındaki piksellerin siyaha, üstündeki piksellerin ise beyaza dönüştürülmesidir.

$$\text{Görüntü}_{\text{çıkıktı}}(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{Görüntü}_{\text{girdi}}(x, y) < E \\ 255, & \text{Görüntü}_{\text{girdi}}(x, y) > E \end{cases} \quad (1)$$

Denklem (1)’deki ‘E’ değeri eşik değerini ifade etmektedir. Eşik değeri tek bir görüntü için deneme yanılma yöntemi ile tespit edilebilirken farklı ışık ortamında başarılı sonuç alınamayacaktır. Bu nedenle eşik değeri ortamdaki ışık seviyesine göre değişiklik göstermelidir. NobuyukiOtsu’nun 1979’da geliştirdiği OTSU metodu her görüntü için farklı eşik değerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu metod ile görüntü üzerindeki pikseller arka plan ve bölütlenmek istenen alan olmak üzere 2 farklı sınıfa ayrılmaktadır. Sınıflara ayırma işlemi gerçekleştirilirken her bir eşik değeri için ayrı ayrı sınıf içi veya sınıf arası varyans değeri hesaplanır. Sınıf içi varyans değeri en küçük olan değer, en uygun eşik değerini belirtmektedir. Bu değer aynı zamanda sınıflar arasındaki en büyük varyans değeridir. Sınıflar arası varyans değerinin hesaplanması daha az işlem gerektirmektedir. Varyans hesaplama işlemi ise histogram dizisi üzerinden yapılmaktadır. Varyans; histogram dizisinin tüm elemanlarının dizinin ortalamasına olan uzaklıklarının karelerinin ortalaması ile hesaplanmaktadır. Bu değer incelenerek histogram dizisindeki her bir değer ortalamaya olan uzaklığı görülebilir [2]. Denklem (2)’de N elemanlı bir histogram dizisi için varyans hesaplama formülü verilmiştir.

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - x'_i)P\{x_i\} \quad (2)$$

Denklem (2)'deki x_i ifadesi ağırlıklı ortalamayı, $P\{x_i\}$ ise olasılık fonksiyonunu ifade etmektedir. $M \times N$ boyutundaki bir görüntünün histogram dizisi için i tonunun gelme olasılığı histogram değerinin toplam piksel sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır.

$$\begin{aligned} \sigma_{siyah} &= \sigma - \sigma_{beyaz} \quad (3) \\ &= sy_s(t)sy_b(t)(aso_s(t) - aso_b(t)) \end{aligned}$$

Siyah ve beyaz sınıfları arası varyans değeri Denklem (3) ile bulunmaktadır [2].

Denklem (3)'deki sy değişkenleri sınıf yoğunluklarını, aso değişkenleri ise ağırlıklı sınıf ortalamalarını ifade etmektedir. Sınıf yoğunlukları ve ağırlıklı sınıf ortalamaları Denklem (4) ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} sy_s(t) &= \sum_{i=0}^t P\{i\}, & sy_b(t) &= \sum_{i=t+1}^{255} P\{i\} \\ aso_s(t) &= \sum_{i=0}^t P\{i\} R_i, & aso_b(t) &= \sum_{i=t+1}^{255} P\{i\} R_i \end{aligned} \quad (4)$$

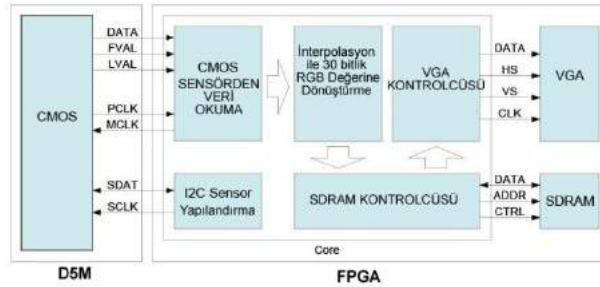
Denklem (4)'teki R_i değeri i . renk seviyesini ifade etmektedir. Deklemler ile 0 ile 255 arasındaki her bir değer için sınıflar arası varyans değeri hesaplanmakta ve en büyük varyansa sahip t değeri ise E eşik değeri olarak belirlenmektedir [7].

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. FPGA Kullanılarak Gerçek Zamanlı Olarak Görüntülerin Alınması

Görüntü almak için Altera firmasının FPGA kartları için ürettiği D5M mozaik kamerası kullanılmıştır. Kamera maksimum 5 megapikselle çözünürlükte 15fps ile görüntü verebilmektedir. Çözünürlük 640x480 e kadar düşürülerek 70fps görüntü alınabilmektedir. Mozaik kameraların özelliği her bir pikselde R,G ve B değerlerinden yalnızca biri saklanmaktadır. Her pikseldeki RGB değeri interpolasyon yöntemiyle hesaplanmaktadır [6].

Kameradan görüntü alma aşamaları Şekil 1'de verilmiştir.



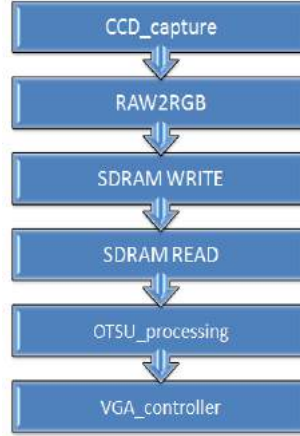
Şekil 1. CMOS sensörden veri alma aşamaları [8]

RAW formatında alınan görüntü interpolasyonla RGB'ye dönüştürüldükten sonra SDRAM'a yazılmaktadır. FPGA kartta bulunan SDRAM'a veriler 16 bit uzunluğunda yazılmaktadır. Her piksel için 30 bitlik bir RGB değeri tutulduğu düşünüldüğünde bir piksel için RGB değeri 2x16bit ile SDRAM'a kaydedilebilmektedir. 640x480 çözünürlüğünde bir görüntü hafızada 1200 kb yer kaplamaktadır. SDRAM'a yazılan adreslerden veriler okunup işlenerek VGA kontrolcüsüne gönderilmektedir. VGA kontrolcüsü gelen verileri monitöre göndermektedir. CMOS sensörden alınan veriler herhangi bir zamanda kayıp yaşanmadan gerçek zamanlı olarak SDRAM'den okunarak işlenmekte ve monitöre aktarılabilir.

3.2. OTSU Metodu İle Gerçek Zamanlı Olarak Görüntülerin Bölütlenmesi

Altera firmasının ürettiği DE2i-115 FPGA kartı üzerinde yazılım geliştirmek için Verilog programlama dili ve yine Altera firmasının sunduğu QuartusFPGA Tasarım Yazılımı kullanılmıştır.

FPGA'de geliştirilen uygulamada oluşturulan modüller ve veri iletişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yazılımda oluşturulan modüller

CCD_capture: CMOS kameradan görüntülerin alındığı işlem modülüdür. Ana görevi GPIO portuna bağlı kameradan piksel piksel verileri okumak ve verinin yatayda ve dikeyde sayaçlar vasıtasıyla görüntüdeki konumunun kaydını tutmaktır. Bu modülde alınan veri; sensör üzerine düşen görüntünün dijital işlemci tarafından işlenmemiş ham halini oluşturmaktadır.

RAW2RGB: Görüntünün işlenebilmesi için anlamlı sayısal verilere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu modülde CCD_capture modülünden elde edilen ham görüntü RGB formatına dönüştürülmektedir.

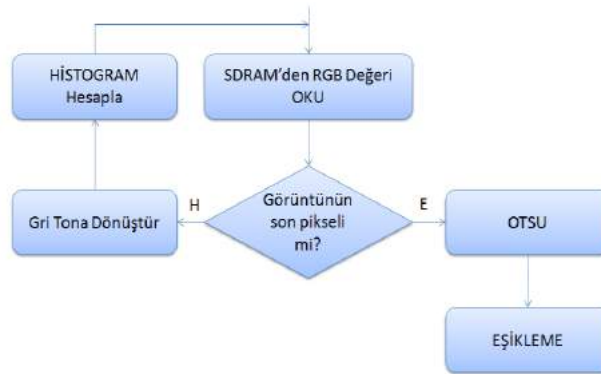
SDRAM WRITE: FPGA kartta kullanılan SDRAM 16 bitlik bloklar halinde kullanılmaktadır. Bu modülde 30 bit uzunluğunda olan RGB değeri 2 adet 16 bitlik SDRAM bloğuna yazılmaktadır. “G” değeri ikiye bölünerek 5’er bit olarak her iki bloğa “R” ve “B” değerlerinin yanına yazılmaktadır. Bu yöntemle SDRAM daha etkin kullanılmıştır.

SDRAM READ: SDRAM’a yazılan RGB değerlerinin okunduğu modüldür

OTSU_processing: OTSU metodunun FPGA üzerinde uygulandığı modüldür. Öncelikle görüntü SDRAM’a piksel piksel kaydedilirken aynı anda okunarak pikseller Denklem 5’den faydalanarak gri tona dönüştürülmektedir.

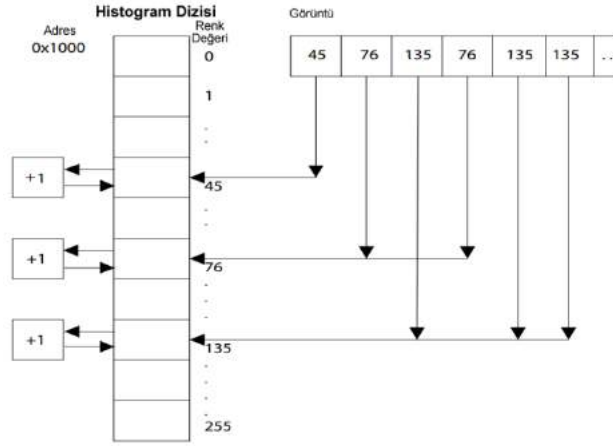
$$\text{Gray} = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (5)$$

Görüntü piksel piksel okunup aynı anda işlendiği için görüntünün tamamı hafızaya kaydedildiğinde histogramı da çıkarılmış olmaktadır. Histogram çıkarıldıktan sonra eşik değerinin hesaplanması işlemleri yapılmakta ve görüntü eşiklenerek monitöre aktarılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. OTSU_processing modülünün çalışma algoritması

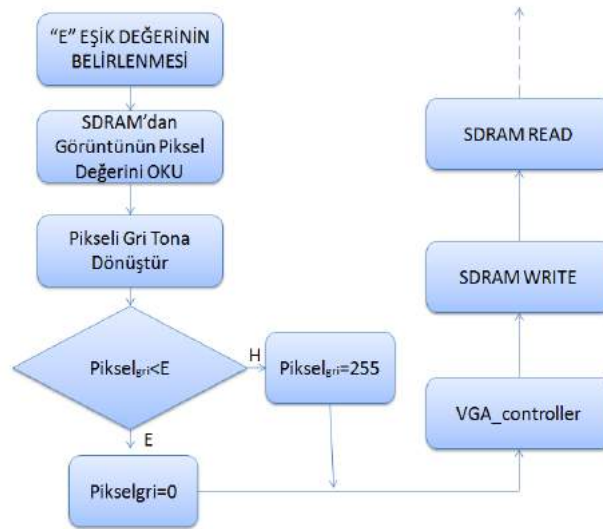
OTSU eşik değerinin hesaplanması için en önemli aşamayı oluşturan histogram dizisinin oluşturulmasıdır. Histogram; görüntüdeki renk değerlerinin sayısını gösteren dizidir. Görüntüdeki her bir renk düzeyinden kaç tane olduğunun bulunmasıyla görüntünün histogramı çıkarılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Histogram çıkarma işlemi [5]

Histogram dizisi oluşturulduktan sonra histogram dizisindeki her piksel için varyans hesaplanmaktadır. Daha sonra sınıflar arası varyans değerinin hesaplanabilmesi için her iki sınıf içinde sınıf yoğunlukları ve ağırlıklı sınıf ortalamaları hesaplanmaktadır. Histogram dizisindeki değerlerden en büyük varyans değerine sahip olan değer eşik değeri olarak belirlenmektedir. Görüntüdeki pikseller SDRAM'dan yeniden okunarak eşikleme yapılmakta ve monitöre aktarılmak üzere vga_controllermodülüne gönderilmektedir.

VGA_controller: Kameradan gelen görüntünün monitöre aktarıldığı modüldür. Gelen pikselin x ve y koordinatlarındaki konumu hesaplanmaktadır. VGA_controllermodülü ile monitöre görüntünün piksel değeri aktarıldıktan sonra yeni görüntü piksel değeri SDRAM'a kaydedilmektedir (Şekil 5).

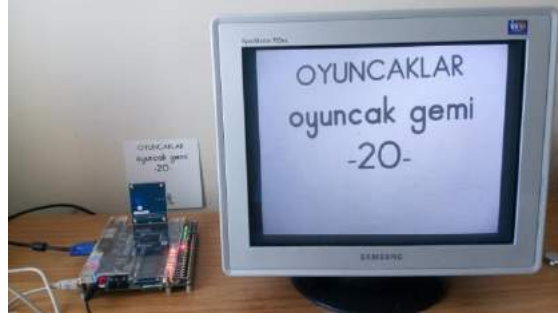


Şekil 5. Görüntünün bölütlenmesi

VGA_controller modülü SDRAM WRITE modülünün tetikleyeni olduğu için iki modül paralel çalışmaktadır. Böylelikle monitöre piksel aktarıldıktan sonra yeni görüntünün piksel değeri alınmaktadır.

4. Sonuç

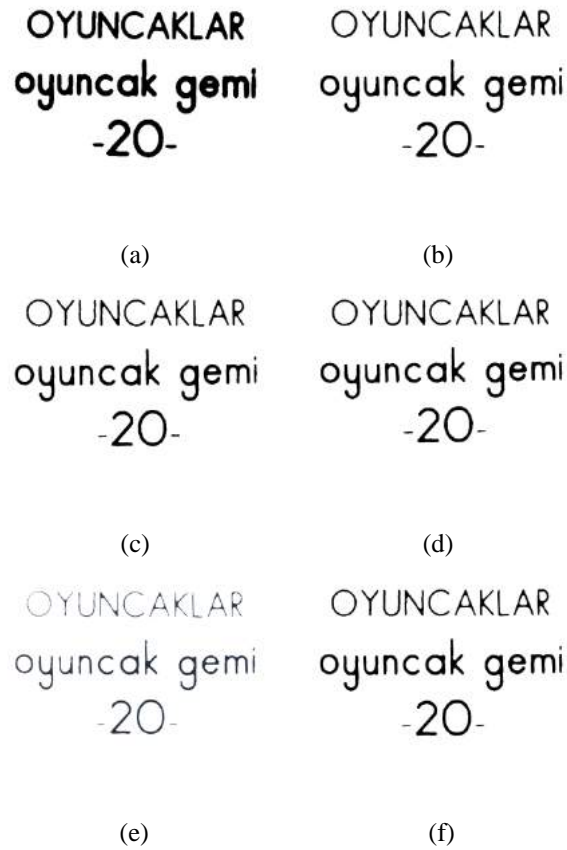
Çalışma ile görüntünün bölütlenmesi için belirlenmiş en iyi global eşik değeri ile OTSU metodu ile belirlenmiş eşik değeri karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da sistem görüntüsü ve Şekil 7'de de alınan orijinal görüntü yer almaktadır. Şekil 8 (a), (c) ve (e)'de global eşik değeri ile farklı ışık düzeylerindeki bölütleme sonuçları görülmektedir. Şekil 8 (b), (d) ve (f)'de ise OTSU metodu kullanılarak bölütlenmiş görüntüler gösterilmektedir.



Şekil 6. Sistemin görüntüsü

OYUNCAKLAR
oyuncak gemi
-20-

Şekil 7. Orijinal görüntü



Şekil 8. Global eşik değeri (a) Düşük ışık, (c) Uygun ışık , (e) Yüksek ışık
OTSU eşik değeri (b) Düşük ışık, (d) Uygun ışık , (f) Yüksek ışık

Görüntüler karşılaştırıldığında OTSU metodunun başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Global eşik değeri 85 olarak belirlenmiştir. Uygun ışıktaki Global eşikleme ile OTSU metodunun başarımları benzer düzeyde olduğu görülmektedir. Fakat ışık düzeyindeki değişim sebebiyle global eşikleme sonucu olumsuz yönde değişmektedir. Global eşik değerinde düşük ve yüksek ışıktaki bölütlenmesi gereken bölgede veri kaybı yaşanmaktadır. OTSU metodunda eşik değeri düşük ışıktaki 79, uygun ışıktaki 86 ve yüksek ışıktaki 95 olarak hesaplanarak otomatik olarak bölütleme yapılmıştır. Şekil 8.a incelendiğinde global eşik değeri olması gerektiğinde daha büyük bir değer olduğu için daha fazla piksel görüntü de yer almaktadır. Şekil 8.e’de ise global eşik değeri olması gerektiğinde daha küçük bir değer olduğu için daha az piksel görüntü de yer almaktadır. Saniyede 30 kare görüntü alındığı göz önünde bulundurulduğunda her görüntü karesi için OTSU eşik değeri ayrı ayrı hesaplanmaktadır. 50 mhz frekansında çalışan DE2i-115 FPGA kartında OTSU metodu 19.040ns de sonuç üretmektedir. FPGA üzerinde gerçekleştirilen çalışma ile görüntü kameradan gerçek zamanlı olarak alınmaktadır. FPGA kullanılarak kameradan alınan görüntü üzerinde OTSU algoritması başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır Tablo 1’de FPGA üzerinde geliştirilen uygulama yazılımının ihtiyaç duyduğu donanım verileri gösterilmektedir.

Çalışma ile gerçek zamanlı olarak kameradan alınan görüntü FPGA kullanılarak OTSU algoritması çalıştırılmıştır. Global eşik değeri ile OTSU eşik değeri ile yapılan bölütleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma ile programlama yapısındaki zorluktan dolayı kısıtlı çalışmanın olduğu FPGA temelli programlama çalışmalarına katkı sağlanmıştır.

Tablo 1. FPGA uygulama özeti

AÇIKLAMA	DEĞER
FPGA Kart Modeli	DE2i-115
FPGA Modeli ve Lojik Eleman Sayısı	EP4CE115F29C7 114.480
Toplam Lojik Eleman Sayısı	4.016
Toplam Kaydedici Sayısı	2117
Kullanılan Toplam Pin Sayısı	428
Toplam PLL Sayısı	1

Kaynakça

- [1] Seow M. J. and Asari K. V, “A parallel VLSI architecture for real-time segmentation of images with complex background environment,” Proc. 10th NASA Sym. on VLSI Design, Albuquerque, New Mexico, USA, 2002, pp. 1031-1036.
- [2] Wang J., Yang C., Zhu M., Wang C., “Implementation of Otsu's Thresholding Process Based on FPGA”, ICIEA, 479-483, 2009.
- [3] Boehm A., Kent K. B., Herpers R., “FPGA based Real-Time Object Detection Approach with Validation of Precision and Performance”, 22nd IEEE International Symposium on Rapid System Prototyping, 9-15, 2011.
- [4] Ozsarac I. and Ulusoy I., “Tam Arama Video Sabitleme Yönteminin Gerçek Zamanlı FPGA Uygulaması”, 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1-4, 2012.
- [5] Ladgaonkar A., Balsundar P., Konde V. and Raj A. N., “FPGA Based Implementation of Ratio Histogram”, International Journal of Advances in Engineering & Technology, 747-752, 2015.
- [6] Xia H., Key S., Su X., Liu P., Liu B., “A design of mosaic line-scanner camera based on FPGA”, Computer and Information Science (ICIS), 455 – 458, 2014.
- [7] Vala H. J. and Baxi A., “A Review on Otsu Image Segmentation Algorithm”, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), 387-389, 2013.
- [8] Altera, <http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=68&No=281&PartNo=3>, TRDB-D5M User Manual, 11.07.2016.
- [9] Ieno E., Garcés L.M., Cabrera A.J., and Pimenta T.C., “Simple generation of threshold for images binarization on FPGA”, Ingeniería e Investigación vol. 35 n.º 3, december - 2015 (69-75)



A Relative Assessment of the Life-Cycle Costs of Rigid and Flexible Pavement Coatings in Turkey

Yavuz Abut^{1*}

¹ Yalova University, Engineering Faculty, Transportation Engineering Department, Yalova, Turkey (ORCID: 0000-0003-4249-7791)

(First received 22 January 2020 and in final form 31 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.678040)

ATIF/REFERENCE: Abut, Y. (2020). A Relative Assessment of the Life-Cycle Costs of Rigid and Flexible Pavement Coatings in Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (18), 918-926.

Abstract

Choosing pavement type is a challenging and much-debated issue among public authorities. It includes engineering factors such as materials, labor, and long-term performance within the scope of the initial (construction) and life-cycle costs. In recent years, given the significant public expenditure on road construction and rehabilitation processes, the trends in vehicle ownership caused by an increasing need to travel, and the decrease in local resources, concerns have been raised about the efficiency of pavement coating types. To ensure that taxpayers understand the full value of road expenditure, it is important to identify a coating type selection process that seeks to include the most appropriate construction, maintenance, and repair strategies possible. In this study, an LCCA was performed for a 2.2 km-long Roller Compacted Concrete (RCC) test track constructed in Kocaeli city. If asphalt is chosen instead of RCC as the coating preference, the economic factors that may arise at a national scale (in this case, Turkey) are discussed. During the 20-year service period, maintenance, repair, and rehabilitation planning were carried out on the basis of a 30-year analysis period. In terms of initial construction costs, an RCC road is 39.4% more economical than an asphalt road and provides maintenance and repair economies of 62% during the service period. In terms of life-cycle costs, an RCC road is a 46% more economical paving alternative than an asphalt road. Although the first serious maintenance activity was carried out in the 10th and 20th years of the asphalt road, it was significant that it only took place during the 20th year for the RCC road, and the asphalt maintenance material was more expensive than that for the RCC road.

Keywords: Life cycle cost analyses; Concrete pavement; Asphalt pavement; Salvage value; Pavement type.

Türkiye'de Rijit ve Esnek Üstyapı Kaplamalarının Yaşam Döngüsü Maliyetlerinin Karşılaştırmalı Bir Değerlendirmesi

Öz

Kaplama tipinin seçimi kamu yetkilileri arasında zorlu ve tartışmalı bir konudur. Bu süreç, başlangıç (inşaat) ve yaşam döngüsü maliyetleri kapsamında malzeme, işçilik ve uzun vadeli performans gibi mühendislik faktörlerini içermektedir. Son yıllarda, yol yapımı ve rehabilitasyon süreçlerine harcanan önemli kamu giderleri, artan ulaşım talebinden kaynaklanan araç sahipliği eğilimleri ve yerel kaynaklardaki azalma göz önüne alındığında, kaplama tiplerinin etkinliği konusu tartışılmaya başlanmıştır. Vergi mükellefi olan halkın, yol harcamalarının tam değerini anlayabilmelerini sağlamak için, mümkün olan en uygun inşaat, bakım ve onarım stratejisini hedefleyen bir kaplama tipi seçim sürecinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada Kocaeli ilinde inşa edilen 2,2 km uzunluğundaki Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) test yolu için bir yaşam döngüsü maliyet analizi yapıldı. Kaplama tercihi olarak SSB yerine asfalt seçilirse, ulusal ölçekte (bu çalışmada Türkiye) ortaya çıkabilecek ekonomik faktörler tartışılmıştır. 20 yıllık hizmet süresi boyunca, bakım, onarım ve rehabilitasyon planlaması 30 yıllık analiz periyoduna göre gerçekleştirilmiştir. İlk inşaat maliyeti açısından SSB yolun, asfalt yoldan %39,4 daha ekonomik olduğu ve servis süresi boyunca da %62 oranında bakım ve onarım ekonomisi sağladığı tespit edilmiştir. Yaşam döngüsü maliyetleri açısından ise SSB yolun asfalt yoldan %46 daha ekonomik bir kaplama tercihi olabileceği belirlenmiştir.

* Corresponding Author: Yalova University, Engineering Faculty, Transportation Engineering Department, Yalova, Turkey, ORCID: 0000-0003-4249-7791, yavuzabut@gmail.com

Bu durumun ortaya çıkmasında, ilk ciddi onarım faaliyetinin asfaltta 10. ve 20. yılda yapılmasına karşın, SSB kaplamada bu faaliyetin sadece 20. yılda gerçekleşmesi ve asfalt bakım malzemesinin SSB bakım malzemesinden daha pahalı olması etkili olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yaşam döngüsü maliyet analizleri; Beton kaplama; Asfalt kaplama; Kurtarma değeri; Kaplama tipi.

1. Introduction

The choice of coating type is a challenging and much-debated issue among public authorities. It includes engineering factors such as materials, labor, and long-term performance within the scope of the initial (construction) and life-cycle costs. In recent years, given the significant public expenditure on road construction and rehabilitation processes, the trends in vehicle ownership caused by an increasing need to travel, and the decrease in local resources, concerns have been raised about the efficiency of pavement coating types. To ensure that taxpayers understand the full value of road expenditure, it is important to identify a coating type selection process that seeks to include the most appropriate construction, maintenance, and repair strategies possible. This process is important for determining the equivalence of pavement design, life-cycle cost analysis (LCCA), transparency, and, most important of all, the benefits of healthy competition between pavement construction (concrete and asphalt road) authorities [1].

In 2011, the Transportation Research Board published its Pavement-Type Selection Guide under the National Cooperative Highway Research Program Project 10-75 [2]. This document provides a comprehensive set of procedures by means of which highway agencies are able to develop pavement-type selection policies and processes. According to the guide, the main objective of which is to provide the maximum benefit in the long run for both road users and taxpayers, economic indicators and engineering and environmental factors need to be addressed carefully and rationally. Through the LCCA, a period should be considered within a framework that leads to factors such as appropriate discount rates and management of user costs. The guide also states that an alternative screening matrix should be used to assess economic factors. If the analysis of these factors does not produce a clear choice, alternative proposals should be used for other projects with equivalent performance. If a significant period of time has occurred between the agreed pavement type and the bid price, the selected pavement type should be reviewed to ensure that the conditions and costs do not change significantly. In order to maximize economic value, other alternatives that encourage competition and include innovative approaches should be considered [3].

In other studies, Z. Guo et al. examined the suitability of flexible coatings for the design and construction of more economical and durable materials. They have determined the construction of the pavement by using the coating management system to assess the life-cycle costs of permanent and conventional semi-rigid coatings in China [4]. T. Ding et al. carried out a comprehensive and systematic survey of the most appropriate strategic decision about the road's Life Cycle Cost Analysis (LCCA). In the study, a certain section of Guangshao Freeway was taken as an example and data such as pavement performance, traffic and climate conditions, economic indicators were used [5]. In another study, J Santos et al. proposed a new LCCA system developed to help pavement designers choose the best pavement structure for the road or highway [6]. X. Zheng et al. carried out an exemplary study of thin hot mix asphalt concrete layer (THMACO), hot mix asphalt with hot mix additive Sasobit (HMAW) and recycled asphalt pavement and hot mix asphalt (HMAR) in Southeast China. The results showed that HMAR should be preferred for the best economic and social performance and HMAW for the best environmental performance [7].

In this study, an LCCA was performed for a 2.2 km-long Roller Compacted Concrete (RCC) test track constructed in Kocaeli city. If asphalt is chosen instead of RCC as the coating preference, the economic factors that may arise at a national scale (in this case, Turkey) are discussed. Other comprehensive engineering data (material properties, mix and structural design, and road construction) have also been reported in other studies [8,9]. During the 20-year service period, maintenance, repair, and rehabilitation planning were carried out on the basis of a 30-year analysis period. The economic indicators are based on the expenditures made by the Kocaeli Metropolitan Municipality (KMM) for the construction and repair of the roads, which are developed according to a five-year strategic plan.

2. Material and Method

2.1. Analysis Period and Performance

Given the considerable economic constraints and increased infrastructure needs, road construction companies may not always have the opportunity to further their infrastructure investments. In the last 50 years, competition between road construction companies, as accepted and documented in the guidelines for the choice of pavement type, can make a significant contribution.

In order to examine the validity of competition in the pavement sector, taking into consideration the variations in highway agency offer costs with pavement type from 45 state databases (average five-year pavement cost), the combined use of asphalt and concrete pavement types showed better economic indicators than the use of asphalt pavement alone [1]. Regardless of the LCCA or the adoption of the latest pavement design tools, the analysis showed that in the states where both pavement types were constructed regularly, qualified staff and healthy industries developed, construction quality was improved, and lower cost alternatives were found. However, after developing life-cycle strategies for equivalence, the LCCA of each alternative should be determined and then compared. Here, it is important that realistic data for the pavement performance and analysis period be used, as well as annual real discount rates and real or relative price changes for inflation rates for different materials.

The term “analysis period” refers to the period during which costs are assessed. The LCCA period should be sufficient to reflect the long-term cost differences associated with design strategies and long enough to include at least one rehabilitation activity for each alternative [10]. Figure 1 shows the predicted analysis time for a pavement design.

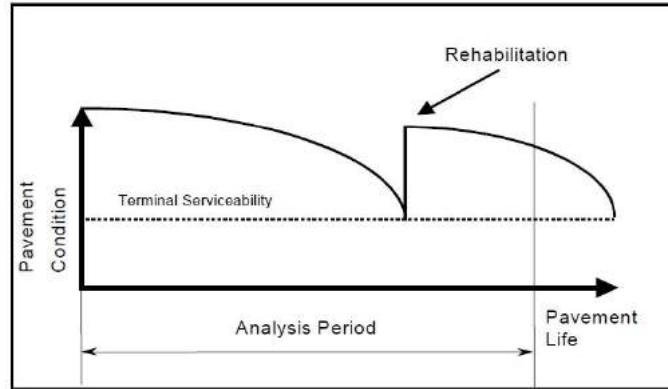


Figure 1. Analysis period for pavement design alternatives [6]

According to the LCCA document reported in [6], an analysis period of at least 35 years is recommended for all pavement projects, including the rehabilitation and reconstruction process. In some rehabilitation alternatives, shorter analysis periods may be appropriate, such as 10 years. It is possible to simplify activities provided that deviations from the recommended analysis period are minimal [6]. AASHTO [7] provides Recommendations for the selection of the analysis period by pavement type, shown in Table 1.

Table 1. Recommended analysis periods [11]

Highway Conditions	Analysis Period (Years)
High-volume urban roads	30-50
High-volume rural roads	20-50
Low-volume paved roads	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

Rehabilitation periods are quite vague and have a great impact on the outcome of an LCCA. Figure 2 shows the performance curves of two different rehabilitation alternatives. Alternative A refers to a long-term strategy implemented in a 15-year cycle, while Alternative B refers to minimal activities that are likely to occur in a five-year cycle [6]. As can be seen from Figure 2, performance levels vary for different rehabilitation strategies. This fluctuation in pavement performance may create differences in vehicle operating costs. Extensive research has been carried out on determining inputs into rehabilitation activities and determining the expected lifetimes of pavement [12,13]. The project period of reconditioning and rehabilitation are important factors in calculating user costs [14,15].

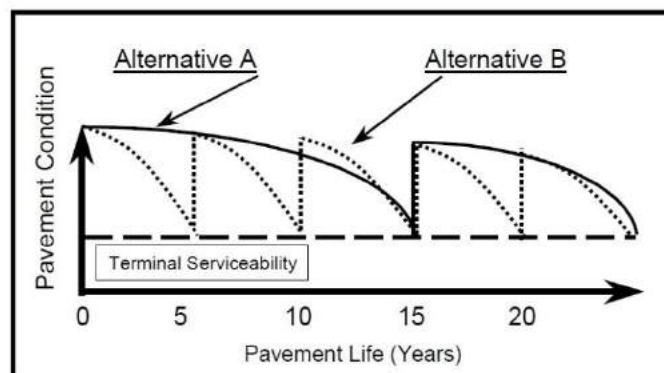


Figure 2. Performance curve versus rehabilitation strategy [6]

At the end of the analysis period, the residual and salvage values of the factors, along with their effective life, should be calculated [16]. If there are differences in the remaining pavement life at the end of this period, these differences should be taken into consideration in the back-calculation analysis. For example, if the remaining life of Alternative A is 10 years and the life of Alternative B is 5 years, failure to consider the salvage value in the LCCA may result in the unfair elimination of Alternative B. According to [6], the final rehabilitation costs can be obtained by multiplying by the percentage of design life remaining at the end of the analysis period. Figure 3 shows the different rehabilitation costs over a long-term overlay and the salvage value remaining at the end of the analysis period.

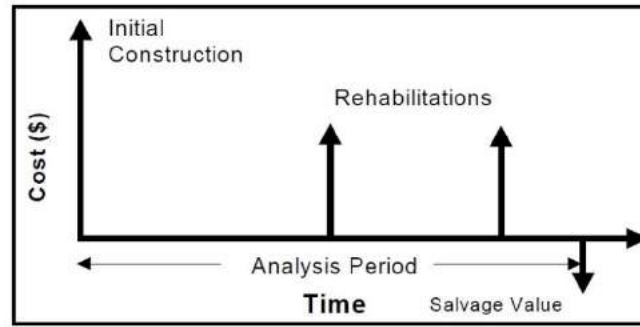


Figure 3. Typical expenditure stream diagram for a pavement design alternative [6]

Such diagrams help visualize initial construction, rehabilitation activities, and, in some cases, salvage value schedules. Typically, costs are shown upward and useful costs, such as salvage value, are shown downward. Discount rate is an important factor in life-cycle cost and can have significant effects on results. When analyzing long-term public investments, discount is an important factor in comparing costs that arise at different times [12]. Since time has a measurable tangible value, the future monetary value is less than the current monetary value. Therefore, the costs and benefits dealt with at different times and points should be transformed into a common point.

2.2. A Comparative LCCA Assessment

Although concrete roads have not been sufficiently adopted by the Turkish General Directorate of Highways (KGM), they are still being constructed by some municipalities and are increasingly common. Consequently, real costs have been obtained for pavement types and the competition between two industries has resulted in outcomes that are more efficient.

Turkish Cement Manufacturers' Association (TCMA), reported that in terms of initial construction costs, the RCC road network, which is the responsibility of local municipalities, costs about the same as concrete paving-blocks (4.14 \$/m²); it is also 38% more economical than asphalt road and 44% more expensive than an aggregate-surface course [17]. In this analysis, for comparison of the cost of coating, the most important material item is the type of binder, since aggregate is common in both mixture contents [13]. Bitumen, obtained by refining raw oil, reflects the fluctuating financial conditions over long periods of time, increasing the volatility in asphalt prices. Because the asphalt industry dominates the road construction sector, meaning that there is a lack of competition at the desired level between these two industries in Turkey, economic indicators, such as the long-term characteristics of construction and rehabilitation activities, are not adequately discussed.

In this part of the study, after the initial construction cost analysis for the RCC test track, a comparison with the asphalt paved road was made. In the LCCA, where the discount rate was taken as 4%, in accordance with [6], for both pavement-types the analysis period was accepted as 30 years, and the service life was 20 years, in accordance with AASHTO [7]. For the two pavement types, three different categories of repair were planned within the analysis period: routine repair, periodic repair, and rehabilitation. The construction and repair costs were based on the Turkish General Directorate of Highways (KGM) unit prices. Equation (1) was used to convert future repair costs to current values, and Equation (2) was used to calculate the salvage value.

$$PW = F \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (1)$$

$$SV = C \times (RL/DL) \quad (2)$$

- Where,
- PW* : Present worth, (\$) is the net discounted monetary present value of future cash flows i.e. costs (e.g. maintenance or preservation costs) minus future benefits (e.g. residual value).
 - F* : Future construction cost, (\$) is associated with the construction and operation of a building over a period of time.
 - i* : Discount rate, (%4) is the interest rate that balances the money value of time for the investor.
 - n* : Number of years from year zero, (year) is the period during which LCCA activities are evaluated.
 - SV* : Salvage value, (\$) is the term "remaining service life" (RSL) or it can also be taken as the percentage of initial pavement construction cost.
 - C* : Last cycle construction cost, (\$) is a sum of costs of operation and facility over a time of last maintenance or rehabilitation activity.
 - RL* : Remaining service life, (year) is a residual life when the analysis period expires.
 - DL* : Last cycle design life, (year) is remaining life after the last maintenance or rehabilitation activity.

3. Results and Discussion

3.1. Initial Construction Cost

The RCC test road project, which was realized with the budget of KMM, was completed at a cost of 7.51 \$/m². The impact of construction materials on total costs is given in Figure 4 as a percentage. It can be seen from this graph that concrete paving at 32% and Plant-Mix Base (PMB) laying at 24% constitute the two highest expenses of the total cost. The lack of reinforcement and molds in the RCC process are the most important factors in the economic efficiency of paving. It should also be noted that economic benefits, such as opening the road to traffic earlier and faster construction per unit time, are not included in Figure 4 in the comparison with traditional concrete pavements. The initial construction cost analysis of the RCC and asphalt pavements by KMM in the last two years is given in Figure 5. According to these analyses, the initial construction cost of the RCC test road, constructed for the first time in Kocaeli, is 39.4% more economical than that of the asphalt road.

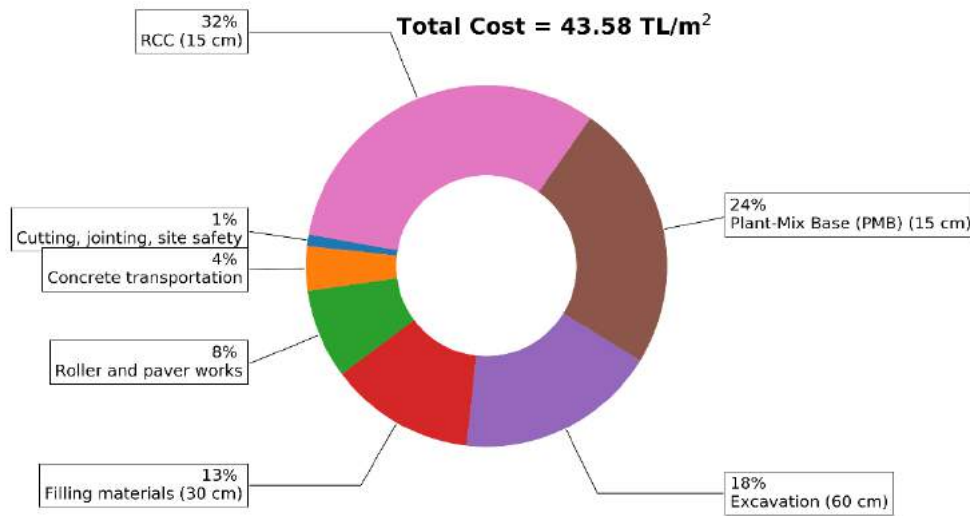


Figure 4. Percentages of costs by activity of RCC construction

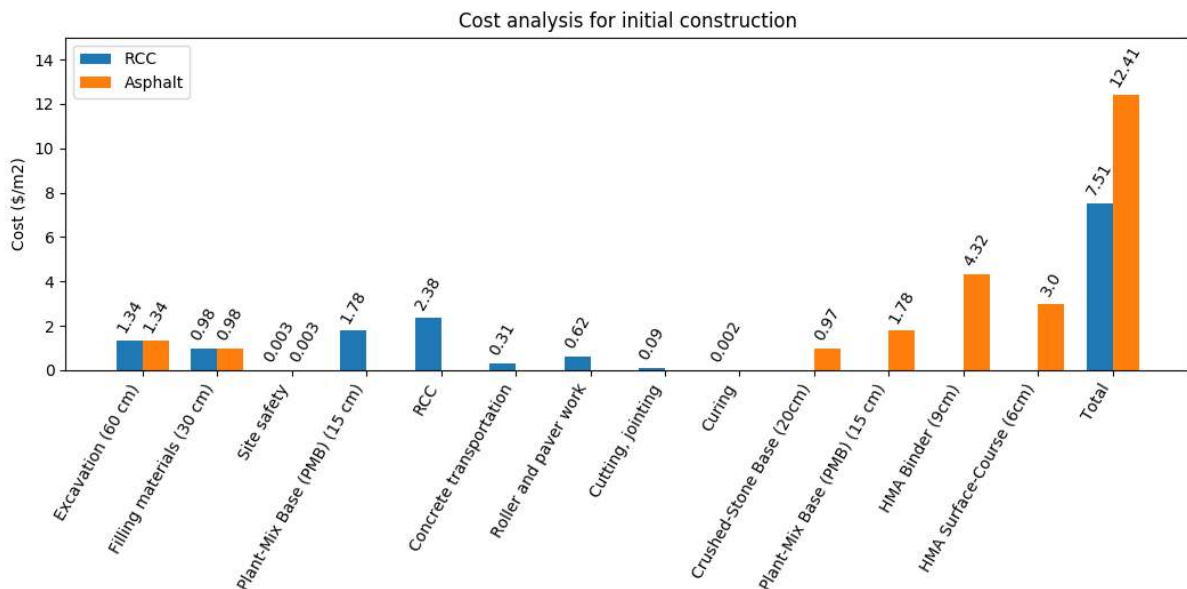


Figure 5. Cost analysis for initial construction

3.2. LCCA

In order to produce equivalent prices, budgets to be allocated for future maintenance and repairs in the LCCA need to be determined for current conditions. In addition to the initial construction cost, maintenance and repair planning was carried out for the asphalt and concrete pavements, and possible costs per activity occurring during the analysis period were expressed as a percentage in Table 2. In

order to estimate the LCCA of different pavement types and make comparative cost estimates, it is necessary to determine the time of repair activities, but also to know their types, quantities and their service life. The activity period and quantity of repair activities for pavement types can be estimated according to some probability data or past experiences [18,19]. In this study, each activity period and quantity given in Table 2 were determined based on past maintenance or repair experiences in metropolitan projects in Turkey.

Table 2. Planned maintenance and repair strategy within the analysis period

Activity	Activity Period	Quantity (%)	Damage Type And Repair Method	Unit Price (\$/m ²)
RCC				
<i>Crack Filling (Bitumen or Epoxy Resinous)</i>				
Routine Maintenance	Once in 3 year	50	Non-structural low and medium cracks Partial damages in joints	0.28
<i>Local Repair with Fresh Concrete</i>				
Periodic Maintenance	Once in 10 years	15	Blowups in joints Pumping effect in joints Pothole Polished aggregate Popouts Scaling Spalling Longitudinal and transverse cracks greater than 10 mm Corner cracks	8.58
<i>Full-depth New Surface Coating</i>				
Rehabilitation	Once in 20 years	10	Sitting or separating blocks Durability (D) cracks Crocodile cracks Horizontal or vertical erosion	8.58
ASPHALT				
<i>Crack Filling (Bitumen)</i>				
Routine Maintenance	Once in 2 years	5	Transverse crack Longitudinal crack Block crack Reflective crack	0.28
<i>Patching with Asphalt</i>				
Periodic Maintenance	Once in 3 years	5	Crocodile cracks Bleeding or rutting Pothole Shoving	12.97
<i>Thin Surface Coating</i>				
Rehabilitation	Once in 10 years	15	Polished aggregate Ravelling <i>Full-depth New Surface Coating</i> Significant structural damages	12.97

After determining the maintenance and repair strategy for both pavement types in the 30-year analysis period, the LCCA of the expenditures that are likely to be realized by year is given in Table 3. The graphs showing the change in expenditures for the activities over the years and the first construction, maintenance, repair, and life-cycle cost comparison between the two pavements are given in Figure 6, in which the gray columns show the benefit costs (1 dollar = 5.80 Turkish Liras).

Table 3. LCCA

Year	Activity	Unit Price (\$/m ²)	Quantity (%)	Future Construction Cost (F) (\$/m ²)	Present Worth (Pw) (\$/m ²)
<i>RCC</i>					
0	Initial Construction Cost			7.51	7.51
3	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.12
6	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.11
9	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.10
10	Periodic Maintenance	8.58	15	1.29	0.87
12	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.09
15	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.08
18	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.07
20	Rehabilitation	8.58	10	0.86	0.39
21	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.06
24	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.05
27	Routine Maintenance	0.28	50	0.14	0.05
30	Periodic Maintenance	8.58	15	1.29	0.40
	Salvage Value (SV)			-0.43	-0.13
	LIFE CYCLE COST (\$/m²)				9.76
<i>ASPHALT</i>					
0	Initial Construction Cost			12.41	12.41
2	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.01
3	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.58
4	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.01
6	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.51
8	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.01
9	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.46
10	Rehabilitation	12.97	15	1.94	1.31
12	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.40
14	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.01
15	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.36
16	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.01
18	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.32
20	Rehabilitation	12.97	15	1.94	0.89
21	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.28
22	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.01
24	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.25
26	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.00
27	Periodic Maintenance	12.97	5	0.65	0.22
28	Routine Maintenance	0.28	5	0.01	0.00
30	Rehabilitation	12.97	15	1.94	0.60
	Salvage Value (SV)			-1.94	-0.60
	LIFE CYCLE COST (\$/m²)				18.06

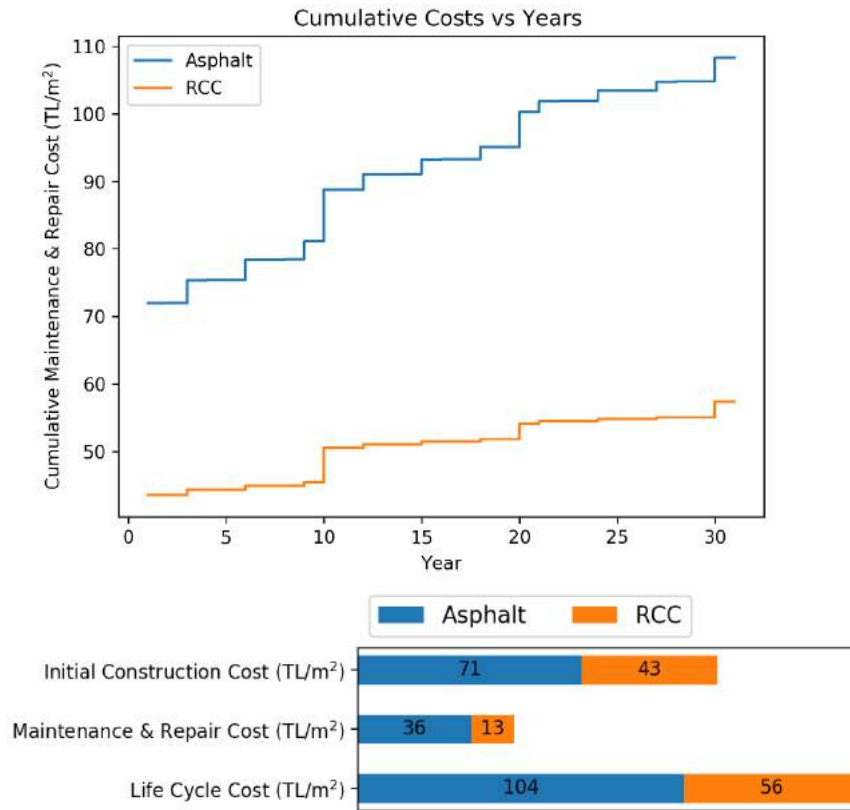


Figure 6. Comparison of life-cycle cost by pavement type

4. Conclusions and Recommendations

Since the salvage value for pavements is defined as a benefit cost, it is assigned a negative value in the LCCA and is calculated using Equation (2) as follows:

$$SV_{RCC} = 0.87 \times (10/20) = 0.43 \text{ \$/m}^2$$

$$SV_{ASPHALT} = 1.94 \times (10/10) = 1.94 \text{ \$/m}^2$$

In terms of initial construction costs, an RCC road is 39.4% more economical than an asphalt road and provides maintenance and repair economies of 62% during the service period. In terms of life-cycle costs, an RCC road is a 46% more economical paving alternative than an asphalt road (Figure 6). There are increasing cost differences over time because maintenance and repair activities on asphalt roads are more frequent. In addition, although the first serious maintenance activity was carried out in the 10th and 20th years of the asphalt road, it was significant that it only took place during the 20th year for the RCC road, and the asphalt maintenance material was more expensive than that for the RCC road.

It may be possible for the public authorities in Turkey to take these maintenance and repair activities into consideration and to transfer these significant maintenance budgets to other sources with the RCC coating preferences, especially in rural areas where infrastructure has been completed. The RCC test track with the KMM budget has shown that these maintenance budgets can be used more effectively thanks to well-designed rehabilitation strategies.

Acknowledgement

I would like to thank Kocaeli Metropolitan Municipality for their valuable contribution to this study.

References

- [1] Wathne L., Pavement Type Selection: What Is The Ideal Process? *12th International Symposium on Concrete Roads*, Prague, Czech Republic, 23–26 September 2014.
- [2] Transportation Research Board (TRB), Guide for Pavement-Type Selection, *The National Academies Press*, NCHRP-703, 56-70, 2011.
- [3] Abdelaty A., Jeong H.D., Dannen B., & Todey F., Enhancing life cycle cost analysis with a novel cost classification framework for pavement rehabilitation projects, *Construction Management and Economics*, 34:10, 724-736, 2016.
- [4] Guo, Z., & Sultan, S. A., Feasibility of perpetual pavement stage construction in China: A life cycle cost analysis. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(4), 239-247, 2016.,
- [5] Ding, T., Sun, L., & Chen, Z., Optimal strategy of pavement preventive maintenance considering life-cycle cost analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 1679-1685, 2013.
- [6] Santos, J., & Ferreira, A. (2013). Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(1), 71-84.
- [7] Zheng, X., Easa, S. M., Yang, Z., Ji, T., & Jiang, Z. (2019). Life-cycle sustainability assessment of pavement maintenance alternatives: Methodology and case study. *Journal of cleaner production*, 213, 659-672.
- [8] Abut, Y., Yildirim, S. T., Structural design and economic evaluation of roller compacted concrete pavement with recycled aggregates. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245, 2017.
- [9] Abut, Y., Yildirim, S. T., An investigation on the durability properties of RAP-containing roller compacted concrete pavement. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-17, 2019.
- [10] Walls J., Smith M.R., Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design—Interim Technical Bulletin, *Federal Highway Administration*, FHWA-SA-98-079, 9-32, 1998.
- [11] AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington DC., 1993.
- [12] Cross S.A., Parsons R.L., Evaluation of Expenditures on Rural Interstate Pavements in Kansas, 81th Annual TRB Meeting, Washington DC, USA, 13-17 January 2002.
- [13] Gharaibeh N.G., Darter M., Probabilistic Analysis of Highway Pavement Life for Illinois, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1823(1), 2003.
- [14] Lindley J.K., Clark P.R., Adjustments to Pavement Life-Cycle Cost Analysis Procedures, *University Transportation Center for Alabama*, UTCA-02409, 13-45, 2003.
- [15] Lee E., Harvey J., Samadian M., Knowledge-Based Scheduling Analysis Software for Highway Rehabilitation and Reconstruction Projects, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1907(1), 15-24, 2005.
- [16] Ozbay K., Parker N.A., Jawad D., Hussain S., Guidelines for Life Cycle Cost Analysis, *Federal Highway Administration*, NJ-2003-012, 17-55, 2003.
- [17] TCMA, An alternative to the current account deficit: Roller compacted concrete roads. *Turkish Cement Manufacturers' Association, Directorate of Education*, Ankara, Turkey, pp. 1–3, 2017
- [18] Ketema Y., Quezon E. T., Kebede G., Cost and Benefit Analysis of Rigid and Flexible Pavement: A Case Study at Chancho–Derba-Becho Road Project, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(10), 2016.
- [19] Hein D. K., Smith D. R., Life-Cycle Cost Comparison for Municipal Road Pavements, *9th. International Conference on Concrete Block Paving*, Buenos Aires, Argentina, 18-21 Oct. 2009.



Gıda Güvenliği Açısından COVID-19 Etmeni SARS-CoV-2'nin Değerlendirilmesi ve Korunma Yöntemleri

Osman Sağdıç^{1*}, Selma Kayacan², Enes Dertli³, Muhammet Arıcı⁴

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2063-1462)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9498-1839)

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0421-6103)

⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4126-200X)

(İlk Geliş Tarihi 20 Mart 2020 ve Kabul Tarihi 8 Nisan 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.715223)

ATIF/REFERENCE: Sağdıç, O., Kayacan, S., Dertli, E., & Arıcı, M. (2020). Gıda Güvenliği Açısından COVID-19 Etmeni SARS-CoV-2'nin Değerlendirilmesi ve Korunma Yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 927-933.

Öz

Çin'in Wuhan şehrinde 2019 yılının Aralık ayında ortaya çıkan ve koronavirüs hastalığına (COVID-19) sebep olan yeni koronavirüs (SARS-CoV-2) büyük bir küresel salgına dönüşerek dünyada pek çok kişinin ölümüne yol açmıştır. Bu virüsün gıdalar aracılığı ile bulaştığına ve gıdalar ile alındığında hastalık yaptığına dair bugüne kadar bir kanıt bulunmamakla birlikte, gıda üretim süreçlerinde yer alan ve herhangi bir belirti göstermeden bu virüsü taşıyan gıda çalışanlarınca gıdalara bulaştırılabileceği üzerinde durulmaktadır. Kişisel tedbirler gibi gıda üreticileri ve hazırlayıcılarının da ellerini düzenli yıkaması, çalışanların bilgi düzeylerinin ve farkındalıklarının sürekli artırılması, gıda işletmelerinde hijyen-sanitasyon uygulamalarının dikkatlice uygulanması, çiğ ve pişmiş gıdaların ayrılması, özellikle taze meyve-sebze ve tüketime hazır gıdaların satın alınmalarını takiben belirli süreler bekletildikten sonra tüketilmesi gibi uygulamalar bu virüsün gıda zincirine girmesi ve buradan yayılmasını önlemek için alınması gerekli temel tedbirler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada SARS-CoV-2'nin gıdalarda bulunabilirliğine dair olası riskler, gıdalara çapraz bulaşma ihtimalleri, gıda işletmelerinin SARS-CoV-2 açısından güvenli hale getirilmesi ve korunma yöntemleri, gıda tüketicisi açısından SARS-CoV-2'nin değerlendirilmesi konularına değinilmiş, SARS-CoV-2 ve muhtemel gıda etkileşimi hakkında bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SARS-CoV-2, COVID-19, Gıdalara Bulaşması, Gıda Güvenliği, Pandemi.

Evaluation of SARS-CoV-2 causing COVID-19 in terms of Food Safety and Prevention Methods

Abstract

SARS-CoV-2, which was seen for the first time in Wuhan China in December 2019, is the causative agent of coronavirus disease (COVID-19) that caused a pandemic and resulted in the death of important numbers of people worldwide. In this study, the potential interaction of SARS-CoV-2 with food products and potential risks, the cross contamination probability, the practices that the food handlers can follow to prevent the contamination and the spread of the virus, what are the basic principles that consumers can apply for the prevention from this virus are discussed. So far, there is no data on the transmission of this virus through food products but the asymptomatic food handlers that might carry this virus can be the potential transmission route to the food chain. In order to prevent the presence and spread of this virus in food chain; food handlers should follow the basic personal hygienic rules, they should be educated routinely for the virus and potential contaminants, the hygiene practices in food production system should be carefully applied, the cross contamination risk in food products should be eliminated and for the consumers; fresh and ready-to-eat products should be stored for a period of time before the consumption. These are the main precautions to prevent the presence and spread of SARS-CoV-2 in food products and food chain.

Keywords: SARS-CoV-2, COVID-19, Food Contamination, Food Safety, Pandemic.

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2063-1462, osagdic@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Gıda ve çevresel viroloji genellikle su, atıklar, toprak, hava veya gıda kaynaklı olarak bulaşabilen virüsler ile ilgilenmektedir. Gıda kaynaklı virüsler çoğunlukla enterik virüsler olup fekal-oral yolla bulaşmakta ve insanları hasta edebilmektedir (Bidawid ve ark., 2009). Enfekte olan insanlar çoğu zaman kendileri bu patojen virüslerin başka bireylere aktarılması için kaynak olabilmekte ve fekal-oral yolla bulaşan bu patojenik virüsler önemli tehlike oluşturabilmektedir. Bu tip fekal-oral yolla bulaşan virüsler zarfsız olup çoğu zaman çevresel koşullara direnç gösterebilmekte, kanalizasyon suları ve sonrasında su döngüsü ile tekrar hastalık yapma potansiyeli kazanabilmektedir (Rzezutka ve Cook, 2004). Önemli zoonotik patojenlerden olanbu tip virüslere rotavirüs ve Hepatit E virüsü örnek verilebilir. Bu virüsler uzun bir süredir bilinmekte olup gıda teknolojisi gerekli tedbirleri alarak bu virüslerin gıda yolu ile bulaşma riskini minimize edici uygulamaları her zaman devreye sokmaktadır (Rodriguez-Lazaro ve ark. 2012). Bununla birlikte insanoğlu kaynağı her zaman net olarak tespit edilemeyen ve çok önemli sağlık sorunlarına sebebiyet verebilen yeni virüsler ile tanışabilmektedir. Son olarak dünya çapında salgına neden olarak binlerce insanın hayatına mal olan/maalesef hala olabilecek olan ve Nisan 2020 itibariyle 1 milyon kişiyi enfekte eden SARS-CoV-2 bu tip virüslere en iyi örnektir. Koronavirüsler (CoVs) hem hayvanları hem insanları enfekte edebilen, büyük, zarflı, pozitif polariteli, tek zincirli RNA virüsleridir. *Coronaviridae* familyasından olan koronavirüs (Ahn ve ark, 2020) genotipik ve serolojik özelliklerine göre Alfa-, Beta-, Gama- ve Deltakoronavirüs olmak üzere dört alt gruba ayrılır (Lu ve ark, 2015; Marty & Jones, 2020). Şimdiye kadar insanları enfekte eden tanımlanmış koronavirüsler ilk iki cinse aittir (Lu ve ark, 2015). Alfa-koronavirüslerden, CoVs HCoV-NL63 ve HCoV-229E, betakoronavirüslerden HCoV-OC43 ve HCoV-HKU1 ile ağır akut solunum yolu yetersizliği sendromu (SARS-CoV) ve Ortadoğu solunum sendromu (MERS-CoV) olmak üzere tanımlanmış altı adet insan koronavirüsü bulunmaktadır. Pek çok koronavirüsün insan ve hayvanları enfekte ettiği bilinmektedir. Ancak hayvan kaynaklı bazı koronavirüsler insanlara bulaşarak salgınlara neden olabilmektedir (Ahn ve ark, 2020). Rezervuarı yarasalar olan SARS-CoV ve MERS-CoV virüslerinin ara konakçısı ise sırasıyla misk kedisi ve develerdir (Petrosillo ve ark, 2020). Yeni koronavirüslerin insanlarda belirli aralıklarda ortaya çıkması koronavirüslerin yüksek prevalansı ve geniş dağılımı, büyük genetik çeşitliliği ve genomlarının sürekli rekombinasyonu ile insan-hayvan etkileşimlerinin artmasından kaynaklanmaktadır (Wu ve ark, 2020). Hava kaynaklı olan koronavirüs kolayca yayılabilir (Rodríguez-Lázaro ve ark, 2012).

Çin'in Wuhan şehrinde, Aralık 2019'da sebebi belli olmayan bir pnömoni salgını ortaya çıkmış ve bir ay içinde ülke çapında hızla yayılmıştır. Bu hastalığın patojeni, moleküler yöntemler ile yeni bir koronavirüs olarak doğrulanmış ve başlangıçta 2019 yeni koronavirüsü (2019-nCoV) olarak adlandırılmıştır. Ancak Dünya Sağlık Örgütü 11 Şubat 2020 tarihinde bu epidemik hastalık için yeni koronavirüs hastalığı (COVID-19) olarak yeni bir isim açıklamıştır. Ayrıca Uluslararası Virüs Taksonomisi Komitesi'nden Koronavirüs Çalışma Grubu, daha önce 2019-nCoV olarak isimlendirilen virüsü, filogeni ve taksonomiye dayanarak ağır akut solunum sendromu koronavirüs-2 (SARS-CoV-2) olarak yeniden adlandırmıştır (Lai ve ark, 2020; Sun ve ark, 2020). Yeni betakoronavirüs olarak sınıflandırılan 2019-nCoV virüsü salgını yerel bir deniz ürünleri pazarından başlamıştır. Hastalığı tespit edilen 41 vakanın üçte ikisinin aynı zamanda canlı hayvan da satılan Huanan deniz ürünleri toptan satış pazarı ile bağlantısı olduğu bulunmuştur (Chen, 2020). Huanan (Wuhan, Çin) deniz ürünleri pazarında canlı olarak çoğunlukla yarasa, kurbağa, kuş, yılan, dağ sıçanı ve tavşan gibi yabani hayvanlar satılmaktadır (Shereen ve ark, 2020). İlk raporlarda virüsün insandan insana bulaşmasının gerçekleşmediği veya bulaşmanın sınırlı olduğunu gösterse de artık insandan insana bulaşmanın mevcut olduğu ve bunun virüsün büyük ölçekte yayılmasına neden olacağı ortaya çıkmış oldu (Chen, 2020). Nitekim araştırmalar sonucunda Huanan (Wuhan, Çin) deniz ürünleri pazarını ziyaret etmeyen bazı bireylerin enfekte olduğunu ortaya koymuş (Shereen ve ark, 2020) ve böylece hastalığın insandan insana bulaştığı kanıtlanmıştır. COVID-19, 11 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü tarafından küresel salgın ilan edilmiştir (WHO, 2020).

COVID-19 hastalığının kuluçka süresi enfeksiyondan sonra 2 ila 14 gün arasında değişmektedir (Hemida & Ba Abdullah, 2020). Hastalar ateş, kuru öksürük, kas ağrısı, yorgunluk ve ishal gibi, hastanın yaşına göre de değişen semptomlar göstermektedir (Zhang ve ark, 2020). Daha önceki SARS-CoV çalışmalarından ve SARS-CoV-2'nin genetik kimliğinden elde edilen kanıtlara dayanarak, son salgından sorumlu virüsün yarasalardan insanlara doğrudan veya dolaylı olarak tanımlanamayan bir ev sahibi aracılığı ile bulaşabileceği belirtilmiştir (Hemida & Ba Abdullah, 2020). Bir başka çalışmada pangolinden (pullu karıncayiyen) alınan virüsle enfekte insanlardan alınan virüsün diziliminin benzerliğinin %99 olduğu ve pangolinin virüsün potansiyel kaynağı olabileceği bildirilmiştir (Cyanoski, 2020). İnsanlarda hastalık yapan virüslerin çoğu hayvan kaynaklıdır. Evcil hayvan veya vahşi hayvanlara özgü zoonotik virüslerin geniş bir yayılma spektrumu vardır. Bu virüsler kontamine gıda, su, hava ve toprak yoluyla doğrudan veya dolaylı olarak bulaşabilirler (Rodríguez-Lázaro ve ark, 2012).

Koronavirüsün iki bulaşma yolu vardır: Bunlardan birincisi insandan insana bulaşmadır. Virüsün esas olarak insandan insana yayıldığı düşünülmektedir. Birbiri ile yakın teması olan kişiler arasında, enfekte kişi öksürdüğünde ve hapsirdiğinde ortaya çıkan damlacıklar, yakındaki kişilerin aldığı nefesle birlikte taşınarak ağız veya burnuna yerleşebilir veya akciğerlere taşınabilir. İnsanların en semptomatik olduğu dönem, hastalığın en çok bulaştırıldığı dönem olarak düşünülmektedir. Yeni koronavirüs ile ilgili semptom göstermeden de bazı yayılmalar olduğunu gösteren kayıtlar vardır. Ancak asıl yayılmanın bu şekilde olmadığı düşünülmektedir. İkinci bulaşma yolu kontamine yüzeyler veya nesnelere ile temas sonucu bulaşmadır. Bir kişi elleri ile üzerinde virüs olan bir yüzeye ya da nesneye temas ettikten sonra ağzına, burnuna, gözlerine dokunması ile COVID-19 hastası olabilir ki, ancak bunun virüsün ana yayılma yolu olmadığı düşünülmektedir (CDC, 2020a).

Bu derleme makalesinde SARS-CoV-2, gıda güvenliği açısından değerlendirilmiş ve korunma yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

2. SARS-CoV-2'nin gıdalarda bulunabilirliği ve muhtemel riskler

COVID-19 hastalığı henüz çok yeni bir hastalık olup direkt bulaşma yolu ile ilgili net veriler bulunmakla birlikte indirekt bulaşma yolları hakkında henüz yeteri kadar bilgi bulunmamaktadır. Gıdalar ile ilgili durum buna örnek olsa da temas yüzeyleri ile ilgili bilgi düzeyi baz alınarak, yeni koronavirüsün gıda yolu ile taşınımı hakkında fikir yürütülebilmektedir. Nitekim, FDA (U.S. Food and Drug Administration: Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) tarafından 27 Şubat 2020'de yayımlanan bildiriye, COVID-19'un gıda veya gıda ambalajı yoluyla bulaşabileceğini gösteren bir bilgiye sahip olunmadığı, ancak yiyecekleri tutarken ve hazırlarken, el ve yüzeylerin sıklıkla yıkanması, çiğ etlerin diğer gıdalardan ayrı tutulması, yiyeceklerin doğru sıcaklıkta pişirilmesi ve hızlıca soğutulması gibi iyi hijyen uygulamaların sağlanmasının bütün bulaşmalar için daima önemli olduğunu belirtilmiştir (FDA, 2020a). Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayımlanan rapora göre şimdiye kadar SARS-CoV-2 virüsünün gıdalar ile bulaştığına dair bir bilgi olmadığı, SARS-CoV ve MERS-CoV gibi daha önceki koronavirüs salgınlarındaki tecrübeler, gıda tüketimi ile bulaşma olmadığını, ancak bu virüslerin hayvansal kaynaklı çiğ gıdalarda bulunması konusunda şüpheler olduğu belirtilmiştir (WHO, 2020a). Jalava (2020) tarafından yapılan çalışmada COVID-19 hastalarının çoğunun ortak noktasının; belirli bir zaman diliminde Huanan (Wuhan, Çin) deniz ürünleri pazarını ziyaret etmeleri olduğu için hayvansal kaynaklı bir salgın söz konusu olduğunun anlaşıldığı, hastaların temel semptomlarının ateş ve solunum yolu ile ilgili olduğu ve bulaşmanın yiyecek yolu ile değil, solunum yolu olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte yeni koronavirüsün solunum yolu ile bulaşıp gıda ile bulaşmadığı kesin olarak bildirilse de, bütün enfeksiyonlarda olduğu gibi gıda, şüpheli kaynaklardan biri gibi insanlar tarafından sorgulanmaktadır (WHO ve FAO, 2008).

COVID-19 hastalık etmeni SARS-CoV-2'ün şimdiye kadar gıda ile bulaştığına dair herhangi bir bilgi olmasa da, bu virüse benzer şekilde aerosoller ile bulaşabilen diğer virüsler ve gıda ile bulaştığını gösteren bazı veriler bulunmaktadır. Örneğin 2013 yılında yapılan bir çalışmada solunum sistemi virüslerinin, soğukta depolanan taze sebze ve meyvelerde birkaç gün canlı kalabileceğini göstermektedir. Taze ürünlerin kontaminasyonu, sadece gıda kaynaklı patojenler olarak düşünülen enterik virüsler ile değil, mukoz membranlar ile temas ettiğinde enfekte edebilen adenovirüs, koronavirüs ve influenza virüsleri gibi solunum yolu virüsleri ile de gerçekleşmektedir. Birçok viral ajanın düşük enfeksiyöz dozu düşünüldüğünde, düzenli yüzey temizliği yapılmadığında solunum sistemi veya enterik virüsler ile kontamine olmuş gıdaların tüketilmesi sonucu her zaman enfeksiyon riski mevcuttur. Pek çok solunum yolu virüsü ellerde uzun süre canlı kalabilir ve elle dokunulan yüzeylere aktarılabilir. Ayrıca koronavirüs (SARS koronavirüsü) ve adenovirüs gibi pek çok solunum sistemi virüsünün bağırsak içinde konaçısını bularak, çoğaltma özelliği olduğu için kontamine ürün tüketimi yolu ile hastalığın bulaşma potansiyeli bulunabileceği bildirilmiştir (Yepiz-Gomez ve ark., 2013). Ancak COVID-19 hastalık etmeni SARS-CoV-2'nin gıda ile bulaştığına dair böyle bir bilgi mevcut değildir.

Yapılan bir çalışmada solunum yolu ile de bulaşabilen diğer bir virüs olan norovirüs salgınlarının ortaya çıkmasındaki temel sebebin enfekte ancak çoğu zaman her hangi bir semptom göstermeyen (asemptomatik) personel tarafından bulaştırılmış deniz canlıları, taze ve tüketime hazır gıda ürünleri olduğu bildirilmiştir (Lamhoujeb ve ark., 2008). Norovirüs salgınlarına sebebiyet verebilen bir diğer husus kanalizasyon suları yoluyla muhtemelen norovirüsün arıtma işlemlerine olan direnci sebebiyle tekrar sulama sularına oradan da insan tüketim sistemine olan geçişi olarak rapor edilmiştir (ter Waarbeek ve ark., 2010).

Gıdaların pH, su aktivitesi (a_w) ve soğutma ve dondurma sıcaklıkları gibi iç ve dış özelliklerine dayanan kontrol stratejileri, genellikle gıdalardaki bakteri gelişimini engelleyerek gıdaları mikrobiyolojik olarak güvenli tutmak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu kontrol önlemlerinin bazıları virüslere doğrudan uygulanamayabilmektedir. Çünkü virüsler sözkonusu olduğunda asıl konu "gelişme" değil, "hayatta kalma" ya da gıdanın bulaştıktan korunmasıdır (Bosch ve ark, 2018).

Virüslerin bir diğer bulaşma yolları fekal materyaldir. COVID-19'a neden olan virüs bazı hastaların dışkılarında tespit edilmiştir. Ancak dışkıdaki virüs miktarı, dışkıda ne kadar yaşayabildiği ve dışkıdaki virüsün bulaşıcı olup olmadığı bilinmemektedir. Şimdiye kadar COVID-19'un fekal-oral yolla bulaştığına dair bir delil yoktur. Dolayısıyla, COVID-19'a neden olan virüsün kanalizasyon sistemleri yoluyla bulaşma riskinin gerçekleştiğine dair şimdiye kadar herhangi bir kanıt rastlanmadığı ve bunun ihtimalinin de düşük olduğu düşünülmektedir (CDC, 2020b). SARS koronavirüsünün dışkı ile bulaşmasının kanıtı, Hong Kong'da bulunan toplu konuttaki bir olayda ortaya çıkmıştır. Burada büyük bir grup insan arızalı kanalizasyon sistemi nedeniyle, enfekte olmuştur. Ancak bu hastalarda enfeksiyonun oral yolla mı yoksa aerosolların solunması yoluyla mı gerçekleştiği bilinmemektedir (WHO & FDA, 2008). Yapılan bir çalışmada SARS virüsünün kanalizasyonda inaktif olmasına rağmen, RNA'sının 8 gün boyunca tespit edilebildiği bildirilmiştir (Wang ve ark, 2005).

SARS-CoV-2'nin canlı kalma süresini tespit için araştırmalar halen devam etmektedir. Genel olarak koronavirüsler donmuş durumda çok stabildir (Bosch ve ark. 2018). SARS-CoV ve MERS-CoV üzerinde yapılan çalışmalar sıcaklık, nem ve ışık parametrelerinin kombinasyonuna bağlı olarak, bu virüslerin birkaç güne kadar farklı yüzeylerde kalabileceğini göstermektedir. Örneğin MERS-CoV buzdolabı sıcaklığında (4°C)'de 72 saate kadar canlı kalabilmektedir. Diğer koronavirüs suşları için mevcut kanıtlar, düşük sıcaklık derecelerinde ve donma sıcaklıklarında stabil kaldığını göstermesine karşın, virüslerin gıdaya bulaşmasının hijyen ve gıda güvenliği uygulamaları ile engellenebileceği bildirilmiştir. Koronavirüsler ısıl işleme dirençli değildir, yani normal pişirme sıcaklıklarına (70°C) duyarlıdır. Bu nedenle çiğ ya da az pişmiş ürünlerin tüketilmesinden kaçınılmalıdır. Çiğ et, çiğ süt veya çiğ hayvansal doku ve organların tüketilmemesi gerektiği gibi, aynı zamanda bunların pişmiş veya pişmemiş gıdalar ile teması, dolayısı ile çapraz kontaminasyonu da önlenmelidir (WHO, 2020a).

Koronavirüsün yüzeylerde canlı kalabilme yeteneğinin sınırlı olması nedeniyle, marketten satın alınan veya eve teslim edilen gıdalardan bulaşma riskini en aza indirmek için en kolay yol bu gıdaları üç gün boyunca kullanılmayan bir yerde bekletmektir. Ancak bu hemen soğutulması veya dondurulması gereken gıdalar için uygun değildir. Koronavirüs zarflı bir virüs olup yağlı bir zar ile çevrilidir. Sabun veya uygun bir elde yıkama bulaşık deterjanı yüzeylerdeki yağı çözmede, su ise virüsü uzaklaştırmada çok etkilidir. Pişirilmeden tüketilen taze sebze ve meyveler gibi ürünler su altında iyice yıkanmalıdır. İstenirse, çok az miktarda sabun ve su ile

sebze fırçası kullanılarak yüzey ovalanarak yıkanabilir. Bununla birlikte az da olsa sabun kullanılarak yıkanan meyve ve sebzeler çok iyi bir şekilde durulanmadan kesinlikle tüketilmemelidir. Bu metot yüzeydeki patojenlerin giderilmesi için etkilidir. Sirke gibi popüler evsel uygulamaların virüsü öldürmede etkili olup olmadığı bilinmemektedir (Anonim, 2020a).

3. SARS-CoV-2'nin gıdalara çapraz bulaşma ihtimalleri

Virüsler, hasat öncesi veya hasat sonrası aşamalarda çok çeşitli gıdalara bulaşabilirler. Hasat sonrası kirlenme, çoğunlukla gıdaların işlenmesi sırasında, kötü hijyen uygulamalarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle en fazla risk altındaki gıdalar pişmemiş veya az pişmiş ürünlerdir. Gıdaların hazırlanması için kullanılan yüzeyler ve diğer fomitler (bulaşıcı hastalık etkenini taşıyan cisim), gıda kaynaklı virüs bulaşması için araç görevi görebilmektedir (Bosch ve ark., 2016).

Yeni koronavirüsün gıda veya su ile bulaşması mümkün görünmemektedir ve bu durumla ilgili yeterli kanıt bulunmamaktadır. SARS ve MERS gibi daha önceki koronavirüs salgınları ile ilgili kayıtlar, insanların gıda yoluyla koronavirüsle enfekte olmadığını göstermektedir. Ancak yeni koronavirüs ile ilgili sınırlı sayıda çalışma, virüsün dışkıda bulunabileceğini göstermiştir. Şu anda virüsün sindirim sisteminden geçtikten sonra insanları hasta edip etmeyeceği bilinmemektedir. Koronavirüsün gıdalar ile bulaşmadığına inanılsa da riskin azaltılması için gıda güvenliği uygulamalarına (İyi Tarım Uygulamaları, İyi Hijyen Uygulamaları, İyi Üretim Uygulamaları vb.) her zamankinden daha fazla özen gösterilmelidir. Gıdalara sadece sağlıklı iken temas edilmelidir. Öksüren, ateşi ve nefes darlığı olan, kusma, ishal veya diğer hastalık belirtileri olan insanlar, işletmeden ve gıda üretim ortamlarından uzak tutulmalıdır. CDC (Centers for Disease Control and Prevention; Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi)'ye göre, alışverişte kullanılan para muhtemelen koronavirüsün birincil bulaşma kaynağı değildir. Virüsün muhtemel transferi kontamine bir yüzeye temas ve sonrasında ağız, burun veya gözlere dokunulması ile gerçekleşmektedir. Tüketiciler ve çalışanların, parayla temas ettikten sonra ellerini, ağzına, burnuna ve gözlerine dokundurmadan ve yemek yemeden önce mutlaka su ve sabunla usulüne uygun olarak 20 saniye boyunca yıkamaları gerektiği bildirilmektedir (Anonim, 2020b).

Literatürde SARS-CoV-2'nin çevresel numunelerde tespiti ve izolasyonu ile ilgili bir bilgi bulunmamakla birlikte, Çin Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, Huanan (Wuhan, Çin) Deniz Ürünleri Marketinden toplanan 585 çevresel örnekten 33 tanesinde SARS-CoV-2'nin bulunduğunu rapor etmiştir (El Zowalaty & Järhult, 2020). Dolayısıyla çapraz bulaşma ihtimaline karşı kişisel hijyen ve genel sanitasyon kurallarının uygulanması, gıda zincirine bu virüsün bulaşmasının engellenmesi için hayati derecede önem arz etmektedir.

4. Gıda işletmelerinin SARS-CoV-2 açısından güvenli hale getirilmesi ve korunma yöntemleri

CDC, iş yerlerindeki üretim ortamları, mutfak tezgâhları ve kapı kolları gibi insanların temas ettiği kritik noktaların sıklıkla rutin olarak temizlenmesini önermektedir. Bu alanlarda etikette bulunan talimatlara dikkat ederek genellikle kullanılan temizlik maddelerinin kullanılması gerektiğini, rutin temizleme dışında ek bir dezenfeksiyon işlemine gerek olmadığı belirtilmektedir. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency) SARS-CoV-2 virüsüne karşı kullanılan dezenfektanların listesini internet sitesinde yayınlamıştır. Ayrıca akut solunum hastalığı semptomlarına sahip olan gıda sektörü çalışanlarının, ateş düşürücü ve diğer ilaçların bitiminden en az 24 saat geçtikten sonra, ateş ve diğer belirtileri tamamen kaybolmadan evden çıkmamalarını, hasta olduklarını işverenlerine bildirecek işe gitmemelerini önermektedir (FDA, 2020b).

Gıdalarla hastalık bulaştırma riskini azaltmak için, aşağıda belirtilen rutin gıda güvenliği uygulamaları gerçekleştirilmelidir:

- Gıda üretiminden ve yemek hazırlamadan önce ve hazırlama sırasında eller iyice yıkanmalıdır.
- Meyve ve sebzeler, işleme ve tüketimden önce mutlaka yıkanmalıdır. Taze olarak tüketilen veya minimal işlenmiş sebze ve meyveler, üretim ve servis edilmeden önce bol su ile yıkanmalıdır.
- Isıl işlem koronavirüs de dâhil pek çok mikroorganizmayı inaktive ettiği için, gıdanın yapısına uygun normlarda ısıl işlem ile gıdalar muamele edilmelidir.
- Gıdanın hazırlandığı ve temas ettiği yüzeyler sürekli temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir. Cihazlar, aletler, masalar, kesme tahtaları, mutfak aletleri ve diğer gıda ile temas eden yüzeyler sık sık yıkanmalı, durulanması ve dezenfekte edilmelidir (Anonim, 2020b).

Gıda işleme tesislerindeki gıda güvenliği uygulamaları, kişisel koruyucu ekipmanların kullanımı ve ellerin sıklıkla yıkanması dahil olmak üzere, en yüksek hijyen standartlarının sürekli uygulanmasına yönelik olmalıdır. Sosyal mesafenin korunmasının zor olduğu üretim alanlarında işverenler, işçiler için hangi önlemleri alabileceğini düşünmelidir. Personel gıda işleme alanını terk ettikten ve koruyucu kıyafetlerini çıkardıktan sonra sosyal mesafeye ve el yıkama kurallarına uymalıdır (FDA, 2020c).

Süpermarketlerde kalabalığı sınırlamak için mağazadaki müşteri sayısı izlenmeli, müşteriler arasındaki mesafenin en az 2 metre olması gerektiği ve sadece ihtiyaçları olan şeyleri almaları hatırlatılmalıdır (FDA, 2020c).

Koronavirüsün yiyecekler ile bulaşması pek mümkün olmadığı için, iş yerlerinde bulunan kantinler alternatifleri olmadığı durumlarda açık kalabilir. Bu yerlerde bulunan dinlenme alanları sosyal mesafe sağlanarak kullanıma devam edilebilir. Bu alanlara el

hijyeninin sağlanması ve sosyal mesafenin korunmasını teşvik edecek bildirimler görünür bir biçimde yerleştirilmelidir. Mümkünse el yıkama alanları artırılmalıdır (FDA, 2020c).

5. Gıda tüketicisi açısından SARS-CoV-2'nin değerlendirilmesi

Yiyecekleri hazırlamadan önce ve sonra, yemekten önce ve sonra eller 20 saniye sabun ve bol su ile yıkanmalıdır (EUFIC, 2020). Yemeği hazırlayan kişinin eldiven takması gerekli değildir ve sahte bir güven duygusu sağlar. Gıda hazırlamadan önce elleri dezenfekte etmek, gıda tüketiminden önce ve sonra ise elleri yıkamak daha uygundur (MAPAQ, 2020).

Çiğ et diğer gıdalardan ayrı bir şekilde tutulmalı, kolay bozulabilen gıdalar soğutulmalı, zararlı mikroorganizmaların öldürülmesi için et doğru sıcaklıkta pişirilmelidir (CDC, 2020c). Daha önce de belirtildiği gibi koronavirüsler normal pişirme sıcaklıklarına yani 70°C'ye duyarlıdır (WHO, 2020a). Çapraz bulaşmayı önlemek için çiğ ve pişmiş gıdalarda ayrı mutfak eşyaları ve doğrama tahtaları kullanılmalıdır (EUFIC, 2020). Çiğ ürünler için kullanılan tüm malzemeler kullanıldıktan sonra dezenfekte edilmelidir.

Meyve ve sebzeler tüketilmeden önce daima yıkanmalıdır (MAPAQ, 2020). Çiğ meyve ve sebze tüketimine olan talep ve bunların tüketilmesi sonucu meydana gelen gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıkların artması, çiğ olarak tüketilen sebze ve meyveler için etkili yüzey dekontaminasyonun önem taşıdığını göstermektedir (Bağcı, Özmen Toğay & Temiz, 2008). Klorlu bileşikler (sodyum hipoklorür, kalsiyum hipoklorür vb.), asetik asit ve tuzları, ozon, sirke, kekik suyu gibi maddeler, toplu beslenme sistemlerinde etkili bir şekilde kullanılan genel amaçlı gıda dezenfektanlarıdır (Ayhan & Bilici, 2015).

Koronavirüsün ortamdaki stabilitesi; sıcaklık, nem ve yüzey koşullarının yanında virüs suşu ve virüs miktarı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Genellikle insan koronavirüsleri kuru yüzeylerde pek dayanıklı değildir. Kuru koşullarda inaktivasyon birkaç saat ile birkaç gün arasında değişmektedir. SARS-CoV-2 için ilk laboratuvar testleri yüksek kontaminasyondan sonra aerosol olarak 3 saat, bakır yüzeylerde 4 saat, kartonda 24 saat, paslanmaz çelik ve plastiklerde 2-3 gün kalabileceğini göstermiştir (BfR, 2020). Ancak bu ortamlarda bulunsa bile, sayı olarak hastalık yapabilecek düzeyde olmadığı düşünülmektedir. Bu nedenle, yüzeyler ve gıdaların hazırlanmasında kullanılan alet ekipman sık sık yıkanmalı ve dezenfekte edilmelidir (EUFIC, 2020).

6. Sonuç

Dünyada salgın dönemlerinde gıda zinciri hiç olmadığı kadar önem kazanmakta olup, bu zincirin kırılmaması ve salgına neden olan etmenin bu zincire bulaşmasının önlenmesi son derece önemli hale gelmektedir. Dünyayı tehdit eden COVID-19 hastalığı solunum ve temas yoluyla insanların SARS-CoV-2 ile enfekte olması sonucunda ortaya çıkmış bir hastalıktır. Bu virüsün gıdalara bulaşma yolu mevcut bilgilerimize göre, gıda işletmelerinde çalışan hastalık belirtisi göstermeyen ancak virüsü taşıyan enfekte gıda çalışanlarının gıdaları bulaştırması şeklindedir. Dolayısıyla üretim ve satış zincirinde çalışan tüm personelin, bu konuda eğitilmesi, hasta olarak çalıştırılmaması ve maske takması zorunluluk arz etmektedir.

Araştırmaların SARS-CoV-2 ve diğer koronavirüslerin sindirim sisteminde canlı kalarak dışkı ile atıldığını göstermesi, bu virüslerin çok uzun süreler yaşadığımız ortamlarda bulunabileceğini ve korunmak için gıda üreticileri ve tüketicilerin genel hijyen kurallarına mutlaka dikkat etmelerinin hayati önem taşıdığını göstermektedir.

Mevcut bilimsel çalışmalara göre SARS-CoV-2 virüsünün gıda ve gıda ambalajı ile bulaştığına dair bir bilgi bulunmasa da enfekte kişinin, bunlarla teması olabileceği ihtimali göz önüne alınmalı ve kişisel temizlik sağlanmalı; gıdalar tüketilmeden önce mutlaka rutin gıda güvenliği uygulamalarına azami özen gösterilmelidir. En önemlisi gıda veya herhangi bir yüzeye temastan sonra ellerle; ağız, burun veya göze dokunulmamalı, eller mutlaka en az 20 saniye süreyle sabun ve su ile yıkanmalıdır. Bu süreçte gıda üreticileri kadar tüketicilere de büyük sorumluluk düşmektedir. Tüketiciler market alış-verişlerini listeleri hazır bir şekilde, sosyal mesafeyi koruyup, maske takarak, genel hijyen kurallarına azami dikkat ederek ve mümkünse en az haftalık ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde gerçekleştirilmelilerdir.

Pişirilmesi gereken gıdaların, çiğ ya da az pişmiş olarak tüketilmesinden kaçınılmalıdır. Çiğ et, çiğ süt veya çiğ hayvan doku ve organları tüketilmemesi gerektiği gibi, aynı zamanda bunların pişmiş veya pişmemiş gıdalar ile çapraz kontaminasyonu da önlenmelidir. Çiğ tüketilen meyve ve sebzeler de, tüketilmeden önce bol su ve sebze fırçası ile yüzeyleri ovalanarak iyice yıkanmalıdır.

Açıkta satılan işlenmiş gıdalar satın alınmamalı, bunun yerine ambalajlı gıdalar tercih edilmelidir.

Sonuç olarak SARS-CoV-2'nin neden olduğu COVID-19 hastalığı insan sağlığı için büyük bir risk içermektedir ve gıdaların tüketilmesiyle bu virüsün bulaştığına dair bugüne kadar bilimsel bir veri mevcut değildir. Ancak gıda üreticileri ile tüketicilerin rutin

hijyen kurallarını her zamankinden daha özenle uygulamasıyla bu virüsün gıdalarla taşınması konusundaki endişelerin ve dolayısıyla tartışmaların önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Ahn, D.-G., Shin, H.-J., Kim, M.-H., Lee, S., Kim, H.-S., Myoung, J., Kim, B.-T., & Kim, S.-J. (2020). Current Status of Epidemiology, Diagnosis, Therapeutics, and Vaccines for Novel Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(3), 313-324. DOI: 10.4014/jmb.2003.03011
- Anonim. (2020a). *Food safety, nutrition, and wellness during COVID-19*. <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/2020/03/25/food-safety-nutrition-and-wellness-during-covid-19/>
- Anonim. (2020b). *Preventing the spread of COVID-19: Guidance for food establishments*. <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/1600/coronavirus/FoodWorkerEstablishment.pdf>
- Ayhan, B., & Bilici, S. (2015). Toplu beslenme sistemlerinde kullanılan gıda dezenfektanları, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 72(4): 323-336. doi: 10.5505/TurkHijyen.2015.82542
- Bağcı, U., Özmen Toğay, S., & Temiz, A. (2008). Çiğ Tüketilen Sebzelere Uygulanan Yüzeysel Dekontaminasyon Yöntemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi, sayfa 173-176, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Bidawid, S., Bosch, A., Cook, N., Greening, G., Taylor, M., & Vinje, J. (2009) Editorial. *Food and Environmental Virology*, 1, 1–2.
- Bosch, A., Pinto, R. M., & Guix, S. (2016). Foodborne viruses. *Current Opinon in Food Science*, 8, 110-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2016.04.002>
- Bosch, A., Gkogka, E., Le Guyader, F. S., Loisy-Hamon, F., Lee, A., van Lieshout, L., Marthi, B., Myrmel, M., Sansom, A., Schultz, A. C., Winkler, A., Zuber, S., & Phistern, T. (2018). Foodborne viruses: Detection, risk assessment, and control options in food processing. *International Journal of Food Microbiology*, 285, 110–128. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.001>
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). (2020). *Can the new type of coronavirus be transmitted via food and objects?* <https://www.bfr.bund.de/cm/349/can-the-new-type-of-coronavirus-be-transmitted-via-food-and-objects.pdf>
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). (2020a). *How Coronavirus Spreads*. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prepare/transmission.html>
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). (2020b). *Water Transmission and COVID-19*. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/php/water.html>.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). (2020c). *Food Safety and Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*. <https://www.cdc.gov/foodsafety/newsletter/food-safety-and-Coronavirus.html>
- Chen, J. (2020). Pathogenicity and Transmissibility of 2019-nCoV—A quick overview and comparison with other emerging viruses. *Microbes and Infection*, <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2020.01.004>.
- Cyranoski, D. (2020). *Did pangolins spread the China coronavirus to people?*. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00364-2>
- El Zowalaty, M.E., & Järhult, J.D. (2020). *From SARS to COVID-19: A previously unknown SARS-CoV-2 virus of pandemic potential infecting humans – Call for a One Health approach*. *One Health*, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100124>
- EUFIC (The European Food Information Council). (2020). *Food and coronavirus (COVID-19): what you need to know*. <https://www.eufic.org/tr/page/food-and-coronavirus-covid-19-what-you-need-to-know>.
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). (2020a). *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) and the Food Supply Chain*. <https://www.fda.gov/food/food-safety-during-emergencies/food-safety-and-coronavirus-disease-2019-covid-19>
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). (2020b). *Food Safety and the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*. <https://www.fda.gov/food/food-safety-during-emergencies/food-safety-and-coronavirus-disease-2019-covid-19>
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). (2020c). *Guidance for food businesses on coronavirus (COVID-19)*. <https://www.gov.uk/government/publications/covid-19-guidance-for-food-businesses/guidance-for-food-businesses-on-coronavirus-covid-19>
- Hemida, M.G., & Ba Abdullallah, M.M. (2020). The SARS-CoV-2 outbreak from a one health perspective. *One Health*, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100127>
- Jalava, K. (2020). First respiratory transmitted food borne outbreak? *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 226, 113490. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113490>
- Lai, C.-C., Liu, Y. H., Wang, C.-Y., Wang, Y.-H., Hsueh, S.-C., Yen, M.-Y., Ko, W.-C., & Hsueh, P.-R. (2020). Asymptomatic carrier state, acute respiratory disease, and pneumonia due to severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARSCoV-2): Facts and myths. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*. <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2020.02.012>
- Lamhoujeb, S., Fliss, I., Ngazoa, S.E., & Jean, J. (2008). Evaluation of the persistence of infectious human noroviruses on food surfaces by using real-time nucleic acid sequence-based amplification. *Applied and Environmental Microbiology*, 74, 3349–3355. doi: 10.1128/AEM.02878-07.
- Lu, G., Wang, Q., & Gao, G. F. (2015). Bat-to-human: spike features determining “host jump” of coronaviruses SARS-CoV, MERS-CoV, and beyond. *Trends in Microbiology*, 23(8), 468–478. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2015.06.003>
- Marty, A.M., & Jones, M.K. (2020). The novel coronavirus (SARS-CoV-2) is a one health issue. *One Health*, 9, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100123>
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). (2020). *Food safety*. https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Avis_publicite/English_Questions-ReponseclienteleMAPAQ.pdf
- Petrosillo, N., Viceconte, G., Ergonul, O., Ippolito, G., Petersen, E. (2020). COVID-19, SARS and MERS: are they closely related?. *Clinical Microbiology and Infection*, <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.03.026>

- Rodríguez-Lázaro, D., Cook, N., Ruggeri, F. M., Sellwood, J., Nasser, A., Nascimento, M. S., D'Agostino, M., Santos, R., Saiz, J. R., Rzeżutka, A., Bosch, A., Gironés, R., Carducci, A., Muscillo, M., Kovač, K., Diez-Valcarce, M., Vantarakis, A., von Bonsdorff, C.H., de Roda Husman, A. M., Hernández, M., & van der Poel, W.H. (2012). Virus hazards from food, water and other contaminated environments. *FEMS Microbiology Reviews*, 36(4), 786-814. doi: 10.1111/j.1574-6976.2011.00306.x.
- Rzeżutka, A., & Cook, N. (2004). Survival of human enteric viruses in the environment and food. *FEMS Microbiology Reviews*, 28, 441–453. doi: 10.1016/j.femsre.2004.02.001.
- Shereen, M.A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N., & Siddique, R. (2020). COVID-19 infection: origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of Advanced Research*, 24, 91-98. Doi: 10.1016/j.jare.2020.03.005
- Sun, J., He, W.-T., Wang, L., Lai, A., Ji, X., Zhai, X., Li, G., Suchard, M. A., Tian, J., Zhou, J., Veit, M., & Su, S. (2020). COVID-19: epidemiology, evolution, and cross-disciplinary perspectives. *Trends in Molecular Medicine*, <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2020.02.008>
- ter Waarbeek, H.L., Dukers-Muijters, N.H., Vennema, H., & Hoebé, C.J. (2010). Waterborne gastroenteritis outbreak at a scouting camp caused by two norovirus genogroups: GI and GII. *Journal of Clinical Virology*, 47, 268–272. doi: 10.1016/j.jcv.2009.12.002.
- Wang, X.W., Li, J., Guo, T., Zhen, B., Kong, Q., Yi, B., Li, Z., Song, N., Jin, M., Xiao, W., Zhu, X., Gu, C., Yin, J., Wei, W., Yao, W., Liu, C., Li, J., Ou, G., Wang, M., Fang, T., Wang, G., Qiu, Y., Wu, H., Chao, F., & Li, J. (2005). Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan Hospital and the 309th Hospital. *Journal of Virological Methods*, 128(1-2), 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2005.03.022>
- WHO (World Health Organization). (2020). *Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report – 51*. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200311-sitrep-51-covid-19.pdf?sfvrsn=1ba62e57_10
- WHO (World Health Organization). (2020a). *Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report – 32*. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200221-sitrep-32-covid-19.pdf?sfvrsn=4802d089_2
- WHO (World Health Organization) & FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2008). *Viruses in food : scientific advice to support risk management activities : meeting report*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44030>
- Wu, D., Wu, T., Liu, Q., & Yang, Z. (2020). The SARS-CoV-2 outbreak: what we know. *International Journal of Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.004>
- Yepiz-Gomez, M.S., Gerba, C.P., & Bright, K.R. (2013). Survival of respiratory viruses on fresh produce. *Food and Environmental Virology*, 5(3), 150–156. DOI: 10.1007/s12560-013-9114-4
- Zhang, R., Wang, X., Ni, L., Di, X., Ma, B., Niu, S., Liu, C., & Reiter, R. J. (2020). COVID-19: Melatonin as a potential adjuvant treatment. *Life Sciences*, 117583. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.117583>.



A Numerical Algorithm to Solve Supersonic Flow over a Wedge Shaped Airfoil

Murat Bakırcı^{1*}

¹ Tarsus Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Tarsus, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2092-1168)

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 10 Nisan 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.706738)

ATIF/REFERENCE: Bakırcı, M. (2020). A Numerical Algorithm to Solve Supersonic Flow over a Wedge Shaped Airfoil. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 934-942.

Abstract

In this paper, a new algorithm is developed to solve a two dimensional supersonic flow around a wedge-shaped airfoil. The MacCormack predictor-corrector method is utilized to develop a solution. To further investigate the flow properties, a numerical algorithm written in C++ has been compiled so that it may be compared to commercial softwares. The developed algorithm is compiled and run with the initial conditions of a free stream Mach number of 2 while the wedge angle is set at 15°. The compiled program revealed that the flow velocities increased without bound. Adjustment of this condition was achieved by adding artificial dissipation. The addition of dissipation term into the code resulted stable output and the presence of a shock. Same case was also simulated with ANSYS Fluent and CFL3D softwares using second order discretization.

Keywords: Shock, Supersonic Flow, Wedge-shaped Airfoil.

Kama Şekilli Kanat Üzerindeki Süpersonik Akışı Çözmek için Sayısal Bir Algoritma

Öz

Bu makalede, kama şeklindeki bir kanat profili etrafındaki iki boyutlu süpersonik akışı çözmek için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Çözümü üretmek için MacCormack kestirici-düzeltilici yönteminden fayda sağlanmıştır. Akış özelliklerini daha detaylı incelemek için C++ yazılım dilinde bir sayısal algoritma derlenmiş ve böylece ticari yazılımlar ile kıyas yapılması sağlanmıştır. Başlangıç şartları olarak serbest akım Mach sayısı 2 ve kama açısı 15° olacak şekilde geliştirilen algoritma derlenmiş ve çalıştırılmıştır. Derlenen programın açığa çıkardığı sonuç ile akış hızlarının sınırsız şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun düzeltilmesi ise algoritmaya suni dağılım terimi eklenerek yapılmıştır. Suni dağılım teriminin geliştirilen koda eklenmesi ile sonuç istikrarlı olmuş ve beklenen şokun gözlemlenmesine neden olmuştur. Aynı durum ayrıca ANSYS Fluent ve CFL3D yazılımları ile ikinci derecede kesikli hale getirilerek de simüle edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şok, Süpersonik Akış, Kama-şekilli Kanat.

* Sorumlu Yazar: Tarsus Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Tarsus, Türkiye ORCID: 0000-0003-2092-1168, muratbakirci@tarsus.edu.tr

1. Introduction

In fluid dynamics perspective, precise analysis and solution of fluid flow around a supersonic aircraft is of great importance. The application under consideration in this paper is to develop a new algorithm to study the case of supersonic flow over a wedge-shaped airfoil. Several numerical schemes are capable of providing the necessary requirements for this task. A thorough review of these schemes needs to be performed to comprehend programming necessities.

The MacCormack explicit scheme (MacCormack, 1969; MacCormack, 1982; Ngondiep, 2019) is a two-step, predictor-corrector scheme based on Lax-Wendroff discretization (Lax and Wendroff, 1960; Leveque, 1992; Li et al., 2011). For linear applications, the MacCormack scheme is identical to Lax-Wendroff. In this scheme, predicted values are defined at point $j + 1$ and point i , followed by a corrector step where $f_i^* = f(U_i^*)$. The scheme can be written as follows:

$$U_i^* = U_i^j - \tau(f_{i+1}^j - f_i^j) \quad (1)$$

$$U_i^{j+1} = \frac{1}{2}(U_i^j + U_i^*) - \frac{1}{2}\tau(f_i^* - f_{i-1}^*) \quad (2)$$

The first equation, the predictor, is a first-order forward discretization in space, and is unstable for supersonic flows. The second equation, the corrector, is a backward difference first-order discretization scheme that is unstable in subsonic flows. However, the combined scheme is stable, and of second order accuracy due to the cancellations of the truncation errors at each step (Leveque, 1992; Zeng, 2015). An additional advantage of this scheme is that the Jacobian Matrix does not appear.

The Beam and Warming implicit scheme (Beam and Warming, 1976; Beam and Warming, 1978; Strikwerda, 2004; Xiao, 2014) was developed by applying linear multi-step integration schemes to the space-discretized Euler equations (Leveque, 1992; Strikwerda, 2004; Laney, 1998; Zeng, 2015). Applying central discretizations, the second-order spatial accurate scheme can be developed.

Through Von Neumann stability analysis, it can be seen that for high frequencies, this scheme is non-dissipative (Leveque, 1992; Strikwerda, 2004; von Neuman and Richtmyer, 1950; Konangi et al., 2016). As a consequence large oscillations will be apparent in regions around a shock wave, and artificial dissipation will have to be added to the scheme (Degani and Fox, 1994; Cavus, 2013). Additionally, the implicit scheme will require a solution to a tridiagonal matrix (Strikwerda, 2004; Laney, 1998; von Neuman and Richtmyer, 1950; Konangi et al., 2016).

The Jameson explicit scheme (Jameson et al., 1981; Ganzha and Vorozhtsov, 1996; Jameson and Baker, 1987; Singh et al., 2015) utilizes a Runge-Kutta multi-stage time integration (Jameson et al., 1981; Jeon et al., 2017) to the central discretization of the flux balance. This method involves a combination of efficient components such as dissipation terms, convergence acceleration and multi-grid techniques (Ganzha and Vorozhtsov, 1996). These components can be exploited to provide maximum curve smoothing properties. The four-step scheme is as follows (Strikwerda, 2004; Ganzha and Vorozhtsov, 1996).

$$U_{ij}^0 = U_{ij}^n \quad (3a)$$

$$U_{ij}^1 = U_{ij}^n - \alpha_1 \Delta t R U_{ij}^0 \quad (3b)$$

$$U_{ij}^2 = U_{ij}^n - \alpha_2 \Delta t R U_{ij}^1 \quad (3c)$$

$$U_{ij}^3 = U_{ij}^n - \alpha_3 \Delta t R U_{ij}^2 \quad (3d)$$

$$U_{ij}^{n+1} = U_{ij}^n - \Delta t R U_{ij}^3 \quad (3e)$$

where $U_{ij}^4 = U_{ij}^{n+1}$. Using $\alpha_1 = 1/4$, $\alpha_2 = 1/3$, $\alpha_3 = 1/2$, a fourth-order accurate scheme can be obtained. Further complication with this scheme comes from the formulation of the R_{ij} and D_{ij} matrices. Additionally, further dissipation terms are still required to control the high-frequency waves, which are not damped by the scheme.

The Courant Flux-Differencing scheme (Strikwerda, 2004; Durran, 2010) is an upwind scheme based on central space discretization. This scheme requires physical propagation information contained within the equations, but shock-fitting is necessary in the presence of discontinuity. For eigenvalues greater than zero, the following first-order accurate, stable scheme is used:

$$U_i^{n+1} = U_i^n - \sigma(U_i^n - U_{i-1}^n) \quad (4)$$

With the eigenvalue equal to zero, the viscosity term of the equation vanishes. Hence, this scheme may be expected to lead to a better representation of shock discontinuities.

The application under consideration in this paper is to develop an algorithm to study the case of supersonic flow over a wedge-shaped airfoil. The numerical algorithm will be compiled and run with the initial conditions of a free stream Mach Number of 2 while the wedge angle is set at 15°. Additionally, the algorithm shall be manipulated to compute inviscid, viscous, steady, and unsteady models.

Several numerical schemes are capable of providing the necessary requirements of this study. A thorough review of these schemes was performed to better understand the accuracy, programming methods, and stability needed for performance of this study.

In the solution of the aforementioned study, the MacCormack method is utilized to develop a solution. This method has been chosen due to the simple two-step scheme, and second-order accuracy. Additionally, the explicit nature of this scheme provides further

simplification in writing the code and does not require a tridiagonal matrix solution. This method will be discussed more in the next section of this paper.

2. Algorithm – Method of Solution

The steady, two dimensional Euler equations in Cartesian coordinate system are:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2 + P) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v^2 + P) = 0 \tag{7}$$

For inviscid, steady flow that originates from uniform conditions, the energy equation reduces to:

$$h_0 = \text{constant} = \frac{\gamma P}{\rho(\gamma-1)} + \frac{u^2+v^2}{2} \tag{8}$$

The Euler equations can be rewritten in the form:

$$\frac{\partial \bar{E}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial y} = 0 \tag{9}$$

where

$$\bar{E} = [\rho u \quad \rho u^2 + P \quad \rho uv]^t \tag{10a}$$

$$\bar{F} = [\rho v \quad \rho uv \quad \rho v^2 + P]^t \tag{10b}$$

The problem under consideration involves flow over a wedge. In order to analyze this problem, a coordinate transformation was used in which the coordinate $\xi = x$ which is aligned with the surface of the wedge and the coordinate $\eta = y/x$. Using this coordinate transformation, the shock coincides with a coordinate line $\eta = \text{constant}$. This problem is first analyzed using the assumptions of an inviscid and steady flow. To begin, equation 9 must be transformed to the new coordinate system. Using the chain rule, one can obtain

$$\frac{\partial \bar{E}}{\partial x} = \frac{\partial \bar{E}}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial \bar{E}}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial \bar{E}}{\partial \xi} (1) + \frac{\partial \bar{E}}{\partial \eta} \left(\frac{-y}{x^2}\right) = \frac{\partial \bar{E}}{\partial \xi} - \frac{\eta}{\xi} \frac{\partial \bar{E}}{\partial \eta} \tag{11}$$

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial y} = \frac{\partial \bar{F}}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial \bar{F}}{\partial \eta} \left(\frac{1}{x}\right) = \frac{1}{\xi} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \eta} \tag{12}$$

and using this transformation, equation 9 becomes

$$\xi \frac{\partial \bar{E}}{\partial \xi} - \eta \frac{\partial \bar{E}}{\partial \eta} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial \eta} = 0 \tag{13}$$

By adding and subtracting \bar{E} , this equation can be rewritten in the form:

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(\xi \bar{E}) + \frac{\partial}{\partial \eta}(\bar{F} - \eta \bar{E}) = 0 \tag{14}$$

or alternatively,

$$\frac{\partial \hat{E}}{\partial \xi} + \frac{\partial \hat{F}}{\partial \eta} = 0 \tag{15}$$

where

$$\hat{E} = \xi \bar{E} \tag{16}$$

$$\hat{F} = \bar{F} - \eta \bar{E} \tag{17}$$

This problem is being solved using Maccormack's Explicit Scheme which involves a predictor and a corrector step. To begin, the step sizes must first be calculated. For stability, it can be seen that

$$\Delta x < \frac{\Delta y}{|\tan(\theta+\mu)|_{max}} \tag{18}$$

where

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v}{u}\right) \tag{19}$$

$$\mu = \sin^{-1} \left(\frac{1}{M}\right) \tag{20}$$

This stability criteria must be transformed to the new coordinate system as follows:

$$d\eta = \frac{\partial \eta}{\partial x} dx + \frac{\partial \eta}{\partial y} dy = \frac{-y}{x^2} dx + \frac{1}{x} dy = \frac{\eta}{\xi} dx + \frac{1}{\xi} dy \quad (21)$$

or

$$\Delta \eta_j^i = -\frac{\eta_j^i}{\xi_j^i} \Delta x_j^i + \frac{1}{\xi_j^i} \Delta y_j^i \quad (22)$$

where

$$\Delta x_j^i = \Delta \xi_j^i \quad (23)$$

which is set by the stability condition above. We also have that

$$\eta_j^i = (j-1)\Delta \eta_j^i = (j-1) \left(-\frac{\eta_j^i}{\xi_j^i} \Delta x_j^i + \frac{1}{\xi_j^i} \Delta y_j^i \right) = \frac{(-\eta_j^i \Delta x_j^i + \Delta y_j^i)(j-1)}{\xi_j^i} \quad (24)$$

and therefore

$$\eta_j^i = \frac{(j-1)\Delta y_j^i}{\xi_j^i + (j-1)\Delta x_j^i} \quad (25)$$

Once these are known, the predictor step of the MacCormack scheme can be computed as follows:

$$\hat{E}_j^{i+1} = \hat{E}_j^i - \frac{\Delta \xi_j^i}{\Delta \eta_j^i} (\hat{F}_{j+1}^i - \hat{F}_j^i) \quad (26)$$

and once \hat{E}_j^{i+1} is calculated, the value of \bar{E}_j^{i+1} can be calculated from

$$\bar{E}_j^{i+1} = \frac{1}{\xi_j^{i+1}} \hat{E}_j^{i+1} \quad (27)$$

Once these values are known, this vector must be decomposed to its components and they will be defined using equation 10

$$E_1 = \bar{E}_{1j}^{i+1} = (\rho u)_j^{i+1} \quad (28)$$

$$E_2 = \bar{E}_{2j}^{i+1} = (\rho u^2 + P)_j^{i+1} \quad (29)$$

$$E_3 = \bar{E}_{3j}^{i+1} = (\rho uv)_j^{i+1} \quad (30)$$

By manipulating these variables, the values for the density, velocity components, and pressure can be calculated from the equations

$$v = \frac{E_3}{E_1} \quad (31)$$

$$u = \frac{\gamma}{\gamma+1} \frac{E_2}{E_1} \mp \sqrt{\left[\frac{\gamma E_2}{(\gamma-1)E_1} \right]^2 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} (2h_0 - v^2)} \quad (32)$$

$$P = E_2 - \rho u^2 \quad (33)$$

where the value for u is taken as the supersonic value. Using these, we can calculate the \bar{F}_j^{i+1} using following values:

$$\bar{F}_j^{i+1} = [(\rho v)_j^{i+1} \quad (\rho uv)_j^{i+1} \quad (\rho v^2 + P)_j^{i+1}] \quad (34)$$

and then \hat{F}_j^{i+1} can be calculated using equations 16 and 17. Now, the corrector step can be calculated by using the equation:

$$\hat{E}_j^{i+1} = \frac{1}{2} \left[\hat{E}_j^i + \hat{E}_j^{i+1} - \frac{\Delta \xi_j^i}{\Delta \eta_j^i} (\hat{F}_j^{i+1} - \hat{F}_{j-1}^{i+1}) \right] \quad (35)$$

and similar to what has been done earlier, this vector can be decomposed to the values for the density, velocity components, and pressure at the $i+1$ location. Since for this first case the flow is conical, that means the values at all i locations for a specific j ray. In order to enforce this condition, this procedure should be repeated with the new values and continued until the values of the density, velocity components, and pressure do not change between the i and $i+1$ locations and then this same procedure should be repeated at the next j location.

If we reconsider the Euler equations above but now considering the unsteady equations, the equations become

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial \xi} - \frac{\eta}{\xi} \frac{\partial E}{\partial \eta} + \frac{1}{\xi} \frac{\partial F}{\partial \eta} = 0 \quad (36)$$

and rearranging this equation in the same manner as before, one obtains

$$\frac{\partial \hat{Q}}{\partial t} + \frac{\partial \hat{E}}{\partial \xi} + \frac{\partial \hat{F}}{\partial \eta} = 0 \quad (37)$$

where

$$\hat{Q} = \xi \bar{q} = \xi [\rho \quad \rho u \quad \rho v \quad \rho e_t]^t \tag{38}$$

$$\hat{E} = \xi \bar{E} = \xi \left[\rho u \quad \rho u^2 + P \quad \rho uv \quad \rho \left(e_t + \frac{P}{\rho} \right) u \right]^t \tag{39}$$

$$\hat{F} = \bar{F} - \eta \bar{E} = \left[\rho v - \eta \rho u \quad \rho uv - \eta \rho u^2 - \eta P \quad \rho v^2 + P - \eta \rho uv \quad \rho \left(e_t + \frac{P}{\rho} \right) v - \eta \rho \left(e_t + \frac{P}{\rho} \right) u \right]^t \tag{40}$$

As has been done before, a predictor and corrector step must be performed and the predictor step is performed using the equation

$$\hat{Q}_{i,j}^{n+1} = \hat{Q}_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{\Delta \xi} (\hat{E}_{i+1,j}^n - \hat{E}_{i,j}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta \eta} (\hat{F}_{i,j+1}^n - \hat{F}_{i,j}^n) \tag{41}$$

and the corrector is performed by using the equation

$$\hat{Q}_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{2} \left[\hat{Q}_{i,j}^n + \hat{Q}_{i,j}^{n+1} - \frac{\Delta t}{\Delta \xi} (\hat{E}_{i,j}^{n+1} - \hat{E}_{i-1,j}^{n+1}) - \frac{\Delta t}{\Delta \eta} (\hat{F}_{i,j}^{n+1} - \hat{F}_{i,j-1}^{n+1}) \right] \tag{42}$$

Next, we will consider the Euler equations including the viscous terms which are:

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{E} - \bar{E}_v)}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{F} - \bar{F}_v)}{\partial y} = 0 \tag{43}$$

and this can be rewritten in the following form:

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{E}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial y} = \frac{\partial \bar{E}_v}{\partial x} + \frac{\partial \bar{F}_v}{\partial y} \tag{44}$$

3. Results and Discussion

Prior to test the new algorithm, supersonic flow around the wedge was simulated with ANSYS Fluent and CFL3D softwares. A tetrahedral mesh is generated around the wedge with no additional refinement near the shock. The initial conditions of the stationary fluid were set as $\rho = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $P = 1 \text{ bar}$, and $T = 300 \text{ K}$. Supersonic flow around the wedge is simulated at free stream Mach number of 2 and 0° angle of attack. Second order discretization was used. This indeed provides more accurate solution but it is more difficult to obtain converged solution. The solution was iterated until the residual for each equation falls below 10^{-6} . The residuals after 1000 iterations are not below the convergence criterion. Then the solution was run for another 1000 iterations and it converged in about 1510 iterations. As can be seen from Figure 1 and Figure 2, the shock is clearly observed.

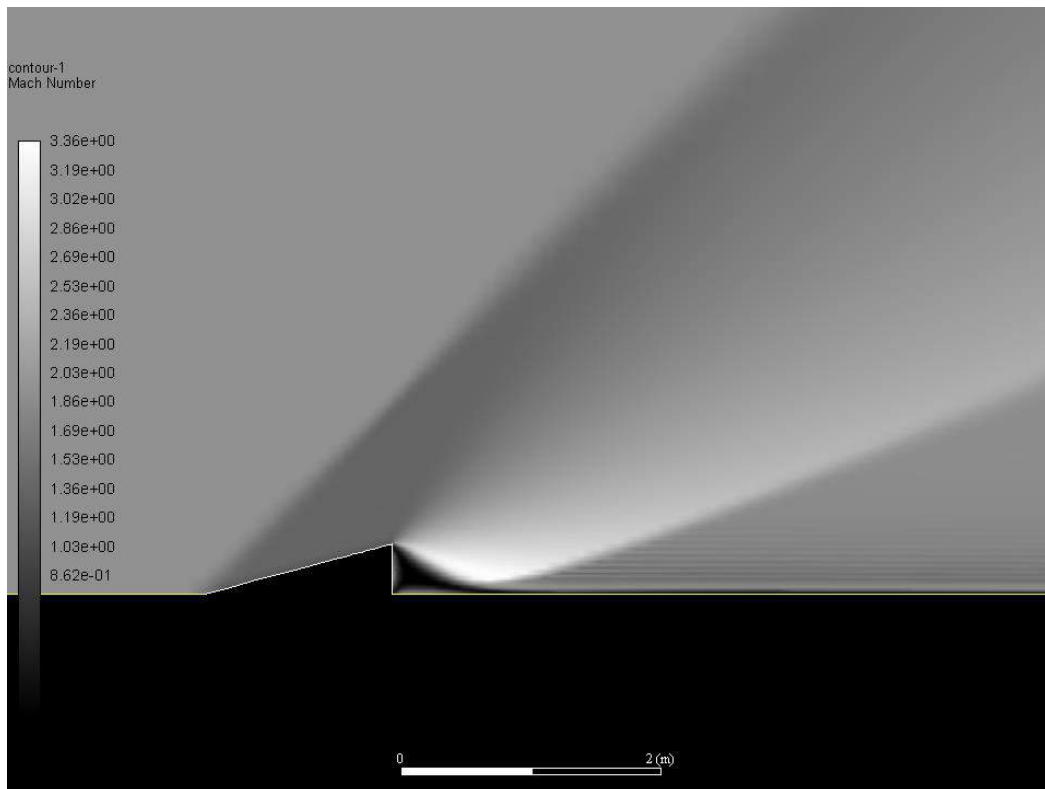


Figure 1. ANSYS Fluent simulation of supersonic flow around a wedge.

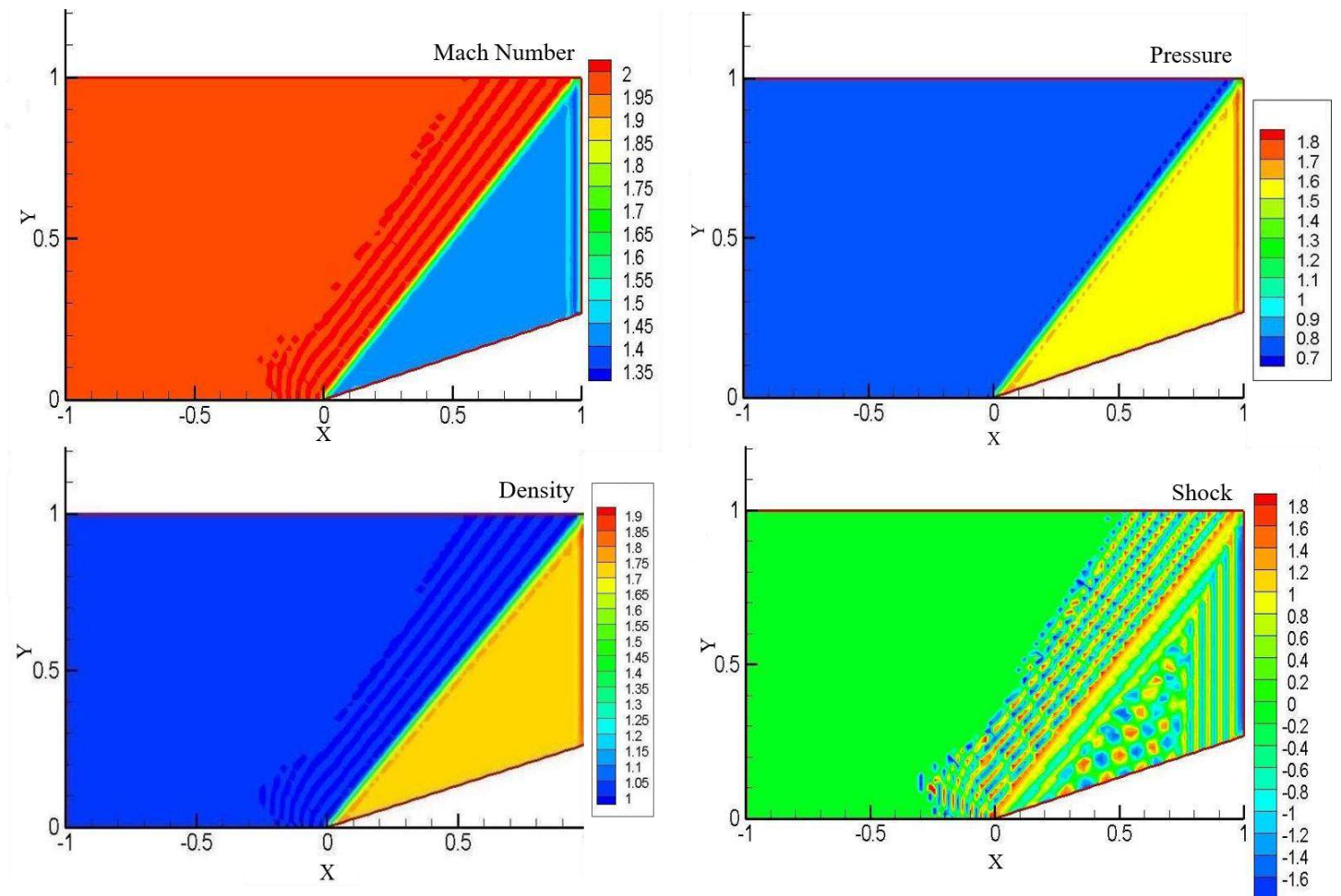


Figure 2. CFL3D simulation of supersonic flow around a wedge.

To investigate the flow properties of this study, a numerical algorithm has been compiled so that it may be compared to experimental data, as well as commercial programs. The algorithm has been written in C++, and uses the macCormack Predictor-Corrector method. The corrector computation step of the code is presented below.

```

i=0;j=1;
while (i<100)
{j=1;PP[0][i]=P;
while (j<11)
{
    p[i+1][j]=PP[i][j+1] -2*PP[i][j] +PP[i][j-1];
    pp[i+1][j]=PP[i][j+1] -2*PP[i][j] +PP[i][j-1];
    if (p[i+1][j] <0)
    { p[i+1][j]=-1*p[i+1][j];}
    else
    {if (pp[i+1][j]==0)
    { pp[i+1][j]=.0001;}}
    ds[i+1][j]=p[i+1][j]/pp[i+1][j];

    Ec1[i+1][j]=.5*(Ec1[i][j]-E1[i+1][j]- (dx/dy)*(Fc1[i+1][j]- Fc1[i+1][j-1]))-
    c*(1.5*F1[i][j+1] - 2*F1[i][j] +.5*F1[i][j-1]);
    Ec2[i+1][j]=.5*(Ec2[i][j]-E2[i+1][j]- (dx/dy)*(Fc2[i+1][j]- Fc2[i+1][j-1]))-
    c*(1.5*F2[i][j+1] - 2*F2[i][j] +.5*F2[i][j-1]);
    Ec3[i+1][j]=.5*(Ec3[i][j]-E2[i+1][j]- (dx/dy)*(Fc3[i+1][j]- Fc3[i+1][j-1]))-
    c*(1.5*F3[i][j+1] - 2*F3[i][j] +.5*F3[i][j-1]);

    V[i+1][j]=Ec3[i+1][j]/Ec1[i+1][j];
}
}

```


This program utilizes the steady flow, inviscid scenario. To numerically calculate the flow properties, the problem has been treated as if the top of the wedge is at 15°, with a horizontal incoming flow at Mach 2 (Figure 3).

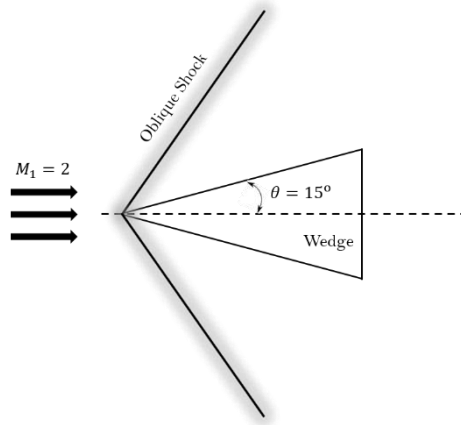


Figure 3. Illustration of supersonic flow over a wedge.

The initial conditions of this problem have been set based on standard atmospheric stagnation temperature and pressure, and using the isentropic flow equations.

$$\frac{P}{P_0} = 0.1278 \quad \frac{T}{T_0} = 0.5556 \quad (45)$$

These values were placed into the grid at the $i = 0$ through $i = 8$ columns, for all j values. The wedge tip begins at $i = 9$, and will require boundary conditions rather than initial conditions.

The boundary conditions have been determined based on oblique shock equations, and enforced at $j = 0$, for $i = 9$ through $i = 100$. The inviscid model being used here requires the v values set to 0 along the wedge wall. The u values have been determined using the oblique shock equations below for a free stream mach number set at 2, and a turning angle of 15°.

$$M_2 = 1.44 \quad \frac{P_2}{P_1} = 2.195 \quad \frac{T_2}{T_1} = 1.269 \quad (46)$$

These relations have been used in conjunction with the definition of Mach number to determine the post-shock u values. This program, to calculate the Euler equations, utilizes the MacCormack method, used simultaneously with a rectangular grid to determine the flow properties. Upon compiling the program, it could be seen that the flow velocities increased without bound. To correct this condition, artificial dissipation has been added as shown below.

$$c(E_{[i][j+1]} - 2E_{[i][j]} + E_{[i][j-1]}) \quad (47)$$

Here, E values are set at E_1 , E_2 , and E_3 respectively. The c value was set at 0.2 while running this program. The addition of dissipation into this code yielded stable results and the presence of a shock.

Upon compiling and running this program, it is evident that a shock is present as shown in Figure 4. A detailed figure of the shock region is also presented in Figure 5. Unfortunately, it appears as if the shock is a normal shock, rather than the expected oblique shock. Sample output data has been plotted on a graph vs the length of the wedge below. It is expected that this error is being created by the enforcement of the initial and boundary conditions. Through the data found on a later page, it is seen that until reaching the wedge tip, the flow is uniform for all i 's and j 's. At $i = 9$, where the wedge begins, a significant pressure increase is seen. This pressure increase is due to the shock, and the shock is of nearly the same strength for all j 's, with just a slight decrease in shock strength as j increases. After the shock, the flow properties remain fairly constant as expected. The discrepancy in the presence of a normal shock will continue to be investigated.

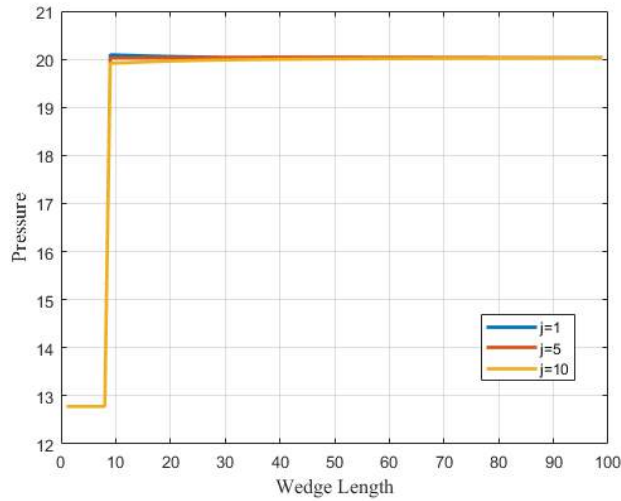


Figure 4. Variation of pressure through wedge. A shock is observed at $i = 9$.

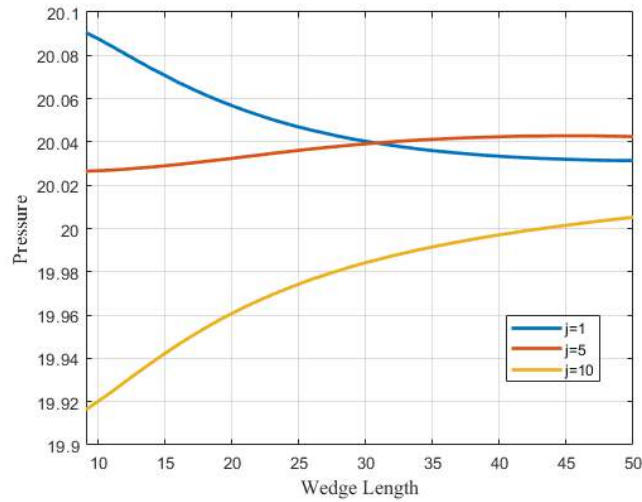


Figure 5. Zoomed-in figure of Figure 4.

4. Conclusion

In this study, the shock phenomenon over a 2-D wedge-shaped airfoil is numerically investigated. Several numerical schemes are capable of providing the necessary requirements of this study. A thorough review of these schemes was performed to better understand the accuracy, programming methods, and stability needed for performance of this study. To develop an accurate solution, the MacCormack predictor-corrector method is utilized. A numerical algorithm has been developed and compared with commercial softwares. A free stream Mach number of 2 and wedge angle of 15° has been set for initial conditions. The initial conditions have been set based on standard parameters and isentropic flow equations were used. The boundary conditions have been determined based on oblique shock equations, and enforced at $j = 0$, for $i = 9$ through $i = 100$. It has been observed that the flow velocities increased without bound and this condition has been fixed through adding an artificial dissipation term to the algorithm. Similar to the commercial software results, a stable output was achieved and the shock was observed. It has been observed that the flow is uniform for all parameters until reaching the wedge tip. A remarkable pressure increase due to the shock was observed where the wedge begins. As expected, the shock is almost the same strength for all j values with a slight decrease as j increases.

Kaynakça

- Beam, R.M., Warming, R.F., (1976). An implicit finite-difference algorithm for hyperbolic systems in conservation law form. *J. Of Comp. Physics*, 22(1), 87-110.
- Beam, R.M., Warming, R.F., (1978). An implicit factored scheme for the compressible Navier-Stokes equations. *AIAA Journal*, 16(4), 393-402.

- Cavus, H. (2013). On the effects of viscosity on the shock waves for a hydrodynamical case – Part 1: Basic mechanism. *Adv. Ast.*, 2013, ID 582965.
- Degani, A.T., Fox, G.C. (1994). Derivation of the Beam and Warming algorithm for compressible Navier-Stokes equations. NPAC Technical Report SCCS 675.
- Durrant, D.R. (2010). Numerical methods for fluid dynamics. Springer.
- Ganzha, V.G., Vorozhtsov, E.V. (1996). Computer aided analysis of difference schemes for partial differential equations. Wiley.
- Jameson, A., Baker, T. (1987). Improvements to the aircraft Euler method. Proceedings of the 25th AIAA Aerospace Sciences Meeting; Reno, USA.
- Jameson, A., Schmidt, W., Turkel, E. (1981). Numerical solution of the Euler equations by finite volume methods using Runge-Kutta time stepping schemes. *AIAA Paper* 1259.
- Jeon, Y., Bu, S. (2017). A comparison of multi-step and multi-stage methods. *Int. J. Circ. Sys. Sig. Proc.*, 11, 250-253.
- Konangi, S., Palakurthi, N.K., Ghia, U. (2016). Von Neuman stability analysis of a segregated pressure-based solution scheme for one-dimensional and two-dimensional flow equations. *J. of Fluids Eng.*, 138(10):101401.
- Laney, C.B. (1998). Computational gas dynamics. Cambridge University press, New York.
- Lax, P.D., Wendroff, B. (1960). Systems of conservation laws. *Comm. Pure Appl. Math.*, 13, 217-237.
- Leveque, R.J. (1992). Numerical methods of conservation laws. Springer, 2nd edition.
- Li, D., Zhang, C., Wang, Y., Zhang, Y. (2011). Implicit-explicit predictor-corrector schemes for nonlinear parabolic differential equations. *Appl. Math. Model.*, 35, 6, 2711-2722.
- MacCormack, R.W. (1969). The effect of viscosity in hypervelocity impact cratering. AIAA, 69-354, American Institute of Aeronautics and Astrophysics, Cincinnati.
- MacCormack, R.W. (1982). A numerical method for solving the equations of compressible viscous flow. *AIAA J.*, 20(9), 1275-1281.
- Ngondiep, E. (2019). Stability analysis of MacCormack rapid solver method for evolutionary Stokes-Darcy problem. *J. Comp. Appl. Math.*, 345, 269-285.
- Singh, M.K., Ramesh, V., Balakrishnan, N. (2015). Implicit scheme for meshless compressible Euler solver. *Eng. Appl. Comp. Fl. Mech.*, 9, 1, 382-398.
- Strikwerda, J.C. (2004). Finite difference schemes and partial differential equations. Society for industrial and applied mathematics, Philadelphia, 2nd edition.
- Xiao, A., Zhang, G., Yi, X. (2014). Two classes of implicit-explicit multistep methods for nonlinear stiff initial value problems. *Appl. Math. Comp.*, 247, 1-7.
- Von Neuman, J. Richtmyer, R.D. (1950). A method for the numerical calculation of hydrodynamic shocks. *J. Appl. Phys.*, 21(3), 232-237.
- Zeng, F. (2015). Second order stable finite difference schemes for the time fractional diffusion wave equation. *J. Sci. Comp.*, 65, 411-430.



Optimizasyon Otomasyonu İçin Cplex Çözücüsünün Web Tabanlı Sunucu Üzerinden Çalıştırılması

Mustafa Zahid Gürbüz¹, Onur Akçin²

¹ Başlıca Yazar, Doğu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5125-6378)

² Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar ve Enformasyon Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3213-4113)

(İlk Geliş Tarihi 13 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 31 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.688119)

ATIF/REFERENCE: Gürbüz, M. Z. & Akçin, O. (2020). Optimizasyon Otomasyonu İçin Cplex Çözücüsünün Web Tabanlı Sunucu Üzerinden Çalıştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 943-951.

Öz

Web uygulamaları günümüzde popüler olduğundan, erişim kolaylığı sebebiyle genellikle masaüstü uygulamaların yerine tercih edilmektedir. IBM ILOG CPLEX programı, matematiksel model çözme konusunda yönelem araştırmalarında sıklıkla kullanılan bir programdır. Bu programın web ortamından sunulması, karar vericiye hem esneklik hemde kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada, web arayüzünden girilen parametreler ile IBM ILOG CPLEX' e bağlanıp sonuçlar gösterilmiştir. Uygulama olarak optimizasyon problemlerinde bilinen reklam örneği kullanılmıştır. Günümüzde reklamcılık konusunda internet ve televizyon reklamcılığı ön plana çıkmaktadır. Bunların hedef kitleye ulaşma konusunda iyi bir bütçe ayrılan reklamın önemi büyüktür. Uygulamada, forma üreten bir şirketin televizyonlara spot reklamlar vermesi ele alınmıştır. Şirketin hangi sektörde, belirli yaş aralıklarında kaç insana hitap ettiği ve reklam maliyetleri girilerek, hedef kitleye ulaşmasında en az maliyetle çıkması ve buna bağlı olarak reklam sayıları hesaplanması amaçlanmıştır. Uygulama masaüstü ve web uygulamalarından oluşmaktadır. Bu uygulamalar Microsoft tarafından geliştirilen Visual Studio 2017 'de C# programlama dili kullanarak yapılmıştır. Veritabanı olarak SQL Server 2012 kullanılmıştır. Masaüstü uygulamasının görevi, görev zamanlayıcı ile her dakika çalışıp, web uygulamasından gelen reklam parametrelerini SQL Server tablolarından okumaktır. CPLEX bağlantı kodlarının karmaşık yapısı ve web uyumlu olmamasından dolayı bağlantı kodları masaüstü programda yazılmıştır. Web uygulaması ise aynı şekilde visual studio geliştirme aracı olan ASP.NET MVC 4 ile yazılmıştır. Burada reklam maliyetleri, hitap edilen yaş aralıklarındaki insan sayısı ve hedef kitlede ulaşmak istenen insan sayıları girilir. Görev zamanlayıcının cevabı dönmeye beklendikten sonra ekranda raporlar gösterilir. Sonuç olarak hedeflenen maliyet ve reklam sayıları başarılı bir şekilde elde edilerek, hangi reklama ne kadar bütçe ayrılabilceği hesaplanmıştır. Belirlenen işlem sırasına göre ortaya çıkan sonuçlar, ekranda yüklenme süreleri gösterilerek kuyruğa alınması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile girilen maliyetler, hesaplanan toplam reklam masrafları, hedeflenen yaş aralıklarının incelenmesini sağlayan istatistikler raporlarda gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MVC 4, CPLEX, Optimizasyon, Hizmet Olarak Yazılım

Running Cplex Solver on Web-Based Server for Optimization Automation

Abstract

Because of web applications are popular nowadays, they are generally preferred over desktop applications because of their ease of access. And however This IBM ILOG CPLEX program is frequently used in operations research in mathematical model solving. It presents this program on the web and it provides flexibility and convenience to the decision maker. In this study, the parameters entered from the web interface which are connected to IBM ILOG CPLEX and the results are listed as an application, a specific advertising example is used in optimization problems. Today, internet and television advertising are so much famous. The importance of advertising, which is allocated a good budget in reaching their target audience is of great goal. In this application, company producing form to give spot ads to televisions. It is aimed to calculate the number of advertisements and to calculate the number of advertisements by reaching the target audience by entering the advertising costs and the number of people in which sector, in exact age ranges. The application consists of desktop and web applications. These applications were created by using c programming language in Visual Studio which was developed by Microsoft in 2017 and the SQL Server was used as the database in 2012. The goal of the desktop application is to run every minute with the task scheduler and read the advertising parameters from the web application

on the SQL Server tables. Because of the complex things of CPLEX connection codes and non web compatibility, those connection codes are developed in desktop software by hard. And however web application is developed in ASP.NET MVC 4 which is a visual studio development tool. Here, advertising costs, the number of people in the age range to be entered and the number of people desired to reach the target audience are entered. Since waiting for the task timer to return, reports keep being on the screen. As a result, the targeted cost and number of ads were obtained successfully and the budget for which advertisement was allocated was calculated. The results obtained according to the specified sequence of operations are displayed in the queue by showing the loading times on the screen. the results obtained, the costs entered, the total advertising costs calculated, statistics that allow the examination of targeted age ranges are shown in the reports.

Keywords: MVC 4, CPLEX Optimization, Software a Service.

1. Giriş

Tarihin her döneminde bilginin gücünün her alana hâkim olması, bilgiye daha kolay ve çabuk ulaşma isteğini de beraberinde getirmiştir. Bilgi paylaşımı ve iletişim kurma ihtiyacı, teknolojinin gelişimini sağlayarak interneti ortaya çıkarmıştır. Bugün geldiğimiz aşamada ise internet sadece bir iletişim aracı olmaktan çıkmış, sosyal, kültürel ve ekonomik hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. (Dikener, 2011).

Teknoloji ilerledikçe ve bilgisayar kullanımı arttıkça, internet kullanımı daha popüler hale gelmiş, dünyanın neresinde olursa olsun bilgiye daha çabuk ve kolay ulaşma ve araştırma yapma imkânı da mümkün hale gelmiştir. Günümüzde mesaj gönderme ve alma, video konferansı, internet üzerinden telefonla görüşme, tv seyretme, gazete ve kitap okumak, alışveriş yapmak, eğitim, sağlık, seyahat faaliyetleri ile ilgili araştırma yapmak gibi hemen hemen her alanda hayatımıza girerek vazgeçilmez bir parçamız haline gelmiştir. (Öztürk ve Ayman, 2014).

İnternetin hayatımıza getirdiği olanaklar tüm alanlarda olduğu gibi reklamcılık alanında da önemli değişikliklere sebep olmuştur. İnternetin, doğrudan tepki alınabilen, geri dönüşleri birebir ölçülebilme imkânı getiren, kampanyaların performansını artırma, yatırımın getirisini en üst düzeye çıkarmak ve etkin bir marka aracı olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Ayrıca diğer reklam alanlarına oranla daha etkin bir şekilde reklamlarımızı kişiselleştirmemize ve doğru hedef kitleye ulaşturmamıza imkân verir. (Dikener, 2011).

Yöneylem araştırması, işletmelerin yönetimlerinde karşılaşılan problemlere bilimsel yöntem, teknik ve araçların uygulanmasıyla en iyi çözümün bulunmasını sağlayan matematiksel karar verme yöntemidir (Yücel, 2004). Yöneylem araştırması teknikleri endüstri alanında ilk olarak 1947 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Doğrusal problemleri çözmek için kullanılan Simplex Algoritması 1940' lı yılların sonunda George Dantzig tarafından geliştirilerek işletmede uygulamaya koymuş ve bu alanda bir ilki başarmıştır (Metin ve Türkoğlu, 2018). Yöneylem araştırmasının yaygın tekniklerinden biri olan doğrusal programlama, bir problemi minimize veya maksimize etmek olarak tanımlanabilir. Buradaki hedef, belli bir amaca uygun olarak en karlı üretimi bulmaktır (Yalçın, 1994).

Optimizasyon problem hayatın birçok alanında kullanılabilir. Literatürde de yer alan diyet problemi, optimizasyon için uygun bir problemdir. Bu problemde kişi sağlıklı yaşam için belirli miktarda kaloriyi elde edebilecek besinleri alırken kadın ve erkekte farklılık gösteren basal metabolizma, egzersizde harcanan kalori gibi değerler hesaba katılarak en uygun besinin seçilmesi bir optimizasyon problemidir. (Sayılı ve Akbulut, 2017).

Bazı optimizasyon problemleri karmaşıklığı nedeniyle matematiksel modelleme olarak uygun zamanda çözülememektedir. Otomotiv yedek parça için raf optimizasyonu da bunlardan bir tanesidir. Bu probleme göre; çok çeşitli olan otomotiv yedek parçaları, belirli bir hacim kaplamaktadır ve piyasadaki sirkülasyonuna göre elde tutulan adedi değişmektedir. Hal böyle olunca fabrikadaki raf kapasitesi en kısıtlı kaynaklardan bir tanesi haline gelmektedir. Bu nedenle yedek parçaların raflara çok verimli bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. (Özçelik ve Gündüz, 2019)

Bu çalışmada sistemin test edilmesi amacıyla çok bilinen optimizasyon problemlerinden biri olan reklam örneği ele alınmıştır. Reklamlarda hitap edilen insan sayısı ve maliyet önemli bir yere sahiptir. Özellikle televizyonlara verilen reklamlarda maliyet yükseliği ve hedef kitle seçimleri dikkat çekmektedir. (Mucuk, 2010) Uygulamadaki amaç, web arayüzünden girilen basketbol ve voleybol maçlarının maliyetleri, bunların ulaştığı toplam yaş aralıkları ve hedef kitlede ulaşılması istenen yaş aralıklarının girilerek, toplam reklam masraflarını incelemektir. Bu sayede görmek istediği hedef kitlede minimum maliyeti ve hangi spor müsabakasına kaç adet reklam kullanılacağı hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar istatistik şeklinde sunulmuştur.

IBM ILOG CPLEX, matematiksel model konusunda literatürde sık kullanılmaktadır. Varlı, Ergişi ve Eren (2017), çalışmalarında hemşirelerin çalışma günlerini mümkün olduğu kadar dengeli dağıtmış ve buna uygun olarak CPLEX optimizasyonu ile hedef programlama modeli geliştirmiştir. Senol ve Güngör (2011), menü planlamalarının çözüm önerisinde, yöneylem tekniklerinden biri olan 0-1 tamsayı programlama modeli uygulayarak CPLEX optimizasyonu ile menü planlamasını yapmıştır. Doğruyol vd. (2019), boyahane bölümünde oluşan verimsiz çizelgemeyi önlemek ve ürünleri uygun zamanda montaj hattına ulaştırıp gecikmeleri azaltmak amacıyla, karar destek sistemi oluşturmuştur. Modelleme CPLEX ile oluşturulmuş, önerilen sezgisel yöntemler Excel Visual Basic for Applications (VBA) programı ile kodlanmıştır.

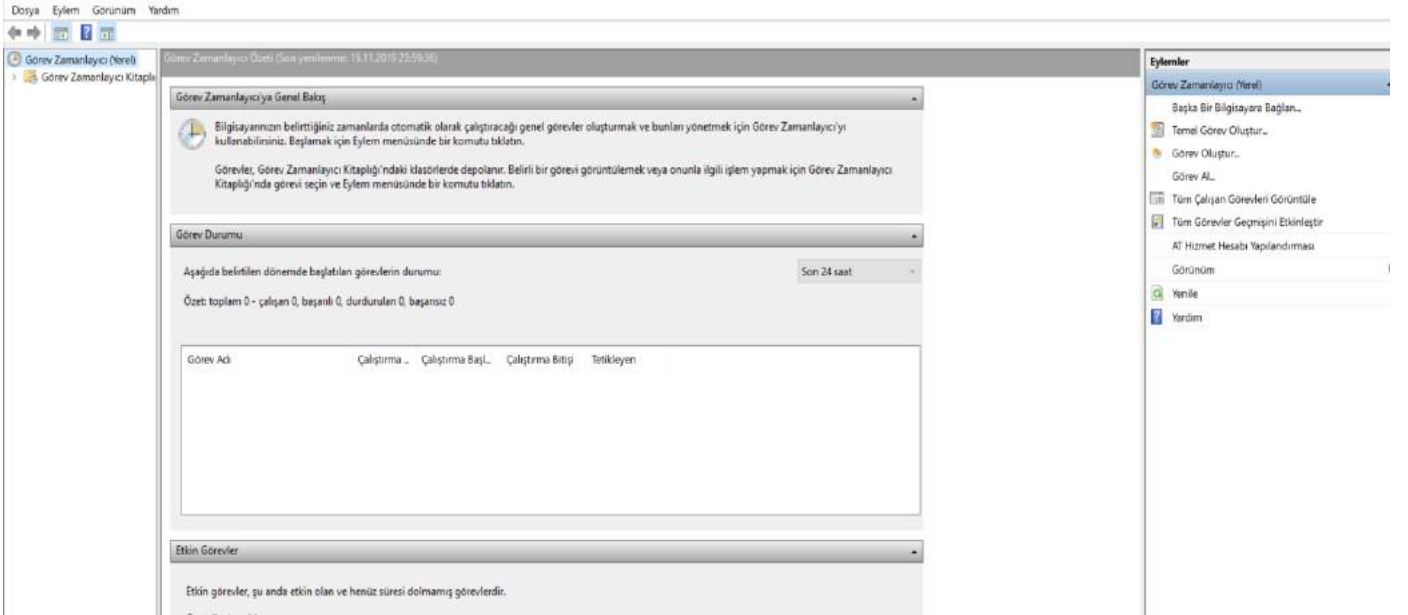
CPLEX ' te opl dili kullanılarak model geliştirilir. Bu model mod uzantılı bir dosyaya kaydedilir. Ayrıca veriler için mod dosyası kullanılabileceği gibi ayrı bir dat dosyası oluşturularak model çalıştırılabilir.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde web uygulamaları ile ilgili bilgiler, ikinci bölümde kullanılan metodlar ve yöntemler, üçüncü bölümde çalışmada elde edilen araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi, son bölümde ise elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir.

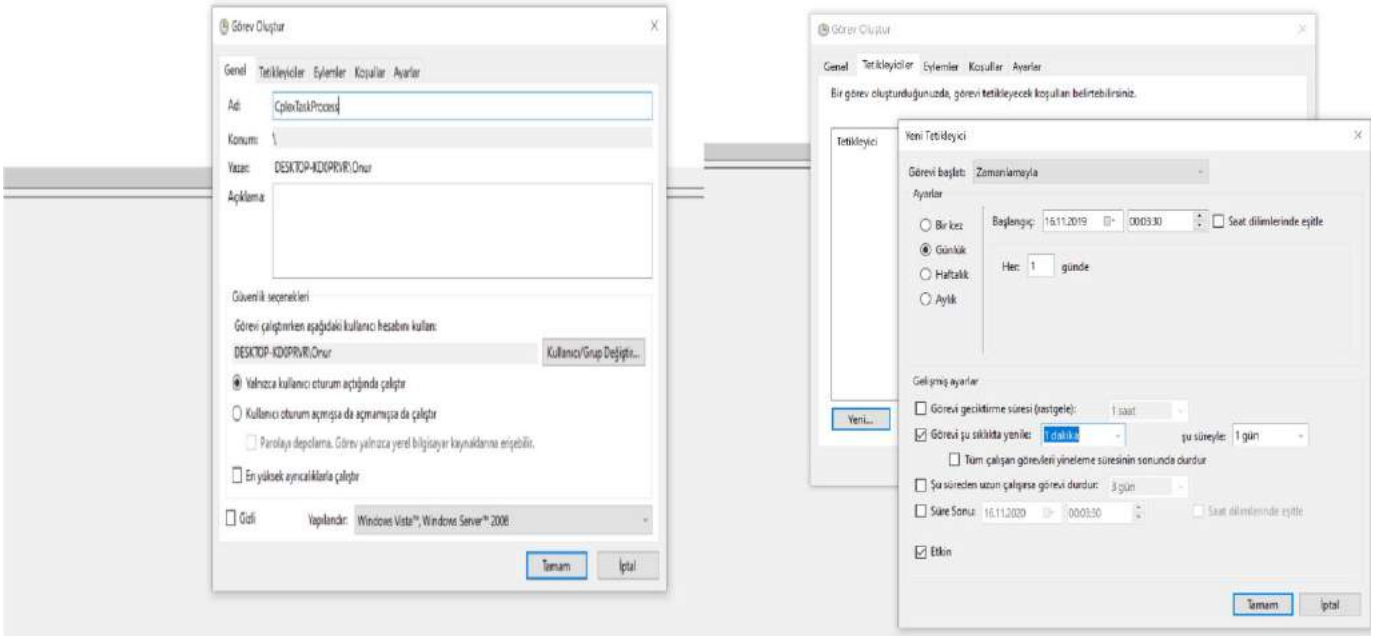
2. Materyal ve Metot

2.1. Görev Zamanlayıcı

Görev zamanlayıcı, seçilen günlük, haftalık, aylık gibi zamanlarda seçilen saat veya dakika aralıklarına göre otomatik çalışan bir windows programıdır. Görev zamanlayıcı sayesinde, çalışması istenilen bir program, belirlenen zamanlarda otomatik olarak kendiliğinden çalıştırılabilir. Uygulamanın otomatik çalışması için ilk olarak görev oluşturup, zaman ve saat aralıklarını seçip, uygulamayı tanıtmak gerekmektedir.

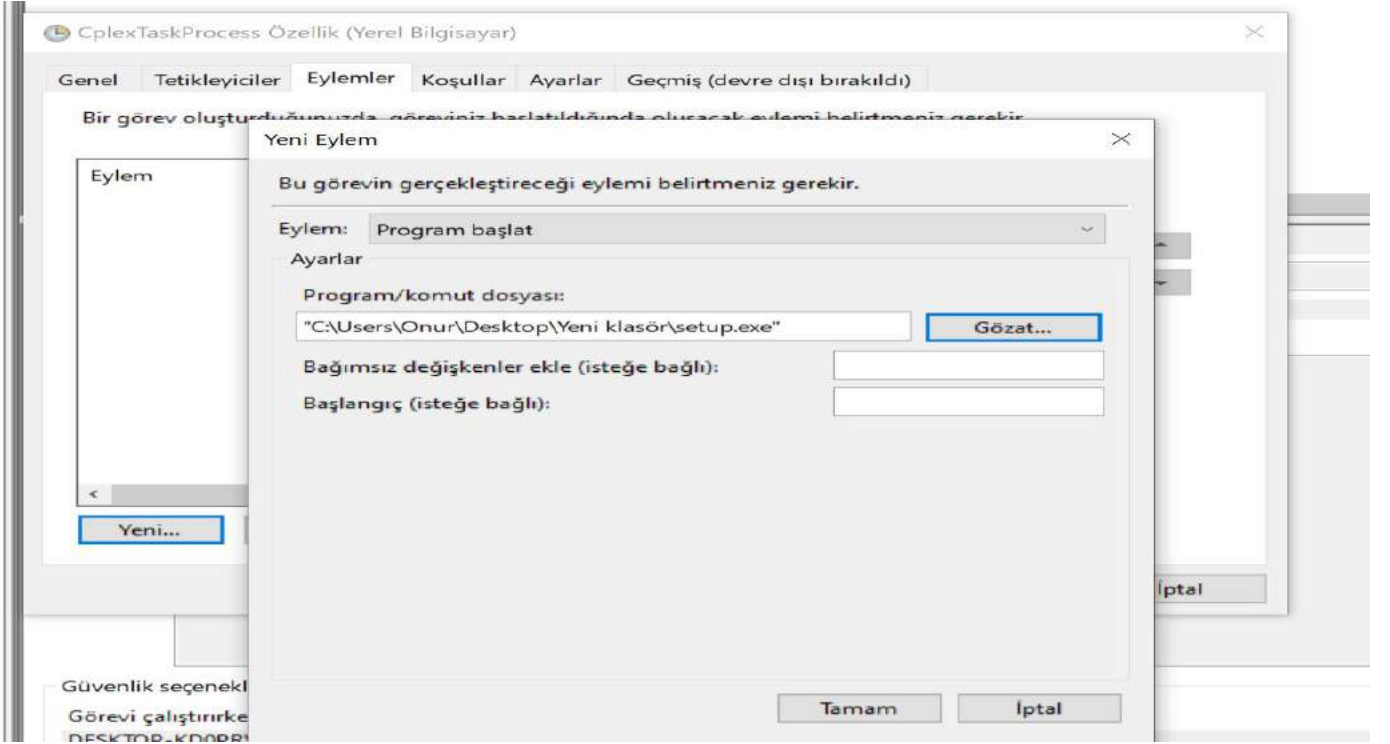


Şekil 1. Görev Zamanlayıcı Görevler Listesi Ekranı



Şekil 2. Görev Tanımlayıcı Tanımlama Ekranı

Görev zamanlayıcıyı kurmak için ilk olarak windows ekranından Şekil 1'deki görev listesi ekranı açılır. Daha sonra görev oluşturma tıklayıp Şekil 2'deki ekran karşımıza çıkmaktadır. Buradan görevin adı ve projenin çalışma aralıkları girilir.



Şekil 3. Eylem oluşturma adımı

Çalışma zamanları belirlendikten sonra, yeni eylem oluşturulur. Burada otomatik çalışacak programın komut dosyası belirlenir. Burada, çalışmada kullanılacak olan konsol uygulamasının çalıştırılabilir dosya yolu gösterilmiştir. Bu adımda seçildikten sonra görev zamanlayıcıda oluşturulan program, her dakika web arayüzünden gelen CPLEX görevlerini kontrol edecektir.

2.2. Kodlama Ortamı

Microsoft, .NET platformunu geliştirirken platform ve programlama dili bağımsız, güvenli, tamamen nesne tabanlı bir sistem kurmayı hedeflemiş ve bunu da başarmıştır. Microsoft'un 10 yıllık vizyonu olan bu teknoloji dünyasında ve Türkiye'de giderek artan sayıda yazılım geliştirici tarafından kullanılmaktadır. .NET, framework denilen bir çekirdek sistem üzerinde çalışmaktadır. Framework içerisinde bulunan yapılar sayesinde de geliştirilen uygulamalar hızlı, güvenilir, .NET platformunu destekleyen diğer programlama dilleride ile etkileşimli uygulamalar haline alır. .NET Framework ise, yazılım geliştirme ve projenin çalışabilmesi için gerekli çekirdek sistemdir. .NET teknolojilerinin çalışabilmesi için uygulamanın çalışacağı sistemde mutlaka .NET Framework yüklü olmalıdır. Amaçlanan, projelerin işletim sistemi ve donanımsal ortamlardan soyutlanarak geliştirilmesini sağlamaktır (Turan, 2018).

Bu çalışmada iki farklı proje birbiri ile bağlantılı olarak çalışmaktadır. Birinci proje, konsol uygulamasıdır. Bu uygulama, Visual Studio geliştirme aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Konsol uygulamaları masaüstü uygulamalardır. Girdiler veya sonuçlar konsol ekranında gerçekleşir. Çalışmadaki konsol uygulamasındaki amaç, yüklenen mod uzantılı dosya ve girilen parametreleri dat uzantılı dosya üzerine yazdırıp CPLEX'e bağlayarak, sonuçları görev zamanlayıcı ile getirmektir. Kodlamada C# dili ile ADO.NET kullanılmıştır. ADO.NET veri erişimi, .NET Framework programcıları için kullanılan sınıflar kümesidir. ADO.NET, dağıtılmış, veri paylaşımı uygulamaları oluşturmak için zengin bir bileşen kümesi sağlar. İlişkisel erişimi, XML ve uygulama verileri sağlayan, .NET Framework ayrılmaz bir parçasıdır (Balcı, 2018:9).

Bu çalışmadaki ikinci proje web uygulaması oluşturmaktadır. Uygulama aynı şekilde Visual Studio geliştirme aracı kullanılarak, ASP.NET MVC 4 ile yapılmıştır. MVC 'nin ortaya çıkması günümüzden yaklaşık 40 yıl öncesine dayanmaktadır. Model – View – Controller kelimelerinin baş harflerinden MVC, Asp.net teknolojisi üzerine geliştirilmiş teknolojidir. Bu mimariyi ilk olarak 1979 yılında Trygve Reenskaug oluşturmuştur. İlerleyen yıllarda bu mimariyi Microsoft, Visual Studio ortamına dahil etmiştir (Hacıoğlu ve Güneş, 2019:91). Model-View-Controller sınıflarının kendilerine özel ayrı görevleri vardır. Model, veritabanındaki verileri temsil eder. View ve controller arasındaki veri iletişimini sağlar. View, kullanıcıların gördüğü html sayfadır. Controller, uygulamaya gelen talepleri yönetir. Burada action metodları bulunur. Bu metodlar, gelen talepleri uygun View ve Model üzerinden değerlendirmeye alır. Kodları, model, view ve controllere bölerek karışıklığı önler ve düzen sağlar. Browser uyumluluğu ve SEO optimizasyonu bir diğer avantajlarındandır.

Uygulama arayüzünde, mobil uyumlu her ekrana uygun bir tasarım olmasını sağlayan CSS framework 'ü bootstrap teknolojisi kullanılmıştır (trbootstrap, t.y.). SQL kaydı ve tablolardan liste çekme işlemlerde, esneklik ve hız katması bakımından Entity Framework kullanılmıştır. Entity Framework, Microsoft'un, .NET nesnelere kullanarak veri tabanı ile çalışmasına imkan tanıyan bir nesne ilişkisel eşleyicisidir. Bu yapı ile kodlamada, veri tabanına erişim ve değişiklik için yazılması gereken fazla kod önlenir (Balcı, 2018:7).

CPLEX'ten dönen cevaplar bazen geç sürebilmektedir. Bu sebeple, gelen sonuç listelerinin HTML sayfasında görünümünde sunucu yükünü azaltması bakımından ve Cplex süresinden doğan süre zaafını azaltması bakımından JavaScript ve Ajax kullanılmıştır. AJAX metotları yardımıyla sayfa üzerinde oluşan çeşitli olaylarda (buton tıklama, üzerine gelme vs.) sunucu ile veri alışverişinde bulunulur ve gelen verilere göre sayfa üzerinde çeşitli değişiklikler yapılır (Şen, 2008:120).

2.3. Optimizasyon Otomasyonu

Bu çalışmanın ikinci projesi olan web programında reklam optimizasyonu için parametre girişler ekranları tasarlanmıştır. Şekil4'teki gibi seçilen mod uzantılı dosyanın yüklenmesi gereklidir. Bu dosya görev zamanlayıcı ile çalışacak konsol uygulaması için CPLEX ile bağlantı kurmayı sağlar. Çalışmada optimizasyon görev girişleri web uygulaması üzerinden yapılmaktadır. Uygulamanın görüntüleri aşağıdaki gibidir.

CPLEX CONNECT

MENÜ

- Model Dosyası Yükle
- Maliyet Girişi
- Raporlar

Dosya Yükleme

Mod Dosyası

Dosya Seç advers.mod

YÜKLE

Şekil 4. Dosya yükleme

CPLEX CONNECT

MENÜ

- Model Dosyası Yükle
- Maliyet Girişi
- Raporlar

Maliyetler

Basketbol Reklam Maliyeti

18-25 Yaş

25-35 Yaş

35-50 Yaş

50 Yaş ve Üzeri

Voleybol Reklam Maliyeti

18-25 Yaş

25-35 Yaş

35-50 Yaş

50 Yaş ve Üzeri

Hedeflenen Yaş Kriterleri

18-25 Yaş

25-35 Yaş

35-50 Yaş

50 Yaş ve Üzeri

EKLE

ÇALIŞTIR

Şekil 5. Arayüz anasayfası

CPLEX CONNECT

MENU

- Model Dosyası Yükle
- Maliyet Girişi
- Raporlar

Maliyetler

Basketbol Reklam Maliyeti	18-25 Yaş	25-35 Yaş	35-50 Yaş	50 Yaş ve Üzeri
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Voleybol Reklam Maliyeti	18-25 Yaş	25-35 Yaş	35-50 Yaş	50 Yaş ve Üzeri
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Hedeflenen Yaş Kriterleri

18-25 Yaş	25-35 Yaş	35-50 Yaş	50 Yaş ve Üzeri
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

EKLE
ÇALIŞTIR

Senaryo Takip

Senaryo	Süre	İşlem Tarihi	
Senaryo - 1	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #6c757d;"></div>	16/12/2019 11:32:10	Çalıştır
Senaryo - 2	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #6c757d;"></div>	16/12/2019 11:32:35	Çalıştır
Senaryo - 3	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #6c757d;"></div>	16/12/2019 11:32:59	Çalıştır

Şekil 6. Girişler

Şekil 5’de arayüzün parametre girişleri verilmiştir. Buradan istenen girişler yapıp ekle butonuna basılarak, CPLEX te çalışacak olan Şekil 6’deki listeler listelenir. Buradaki ÇALIŞTIR butonu, listelenen verilerin, CPLEX ‘ ten dönen cevaplarını alır. Listedeki satırda bulunan Çalıştır butonu ise, sadece o satıra ait olan CPLEX cevabının sonucunu vermektedir. Html sayfasında gözükken listeler için ajax metodu kullanılmıştır.

Senaryolar çalıştırıldığında, konsol uygulaması yeni görevleri kontrol etmeye başlar. CPLEX ‘ in çalışması için mod ve dat uzantılı dosyalar gereklidir. Web tarafından yüklenen mod uzantılı dosya ve girilen parametreler dat dosyasına yazdırılarak, bu iki dosyanın CPLEX’ e bağlanması sağlanır. Bağlanıp sonuçlar döndükten sonra cevapların SQL ‘ e kaydı yapılır. Buradan dönen süreler progressbarlar ile gösterilmiştir. Progressbarda işlem sonuçları %100 olduğunda kullanıcıya, senaryoların yanına bulunan icona basıldığında popup ile gösterilmektedir. Console uygulamasından dönen CPLEX cevapları için çekilen listede, C# tarafında Entity Framework kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada çeşitli senaryo girişleri yapılmıştır. Girilen parametreler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Maliyetler				
Basketbol Reklam Maliyeti				
<input type="text" value="20.000"/>				
18-25	25-35	35-50	50+	
<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="100"/>	
Voleybol Reklam Maliyeti				
<input type="text" value="40.000"/>				
18-25	25-35	35-50	50+	
<input type="text" value="600"/>	<input type="text" value="400"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="900"/>	

Maliyetler				
Basketbol Reklam Maliyeti				
<input type="text" value="30.000"/>				
18-25	25-35	35-50	50+	
<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="400"/>	
Voleybol Reklam Maliyeti				
<input type="text" value="50.000"/>				
18-25	25-35	35-50	50+	
<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="600"/>	<input type="text" value="500"/>	

Maliyetler				
Basketbol Reklam Maliyeti				
<input type="text" value="10.000"/>				
18-25	25-35	35-50	50+	
<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="400"/>	
Voleybol Reklam Maliyeti				
<input type="text" value="30.000"/>				
18-25	25-35	35-50	50+	
<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="700"/>	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="500"/>	

Hedeflenen Yaş Kriterleri			
18-25	25-35		
<input type="text" value="15000"/>	<input type="text" value="30000"/>		
35-50	50+		
<input type="text" value="25000"/>	<input type="text" value="40000"/>		

Hedeflenen Yaş Kriterleri			
18-25	25-35		
<input type="text" value="15000"/>	<input type="text" value="20000"/>		
35-50	50+		
<input type="text" value="25000"/>	<input type="text" value="27000"/>		

Hedeflenen Yaş Kriterleri			
18-25	25-35		
<input type="text" value="10000"/>	<input type="text" value="15000"/>		
35-50	50+		
<input type="text" value="18000"/>	<input type="text" value="17000"/>		

Şekil 7. Senaryo A-B-C Ekranı

Senaryo Takip		
Senaryo	Süre	İşlem Tarihi
Senaryo - 1	<input type="text" value="100"/>	16/12/2019 11:33:59
Senaryo - 2	<input type="text" value="100"/>	16/12/2019 11:33:59
Senaryo - 3	<input type="text" value="100"/>	16/12/2019 11:33:59

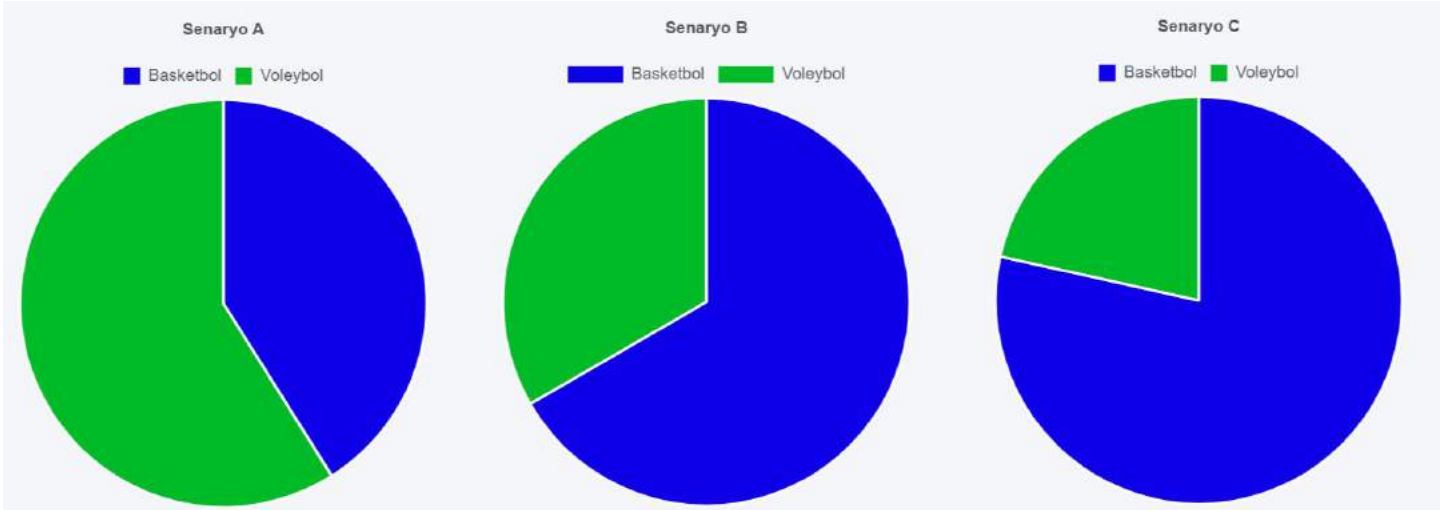
Şekil 8. Biten Senaryolar

Çalışma tamamlandığında, Şekil 8'deki gibi %100 yüklenme sağlanmış, cevaplar görünüme hazır hale gelmiştir. Solda görünen iconlara tıkladığında, çıkan popuplar aşağıda Şekil 9'da verilmiştir.

Rapor Sonucu	Rapor Sonucu	Rapor Sonucu
Basketbol : 39 adet	Basketbol : 50 adet	Basketbol : 51 adet
Voleybol : 56 adet	Voleybol : 25 adet	Voleybol : 14 adet
Toplam Reklam Masrafı : 3.000 TL	Toplam Reklam Masrafı : 2.750 TL	Toplam Reklam Masrafı : 932 TL

Şekil 9. Senaryo A-B-C Sonuçları

Şekil 10 'da, hesaplanan senaryolar için istatistik dilimleri hazırlanmıştır.



Şekil 10. İstatistikler

Litaretürdeki çalışmalarda genellikle masaüstü veya excel tabanlı uygulamalardır. Bu yazılım sayesinde problem, web ortamına sokulmuştur. Uygulama, mod uzantılı model dosyası ve parametre değişikliği yapıldığında gerekli esnekliklere sahip olacak şekilde kodlanmıştır.

4. Sonuç

Sonuç olarak Cplex programını web ortamından çalıştırmak için bir metod geliştirilmiştir. Bu yöntemle göre son kullanıcı model parametrelerini web ortamından girerek yine web üzerinden tetiklenen bir yöntemle optimizasyon sunucusunu çalıştırabilmektedir. Bu sistemin başarısını göstermek için reklam optimizasyonu örneği kullanılmıştır. Bu örnek ile çalışmanın başarılı olduğu görülmüştür.

CPLEX bağlantı kodları karmaşık ve web uyumlu olmadığından uygulama iki etapta gerçekleşmiş, console uygulaması görev zamanlayıcı ile çalışmış, gelen senaryo girişleri, SQL Server'daki tabloları okuyup, IBM ILOG CPLEX yardımıyla cevapları dönmüştür. Cevaplar sunulurken, işlem önceliğine göre kuyruğa alınmış ve yüklenme süreleri başarıyla ekranda gösterilmiştir. Bu senaryoların sonuçları ve toplam maliyetleri, listelen satırlarda detaylı olarak tıklanan popuaplarda sunulmuştur. Sunulan sonuçlara göre senaryo-A modeli için 39 adet basketbol, 56 adet voleybol ile elde edilen minimum maliyet 3000 TL, senaryo-B modeli için 50 adet basketbol, 25 adet voleybol ile elde edilen minimum maliyet 2750 TL, senaryo-C modeli için 51 adet basketbol, 14 adet voleybol ile elde edilen minimum maliyet 932 TL olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre istatistikler dilimler raporlar sekmesinde, chart yardımıyla gösterilmiştir.

Bu çalışma web socket yapıları kullanılarak daha da geliştirilebilir. Ayrıca değişik optimizasyonlarının parametre girişlerini otomatikleştirmek için modele göre otomatik oluşturulan dinamik bir parametre giriş ekranı tasarlanabilir. Ek olarak verilen modele göre yapay zekâ kullanılarak otomatik senaryolar oluşturularak karar vericiye destek olabilir. Karar vericinin parametrelerdeki küçük değişikliklere göre bütün optimizasyonu değiştirmeyecek kadar toleransını belirttiği ve aynı zamanda da Cplex çözücüsü içerisinde de hizmet olarak sunulan duyarlılık analizi sonuçları da ek olarak sunulabilir ve senaryoların daha verimli bir şekilde incelenmesi sağlanabilir.

Kaynakça

- Dikener, O. (2011). İnternet Reklamcılığında Web Sitesi Tasarımının Önemi. *Erciyes İletişim Dergisi*, 2(1), 152-166
- Öztürk, M., & Ayman, M. (2007). Web sayfalarının halkla ilişkiler amaçlı kullanımı. *Selçuk Üniversitesi İletişim Fakültesi Akademik Dergisi*, 4(4), 57-66.
- Metin, S., & Türkoğlu, İ. (2018) Doğrusal Programlama Yöntemleri Kullanılarak Küçük İşletmelerdeki Kar Paylarının Artırılması: Mert Cam Örneği. *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (MÜSBİD)*, 6(12), 106-117.
- Yalçın, A. O. (1984). Doğrusal Programlama ve Madencilğe İlişkin İki Basit Örnek. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 23(3), 25-40.
- Hacıoğlu, T., & Güneş, A. (2019) Çok Katmanlı Çok Kullanıcı Web Sistemlerinde Performans Analizi ve Bir Uygulama. *Engineering Sciences*, 14(3), 88-103.
- Yücel, M. Pazarlama Problemlerinin Çözümünde Yöneylem Araştırmasının Önemi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 70-76.
- Balçı, T. (2018). Entity Framework'ün Farklı Veritabanlarındaki Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale
- Turan, F. (2018). Asp.Net Mvc 4 Teknolojilerini Kullanarak Bir E-Ticaret Sitesi Uygulamasının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, İstanbul
- Şen, Ş. (2008). Web Part ve Ajax Teknolojileri İle Kişiselleştirilebilir Portal Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir
- Varlı, E., Ergişi, B., & Eren, T. (2017). Özel Kısıtlı Hemşire Çizelgeleme Problemi: Hedef Programlama Yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (49), 189-206.
- Şenol, S., & Güngör, İ. Menü Planlama Sorununa Karma Tamsayı Programlama Modeli İle Çözüm Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- Doğruyol, M. C., Duran, E., Görgülü, G., Gülhan, İ., Kuruç, A. P., Özsümbül, K., Uğuz, B. & Anaç, C. Boya Atölyesinde İş Çizelgeleme Problemi. *Sistem Tasarımı Proje Özetleri*, 49.
- Saylı, A., Akbulut, C., (2017), Analysis, Design and Implementation of Diet Control System, *European Journal of Science and Technology* Vol. 7, No. 11, pp. 2-6, December 2017
- Mucuk, İ. (2010). Pazarlama ilkeleri. İstanbul: Türkmen Kitabevi
- Özçelik, T.Ö., Gündüz, G., (2019) Sezgisel Algoritmaları Kullanarak Raf Optimizasyonu Çalışması ve Bir Yazılım Uygulaması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* Sayı 16, S. 977-982, Ağustos 2019
- Trbootstrap. (t.y.). Erişim adresi <https://trbootstrap.com>



Some Physicochemical and Sensory Properties of Cactus Fruit (*Opuntia ficus-indica* L.) Vinegar Produced by Traditional Method

Abdullah Çağlar^{1*}, Gökhan Akarca², Oktay Tomar³, Elif Ekmekçi⁴

¹ Kocaeli University, Faculty of Agriculture and Natural Science, Arslanbey Campus, 41285, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0002-9716-8795)

² Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 03200, Afyonkarahisar, Turkey (ORCID: 0000-0002-5055-2722)

³ Kocaeli University, Faculty of Agriculture and Natural Science, Arslanbey Campus, 41285, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0001-5761-7157)

⁴ Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 03200, Afyonkarahisar, Turkey (ORCID: 0000-0002-5383-8822)

(First received 12 February 2020 and in final form 31 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.715704)

ATIF/REFERENCE: Çağlar, A., Akarca, G., Tomar, O. & Ekmekçi, E. (2020). Some Physicochemical and Sensory Properties of Cactus Fruit (*Opuntia ficus-indica* L.) Vinegar Produced by Traditional Method. *European Journal of Science and Technology*, (18), 952-957.

Abstract

In this study, chemical, physical and sensory quality properties of vinegar produced from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica* L.) by conventional method were investigated. At the end of the study, it was determined that dry matter values were $1.13 \pm 0.11\%$, total acidity was 16.15 ± 0.21 g/L, pH was 3.06 ± 0.04 and conductivity was 1.90 ± 0.09 μ S/cm. The total phenolic and antioxidant values of the samples were determined to be 731.11 ± 39.28 mg gallic acid equivalent (GAE)/L and 49.71 ± 4.85 μ g trolox equivalent (TE)/mL, respectively. Density, brix, and color (L^* , a^* , b^*) values were determined to be 1.023 ± 0.11 g/cm³, 1.28 ± 0.09 °Brix, L^* (28.98 ± 0.56), a^* (2.23 ± 0.41) and b^* (-1.60 ± 0.36), respectively. Nevertheless, the presence of alcohol was not detected in any of the samples after nine months of storage. The mineral material contents of cactus vinegar samples were determined as Na (38.48 ± 0.07 ppm), Mg (15.35 ± 0.91 ppm), K (354.46 ± 2.91 ppm), Ca (14.11 ± 0.83 ppm), P (20.4 ± 0.16 ppm), Fe (0.19 ± 0.00 ppm), B (0.36 ± 0.00 ppm), Mn (0.32 ± 0.00 ppm), Zn (0.10 ± 0.00 ppm), Al (0.14 ± 0.00 ppm), Cu (0.01 ± 0.00 ppm), Sn (7.17 ± 0.06 ppb). The sensory analysis scores of the samples were given by the panelists as follows: appearance (6.01 ± 0.42), odor (7.25 ± 0.81), aroma (6.75 ± 0.23), color (5.75 ± 0.45) and general appreciation (6.85 ± 0.53). The results obtained were compared with apple cider vinegar which is the most consumed type of vinegar all over the world. Based on the results, cactus vinegar produced from cactus fruit by conventional method can be considered as a new type of vinegar, which is functional and useful for human health.

Keywords: Cactus fruit, Cactus vinegar, Fermentation.

Geleneksel Yöntemle Üretilen Kaktüs Meyve (*Opuntia ficus-indica* L.) Sirkesinin Bazı Fizikokimyasal ve Duyusal Özellikleri

Öz

Yapılan bu çalışmada kaktüs meyvesinden (*Opuntia ficus-indica* L.) geleneksel yöntemle üretilen sirkenin bazı kimyasal, fiziksel ve duyusal kalite özelliklerinin belirlenmesi araştırılmıştır. Araştırma sonunda; kuru madde değerleri $1.13 \pm 0.11\%$, toplam asitlik 16.15 ± 0.21 g/L, pH 3.06 ± 0.04 , iletkenlik 1.90 ± 0.09 μ S/cm olarak belirlenmiştir. Örneklerin toplam fenolik ve toplam antioksidan değerleri ise sırasıyla 731.11 ± 39.28 mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/L ve 49.71 ± 4.85 μ g troloks eşdeğeri (TE)/mL olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk, brix ve renk (L^* , a^* , b^*) değerleri sırasıyla 1.023 ± 0.11 g/cm³, 1.28 ± 0.09 °Brix, L^* (28.98 ± 0.56), a^* (2.23 ± 0.41) ve b^* (-1.60 ± 0.36) olarak tespit edilmiştir. Buna karşın dokuz aylık depolama sonucunda numunelerin hiçbirisinde alkol varlığı tespit edilememiştir. Kaktüs sirkesi örneklerinin mineral madde içerikleri Na (38.48 ± 0.07 ppm), Mg (15.35 ± 0.91 ppm), K (354.46 ± 2.91 ppm), Ca (14.11 ± 0.83 ppm), P (20.4 ± 0.16 ppm), Fe (0.19 ± 0.00 ppm), B (0.36 ± 0.00 ppm), Mn (0.32 ± 0.00 ppm), Zn (0.10 ± 0.00 ppm),

* Corresponding Author: Kocaeli University, Faculty of Agriculture and Natural Science, Arslanbey Campus, 41285, Kocaeli, Turkey (ORCID: 0000-0002-9716-8795), abduallah.caglar@kocaeli.edu.tr

Al (0.14±0.00 ppm), Cu (0.01±0.00 ppm), Sn (7.17±0.06 ppb) olarak belirlenmiştir. Panelistlerce örneklerin duyusal analiz skorları ise; görünüş (6.01±0.42), koku (7.25±0.81), aroma (6.75±0.23), renk (5.75±0.45) ve genel beğeni (6.85±0.53) olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar tüm Dünyada en fazla tüketilen sirke türü olan elma sirkesi ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar ışığında kaktüs meyvesinden geleneksel yollarla üretilen kaktüs sirkesi fonksiyonel özellikte ve insan sağlığına faydalı yeni bir sirke çeşidi olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Kaktüs meyvesi, Kaktüs sirkesi, Fermantasyon.

1. Introduction

Vinegar is a liquid food product produced as a result of alcohol fermentation of carbohydrate sources and then acetic acid fermentation (Ho et al., 2017). Alcoholic fermentation is the conversion of sugar into alcohol under anaerobic conditions, and acetic acid fermentation is the conversion of alcohol into acetic acid under aerobic conditions (Tan, 2003; Budak et al., 2014; Dabija & Hatnean, 2014). Vinegar is consumed directly and also plays an important role in the production of food products since it is used as a spice or preservative substance in a wide range of products, including sauces, mayonnaise, and ketchup (Tsfaye et al., 2002; Salbe et al., 2009). Vinegar contains polyphenolic compounds and natural antioxidants at various and different ratios (Alonso et al., 2002; Verzelloni et al., 2007). It was indicated that these components in vinegar had effects such as protecting heart and brain cells, preventing anti-inflammatory, anticarcinogenic, chronic diseases, hypertension, and hyperlipidemia (Visioli et al., 2000; Conte et al., 2003; Osada et al., 2006; Chou et al., 2015).

In the world, there are many types of vinegar, including black vinegar, rice vinegar, balsamic vinegar, and white wine vinegar. All these kinds of vinegar are produced using different raw materials, yeast species, and fermentation procedures, and thus, they gain their own unique tastes and flavors (Ho et al., 2017).

Cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) originated from the American continent and spread to the Mediterranean countries in the 16th century (Vignon et al., 2004). Cactus fruit has antioxidant activity such as fiber, polyunsaturated fatty acids, vitamins, amino acids, flavonols, flavonoids, carotenes, and ascorbic acid. Furthermore, it is rich in bioactive compounds and has low calorie content (27 cal/100 g). Therefore, it is considered as a functional food (Ginestra et al., 2009). Cactus fruit was reported to have anti-inflammatory, antioxidant, hypoglycemic, antimicrobial, and neuroprotective properties (Kaur et al., 2012).

2. Material and Method

2.1. Material

Cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) to be used in the study was obtained from local markets in Afyonkarahisar province.

2.2. Methods

The cactus fruit was kept in water for 1 day so that its spines would be removed. The cactus fruit was washed, cleaned, and chopped. Then, it was allowed to be aired in the laboratory environment for 1 day. The cactus fruits prepared were added in 1/3 of 10-liter jars. Then, 50 g honey and 50 g molasses were added to it for the natural fermentation process to take place. It was ensured to create fermentation conditions by adding 150 mL of natural fermented cactus vinegar and 50 g chickpeas. Water was added to the product prepared to complete 10 L. The samples in the jars prepared were covered with cheesecloth to be aired for 30 days. Furthermore, they were mixed twice a day to be aired. This process was continued for approximately 30 days until a vinegar mother appeared on the surfaces of the jars. After the formation of the vinegar mother following the fermentation process, filtration was performed from the raw material. Then, the jars were sealed and stored without exposing to light at room temperature for 9 months. Their analyses were then performed under laboratory conditions. This study was conducted in triplicate were used for each repetition.

2.3. Analyzes

The pH values of cactus vinegar samples were determined by Hanna (HI 2215, Germany), and conductivity value (Sension 5 model, HACH, CO, USA) was determined by hand conductivity. Dry matter analysis was performed using the oven (Ecocell 55, Germany), and the ash content was determined in the electromag (M 1811, Turkey) ash furnace (AOAC, 2000). Alcohol content measurements were performed using a vinometer (AOAC, 1992). While the brix value was determined by an Atago (N-1E) brand hand refractometer according to Akbas and Cabaroglu 2010, total acidity was determined according to Cemeroglu 2007, total antioxidant and total phenolic content were determined according to Chu and Chen 2006, density determination was performed according to Alak 2015, and mineral matter analysis was performed according to the method described by Jorhem 1993. Sensory analysis was performed according to Altug and Elmaci 2005 and color analysis was performed according to Alak 2015.

Table 1. Physical Analysis Results of Cactus Vinegar

Analyzes										
Samples	Brix (°Brix)	Density (g/cm³)	Color			Sensory Scores			General Appreciation	
			L*	a*	b*	Color	Aroma	Odor		Appearance
Cactus Vinegar	1.28±0.09	1.023±0.11	28.98±0.56	2.23±0.41	-1.60±0.36	5.75±0.45	6.75±0.23	7.25±0.81	6.01±0.42	6.85±0.53

Table 2. Chemical Analysis Results of Cactus Vinegar

Analyzes								
Samples	Dry Matter Content (%)	pH	Ash (g/L)	Conductivity (µS/cm)	Alcohol (%)	Total Acidity (g/L)	Total Antioxidant (µg TE/mL)	Total Phenolic (mg GAE/L)
Cactus Vinegar	1.13± 0.11	3.06±0.04	4.1±0.12	1.90±0.09	-	16.15±0.21	49.71±4.85	731.11±39.28

Table 3. Mineral Analysis Results of Cactus Vinegar

Analyzes												
Samples	Na (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	P (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)	Cu (ppm)	Sn (ppb)
Cactus Vinegar	38.48±0.07	15.35±0.91	354.46±2.91	14.11±0.83	20.4±0.16	0.19±0.00	0.36±0.00	0.32±0.00	0.10±0.00	0.14±0.00	0.01±0.00	7.17±0.06

3. Results and Discussion

The Brix ratio of cactus vinegar was determined to be 1.28 ± 0.09 °Brix (Table 1). In similar studies, the brix value in apple cider vinegar was determined to be between 3.83-11.67 g/100 mL (Budak, 2010) and 1.02-12.90 (Ozturk et al., 2015). The brix values of cactus vinegar samples were found to be lower than the brix values of apple cider vinegar.

The density value of cactus vinegar was determined to be 1.023 ± 0.11 g/cm³ (Table 1). In the studies on apple cider vinegar, it was reported that density value varied between 0.9987-1.0517 g/cm³ (Budak, 2010) and 1.013-1.024 g/cm³ (Plessi, 2003), similarly to our results.

In cactus vinegar samples, it was determined that the mean L* value was 28.98 ± 0.56 , a* values were 2.23 ± 0.41 , and b* values were -1.60 ± 0.36 (Table 1). In a study carried out in six different traditional apple cider vinegar samples, it was reported that the mean L* value was between 4.58-20.15, the a* value was between 0.09-6.66, and the b* value was between 3.71-11.98 (Ozturk et al., 2015). It was determined that cactus vinegar was brighter than apple vinegar when compared to similar studies. The a* value of cactus vinegar samples and the a* values of apple vinegar samples were similar. When the results of the study carried out with the vinegar of both different fruits were evaluated, it was determined that b* values were in “-” (green) values in cactus vinegar and in “+” (yellowness) values in apple cider vinegar. These differences between the studies were considered to be due to the natural color of the fruit.

The total amount of dry matter of cactus vinegar was determined to be $1.13 \pm 0.11\%$ (Table 2). In similar studies, it was determined that the total dry matter ratios of apple cider vinegar samples were 1.37-10.26% (Budak, 2010), 2.14% (Aykin, 2013), and 16.38 g/L (Gerbi et al., 1998) on average. It is considered that the differences in dry matter amounts as a result of our study and the studies on apple cider vinegar samples were due to the fact that the dry matter content of cactus fruit was lower than the dry matter content of apple. According to TS 1880 EN 13188 vinegar standard, no limit on dry matter content was reported TS (2003).

The mean pH value of cactus vinegar was found to be 3.06 ± 0.04 (Table 2). In the studies on apple cider vinegar, pH value was found to be 2.71-3.5 (Ozturk et al., 2015), 2.9-5.7 (Hill et al., 2005), and 2.83-3.21 (Budak et al., 2011), similarly to the results of our study.

The mean conductivity values of cactus vinegar samples were determined to be 1.90 ± 0.09 µS/cm (Table 2). In the study on hawthorn vinegar, Kadas (2011) reported that the conductivity value was found to be 3.86 µS/cm, which was higher than the results of our study.

No alcohol was detected in any of the cactus vinegar samples after nine months of storage. In a similar study, Caligiani et al. (2007) reported that they determined the amount of alcohol in apple cider vinegar as 0.37 g/L. It is considered that the whole alcohol present in cactus vinegar samples was fermented to acetic acid during storage.

Total acidity in cactus vinegar was determined to be 16.15 ± 0.21 g/L (Table 2). In the studies carried out with apple cider vinegar, total acidity amounts were determined to be 0.19-7.37% (Budak, 2010), 1.04-10.57% (Hill et al., 2005), 0.66-7.20% (Ozturk et al., 2015), and 5.40-6.60 g/100 mL (Gerbi et al., 1998). According to TS (2003) vinegar standard, it is stated that "total acid amounts should not be less than 60 g/L (6 g/100mL) in wine (grape) vinegar (in free acetic acid in water) and 50 g in other kinds of vinegar." The total acidity amounts of all our samples were not in accordance with the values specified in the standard.

The total antioxidant values of the samples were found to be 49.71 ± 4.85 µg TE/mL on average (Table 2). In similar studies, the total amount of antioxidants in apple cider vinegar was determined to be 3.00-5.89 µmol TE/mL (ORAC method) (Wu et al., 2004), 4.71 µg TE/mL (Pinsirodom et al., 2008), 5640 µmol TE/kg (ORAC method) (Ninfali et al., 2005), and 3.00-5.89 µmol TE/mL (ORAC method) (Budak et al., 2011). It is considered that the reason why antioxidant values in vinegar samples were found to be different between the studies may be due to the differences in raw materials used in production and in storage conditions.

The mean total phenolic content of cactus vinegar samples was determined to be 731.11 ± 39.28 mg GAE/L (Table 2). In similar studies on apple cider vinegar, the total phenolic content was determined to be 757.65 mg/L (Budak et al., 2011), 202.00 mg/L (Ninfali et al., 2005), 551 mg/L (Gerbi et al., 1998), and 40.44-434.88 GAE/L (Ozturk et al., 2015). The total phenolic content in vinegar varies depending on aging conditions and storage (Samanidou et al., 2001).

In cactus vinegar samples, it was determined that Na content was 38.48 ± 0.07 ppm, Mg content was 15.35 ± 0.91 ppm, K content was 354.46 ± 2.91 ppm, Ca content was 14.11 ± 0.83 ppm, P content was 20.4 ± 0.16 ppm, Fe content was 0.19 ± 0.00 ppm, B content was 0.36 ± 0.00 ppm, Mn content was 0.32 ± 0.00 ppm, Zn content was 0.10 ± 0.00 ppm, Al content was 0.14 ± 0.00 ppm, Cu content was 0.01 ± 0.00 ppm, and Sn content was 7.17 ± 0.06 ppb (Table 3). In the studies carried out, it was reported that Na content was 25.70-4070.20 mg/L (Ozturk et al., 2015), Mg content was 0.64 ppm (Kapukaya, 2017), K content was 25814.17 mg/L (Aykin, 2013), Ca content was 627.10-1599.70 mg/L (Ozturk et al., 2015), Fe content was 1.37 ppm (Kapukaya, 2017) in apple cider vinegar. When the mineral material contents of our samples were compared with apple cider vinegar samples, it was found that Mg content was high while Fe content was lower.

In the comparison of antioxidant, phenolic, and mineral substance analysis results in cactus vinegar with the studies on the relevant issue, the use of different fruits, the changes during and after the production and differences between analysis procedures made it difficult to compare the results of the study with each other. Therefore, it is considered that the differences that emerged with the comparison of our study results with apple cider vinegar, which is one of the most preferred vinegar varieties in the world, were due to this.

4. Conclusions

It has been revealed by the studies that vinegar supports calcium absorption, regulates blood pressure and serum insulin, and has a protective effect against antitumor and cardiovascular diseases. The importance of vinegar is increasing with each passing day since it has many beneficial health effects. Nowadays, many types of vinegar are produced worldwide. Cactus fruit to be processed in vinegar is rich in phenolic compounds, antioxidants, and fiber. Since these compounds it contains are effective in the prevention of various diseases (cancer, diabetes, cardiovascular diseases), they provide many beneficial effects for health. However, the limited production area of cactus fruit and the fact that it is grown without cultivation and the fruit has a thorny structure make its consumption difficult. It is clear that increasing the amount of production of the fruit through cultivation and facilitating consumers' access to fruit will increase the production and consumption of cactus vinegar with bioactive properties, which is a highly valuable product with functional properties.

5. Acknowledge

This research was presented as an oral presentation at the 5th International Eurasian Congress on Natural Nutrition, Healthy Life & Sport, Ankara, NATURAL 2019.

References

- Akbas, M. & Cabaroglu, T. (2010). A research on the determination of compositions of grape vinegars produced in Turkey and their conformity to food legislation. *Journal of Food*, 35(3), 183-188.
- Alak, G. D. (2015). Some physical, chemical properties of the honey vinegar and the honey. M.Sc. Thesis. Pamukkale University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Denizli, Turkey.
- Alonso, A. M., Guillen, D. A., Barroso, C. G., Puertas, B. & Garcia, A. (2002). Determination of antioxidant activity of wine byproducts and its correlation with polyphenolic content. *J. Agric. Food Chem*, 50(21), 5832-5836.
- Altug T. & Elmaci, Y. (2005). Sensory Evaluation in Foods. Meta Printing, İzmir, Turkey.
- AOAC. (1992). Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, 15th edition. AOAC, Washington DC.
- AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, 17th edition. AOAC, Washington DC.
- Aykin, E. (2013). Determination of bioactive compounds in mothers of vinegar produced from different vinegars. M.Sc. Thesis. Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Isparta, Turkey.
- Budak, H. N. (2010). A Research on compositional and functional properties of vinegars produced from apple and grape. Ph.D. Thesis. Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Isparta, Turkey.
- Budak, N. H., Kumbul Doguc, D., Savas, C. M., Seydim, A. C., Kok Tas, T., Ciris, M. I. & Guzel-Seydim, Z. B. (2011). Effects of apple cider vinegars produced with different techniques on blood lipids in high-cholesterol-fed rats. *J. Agric. Food Chem*, 59(12), 6638-6644.
- Budak, N. H., Aykin, E., Seydim, A. C., Greene, A. K. & Guzel-Seydim, Z. B. (2014). Functional properties of vinegar. *J. Food Sci*, 79(5), 757-764.
- Caligiani, A., Acquotti, D., Palla, G. & Bocchi, V. (2007). Identification and quantification of the main organic components of vinegars by high resolution 1H NMR spectroscopy. *Anal. Chim. Acta*, 585(1), 110-119.
- Cemeroglu, B. (2007). Food Analysis, Food Technology Publications, No:34, Ankara, Turkey.
- Chou, C. H., Liu, C. W., Yang, D. J., Wu, Y. H. & Chen, Y. C. (2015). Amino acid, mineral, and polyphenolic profiles of black vinegar, and its lipid lowering and antioxidant effects in vivo. *Food Chem*, 168, 63-69.
- Chu, S. C. & Chen, C. (2006). Effects of origins and fermentation time on the antioxidant activities of kombucha. *Food Chem*, 98(3), 502-507.
- Conte, A., Pellegrini, S. & Tagliacozzi, D. (2003). Synergistic protection of PC12 cells from b-amyloid toxicity by resveratrol and catechin. *Brain Res. Bull*, 62, 29-38.
- Dabija, A. & Hatnean, C. A. (2014). Study concerning the quality of apple vinegar obtained through classical method. *J. Agroaliment. Processes Technol*, 20(4), 304-310.
- Gerbi, V., Zeppa, G., Beltramo, R., Carnacini, A. & Antonelli, A. (1998). Characterisation of white vinegars of different sources with artificial neural networks. *J. Sci. Food Agr*, 78(3), 417-422.
- Ginestra, G., Parker, M. L., Bennett, R. N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A. & Waldron, K. W. (2009). Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *J. Agric. Food Chem*, 57(21), 10323-10330.
- Hill, L. L., Woodruff, L. H., Foote, J. C. & Barreto-Alcoba, M. (2005). Esophageal injury by apple cider vinegar tablets and subsequent evaluation of products. *J. Am. Diet. Assoc*, 105(7), 1141-1144.
- Ho, C. W., Lazim, A. M., Fazry, S., Zaki, U. K. H. H. & Lim, S. J. (2017). Varieties, production, composition and health benefits of vinegars: A review. *Food Chem*, 221, 1621-1630.
- Jorhem, L. (1993). Determination of metals in foodstuffs by atomic absorption spectrophotometry after dry ashing: NMKL interlaboratory study of lead, cadmium, zinc, copper, iron, chromium, and nickel. *J. AOAC Int*, 76(4), 798-813.
- Kadas, Z. (2011). Determination of bioactive properties and metabolic effects of hawthorn vinegar. M.Sc. Thesis. Bolu Abant İzzet Baysal University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bolu, Turkey.
- Kapukaya, K. S. (2017). Determination of flame atomic absorption spectroscopy of metals of Cu, Cd, Fe, Mg, Na and Zn found in apple and grape vinegar. M.Sc. Thesis. Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Kahramanmaraş, Turkey.
- Kaur, M., Kaur, A. & Sharma, R. (2012). Pharmacological actions of *Opuntia ficus indica*: A review. *J. Appl. Pharm. Sci*, 2(7), 15-18.

- Ninfali, P., Mea, G., Giorgini, S., Rocchi, M. & Bacchiocca, M. (2005). Antioxidant capacity of vegetables, spices and dressings relevant to nutrition. *Br. J. Nutr.*, 93(2), 257-266.
- Osada, K., Suzuki, T., Karakami, Y., Senda, M., Kasai, A., Sami, M., Ohta, Y., Kanda, T. & Ikeda, M. (2006). Dose-dependent hypocholesterolemic actions of dietary apple phenol in rats fed cholesterol. *Lipids*, 41, 133-139.
- Ozturk, I., Caliskan, O., Tornuk, F., Ozcan, N., Yalcin, H., Baslar, M. & Sagdic, O. (2015). Antioxidant, antimicrobial, mineral, volatile, physicochemical and microbiological characteristics of traditional home-made Turkish vinegars. *LWT-Food Sci. Technol.*, 63(1), 144-151.
- Pinsirodom, P., Rungcharoen, J. & Liumminful, A. (2008). Quality of commercial winevinegars evaluated on the basis of total polyphenol content and antioxidant properties. *As. J. Food Ag-Ind.*, 1(4), 232-241.
- Plessi, M. (2003). Vinegar. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (2nd ed.). (pp. 5996-6004). Oxford: Academic Press.
- Salbe, A. D., Johnston, C. S., Buyukbese, M. A., Tsitouras, P. D. & Harman, S. M. (2009). Vinegar lacks antiglycemic action on enteral carbohydrate absorption in human subjects. *Nutr. Res.*, 29(12), 846-849.
- Samanidou, V. F., Antoniou, C. V. & Papadoyannis, I. N. (2001). Gradient RP-HPLC determination of free phenolic acids in wines and wine vinegar samples after SPE, with photodiode array identification. *J. Liq. Chromatogr. R. T.*, 24(14), 2161-2176.
- Tan, S. C. (2003). Vinegar Fermentation. M.Sc. Thesis. Louisiana State University, School of Nutrition and Food Sciences, Lafayette, ABD.
- Tesfaye, W., Morales, M. L., Garcia-Parrilla, M. C. & Troncoso, A. M. (2002). Wine vinegar: technology, authenticity and quality evaluation. *Trends Food Sci Tech.*, 13(1), 12-21.
- TS. (2003). Vinegar Product Recipes, Features and Marking from Liquids of Agricultural Origin, TS 1880 EN 13188, Turkish Standards Institute, Ankara, Turkey.
- Verzelloni, E., Tagliazucchi, D. & Conte, A. (2007). Relationship between the antioxidant properties and the phenolic and flavonoid content in traditional balsamic vinegar. *Food Chem.*, 105(2), 564-571.
- Vignon, M. R., Heux, L., Malainine, M. E. & Mahrouz, M. (2004). Arabinan-cellulose composite in opuntia ficus-indica prickly pear spines. *Carbohydr. Res.*, 339(1), 123-131.
- Visioli, F., Borsani, L. & Galli, C. (2000). Diet and prevention of coronary disease: the potential role of phytochemicals. *Cardiovasc. Res.*, 47: 419-425.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E. & Prior, R. L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agric. Food Chem.*, 52(12), 4026-4037.



The Reaction Cross Sections for $^{124,125}\text{Te}(p,xn)^{123,124}\text{I}$ and $^{123,124}\text{Te}(d,xn)^{123,124}\text{I}$

Rıdvan Ünal^{1*}, Ufuk Akçaalan²

¹ Uşak Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6842-7471)
² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Fizik Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6777-8181)

(First received 26 February 2020 and in final form 11 April 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.717826)

ATIF/REFERENCE: Ünal, R., & Akçaalan, U. (2020). The Reaction Cross Sections for $^{124,125}\text{Te}(p,xn)^{123,124}\text{I}$ and $^{123,124}\text{Te}(d,xn)^{123,124}\text{I}$. *European Journal of Science and Technology*, (18), 958-963.

Abstract

The iodine isotopes of ^{123}I and ^{124}I with half lives of 13.2 hours and of 4.2 days respectively are commonly used in nuclear medicine and are becoming more widespread recently. The isotope of ^{123}I is ideal for a gamma camera with the energy of 159 keV to the patient with a much less radiation dose whereas the radionuclide ^{124}I is a positron emitter and is useful in some positron emission tomography (PET) for radiopharmaceuticals. The gamma ray will penetrate tissue very effectively without an excessive radiation dose. Iodine-123 decays by electron capture emitting gamma rays at 0.028 and 0.160 MeV that has high penetration power to tissue but no excessive radiation dose. The half-life of 4.2 d and the 23% positron decay allow localization with monoclonal antibodies, and the PET imaging which makes Iodine-124 radionuclide a good candidate for being a diagnostic and a therapeutic. This study aims on the calculation of the excitation functions for ^{123}I and ^{124}I various production mechanisms. TALYS 1.6 is used to calculate the reaction cross sections for $^{123,124,125}\text{Te}$ bombarded with protons and deuteriums to produce $^{123,124}\text{I}$ radioisotopes commonly used in medical applications. The calculated results were compared with available experimental results from EXFOR. The results are interpreted in terms of deciding which radioisotope is more appropriate to produce with which reaction and evaluating the effects in the reaction mechanisms. In addition, the relative reaction cross-sections of $^{123,124}\text{I}$ radioisotopes obtained by bombarding ^{124}Te target with protons were discussed, and the common reaction for the production of ^{123}I was evaluated to be the $^{124}\text{Te}(p, 2n)^{123}\text{I}$ reaction on the highly enriched ^{124}Te . Thus, it is considered that a very high level of enrichment on the target must be achieved in order to prevent contamination caused by competing reactions of (p, n) and (p,2n). It is concluded that ^{123}I production is more suitable for small and medium-sized cyclotrons.

Keywords: Excitation Functions, Charged Particle Induced Reactions, Iodine Production Cross Sections, TALYS 1.6, EXFOR.

$^{124,125}\text{Te}(p,xn)^{123,124}\text{I}$ ve $^{123,124}\text{Te}(d,xn)^{123,124}\text{I}$ İçin Reaksiyon Tesir Kesitleri

Öz

İyodin izotopları, 13.2 saat yarı ömürlü ^{123}I ve 4.2 gün yarı ömürlü ^{124}I , son zamanlarda genelde nükleer tıp alanında yaygın olarak kullanılırlar. ^{123}I izotopu hastaya çok daha düşük bir radyasyon dozu verir ve 159 keV gama ışını enerjisine sahip bir gama kamerası için idealdir, oysa radyonüklid ^{124}I bir pozitron yayıcıdır ve radyofarmasötikler için bazı pozitron emisyon tomografisinde (PET) yararlıdır. Gama ışını, aşırı radyasyon dozu olmadan dokuya çok etkili bir şekilde nüfuz eder. ^{123}I , elektron yakalama ile 0.028 ve 0.160 MeV'de iki ana gama ışını ile %100 bozunur. 4.2 d'nin yarı ömrü, monoklonal antikolarla lokalizasyon için yeterince uzundur ve %23 pozitron bozunması, PET ile görüntülemeye izin verir. ^{124}I , hem diagnostik hem de terapötik bir radyonüklid olarak potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, ^{123}I ve ^{124}I için önerilen çeşitli üretim mekanizmaları için uyarma fonksiyonları hesaplanmıştır. $^{123,124,125}\text{Te}$ hedef çekirdeklerinin protonlar ve döteryumlarla indüklenmesi sonucu tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan $^{123,124}\text{I}$ radyoizotoplarının

¹ Corresponding Author: Uşak Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Uşak, Türkiye ORCID: 0000-0001-6842-7471, ridvan.unal@usak.edu.tr

üretilmesini sağlayan nükleer reaksiyonları için reaksiyon tesir kesitleri TALYS 1.6 kullanılarak hesaplandı. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar EXFOR deneysel veri tabanında mevcut olan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar hangi radoizotopun hangi reaksiyon ile üretilmesinin daha uygun olacağına karar vermek ve reaksiyon mekanizmalarında yer alan etkilerin değerlendirilmesi açısından yorumlanmıştır. Ayrıca, ^{124}Te hedefinin protonlarla indüklenmesiyle elde edilen $^{123,124}\text{I}$ radyoizotoplarının göreceli reaksiyon tesir kesitleri tartışılmış ^{123}I üretimi için ortak reaksiyonun oldukça zenginleştirilmiş ^{124}Te üzerindeki $^{124}\text{Te}(p, 2n)^{123}\text{I}$ reaksiyonu olduğu değerlendirilmiştir. Böylece bir reaksiyon esnasında (p, n) ve (p, 2n) gibi birbirine yarışması muhtemel reaksiyon mekanizmalarının oluşturduğu kontaminasyonun önüne geçilmesi için hedef üzerinde oldukça yüksek düzeyde zenginleştirme işleminin öncelikli olarak yapılmasının bir gereklilik olduğu düşünülmektedir. ^{123}I üretiminin küçük ve orta boy siklotronlar için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uyarılma Fonksiyonları, Yüklü Parçacık İndüklü Reaksiyon, İyot Üretim tesir Kesitleri, TALYS 1.6, EXFOR.

1. Introduction

Radioisotopes are generally produced in cyclotrons or reactors to be used for purposes of treatment or diagnosis in the healthcare field. The reaction is produced by the radioisotopes, the energy of the projectile particles to be used in production, the target core and the cross-sections of the reaction are determined. For cases where carrying out an experiment is difficult and expensive, it is widely preferred to perform simulation studies which save both time and economy (Gürol et al., 2020).

The Iodine-123 is a gamma emitter with a half live of 13.2 hours is used for diagnosis of thyroid function. Because of its patient-friendly properties, ^{123}I is being used widely in nuclear medicine. The use of ^{124}I radioisotope has extended in medicine recently due to its diagnostic and therapeutic potential. Since its half life is 4.2 days and it has 23% positron decay (IAEA, 2009); it is possible to use ^{124}I for positron emission tomography (PET) radiopharmaceuticals (Glaser et al., 2001; Sheh et al., 2000; Michael et al., 1981). ^{124}I isotope were formerly considered as an impurity in ^{123}I production, since it has diagnostic and therapeutic potential the production of ^{124}I is becoming more widespread (Herzog et al., 2002; Pentlow et al., 1996).

^{123}I have been produced through several reactions and methods in the past (Watson et al., 1973; Kondo et al., 1977; Beyer et al., 1981; Michael et al., 1981; Clem and Lambrecht, 1991; Firouzbakht et al., 1993; Hohn et al., 2001). However, some of them require high energy cyclotrons or reactor processes. Due to the localization and economical requirements $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reactions were found more suitable for ^{123}I production and has been widely used (IAEA, 2009). $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reactions require highly enriched ^{124}Te in order to minimize the possible contamination in the target material (Braghirolli et al., 2014; Herzog et al., 2002; Sheh et al., 2000; Goriely, 1998; Kondo et al., 1977). $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reactions are suitable for small and medium sized cyclotrons respectfully. The $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ reaction were used to produce ^{124}I from enriched ^{124}Te . Recently $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reaction is used to produce ^{124}I . The $^{124,125}\text{Te}(p, xn)^{124}\text{I}$ and $^{123,124}\text{Te}(d, xn)^{124}\text{I}$ reaction cross sections are essential to determine the best possible way to produce ^{124}I , since different production methods will result in different impurities and economical viabilities (Braghirolli et al., 2014; Sadeghi et al., 2010; Sadeghi et al., 2008; Bastian et al., 2001; Clem and Lambrecht, 1991; Firouzbakht et al., 1993).

Therefore, TALYS 1.6 (Koning et al., 2007) was used to calculate the charged particle induced reactions of $^{123,124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ leading to ^{123}I cross sections and $^{123,124}\text{Te}(p, xn)^{124}\text{I}$ and $^{123,124}\text{Te}(d, xn)^{124}\text{I}$ leading to ^{124}I cross sections. The calculated reaction cross sections were compared with reported experimental results. Moreover, the production rates are compared with a comment on contamination concerns.

2. Material and Method

TALYS 1.6 computer code (Koning et al., 2007) includes nuclear reactions with default physical models as well as specific options that can be assigned by user to address the physics of the reaction (Gamma strength functions, Pre-equilibrium Models, Pre-equilibrium spin distributions, Optical model parameters, Fission parameters, Level density parameters, Exciton models, Continuum stripping, pick-up, break-up and knock-out reactions). The computer code includes photon, neutron, proton, deuteron, triton, ^3He , and α -particles as both projectiles and ejectiles. All experimental information on nuclear masses, deformation, and low-lying states spectra is considered, various local and global input models have been incorporated to represent the nuclear structure properties, optical potentials, level densities and γ -ray strengths. The pre-equilibrium particle emission is described by using the two-component Exciton model. For the pre-equilibrium complex particle emission, the phenomenological model is used. Hauser-Feshbach formalism is used to describe the equilibrium particle emission (Sadeghi et al., 2010).

$^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reaction cross section were calculated using; Brink-Axel lorentzian for gamma strength functions, generalized superfluid model (GSM) for level densities, Numerical transition rates for preequilibrium model (Koning et al., 2007). Moreover, the most compatible results were compared with the experimental data available in literature (EXFOR).

3. Results and Discussion

TALYS 1.6 was used to calculate the reaction cross sections of $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ leading to ^{123}I and $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$, $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$, $^{123}\text{Te}(d, n)^{124}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ leading to ^{124}I . The calculated results were compared with the available experimental

data from EXFOR. The reaction cross section results of producing ^{123}I are given in Figs. 1 and 2, and the similar results for the production of ^{124}I are shown in Figs. 3-6. Moreover, the relative reaction cross section results of the production of both isotopes from different reactons on ^{124}Te is compared in Fig. 7.

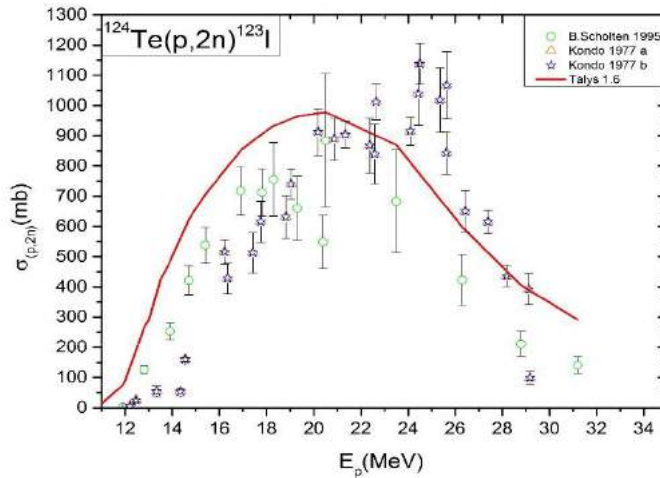


Fig 1. Reaction cross sections of producing ^{123}I from $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$.

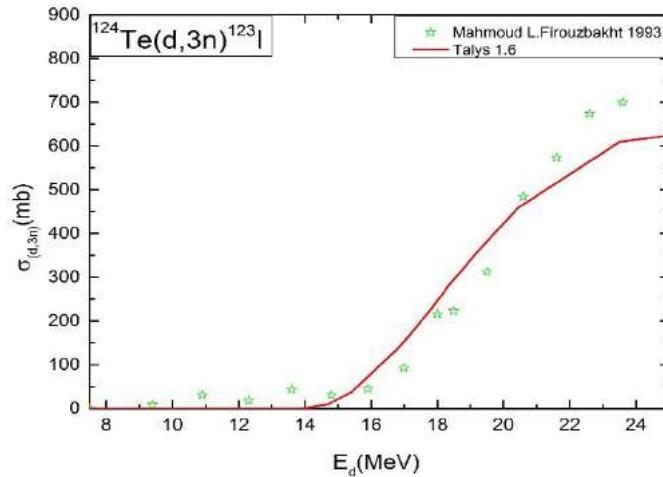


Fig 2. Reaction cross sections of producing ^{123}I from $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$.

$^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reaction cross sections were calculated using Goriely's hybrid model (Goriely, 1998) for gamma strength functions, microscopic level densities (temperature dependent HFB, Gogny force) from Hilaire's combinatorial tables for level density model. Exciton model were selected as analytical transition rates with energy-dependent matrix element for pre-equilibrium, since the medical isotope production were implemented just recently to TALYS 1.6 and is only using analytical formalism (Koning et al., 2007). The calculated $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ reaction cross sections were compared with the experimental data measured by Scholten et al., (1995) and Kondo et al., (1977). Present calculation is fairly in good agreement with both experimental data by remaining in between them, showing good approximation around the peak with a promising cross section value over 900 mb. However, there are some discrepancies in low and high energy regions (10-18 MeV, 25-30 MeV). It is clear that the $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ reaction is promising and compatible for small, medium cyclotrons for ^{123}I production (see Fig.1). The calculated $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reaction cross sections were compared with the experimental data measured by Firouzbakht et al., (1993). Present calculation is in good agreement with experimental data, remaining in between the two experimental data, showing good curve approaching the peak with a promising cross section value over 600 mb. It is clear that the $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reaction is promising and compatible for medium cyclotrons for ^{123}I production (see Fig.2).

The excitation functions were calculated for various production mechanisms. ^{124}I cross sections were calculated for $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$, $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$, $^{123}\text{Te}(d,n)^{124}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ by using TALYS 1.6. The calculated results and available measurements in literature were given in Figs. 3-6, respectively.

The calculated $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$ reaction cross sections were compared with the experimental data measured by Scholten et al., (1995). The present calculation is in good agreement with the experimental data.

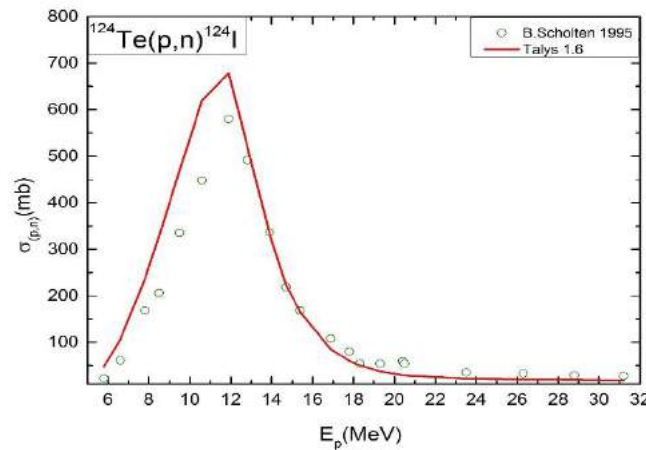


Fig 3. Reaction cross sections of producing ^{124}I from $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$.

The calculated $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$ reaction cross sections were compared with the experimental data measured by Hohn et al., (2001). The present calculation is in an excellent agreement with the experimental data.

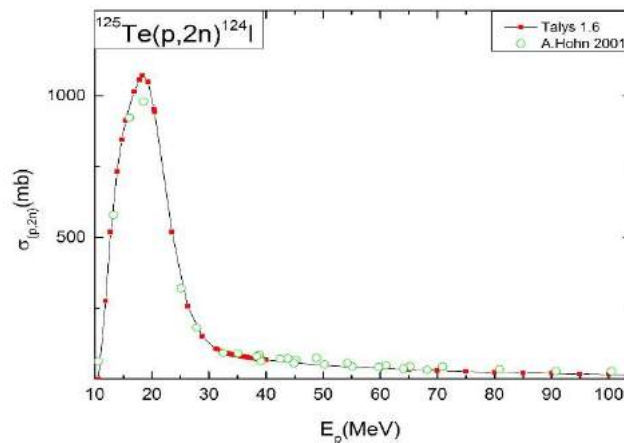


Fig 4. Reaction cross sections of producing ^{124}I from $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$.

The calculated $^{123}\text{Te}(d,n)^{124}\text{I}$ reaction cross sections were compared with the experimental data measured by Scholten et al., (1995). The present calculation is fairly in agreement with the experimental data.

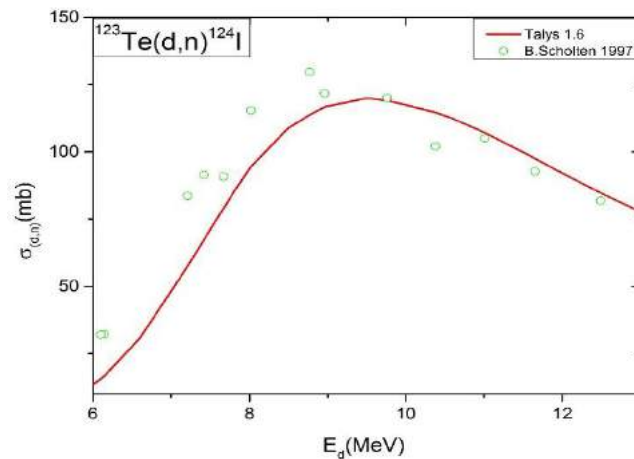


Fig 5. Reaction cross sections of producing ^{124}I from $^{123}\text{Te}(d,n)^{124}\text{I}$.

The calculated $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ reaction cross sections were compared with the experimental data (Firouzbakht et al., 1993; Bastian et al., 2001). The present calculation is in good agreement with Bastian et al., (2001) and the cross-section values reported by the IAEA (IAEA, 2009). The calculated cross sections for $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ reaction deviates from the experimental data measured by Firouzbakht et al. (1993) by a big margin. However, if the cross-section values measured by Firouzbakht et al. (1993) is multiplied by 10, the cross section-energy plot becomes in good agreement with the plot given by the IAEA (200).

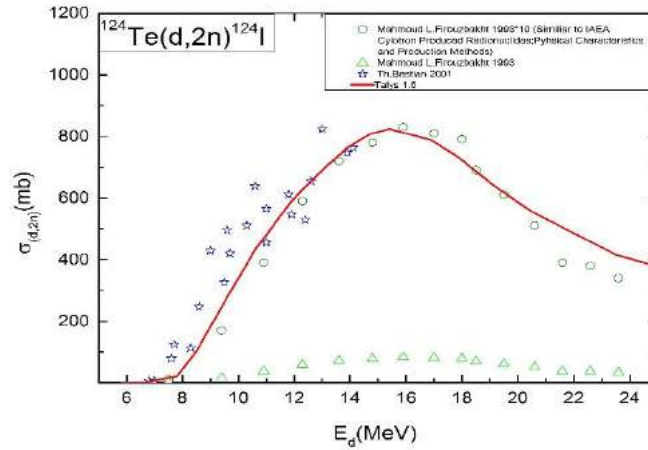


Fig 6. Reaction cross sections of producing ^{124}I from $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$.

The calculated $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ reaction cross sections were compared with both the calculated $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$ reaction cross sections and the experimental data measured by Scholten et al., (1995) and Kondo et al., (1977), respectively. A minimum contamination can be seen starting around 10 MeV, peaking around 13 MeV and decreases with increasing energy. So, it is clear that the elimination of radionuclidic impurities is not always possible even with a wide energy selection and high enrichment as stated by Glaser et al., (2001), Sheh et al., (2000) and Michael et al., (1981). The production of ^{123}I were found appropriate for small, medium-sized cyclotrons and is convenient for economical and availability purposes.

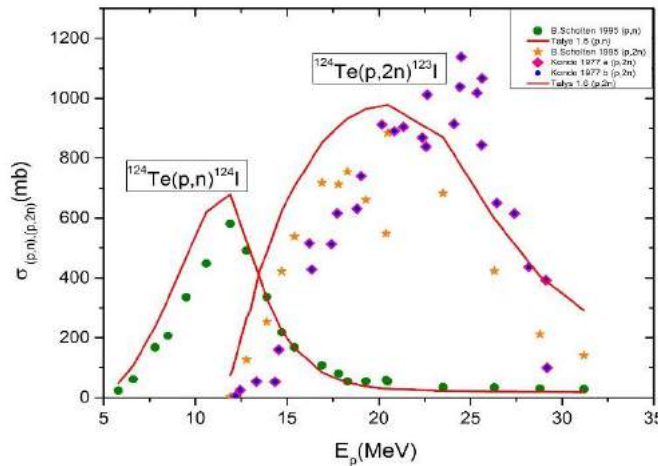


Fig 7. Comparison of reaction cross sections of producing $^{123,124}\text{I}$ from $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$.

4. Conclusions and Recommendations

The $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$ reaction is very promising and compatible for small cyclotrons. The production of ^{124}I through $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$ reaction is suitable for medium size cyclotron since the peak of the graphic is around 20 MeV with a cross section value over 10^3 mb around 18-22 MeV region (see Fig.4). Though there are small discrepancies on low energies, between 8-12 MeV region, the calculated results show the ^{124}I production through $^{123}\text{Te}(d,n)^{124}\text{I}$ reaction is suitable for low energy cyclotron (see Fig.5). For $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ reaction both TALYS code calculation results and the experimental data gives peak around 15 MeV with reaction cross section values over 8×10^2 mb. $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ reaction is suitable for small energy cyclotron (see Fig.6).

After a careful literature search for $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ reaction it was found that the experimental data that measured by Firouzbakht et al. (1993) was reported erroneously in the IAEA (2009). The discrepancy between Firouzbakht et al. (1993) and IAEA (2009) needs to be resolved. We do not know how to consolidate this difference. To point out an interesting fact that, if one multiplies the cross-section values in Firouzbakht et al. (1993) by 10 one would acquire similar values to our present calculation and also as reported in the IAEA (2009).

After comparisons most promising reactions leading to ^{124}I production seems to be $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$, and $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$ reactions. However, $^{125}\text{Te}(p,2n)^{124}\text{I}$ reaction has disadvantages such as high incident proton energy requirements and impurity of yield nuclei. Additionally, $^{123}\text{Te}(d,n)^{124}\text{I}$ reaction has a big disadvantage on material cost and with a low cross section value around 8-12 MeV peak little over 100 mb.

References

- Balatoni J. FR, Blasberg R., Tjuvajev J., Larson S., (1999). Production and Quality Assurance of Cyclotron Produced Iodine-124 from Enriched Tellurium Targets. In: Duggan JLaM, I. L., editor. CP 475 - Applications of Accelerators in Research and Industry: The American Institute of Physics; p. 984-6.
- Bastian T., Coenen H.H., Qaim S.M., (2001). Excitation functions of deuteron induced reactions on ^{123}Te : Relevance to the production of ^{123}I and ^{124}I at low and medium sized cyclotrons. Applied Radiation and Isotopes. 55, 303-308.
- Beyer G.J., Damm C., Odrich H., Pimentel G., (1981). Production of I-123 at the Rossendorf U-120 Cyclotron. Radiochemical and Radioanalytical Letters. 1981;47:151-5.
- Braghirolli A.M.S., Waissmann W., da Silva J.B., dos Santos G.R., (2014). Production of Iodine-124 And Its Applications In Nuclear Medicine. Applied Radiation and isotopes Volume 90, pp. 138–148.
- Clem R.G., Lambrecht R.M., (1991). Enriched Te-124 Targets For Production of I-123 and I-124. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section a-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. 303:115-118.
- EXFOR, <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm> (15 January 2020).
- Firouzbakht M.L., Schlyer D.J., Finn R.D., Laguzzi G., Wolf AP., (1993). Iodine-124 production: excitation function for the $^{124}\text{Te}(d,2n)^{124}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(d,3n)^{123}\text{I}$ reactions from 7 to 24 MeV. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms. 79, 909-910.
- Glaser M., Brown D.J., Law M.P., Iozzo P., Waters S.L., Poole K., et al., (2001). Preparation of no-carrier-added I-124 A(14)-iodoinsulin as a radiotracer for positron emission tomography. Journal of Labelled Compounds & Radiopharmaceuticals, 44:465-80.
- Goriely S., (1998). Radiative neutron captures by neutron-rich nuclei and the r-process nucleosynthesis. *Phys.Lett.B*, 436, 10-18.
- Gürol A., Sarpün İ.H., Yalım H.A., (2020). ^{57}Co Radyoizotopu Üretimi için Bazı Alfa Girişli Reaksiyonların Uyarılma Fonksiyonlarının İncelenmesi. Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology B- Theoretical Sciences, 8:1, 88-98.
- Herzog H., Tellmann L., Qaim S.M., Spellerberg S., Schmid A., Coenen H.H., (2002). PET quantitation and imaging of the non-pure positronemitting iodine isotope I-124. Applied Radiation and Isotopes. 56, 673-679.
- Hohn A., Nortier F.M., Scholten B., van der Walt T.N., Coenen H.H., Qaim S.M., (2001). Excitation functions of $^{125}\text{Te}(p, xn)$ -reactions from their respective thresholds up to 100 MeV with special reference to the production of ^{124}I . Applied Radiation and Isotopes. 55:2, 149-156.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), (2009). Cyclotron Produced Radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods; Technical Reports Series No. 468; VIENNA.
- Kondo K., Lambrecht R.M., Wolf A.P., (1977). Iodine-123 production for radiopharmaceuticals—XX: Excitation functions of the $^{124}\text{Te}(p, 2n)^{123}\text{I}$ and $^{124}\text{Te}(p, n)^{124}\text{I}$ reactions and the effect of target enrichment on radionuclidic purity. The International Journal of Applied Radiation and Isotopes Volume 28, Issue 4, Pages 395–401.
- Koning A. J., Hilaire S., Duijvestijn., 2007. Proceedings of The International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, (Eds.:Bersillon O., Gunging F., Bauge E., Jacqmin R., Leray S.) EDP Sciences, Nice, pp. 211-214.
- Michael H, Rosezin H, Apelt H, Blessing G, Knieper J, Qaim SM., (1981). Some Technical Improvements in the Production of ^{123}I via the $^{124}\text{Te}(p,2n)^{123}\text{I}$ Reaction at a Compact Cyclotron. Int. J. Appl. Radiat. Isot. 32, 581.
- Pentlow K.S., Graham M.C., Lambrecht R.M., Daghigian F., Bacharach S.L., Bendriem B., et al., (1996). Quantitative imaging of iodine-124 with PET. Journal of Nuclear Medicine. 37, 1557-1562.
- Sadeghi M., Enferadi M., Tenreiro C., (2010). Nuclear Model Calculations on the Production of Auger Emitter ^{165}Er for Targeted Radionuclide Therapy. J. Mod Physics, Volume 1, pp. 217–225.
- Sadeghi M., Dastan M., Ensaf M.R., Tehrani A.A., Tenreiro C., Avila M., (2008). Thick tellurium electrodeposition on nickel-coated copper substrate for I-124 production. Applied Radiation and Isotopes, 66:1281-6. doi:10.1016/j.apradiso.2008.02.082.
- Scholten B., Kovács Z., Tárkányi F., Qaim S.M., (1995). Excitation functions of $^{124}\text{Te}(p, xn)^{123,124}\text{I}$ reactions from 6 to 31 MeV with special reference to the production of ^{124}I at a small cyclotron. Applied Radiation and Isotopes. 46, 255-259.
- Scholten B., Takács S., Kovács Z., Tárkányi F., Qaim S.M., (1997). Excitation functions of deuteron induced reactions on ^{123}Te : Relevance to the production of ^{123}I and ^{124}I at low and medium sized cyclotrons. Applied Radiation and isotopes, Volume 48, Issue 2, pp. 267–271.
- Sheh, Y., Kozirowski, J., Balatoni, J., Lom, C., Dahl, J. R., and Finn, R. D., (2000). Low energy cyclotron production and chemical separation of “no carrier added” iodine-124 from a reusable, enriched tellurium-124 dioxide/aluminum oxide solid solution target. Radiochim. Acta 88, 169-173.
- Watson I.A., Waters S.L., Silvestre Dj., (1973). Excitation Functions for Reactions Producing I-121, I-123 and I-124 From Irradiation of Natural Antimony with He-3 and He-4 Particles with Energies up to 30-MeV. Journal of Inorganic & Nuclear Chemistry. 35, 3047-3053.



Determination of Effects Commercial Antioxidant and Essential Oil Additives on Some Physico-Chemical Properties of Olive Oil

Erman Duman^{1*}, Mehmet Musa Özcan², Sabire Duman³

¹ Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 03200 Afyonkarahisar, Turkey (ORCID: 0000-0003-3405-9572)

² Selcuk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, 42031 Konya, Turkey (ORCID: 0000-0002-7092-5899)

³ Department of Nutrition and Dietetic, Faculty of Health Sciences, Afyonkarahisar Health Sciences University, 03200 Afyonkarahisar-Turkey (ORCID: 0000-0001-9737-4524)

(First received 16 February 2020 and in final form 13 April 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.717615)

ATIF/REFERENCE: Duman, E., Özcan, M. M. & Duman, S. (2020). Determination of Effects Commercial Antioxidant and Essential Oil Additives on Some Physico-Chemical Properties of Olive Oil. *European Journal of Science and Technology*, (18), 964-972.

Abstract

In this study, the effects of several spice essential oil and some constituents on the oxidative stability of olive oil at 0.1% level of essential oils at 60 °C was determined. Free fatty acid values of olive oil with different additives along at first-fourth weeks were changed between 1.61-2.01 %, 1.81-2.17 %, 1.67-2.23 %, 1.79-2.62 % respectively. Peroxide values of olive oil with different additives along at first-fourth weeks were changed between 11.98-15.10 meq O₂/kg, 15.48-19.64 meq O₂/kg, 18.22-27.50 meq O₂/kg, 18.70-39.60 meq O₂/kg respectively. Viscosity values of olive oil with different additives along at first- fourth weeks were changed between 39.90-55.45 m.Pas, 53.35-59.60 m.Pas, 33.10-54.70 m.Pas, 34.00-50.80 m.Pas respectively. The weakest antioxidant effect was determined in sater oil. Thujene exhibited the highest antioxidant effect, followed by eucalyptol, ocimene, myrtle-white, BHA (butylated hydroxyanisole), fennel and savory-sater essential oil respectively. Fatty acid compositions of olive oils had been partly affected from essential oil (0.1%) and some corresponding constituents (0.01%). Total amount of fatty acids changed between 96.86 % to 99.99 %. The most effected acids were linoleic acid, followed oleic and linolenic acids.

Keywords: Essential oil, BHA, antioxidant effect, peroxide value, viscosity, virgin olive oil.

Zeytinyağının Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri Üzerine, Ticari Antioksidan ve Esansiyel Yağ Bileşenlerinin Etkilerinin Belirlenmesi

Öz

Bu çalışmada, 60°C de birkaç baharat esansiyel yağının ve bazı bileşenlerin % 0.1 seviyesinde, zeytinyağının oksidatif stabilitesi üzerindeki antioksidan aktivitesi belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, zeytinyağına farklı ilaveler ile yağın serbest yağ asitliği değerleri, birinci haftadan dördüncü haftaya kadar sırasıyla % 1.61-2.01, % 1.81-2.17, % 1.67-2.23, % 1.79-2.62 arasında değişmiştir. Peroksit sayısı değerleri, birinci haftadan dördüncü haftaya kadar sırasıyla 11.98-15.10 meq O₂/kg, 15.48-19.64 meq O₂/kg, 18.22-27.50 meq O₂/kg, 18.70-39.60 meq O₂/kg arasında değişmiştir. Viskozite değerleri, 39.90-55.45 m.Pas, 53.35-59.60 m.Pas, 33.10-54.70 m.Pas, 34.00-50.80 m.Pas arasında değişmiştir. Araştırmanın ilk haftasında yağın peroksit değerleri 11.98 meq O₂ / kg ile 15.10 meq O₂ / kg (p<0.05) arasında değişmiştir. En zayıf etki, sater yağında belirlenmiştir. Thujene en yüksek antioksidan etkiyi göstermiş olup, ardından okaliptol, ocimene, mersin beyazı, BHA (bütillenmiş hidroksianisol) ve rezene izlemiştir. Zeytinyağlarının yağ asidi bileşimleri, esansansiyel yağlardan (% 0.1) ve buna karşılık gelen bazı bileşenlerden (% 0.01) kısmen etkilenmiştir. Zeytin yağının toplam yağ asidi miktarı % 96.86 ile % 99.99 arasında değişmiştir. En çok etkilenen yağ asitleri linoleik asit, ardından oleik ve linolenik asitler olmuştur.

Anahtar kelimeler: Esansiyel yağ, BHA, antioksidan etki, peroksit değeri, sızma zeytin yağı, viskozite.

* Corresponding Author: Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 03200 Afyonkarahisar, Turkey, ORCID: 0000-0003-3405-9572, eduman@aku.edu.tr

1. Introduction

Olive oil has an important place in vegetable oils with its unique flavor (Erinç ve Kırılan, 2008). As well known, natural olive oil is obtained mechanically by pressing, centrifuging and filtering the olive fruits. In order to prevent oxidative degradation of this natural olive oil, it is necessary to store the oil in acid-inert equipment and at low temperature in such a way that it eliminates or minimizes contact with air and light and metal ions. (Türkan, 2008). Recently, the important of spices and herbs as natural antioxidants in foods is increasing. These effects are caused by antioxidant components in the content of the plant, such as flavonoids, essential oil components, plant phenolics (Nilsson et al., 2005; Tawaha et al., 2007; Salluca et al., 2008; Temitope et al., 2010; Rice-Evans et al., 1996; Özcan and Al-Juhaimi, 2011; Rice-Evans et al., 1997). Bioactive components of spices such as curcumin, zingerone, allicin are good antioxidant sources for lipid peroxidation (Nuutila et al., 2003; Noguchi et al., 1994). The use of synthetic antioxidants butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT) and tert-butyl hydroquinone (TBHQ) due to their potential health risks and toxicity is increasingly restricted (Moure et al., 2001). As far as our literature survey could as certain, scarce information was available on the antioxidant effect of both spice essential oils and some corresponding constituents on virgin olive oil. The objective of present study was to investigate the antioxidant effects of the essential oils and some their corresponding compounds on olive oil.

2. Material and Method

2.1. Material

The antioxidant effects were determined for all the spices and herbs (fennel bitter; myrtle-white, rosemary, oregano, laurel, basil, myrtle-black, mint, sage, savory sater in Table 1.) and five constituents (carvacrol, eucalyptol, ocimene, thujene and thymol) using peroxidation assay in model system. Five constituents (carvacrol, eucalyptol, ocimene, thujene and thymol) were provided 90-98% purities from by Sigma-Aldrich Corporation company (Merck). The olive oil was obtained from the North-West region of Saudi Arabia that commercial virgin olive oil. This oil did not contain food additive. BHA was used as a standard antioxidant for a comparison. The storage condition was carried out in a dark glass bottle in a cool and moisture-free environment for 4 weeks.

2.2. Method

2.2.1. Extraction of the essential oil

After dried and ground spices (about 100 g for each) were subjected to hydrodistillation for 3 h at 60°C added average water 1:2 ratio using a Clevenger-type apparatus, the oils were dried over anhydrous sodium sulfate.

2.2.2. Physico-chemical analysis

All analyses (viscosity, free fatty acidity, peroxide number) were applied according to the AOCS (1990). The 0.01% BHA, 0.1% essential oil and 0.01% constituents were added directly into olive oil, and a solution was obtained by manual homogenisation (15 °C) for about 5 minutes. A control sample was prepared without addition of any antioxidant.

2.2.3. Determination of fatty acids

The fatty acid methyl esters were identified by comparing the retention time of the samples and appropriate fatty acids methyl esters standards Hışıl (1988). About 20 mg of sodium hydrogen sulphate (monohydrate, extra pure; Merck, Darmstadt, Germany) was added in samples and after centrifugation at 4500 rpm for 10 min, the top n-heptane phase was injected in a Gas Chromatography (Shimadzu GC-2010) equipped with a flame ionising detector (FID). The silica capillary column (RTX-2330, 100 m x 0.25 mm i.d.; film thickness 0.20 micrometer).

Working condition of GC, as follows;

Temperature

Column : 180°C

Enjector : 200°C

Dedector : 200°C

Flow

Carrier gas (N₂) : 30 ml/min.

Combustible gas (H₂) : 28 ml/min.

Dry air: 220 ml/min.

Printer: Chromatopac CR 6A (Shimadzu)

Enjection volume: 1µl

2.2.4. Statistical Analyses

A complete randomized split plot block design was used, and analysis of variance (ANOVA) was performed by using JMP version 9.0 (SAS Inst. Inc., Cary, N.C.U.S.A). All analyses were carried out triplicate and the results are mean±standard deviation (MSTAT C) of independent spice and constituents (Püskülcü and İkiz, 1989).

Table 1. Plants used in experiment

Used plants	Name	Family	Used parts
<i>Foeniculum vulgare</i> L. ssp <i>piperitum</i>	Bitter fennel	Apiaceae	Fruit
<i>Myrtus communis</i> L. (with white fruit)	Myrtl	Myrtaceae	Leaves
<i>Myrtus communis</i> L.(with black fruit)	Myrtl	Myrtaceae	Leaves
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Rosemary	Lamiaceae	Leaves +Flowers
<i>Origanum minutiflorum</i> L.	Oregano	Lamiaceae	Leaves +Flowers
<i>Laurus nobilis</i> L.	Laurel	Lauraceae	Leaves +Flowers
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Basil	Lamiaceae	Leaves +Flowers
<i>Mentha spicata</i> L.	Mint	Lamiaceae	Leaves +Flowers
<i>Salvia fruticosa</i> L.	Sage	Lamiaceae	Leaves +Flowers
<i>Satureja hortensis</i> L.	Savory-sater	Lamiaceae	Leaves +Flowers

3. Results and Discussion

The effects on some physico-chemical properties (free fatty acidity, peroxide number, viscosity) of olive oil of some spice essential oils and corresponding constituents during storage are given in Table 2a and 2b.

According to our results, it was observed an important difference of the free fatty acid values of olive oil containing several spice essential oils and some corresponding constituents ($p < 0.05$) (Table 2a and 2b). While the free fatty acidity of samples at the first week was found between 1.61% (sage) to 2.01% (fennel and ocimene), at the second week, the free fatty acid values of olive samples were determined between 1.81% (thymol) to 2.37% (laurel). These values ranged from 1.67% (myrtle-white) to 2.23% (thujene) at the third week of experiment (Table 2b). At the last week, the free fatty acid values of olive oil samples containing essential oil and corresponding constituents were found between 1.79% (basil and thymol) to 2.62% (myrtle-black). As a result, the free fatty acidity of olive oil was not effected from essential oil and corresponding constituents. But, the free fatty acid values of the most of essential oils and constituents were found partly lower compared to control group.

Table 2.a. Changes at the peroxide values, free fatty acid and viscosity values of treated olive oil

Additives	1th Week			2th Week		
	Peroxide value (meq O ₂ /Kg)	Free Fatty Acidity (oleic %)	Viscosity (m.Pas)	Peroxide value (meq O ₂ /Kg)	Free Fatty Acidity (oleic %)	Viscosity (m.Pas)
Bitter fennel	12.95±1.17*d	2.01±0.21a	47.05±1.38ef	19.64±0.78a	1.86±0.11b	59.25±1.67b
Myrtl (white)	12.75±0.95d**	1.68±0.29e	39.90±0.98	15.80±0.76e	2.17±0.16a	58.25±1.43bc
BHA	12.91±0.78d	1.78±0.16d	54.45±1.51b	15.48±0.49e	1.83±0.21b	59.25±1.69b
Rosemary	13.79±1.21c	1.79±0.46d	51.60±1.67c	15.70±0.67e	1.83±0.13b	56.00±1.82cd
Carvacrol	14.78±1.33b	1.79±0.32d	45.25±1.19e	18.08±0.91b	1.98±0.15ab	53.35±1.71ef
Oregano	13.17±0.87c	1.82±0.21c	42.60±1.39f	18.53±0.84b	1.91±0.17ab	54.50±1.49e
Laurel	12.88±1.06d	1.78±0.18d	49.10±1.71d	17.09±0.82c	2.37±10.28a	58.90±1.56bc
Eucalyptol	12.12±1.15d	1.73±0.21d	46.20±1.65ef	16.45±0.38d	2.19±0.18a	58.15±1.67bc
Basil	13.40±1.29c	1.89±0.29c	55.45±1.52a	18.39±0.82b	2.12±0.16a	58.22±1.63bc
Thymol	14.11±1.19b	1.73±0.19d	49.10±0.98d	16.41±0.71d	1.81±0.16b	56.85±1.52cd
Myrtle (black)	14.51±1.17b	1.77±0.13d	53.80±1.29bc	15.93±0.81e	2.10±0.34a	58.95±1.59bc
Mint	14.83±1.36b	1.98±0.17ab	53.50±1.78bc	16.75±0.92d	2.07±0.29a	56.25±1.48cd
Ocimene	12.22±1.52d	2.01±0.28a	42.65±1.12f	16.42±1.01d	1.82±0.17b	59.00±1.62b
Sage	13.33±1.28c	1.61±0.15e	43.50±1.21f	16.23±1.09d	2.09±0.38a	55.85±1.39d
Savory sater	15.10±1.34a	1.84±0.17c	51.10±1.42c	16.33±0.96d	2.14±0.32a	57.50±1.53c
Thujene	11.98±0.79e	1.90±0.21ab	53.90±1.36bc	15.65±0.99e	2.10±0.39a	59.60±1.78b
Control	13.40±1.72c	1.67±0.11e	54.35±1.87b	15.46±0.78e	2.27±1.39a	62.00±1.78a

*mean±standard deviation (n:3); **Values within each column followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$)

Peroxide values of oil at the first week of experiment ranged from 11.98 to 15.10 meq O₂/kg. The effects of fennel, myrtl (white), BHA, oregano, laurel, eucalyptol, ocimene, sage and thujene were found partly higher compared to control group without food additive. The weakest effect was established in savory oil. Thujene exhibited the highest antioxidant effect, followed by eucalyptol, ocimene, myrtle-white, BHA and fennel. At the second week, it was observed an increase at the peroxide values. According to control group, both essential oils and their some constituents particularly stimulated peroxide values. The peroxide values of samples were determined between 15.46 to 19.64 meq O₂/kg. The highest peroxide value was recorded on olive oil with fennel essential oil. While this oil inhibited oxidation, it stimulated at the rate of about 49% at the second week. In addition, the effects of carvacrol, oregano and basil were weak on the stability of olive oil in 60°C ($p < 0.05$). The peroxide values of myrtle-white, BHA, myrtle-black and thujene were found partly similar compared to control group. At the 3rd week of experiment, the peroxide values of samples increased when compared with results of the first and second week. The highest peroxide value (27.5 meq O₂/kg) was established in olive oil containing carvacrol, followed by laurel (23.88 meq O₂/kg), myrtle-black (23.76 meq O₂/kg) and sage (21.57 meq O₂/kg) compared to control group (19.42 meq O₂/kg) and BHA (19.32 meq O₂/kg). The highest increase of the peroxide values of samples (except for myrtl-white) was observed at the 4rd

week of experiment. At the 4th week, peroxide values were determined between 18.70 to 39.60 meq O₂/kg. According to control group, the peroxide values of myrtle-white, BHA, eucalyptol and basil were found particularly low. In addition, peroxide value of fennel oil was found similar compared to control. Generally, the effects of both spices and corresponding constituents on oxidation of olive oil kept at 60 °C were found positive compared to control and BHA. At the same time, the most of constituents had more effects on the stability of olive oil compared to essential oils. Such as rosemary and sage oils are known antioxidants and find many applications in food preparations. Naturally occurring compounds in rosemary extracts have been reported to exhibit antioxidant properties greater than BHA and equal BHT (Wu et al., 1982; Ho et al., 1983, Özcan 1999). These differences may be probably due to phenolic compound structure of spice essential oils. In addition, it was observed statistically significant differences among peroxide value and viscosity values of olive oil treated with several spice and constituents compared to control group during storage periods ($p < 0.05$). It was observed a linear correlation between phenolic content and antioxidant activity in studies made by several researchers (Velioglu et al., 1998; Gheldof and Engeseth., 2002; Oktay et al., 2003).

Table 2.b. Changes at the peroxide values, free fatty acid and viscosity values of treated olive oil

Additives	3th Week			4th Week		
	Peroxide value (meq O ₂ /kg)	Free Fatty Acidity (oleic %)	Viscosity (m.Pas)	Peroxide value (meq O ₂ /kg)	Free Fatty Acidity (oleic %)	Viscosity (m.Pas)
Bitter fennel	21.27±0.59b	1.96±0.19b	51.25±1.21d	26.73±0.45e	1.87±0.13	45.40±1.42bc
Myrtle (white)	19.61±0.32d	1.67±0.14d	52.95±1.17c	18.70±0.42h	1.94±0.15	44.60±0.98bc
BHA	19.32±0.59d	1.83±0.13c	52.45±1.27c	23.89±0.51g	1.88±0.21	43.10±1.21c
Rosemary	21.26±0.89b	1.79±0.29cd	51.00±1.29d	29.54±0.57cd	1.95±0.23	50.80±1.45a
Carvacrol	27.50±0.38a	1.90±0.21b	33.10±0.57h	39.60±0.28a	1.89±0.19	25.50±0.76g
Oregano	21.80±0.49b	1.95±0.27b	45.40±0.98f	33.90±0.32b	2.17±0.27	34.00±1.28f
Laurel	23.88±0.63b	1.73±0.18cd	47.20±0.82e	28.99±0.2d	1.93±0.18	42.70±1.53c
Eucalyptol	20.00±0.87b	2.13±0.19a	50.75±1.12de	25.22±0.19ef	1.86±0.19	41.60±1.57cd
Basil	18.22±0.58e	1.83±0.13c	53.22±1.37b	24.41±0.22ef	1.79±0.21	43.22±1.46c
Thymol	20.87±0.87c	1.80±0.23c	43.15±1.12g	29.13±0.43cd	1.79±0.41	35.20±1.27f
Myrtle (black)	23.76±0.78b	1.89±0.37c	47.95±1.21e	32.20±0.18bc	2.62±0.37	41.00±1.49d
Mint	20.00±0.89c	1.76±0.25cd	50.10±0.97de	27.85±0.27d	2.00±0.19	47.20±1.63b
Ocimene	19.90±0.67d	1.69±0.21d	54.70±1.11a	28.57±0.16d	1.87±0.49	46.00±1.34b
Sage	21.57±0.78b	1.69±0.22d	51.95±1.38d	30.70±0.45c	1.97±0.41	46.60±1.52b
Savory sater	21.27±0.94b	1.90±0.28b	42.05±1.27g	29.00±0.52cd	1.99±0.43	46.30±1.45b
Thujene	19.80±0.76d	2.23±0.38a	47.55±1.39e	30.71±0.46c	2.07±0.39	41.00±1.59e
Control	19.42±0.76d	1.94±0.16b	54.15±1.39a	26.15±0.32e	1.87±0.31	40.60±1.27ef

*mean±standard deviation (n:3); **Values within each column followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$)

Generally, the viscosity values of olive oil contained essential oil and their constituents were found low when compared with results of control group up to 3rd week of experiment. But, at the 4th week (Table 2b), the viscosity values of samples partly decreased together with control group. While the viscosity values of olive oil samples changed between 39.90 m.Pas (myrtle-white) to 55.45 m.Pas (basil), at the 3rd week, these values varied between 33.10 m.Pas (carvacrol) to 54.70 m.Pas (ocimene). But, at the 4th week of experiment, the viscosity values were measured between 25.50 m.Pas (carvacrol) to 50.80 m.Pas (rosemary) ($p < 0.05$). The viscosity values of carvacrol, oregano and thymol were found lower compared to control (40.60 m.Pas). Generally, the viscosity values of samples had probably changed depending on temperature, polymerization of oil and additives added into olive oil.

Table 3.a. The effect of some essential oil and constituents on fatty acid composition of olive oil (%)

Week	Additives	Fatty acid composition					
		Palmitic	Oleic	Linoleic	Linolenic	Arachidic	Total
1	Bitter fennel	7.80±0.19*c	75.77±10.01a	15.16±0.23c	1.25±0.06	-***	99.98
	Myrtl (white)	8.81±0.21b**	74.57±0.11b	13.51±0.34e	1.29±0.04c	0.66±0.03f	98.84
	BHA	7.90±0.23c	75.15±0.98a	14.87±0.26d	1.35±0.11a	0.70±0.07b	99.97
	Rosemary	9.10±0.32a	75.65±0.91a	13.93±0.37e	1.30±0.07b	-	99.98
	Carvacrol	8.50±0.38b	75.22±0.89a	13.74±0.21e	1.22±0.21h	0.69±0.06c	99.37
	Oregano	7.56±0.29c	75.67±0.71a	14.83±0.58d	1.25±0.17g	0.67±0.03e	99.98
	Laurel	9.00±0.27a	74.99±0.68b	12.85±0.41f	1.28±0.14d	0.68±0.05d	98.80
	Eucaliptol	7.70±0.21c	75.39±0.87a	14.76±0.53d	1.30±0.11b	0.70±0.11b	99.85
	Basil	6.82±0.42d	75.80±0.99a	15.35±0.25c	1.20±0.09h	0.70±0.13b	99.87
	Thymol	6.87±0.51d	75.03±0.78a	14.43±0.34d	1.22±0.09h	0.18±0.03i	97.73
	Myrtle (black)	9.70±0.32a	75.34±0.77a	12.97±0.19f	1.26±0.09fg	0.69±0.07c	99.96
	Mint	6.70±0.28d	75.40±0.71a	16.37±0.23b	1.28±0.06d	0.22±0.03h	99.97
	Ocimene	7.80±0.19c	74.77±0.69b	14.61±0.21d	1.26±0.11fg	0.67±0.07e	99.11
	Sage	9.00±0.37a	75.52±0.67a	13.46±0.27e	1.29±0.09c	0.71±0.11a	99.98
	Savory sater	8.80±0.28b	74.97±0.56b	14.05±0.31d	1.27±0.17f	0.28±0.03g	99.37
	Thujene	5.79±0.37e	74.09±0.96b	17.09±0.23a	1.28±0.19d	-	98.25
Control	7.60±0.56c	74.49±1.03b	15.04±0.16c	1.31±0.7ab	0.64±0.09	99.08	

*mean±standard deviation (n:3); **Values within each column followed by different letters are significantly different (p <0.05);

***nonidentified

The fatty acid composition of olive oil containing several essential oils and some their constituents are presented in Tables 3a, 3b, 3c and 3d. During experiment, palmitic acid values of samples were determined between 5.70% (mint at 4th week) to 9.21% (myrtle-black) at the 3th week. While palmitic acid values of olive oils at the first week of experiment ranged from 5.79% (thujene) to 9.70% (myrtle-white), these values changed between 6.01% (thujene) to 9.20% (sage) at the second week. In addition, while palmitic acid values were found between 6.49% (basil) to 9.20% (sage) at the 3th week, these values were established between 5.70% (mint) to 9.0% (myrtle-black and savory).

Results exhibited partly differences according to control group. It was not observed an important difference in oleic acid contents of olive oil samples contained essential oils and their constituents. The oleic acid contents of samples were found between 71.78% (savory at the first week) to 77.15% (mint at the last week).

Table 3.b. The effect of some essential oil and constituents on fatty acid composition of olive oil (%)

Week	Additives	Fatty acid composition					
		Palmitic	Oleic	Linoleic	Linolenic	Arachidic	Total
2	Bitter fennel	7.60±0.31c	74.21±0.73b	14.32±0.37c	1.30±0.31c	0.78±0.16c	98.21
	Myrtl (white)	7.81±0.29c	73.89±0.71c	14.52±0.39c	1.18±0.13g	0.86±0.07a	98.26
	BHA	7.34±0.27c	74.65±0.86b	15.36±0.41b	1.34±0.11b	0.38±0.03j	99.07
	Rosemary	8.81±0.25b	72.82±0.95d	13.47±0.38d	1.23±0.08e	0.68±0.06e	97.01
	Carvacrol	7.59±0.37c	74.62±0.83b	14.55±0.56c	1.20±0.07e	0.63±0.04g	98.59
	Oregano	7.21±0.41c	74.25±0.78b	15.26±0.47b	1.17±0.06g	0.78±0.11c	97.97
	Laurel	8.90±0.42b	75.42±0.72a	14.00±0.43c	1.27±0.05d	0.36±0.02j	99.95
	Eucaliptol	6.78±0.39d	75.38±0.88a	16.02±0.51a	1.28±0.08cd	0.52±0.06i	99.98
	Basil	7.42±0.33c	75.66±0.86a	13.56±0.21d	1.41±0.11a	0.60±0.04h	98.65
	Control	7.26±0.37c	75.26±0.91a	15.50±0.29b	1.26±0.09d	0.71±0.07d	99.99
	Myrtle (black)	9.21±0.49a	73.96±0.94c	13.31±0.18d	1.29±0.16cd	0.49±0.03i	98.26
	Mint	6.81±0.35d	75.25±0.85a	15.52±0.38b	1.23±0.17e	0.55±0.03i	99.36
	Ocimene	7.90±0.41c	75.78±0.93a	14.06±0.32c	1.26±0.31d	0.65±0.06f	99.61
	Sage	9.20±0.53a	75.81±0.69a	12.61±0.37e	1.22±0.21e	0.72±0.09d	99.56
	Savory sater	9.18±0.57a	74.93±0.78b	13.05±0.17d	1.19±0.05f	0.85±0.09ab	98.96
	Thujene	6.01±0.37d	75.53±0.77a	16.51±0.14a	1.28±0.07cd	0.65±0.03f	99.98
Control	7.60±0.56c	74.49±1.03b	15.04±0.16c	1.31±0.7ab	0.64±0.09	99.08	

*mean±standard deviation (n:3); **Values within each column followed by different letters are significantly different (p <0.05);

***nonidentified

The oleic acid values of control group ranged from 74.49% to 75.36%. Linoleic acid contents of treated olive oils ranged from 10.75% (myrtle-black at the last week) to 17.09% (thujene at the first week). Linoleic acid values of olive oils with carvacrol, ocimene and thymol were found lower compared to control group during experiments.

Linolenic and arachidic acid contents of treated olive oils were identified under 1.5% level. Total amount of fatty acids changed between 96.86% to 99.99%. During storage, it was observed significant differences among palmitic, oleic and linoleic acid contents of olive oil compared to control group ($p < 0.05$). As a result, fatty acid compositions of olive oils had been partly affected from essential oil (0.1%) and some corresponding constituents (0.01%).

Table 3.c. The effect of some essential oil and constituents on fatty acid composition of olive oil (%)

Week	Additives	Fatty acid composition					Total
		Palmitic	Oleic	Linoleic	Linolenic	Arachidic	
3	Bitter fennel	8.60±0.42b	75.98±0.84a	12.77±0.56d	1.17±0.06f	0.71±0.02d	99.23
	Myrtl (white)	6.81±0.38d	74.12±0.93b	14.29±0.42b	1.30±0.04c	0.34±0.03j	96.86
	BHA	7.80±0.39c	75.45±0.87a	14.20±0.37b	1.24±0.06d	0.67±0.06f	99.36
	Rosemary	8.80±0.81b	74.45±0.81b	12.76±0.32d	1.09±0.11g	0.69±0.09e	97.79
	Carvacrol	7.60±0.69c	74.88±0.83b	13.79±0.25c	1.05±0.07g	0.51±0.07i	97.76
	Oregano	8.01±0.71b	73.90±0.67c	14.05±0.27b	1.25±0.09d	0.92±0.09a	98.13
	Laurel	9.00±0.59a	75.12±0.94a	13.18±0.37c	1.09±0.03g	0.47±0.03ij	98.86
	Eucaliptol	7.10±0.42c	75.53±0.86a	15.22±0.33a	1.20±0.11d	0.60±0.07i	99.65
	Basil	6.49±0.47d	74.90±0.82b	15.71±0.41a	1.60±0.16ab	0.38±0.03j	99.08
	Thymol	7.43±0.56c	74.73±0.69b	14.45±0.31b	1.13±0.09f	0.61±0.07i	98.17
	Myrtle (black)	9.10±0.68a	73.90±0.85c	12.25±0.23d	2.01±0.26a	0.73±0.07c	97.99
	Mint	6.60±0.71d	75.37±0.89a	15.56±0.21a	1.22±0.18d	0.34±0.03j	99.09
	Ocimene	8.31±0.74b	74.69±0.85b	13.73±0.32c	1.32±0.11d	0.67±0.08f	98.72
	Sage	9.20±0.87a	75.49±0.99a	12.89±0.38d	1.19±0.09e	0.64±0.03h	99.33
Savory sater	9.13±0.76a	71.78±0.87d	12.25±0.36d	1.65±0.21b	0.81±0.09b	94.81	
Thujene	6.71±0.59d	75.07±0.82a	15.14±0.27a	1.22±0.18d	0.67±0.05f	98.56	
Control	7.20±0.53c	75.36±0.78a	14.99±0.36b	1.20±0.17d	0.65±0.06g	99.40	

*mean±standard deviation (n:3); **Values within each column followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$); ***nonidentified

The most effected acids were linoleic acid, followed oleic and linolenic acids. Chang et. al., (2013) have been determined the antioxidant activity of fennel seed extracts (FSE) was evaluated by synthetic antioxidant. During 28 days of storage, a compromise was accomplished based on the results assessed by peroxide value, at which the antioxidant activity of FSE was higher than BHA (75 ppm), BHT (75 ppm) and BHA to BHT ratio of 1:1 at the concentration of 150 ppm. Among them, concentration of 150 ppm showed the best antioxidant activity.

Another study was to investigate the effect of rosemary essential oil on the physico-chemical properties of extra-virgin olive oil. Free fatty acid and peroxide values of olive oils stored in different coloured bottles increased partly during storage. After 90 days of storage, free fatty acid values of samples changed between 0.78 and 0.89 mg KOH/g oil.

By the 90th day of storage peroxide values of samples had changed from 32.75 to 79.46 meq O₂/kg oil, whereas the peroxide value of the control group on the 90 th day was 94.55 meq O₂/kg. Linoleic acid (40.95-43.92%), oleic acid (33.04-34.99%) and palmitic acid (12.38-13.58%) were the major fatty acids of olive oils (Juhaimi et.al., 2015).

Table 3.d. The effect of some essential oil and constituents on fatty acid composition of olive oil (%)

Week	Additives	Fatty acid composition					
		Palmitic	Oleic	Linoleic	Linolenic	Arachidic	Total
4	Bitter fennel	8.43±0.81b	76.69±0.82b	12.83±0.18d	1.13±0.06bc	0.70±0.09d	99.78
	Myrtl (white)	7.11±0.97c	76.32±0.68b	14.43±0.31b	1.11±0.07c	0.69±0.11de	99.66
	BHA	7.20±0.85c	75.16±0.69c	14.23±0.21b	1.14±0.07b	0.68±0.16e	98.41
	Rosemary	7.90±0.71c	76.22±0.83b	13.10±0.18c	1.23±0.03a	0.59±0.05g	99.04
	Carvacrol	7.80±0.77c	76.56±0.96b	12.57±0.16d	1.01±0.06d	0.70±0.06d	98.60
	Oregano	8.00±0.89b	75.93±0.84c	12.60±0.28d	1.03±0.07d	0.79±0.09ab	98.35
	Laurel	7.90±0.81c	76.60±0.74b	13.51±0.26c	1.09±0.03d	0.69±0.03de	99.79
	Eucalyptol	7.00±0.88c	75.88±0.71c	14.58±0.31b	1.11±0.07c	0.66±0.03f	99.23
	Basil	6.65±0.54d	76.08±0.77b	15.36±0.39a	0.92±0.03	0.92±0.11a	99.93
	Thymol	7.43±0.74c	75.23±0.83c	13.07±0.31c	1.23±0.09a	0.68±0.06e	97.64
	Myrtle (black)	9.00±0.71a	76.74±0.92b	10.75±0.41e	1.12±0.08c	0.71±0.9c	98.30
	Mint	5.70±0.48e	77.15±0.84a	15.13±0.48a	1.10±0.05c	0.72±0.13b	99.80
	Ocimene	8.20±0.98b	76.98±0.77b	12.78±0.36d	1.13±0.09bc	0.71±0.09c	99.80
	Sage	8.00±0.76b	75.98±0.85c	13.23±0.31c	1.09±0.07d	0.69±0.06e	98.99
	Savory- sater	9.00±0.99a	76.11±0.79b	12.15±0.28d	1.10±0.06c	0.72±0.07b	99.08
	Thujene	5.80±0.67e	76.16±0.76b	15.45±0.23a	1.14±0.11bc	0.70±0.11d	99.25
Control	6.90±0.51d	74.96±0.81d	14.06±0.37b	1.13±0.09bc	0.70±0.13d	97.75	

*mean±standard deviation (n:3); **Values within each column followed by different letters are significantly different (p<0.05);

***nonidentified

Baiano et.al., (2010) showed that addition of some essential oils reduced lipid oxidation and showed an antioxidant effect when compared with the control group olive oil.

4. Conclusions and Recommendations

As a result, some spices and their some corresponding constituents have strong antioxidant effects (thujene, eucalyptol, ocimene, myrtle-white and BHA (butylated hydroxyanisole). These plant materials are expected to be a valuable food constituents for promoting good health in daily live. It can be concluded that essential oils extracted from these plants can supply a good opportunity as an antioxidant agent in food industry, if any sensory effects are acceptable. After these screening experiments, further works will be performed to describe the antioxidant in more details.

References

- AOCS (1990). Official methods and recommended practices (Vol.1, 4th ed.). American Oil Chemists' Society, Champaign, IL.
- Baiano A., G., Gambacorta G., La Notte E., (2010). Aromatization of Olive Oil, pp: 1-29 ISBN: 978-81-7895-462-2
- Chang, S., Bassiri, A., Jalali, H. (2013). Evaluation of Antioxidant Activity of Fennel (*Foeniculum vulgare*) Seed Extract on Oxidative Stability of Olive Oil. *Journal of Chemical Health Risks*, 3(2), -. doi: 10.22034/jchr.2018.544031.
- Erinç, H., Kıralan, M. (2008). Zeytinyağı Bileşiminin Oksidatif Stabiliteye Etkisi. I. Ulusal Zeytin Öğrenci Kongresi. 168-173. Edremit-Balikesir. (In Turkish)
- Gheldof N. and Engeseth N. J. (2002). Antioxidant capacity of honeys from various floral sources based on the determination of oxygen radical absorbance capacity and inhibition of in vitro lipoprotein oxidation in human serum samples. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50 (10), pp 3050–3055.
- Juhaimi F. Al, Uslu N., Özcan M.M., Ghafoor K., Babiker E.E. (2015). The effect of rosemary essential oil on physico-chemical properties of extra-virgin olive oil stored in colourful bottles, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*: 8 (3)- Pages: 327 – 331, <https://doi.org/10.3920/QAS2015.0663>.
- Hışıl, Y. (1988). Instrumental Analysis Techniques (Eng Fac Publ 55). Ege University, Bornova -İzmir.
- Ho, C.-T, Houlihan, C. M., Chang, S. S. (1983). Structural determination of two antioxidants isolated from rosemary. Abstract of papers presented at the Amer. Chem. Soc Meeting, Washington, DC.
- Keçeli, T. (2008). Zeytinyağının Depolanması ve Ambalajlanmasının Yağ Kalitesine Etkileri, Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum. (In Turkish)
- Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D., Dominguez, J.M., Sineiro, J., Dominguez, H., Nunez, M.J., Parajo, J.C. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chem*, 72, 145– 171.
- Nilsson, J., Pillai, D., Önnings, G., Persson, C., Nilsson, A., Akesson, B. (2005). Comparison of the ABTS and FRAP methods to assess the total antioxidant capacity in extracts of fruit and vegetables. *Mol. Nutr. Food Res.* 49, 239-246.
- Noguchi N, Komuro E, Niki E, Willson RL. (1994). Action of curcumin as an antioxidant against lipid peroxidation. *Journal of Japan Oil Chemist Society* 43, 1045– 1051.
- Nuutila A.M., Puupponen-Pimiä R., Aarni M., Oksman-Caldentey K.M. (2003). Comparison of antioxidant activity of onion and garlic extracts by inhibition of lipid peroxidation and radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 81: 485–493.
- Oktaş, M., Gülçin, I., Küfrevioğlu, Ö.I. (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *LWT-Food Sci. Technol.* 36, 263–271.
- Özcan, M., Al-Juhaimi, F.Y. (1999). Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extracts on natural olive and sesame oils. *Grasas y Aceites* Vol. 50. Fase. 5, 355-358.
- Özcan, M.M., Al-Juhaimi, F.Y. (2011). Antioxidant and antifungal activity of some aromatic plant extracts. *J. Med. Plants Res.* 5(8), 1361-1366.
- Püskülcü, H., İkiz, F. (1989). Introduction to Statistic. Bilgehan Presss, p. 333, Bornova, Izmir, Turkey.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Rad. Biol. Med.* 20, 933-956.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci*, 2, 152-159.
- Salluca, T.G., Pefiarrieta, J.M., Alvarado, J.A., Bergensthdh, B. (2008). Determination of total phenolic compounds content and antioxidant capacity of Andean tubers and roots (Isano, Oca, Ulluco and Arracacha). *Rev. Bol. De Quim.* 25(1), 58-61.
- Tawaha, K., Alali, F.Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., El-Elimat, T. (2007). Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chem.* 104, 1372-1378.
- Temitope, A.O., Olufemi, A.G., Alaba, F.T. (2010). Effect of heat treatment on antioxidant activity of some spices. *Cont. J. Food Sci. Technol.* 4, 53-59.
- Wu, J.W., Lee, M.-H., Ho, C.-T, Chang, S.S. (1982). Elucidation of the chemical structures of natural antioxidants isolated from rosemary. *J. Am. Oil Chem. Soc*, 59, 339-345.

Veliöğlu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., Oomah, B.D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *J. Agric. Food Chem.* 46, 4113–4117. Make sure that the resources are written in APA format and start from the next page.



Killi Zeminlerin Kireç ile Stabilizasyonunun Deneysel Çalışması ve Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi

Mahmut Durmaz^{1*}

¹Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6060-4258)

(İlk Geliş Tarihi 25 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 13 Nisan 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.709160)

ATIF/REFERENCE: Durmaz, M. (2020). Killi Zeminlerin Kireç ile Stabilizasyonunun Deneysel Çalışması ve Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (18), 973-980.

Öz

Bu çalışmada ilk önce ince daneli zeminin özellikleri tayin edilmiş daha sonra da bu zemine farklı oranlarda kireç ilave edilerek oluşturulan malzemenin özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla ağırlıkça %5, %9 ve %11 oranlarında 3 kireç-zemin karışımı numune hazırlanmıştır. Kireç ilavesinin kil numunelerin, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı üzerine (ϕ , dolaylı olarak taşıma gücü) olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçların doğruluğu SPSS istatistik analiz yazılımı yardımıyla tek yönlü varyans analizi kullanılarak kontrol edilmiştir. Üç eksenli basınç deney (UU) sonuçlarında; %5 kireç katkısı için $c=91.27$ kPa ve $\phi=26,42$ derece, %9 kireç katkısı için $c=65.53$ kPa ve $\phi=29,43$ derece, %11 kireç katkısı için $c=51.73$ kPa ve $\phi=31,81$ derece olarak bulunmuştur. Yapılan deney sonuçları daha önce bu konuda yapılan çalışmaların sonuçlarıyla aynı doğrultudadır. Kireç katkı miktarı arttıkça kohezyon azalmakta, iç sürtünme açısı ise artmaktadır. Yani taşıma gücü artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kireç Stabilizasyonu; Zemin İyileştirilmesi, İnce Dane; Taşıma Gücü, Kil.

Experimental Study of Lime Stabilization of Clay Soils and Statistical Evaluation of The Results

Abstract

In this study, the properties of the fine-grained soil were determined firstly, and then, the properties of the material, which was created by adding lime with various proportions to this soil, were investigated. For this purpose, 3 lime-soil mixture samples were prepared in 5%, 9%, and 11% by weight. The effect of lime addition to clay samples, cohesion (c), and internal friction angle (ϕ , to bearing capacity indirectly) was investigated experimentally. The accuracy of the results was checked by using one-way analysis of variance with the help of SPSS statistical analysis software. It was obtained from the unconsolidated-undrained (UU) triaxial testing that the lime addition for 5%, $c=91.27$ kPa and $\phi=26,42^\circ$; for 9%, $c=65.53$ kPa and $\phi=29,43^\circ$; for 11%, $c=51.73$ kPa and $\phi=31,81^\circ$. The results of the experiments are in line with the results of previous studies. As the amount of lime addition increases, cohesion decreases and the internal friction angle increases. So the bearing capacity increases.

Keywords: Lime Stabilization; Soil Improvement, Fine-Grained; Bearing Capacity; Clay.

1. Giriş

Yapılarda kilin kireç ile stabilizasyonunun kullanımı 5000 yıldan daha eskidir. Tibet'teki Shersi piramitleri kil ve kirecin yoğunlaştırılmış karışımları kullanılarak inşa edilmiştir. Çin ve Hindistan tarihleri boyunca kireç stabilizasyonunu çeşitli şekillerde kullanmıştır. Bununla birlikte, zemin mekaniği laboratuvar testlerinin gelişen tekniklerinin zemin -kireç karışımlarını değerlendirmek için uygulaması 1940'ların sonuna doğru ABD'de gerçekleşmiştir. Killerin kireç ile işleme tabi tutulması 1950'lerde başlamış ve bu teknik hızla popülerlik kazanmıştır. ABD'nin binlerce millik otoyolları ve Dallas Fort Worth gibi başlıca havalimanları kireç stabilizeli killere üzerine inşa edilmiştir. Stabilizasyon; Amerika Stabilizasyon Komitesi tarafından "sağlamlık derecesi" veya malzemenin çeşitli maddeler katılarak düzeltilmesi" olarak tanımlanmaktadır (ARBA, 1971; Manual, 2004). Zemine kireç ve

* Sorumlu Yazar: Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, ORCID:0000-0002-6060-4258 . e-posta: mahmutdurmaz@siirt.edu.tr

çimento karıştırılmasının zemin özelliklerini iyileştirmede etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çok uzun süredir zemin stabilizasyonunda kireç ve çimento kullanılmaktadır. Özellikle karayolları ile hava meydanlarında kireç ve çimento stabilizasyonu başarı ile uygulanmaktadır (Kalava, 1992; Kavak ve ark., 2009).

Zemin stabilizasyonu ile zeminin plastisitesini azaltmak, geçirgenlik seviyesini ve sıkışabilirliğini en uygun hale getirmek ve mukavemetini maksimum seviyeye çıkarmak amaçlanmaktadır. Bu sayede zemin danelerinin arasındaki bağlar güçlendirilmektedir. Kireç katılarak stabilize edilen zemin tabakasının, plastisite indisinde artış veya azalma oluşmaktadır. (Çekil vd 2019).

Zeminlerin kireç ile iyileştirilmesi işleminde kimyasal ve fiziksel olmak üzere iki olay vardır. Kimyasal olaylar; iyon değişimi, çimentolaşma ve karbonatlaşma olarak üç farklı aşamada gerçekleşmektedir. Fiziksel olaylar ise flokülasyon, plastisite indisi ve hacim değişimi, maksimum kuru birim hacim ağırlıkta düşme ve optimum su muhtevasında artma, boşluk basıncı, don ve rutubet, mukavemet ile ilgili özelliklerdir.

Kireç ilave edilmesi ile oluşan puzolonik reaksiyonlar ve çimentolanma nedeni ile zeminin mukavemeti artmaktadır (Akyarlı vd. 2009). Katkı malzemeleri kullanıldığında kimyasal reaksiyonlar zamana bağlı olarak geliştiği için zeminin mukavemeti artacaktır. Sönmemiş kireç, sönmüş kirece göre daha fazla etkili ve daha fazla optimum rutubet yüzdesi verir (Kavak ve ark., 2008).

Yol çalışmaları sırasında, problemler zeminler söz konusu ise dört farklı çözüm önerisi bulunmaktadır. Bunlar;

- 1) Kötü özellikteki zeminin ortamdaki uzaklaştırılması,
- 2) Yapı sisteminin doğal durumdaki zemin özelliklerine göre boyutlandırılması,
- 3) Yapı temelini kötü zeminin aşığındaki sağlam tabakaya oturtulması
- 4) Zemin özelliklerinin istenilen yönde değiştirilmeye çalışılması olarak sıralanabilir

Bir malzemenin kusurlu yanlarını iyileştirmede uygulanacak maliyetin, bir başka maddeyle yer değiştirmesi maliyetinden daha az olması durumunda birçok doğal malzeme, yol inşaatında kullanılabilir duruma getirilmek için stabilize edilmektedir (Aksoy ve İskender, 2004).

Döşeme amaçlı olarak yol tabanlarının kireç ile stabilizasyonu geleneksel inşa yöntemlerine göre maliyet bakımından etkili bir alternatif olarak kabul görmüştür (Demir ve Kılıç, 2010). Kireç stabilizasyonundan faydalanılabilecek birçok mühendislik yapısı mevcuttur (Otoyol, ana ve tali yollar, geçit ve servis yolları, havalimanlarındaki pistler ve apronlar, araba park yerleri, fabrika alanları ve rampa stabilizasyonu, demiryolu rayları, yapısal dolgu).

Zeminlerin birçok önemli mühendislik özellikleri kireç işlemleri ile geliştirilmiştir. Genel olarak, kireç ile işleme tabi tutma ile zeminlerin;

- Mukavemet veya taşıma gücü kapasitesi artar.
- Zeminin sıkıştırılabilirliğini azaltılarak yapıda şişme kabarma durumlarından dolayı oluşan zararlar minimize edilir (Öztürk ve ark., 2015).
- Zeminin geçirimsizliğini azaltarak yer altı sularının akışı ve yer üstü suları tarafından yapılan erozyon azaltılarak, başka yapı ve sıkıştırmalar için sağlam bir platform sağlanır.

Özellikle sönmemiş kireç ilavesi iri taneli zeminlerin geoteknik özellikleri üzerinde aşağıdaki etkilere sahiptir (Lime Stabilisation Manual, 1990):

- Nemin emilmesi, böylece zeminde nem içeriğinde azalmaya yol açılması, Optimum su içeriğinde artış,
- Proktor Optimumdaki yoğunlukta azalma
- Plastik limitinde artış
- Plastiklikte azalma
- Proktor sıkıştırması eğiminde dışa doğru yassılaşıma
- California Dayanma Oranında (CBR) artış
- Bu etkilerin neredeyse hemen gerçekleşmesi

Daha uzun bir süreç içerisinde, puzolonik (çimentolaşma) tepkimeler gerçekleşir ve bu da aşağıdaki zemin özelliklerinin daha da gelişmesi ile sonuçlanır (Eroğlu ve ark., 2005).

- CBR'de daha fazla artış
- Serbest basınç mukavemetinde artış
- Makaslama mukavemetinde artış
- Çekme mukavemetinde artış
- Kabarma ve çekme karşısında gelişmiş sağlamlık

- Donmaya karşı gelişmiş direnç

Kireç ürünleri ile zemin stabilizasyonu, elverişsiz veya marjinal zeminleri geçici veya kalıcı çalışmaların parçalarını oluşturmak için kolaylıkla yerleştirilebilen ve sıkıştırılabilen ve sıkışabilen kullanışlı yapı materyallerine dönüştürecektir (Soğancı ve Yıldız, 2011; Develioğlu, 2017).

Kireç stabilizasyonun çevresel faydaları büyük olabilir. Kireç, büyük miktarlarda elverişsiz materyalin kaldırılmasına ve eşit oranda büyük miktarlarda değişim dolgusunun yerine ithaline gerek bırakmaksızın yapı yerinde zemini stabilize etmektedir. Yol tabakalarının inşası için yığınlar gerek duyulmamakta, bu yüzden de madenden çıkarılan materyallere talep azalmaktadır. Yerel ve ulusal yollardaki trafik yükleri minimize edilmekte ve yerel topluluklarda yapı çalışmalarının etkisi önemli ölçüde indirgenmektedir (Vural, 2019; Akyarlı ve ark., 2009).

Kireç stabilizasyonunda, kireç kil daneleriyle karıştırılarak hızlı bir reaksiyon oluşması sağlanır, bu şekilde plastisitesi çok yüksek olan killeri bile daha gevrek bir zemin haline getirir. Ayrıca kireç stabilizasyonu, yumuşak, dispersif killi zeminleri daha sıkı ve suya karşı dayanıklı bir malzeme haline getirir. Reaksiyonun hızından dolayı yöntem, özellikle yumuşak zeminleri daha dayanıklı hale getirmekte ve suya doymuş siltlerde, hidrasyon için daha çok suya ihtiyaç duyan sönmüş kireç kullanılarak, efektif iyileştirme sağlamaktadır. Kireç stabilizasyonu, tüm killi zeminlerin dayanımını, erozyona karşı direncini ve büzülme ile şişmeye karşı hacimsel stabilitesini artırır (Sarsılmaz, 2017).

Bell ve Tyrer (1989) tarafından yapılan araştırmada zeminin kimyasal ve minerolojik birleşiminin stabilizasyona etki ettiği düşünülmüştür. Üç ana kil mineralinden A, B, C gibi üç değişik numune türü oluşturmuş ve %2, 3,4,6,8 kireç ve çimento karışımları hazırlanıp bunlar üzerinde deneyler yapılmıştır. Kalava (1992), zeminin kireç ve çimento ile stabilizasyonuna ait bir çalışma yapmıştır. Stabilize malzeme üretilmesinde, kireç için ağırlıkça %1, %2, %3, %4, %6, %8, %10, %15; çimento için ağırlıkça %4, %6, %7, %8, %10, %12,5, %15, %20 karışımları hazırlanmıştır. Türköz (2006), çalışmasında sönmüş kireç katkı yüzdeleri (%0, %1, %3 ve %5) hazırlanmış ve yaptığı deneyler sonunda, sönmüş kireç katkısının killerin şişme potansiyelinin kontrolünde başarıyla kullanılabileceği, bu katkının %3 seviyesinden sonra etkili olduğu ve etkinin yüksek enerji seviyesinde nispi olarak daha yüksek görüldüğü belirlemiştir. Dhar ve Hussain (2019), çalışmalarında farklı kireç yüzdelerinin (%3, %5, %7 ve %9) kireç alt zemin toprağının mukavemet ve taşıma kapasitesi iyileştirme yönelik araştırma yapmışlardır. Yapılan literatür taraması sonucunda çalışmamızda kireç oranların %0, %5, %9, %11 seçilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada; TS 1900-1'e göre Proctor deneyi yapılarak numunenin doğal birim hacim ağırlığı (yoğunluk) ve numunenin doğal optimum su içeriği, %5, %9, %11 kireç katkılı killi zemin numunelerinin de ayrıca birim hacim ağırlıkları ve optimum su içerikleri bulunmuştur. TS 1900-2/T1 standardı ile doğal killi zemin, %5, %9, %11 kireç katkılı killi zemin numunelerinin üç eksenli sıkışma deneyi ile (UU) deneyi yapılmıştır. TS 1900-1 Zeminlerin Kıvam (Atterberg) limitleri tayini likit limit (LL), plastik limit (PL), plastisite indeksi (PI) bulunmuştur.

Ayrıca kil, Karayolları Genel Müdürlüğünün Zayıf Zemin Stabilizatörleri Teknik Şartnamesi 2005'göre iyileştirilmesi düşünülen kil sınıfında yer almakta ve arazi koşullarında temin edilerek (TS EN 459-2) uygun kireç katkı malzemesi, Karayolları Genel Müdürlüğünün Kireç Stabilizasyonu Teknik Şartnamesi 2005'e göre katılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında arazi koşullarında temin edilen kil zemin ve kireç katkı malzemesi kullanılarak amaçlanan çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.1. Kil

AASHTO veya Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre A5, A6, A7, A-2-6, A-2-7 veya CH, CL, MH, ML, GC, SC sınıflarına giren, plastisite indeksi 10'dan büyük ($PI > 10$) olan veya Kaliforniya Taşıma Oranı (Yaş CBR %) < 10 veya CBR şişme % si > 3 olan topraklar için stabilizasyon-iyileştirme düşünülmelidir (Zayıf Zemin Stabilizatörleri Teknik Şartnamesi 2005). Bu çalışmada kullanılan kil iyileştirilme düşünülen zemin sınıfında yer almaktadır.

2.2. Su

Toprak-su karışımı için karıştırma işlemini ideal nem koşullarında yapmak, sıkıştırma ve sıkıştırma sonrasında toprak-su-kireç reaksiyonunun devamı için kullanılacak su tatlı, berrak olmalı, içerisinde kirlilik oluşturacak nitelikte (yağ, asit, alkali madde, klorür, sülfat ve organik madde) madde bulunmamalıdır. Sülfat miktarı $SO_3 < 200$ ppm olmalıdır (Kavak vd. 2008).

2.3. Kireç

Stabilizasyon-iyileştirme işleminde kullanılacak kireç özellikleri (TS EN 459-2) Tablo 1'de verilen özelliklere sahip olmalıdır. Bu çalışmada kullanılan kireç Tablo 1'de sunulan özelliklere uygun olarak seçilmiştir.

Tablo 1. Stabilizasyon işleminde kullanılacak kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri

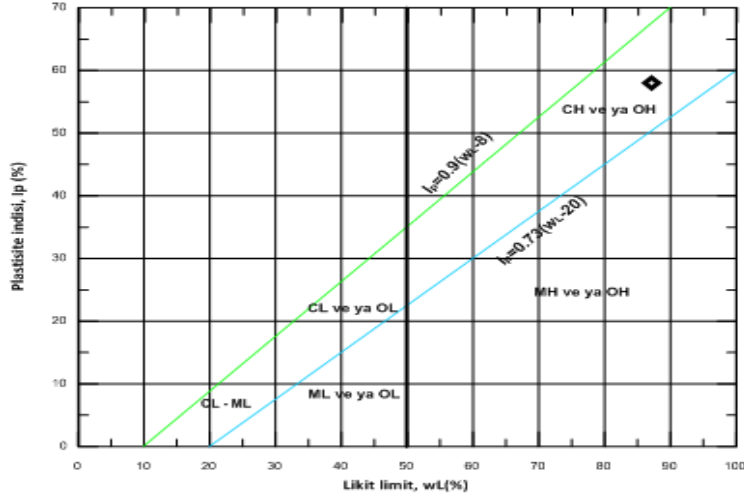
Özellik (TS EN 459-2)	Sönmemiş Kireç	Sönmüş Kireç
CO ₂ (Kızdırma Kaybı)	<7%	<7%
Toplam (CaO+ MgO)	> 80 %	> 80 %
SO ₃	<2%	<2%
MgO	<10%	<10%
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ + SO ₃	<5%	<5%
Parçalar	<2 mm	-
Ağırlıkça elekte kalan %	-	0.09mm <% 7 0.2mm <%2

Kirecin sönmesi esnasında ağırlıkça %30 mertebesinde suyu bünyesine alma özelliği vardır. Bu özellik göz önüne alınarak doğal su içeriğinin optimum su içeriğinden çok yüksek olduğu durumlarda sönmemiş kireç tercih edilebilir (Kireç Stabilizasyonu Teknik Şartnamesi; 2005).

2.4. Deneysel Çalışmalar

Araziden alınan zemin numunelerinin öncelikle zemin özellikleri belirlenmiş ve zeminin (CH-) yüksek kapasiteli killi zemin olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kil zemin numunesinin Casagrande Plastisite Kartındaki konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.

Zemin özellikleri belirlenen kil numunesine ağırlıkça %5, %9, %11 kireç ilave edilmesiyle elde edilen numuneler üç eksenli basınç deneyine tabi tutulmuş ve yapılan hesaplamalar neticesinde kohezyon (c) ve sürtünme açısı (ϕ) değerleri tespit edilerek deneyler sonlandırılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan zeminin Casagrande Plastisite Kartındaki konumu

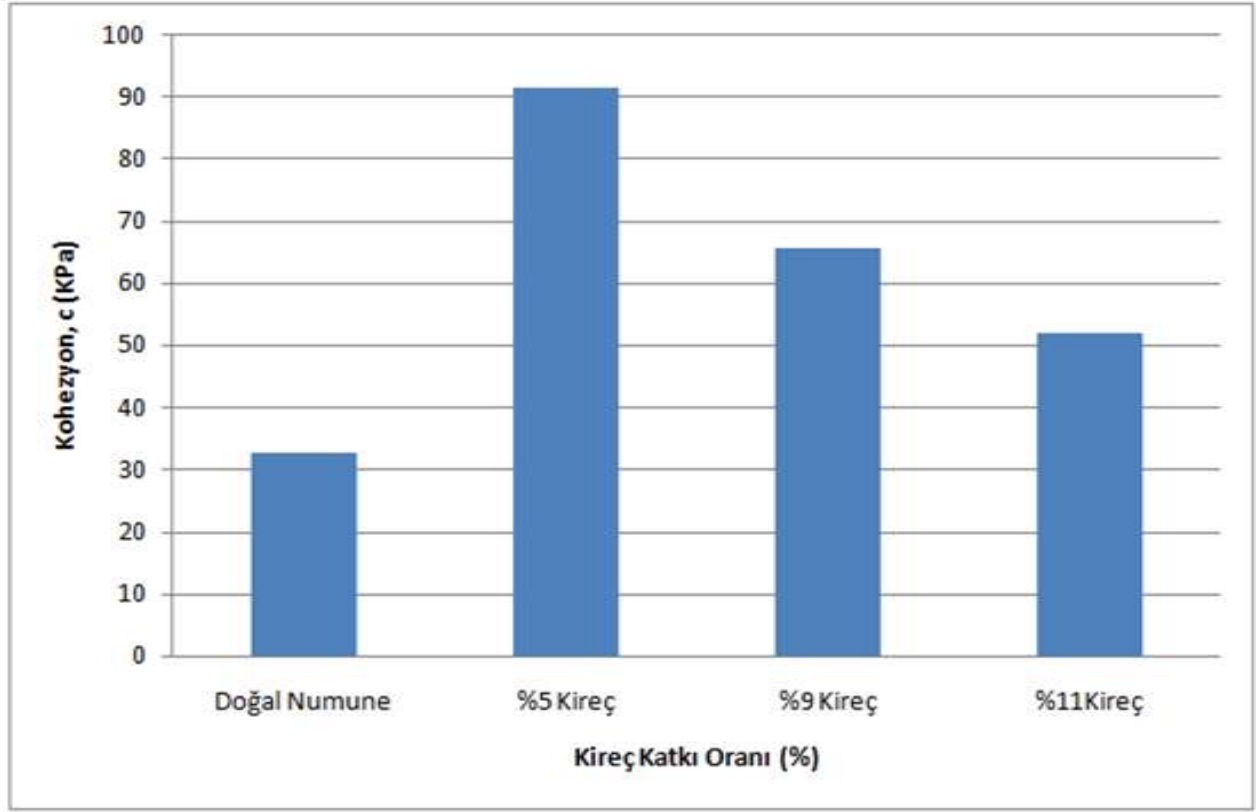
Her bir kireç katkı oranında hazırlanan numunelerle üç eksenli basınç deneyleri yapılmış ve elde edilen c ve ϕ değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Üç eksenli (U-U) basınç deneylerinden elde edilen c ve ϕ değerleri

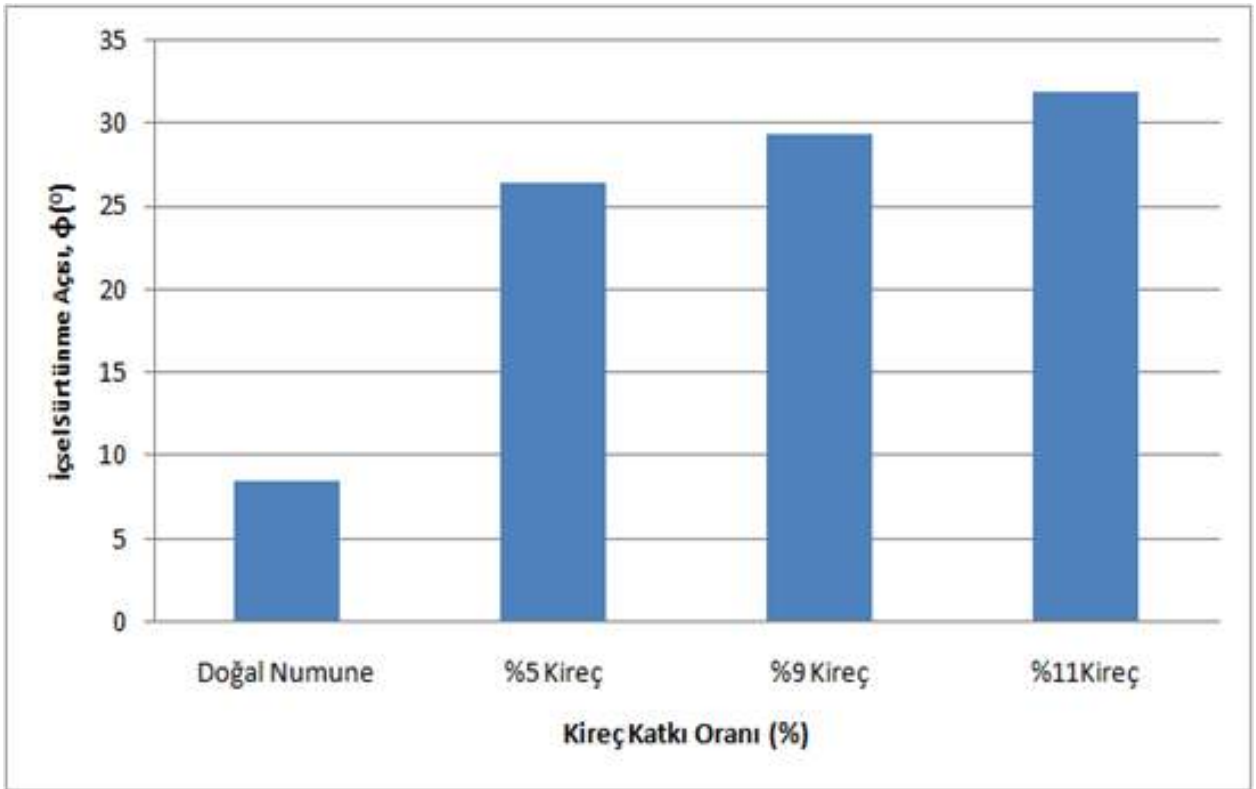
N.No	Doğal Numune		%5 Kireç		%9 Kireç		%11 Kireç	
	c	ϕ	c	ϕ	c	ϕ	c	ϕ
1	31.59	7.85	89.37	25.11	63.50	28.47	49.90	30.91
2	33.48	9.15	92.59	27.40	67.60	30.45	53.60	32.57
3	32.41	8.49	91.86	26.76	65.48	29.36	51.69	31.96

Not: c= iç kohezyon, ϕ =iç sürtünme açısı

Yapılan üç eksenli basınç deneyleri sonucunda elde edilen c ve ϕ değerlerinin değişimi sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 2. Kireç katkı oranına bağlı olarak c değerlerinin değişimi



Şekil 3. Kireç katkı oranına bağlı olarak ϕ değerlerinin değişimi

Yapılan deney sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler

	Doğal Numune	%5 Kireç	%9 Kireç	%11 Kireç
W_n	40.30	-	-	-
γ_n	17.66	-	-	-
LL	87	-	-	-
PL	29	-	-	-
PI	58	-	-	-
W_{opt} (%)	-	28.20	28.80	28.10
γ_a (kNm^3^{-1})	-	1.37	1.34	1.33
γ_n (kNm^3^{-1})	-	1.76	1.72	1.70

Kısaltmalar: W_n : Doğal su muhtevası, γ_n : Doğal yoğunluk, LL: Likit limit, PL: Plastik limit, PI: Plastisite indeksi, W_{opt} : Optimum su içeriği, γ_a : Katkısız numune max. kuru birim ağırlığı, γ_n (kNm^3^{-1}): Kireçli numune max. Kuru birim ağırlığı

Çeşitli oranlarda kireç katılarak hazırlanmış numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; toplam gerilme (σ)- kayma gerilmesi (τ) eğrilerinin birbirlerine benzerlik gösterdiği görülmüştür.

2.5. İstatistik Analiz

Çeşitli yüzdelerde katılan kireç ile zemin stabilizasyonu arasındaki ilişkiyi belirlemek için hazırlanan aynı zemin için hazırlanan üç zemin numunesinin her birinin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu hesaplanmıştır. Numunelere daha sonra %5, %9 ve %11 kireç yüzdelerine ulaşılan kadar kireç eklenmiş ve yukarıda bahsedilen ölçümler tekrarlanmıştır. Her bir ölçüm sonucu Çizelge 2’te sunulmuştur. Tablo 2’de sunulan ölçümlere dair betimsel istatistikler Şekil 2 ve Şekil 3’te görselleştirilmiş, Tablo 4’te özetlenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen iki tane tek yönlü ANOVA (Varyans Analizi) ile iç kohezyon (c) ve kayma açısı (ϕ) ortalamalarının ile her bir kireç karışım yüzdesinde istatistiksel olarak birbirinden farklılaşıp farklılaşmadığı tespit edilmiştir. ANOVA sonuçları anlamlı bir farklılığı işaret ettiğinde ikili karşılaştırmalarla farklılıkların hangi kireç karışım yüzdesi arasında olduğu belirlenmiştir. Böylelikle en üst seviyede zemin stabilizasyonu sağlaması ön görülen kireç karışım yüzdesine ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Tablo 4. Çeşitli kireç yüzdelerinde yapılan zemin stabilizasyonu ölçümü betimsel istatistikleri

Kireç	c (kPa)		ϕ (°)	
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
Doğal Numune (%0 Kireç)	32.49	0.95	8.50	0.65
%5 Kireç	91.27	1.69	26.42	1.18
%9 Kireç	65.53	2.05	29.43	0.99
%11 Kireç	51.73	1.85	31.81	0.94

Not: c= iç kohezyon, ϕ =iç sürtünme açısı, Numune sayısı=3

İç kohezyon ile kireç karışım yüzdesi arasındaki ilişkiyi belirlemek için $\alpha = .05$ seviyesinde iç kohezyon değerinin bağımlı değişken olduğu, kireç karışım yüzdesinin bağımsız – tekrarlayan değişken olduğu bir yönlü gruplar içi ANOVA gerçekleştirilmiştir. Kireç karışım yüzdesi ile iç kohezyon değeri arasında anlamlı ilişki bulunmuştur ($F(3,6) = 5933.11$, $p < .0001$, $\eta^2 = .996$) Sonrasında her bir kireç karışım yüzdesinde ölçülen ortalama iç kohezyon değerleri ikili olarak karşılaştırılmış, aile boyu I. tip hata miktarı Bonferroni düzeltmesi ile $\alpha = .05$ seviyesinde sabit tutulmuştur. Her bir ikili karşılaştırma sonucunda ortalama iç kohezyon değerleri arasında anlamlı farklılık bulunmuştur, farklılıklar Tablo 5’te özetlenmiştir. Tablo 5’teki sonuçlara göre herhangi iki kireç karışım yüzdesine dair ortalama iç kohezyon seviyeleri, anlamlı farklılık göstermektedir.

Tablo 5. Farklı yüzdelerde kireç içeren zeminlere ait c değerleri arasında ikili karşılaştırma sonuçları

Farklılık	Kestirim	Serbestlik Derecesi	t	p
%11 Kireç- %9 Kireç	-13.797	2	-119.433	.0004***
%11 Kireç- %5 Kireç	-39.543	2	-115.420	.0005***
%11 Kireç- %0 Kireç	19.237	2	36.785	.0044**
%9 Kireç- %5 Kireç	25.746	2	63.42	.0015**
%9 Kireç- %0 Kireç	33.033	2	51.757	.0022**
%5 Kireç- %0 Kireç	58.780	2	115.358	.0005***

Not: *p<.05, **p<.01, ***p<.001. Bonferroni düzeltmesi ile aile boyu I. tip hata miktarı $\alpha = .05$ seviyesinde sabit tutulmuştur.

İçsel sürtünme açısı ile kireç karışım yüzdesi arasındaki ilişkiyi belirlemek için $\alpha=.05$ seviyesinde içsel sürtünme açısının bağımlı değişken olduğu, kireç karışım yüzdesinin bağımsız – tekrarlayan değişken olduğu bir yönlü gruplar içi ANOVA gerçekleştirilmiştir. İç sürtünme açısı ile kireç karışım yüzdesi arasında anlamlı ilişki bulunmuştur ($F(3,6) = 4845.81$, $p < .0001$, $\eta^2 = .993$). Sonrasında her bir kireç karışım yüzdesinde ölçülen ortalama iç sürtünme açısı değerleri ikili olarak karşılaştırılmış, aile boyu I. tip hata miktarı Bonferroni düzeltmesi ile $\alpha = .05$ seviyesinde sabit tutulmuştur. Söz konusu ikili karşılaştırmalara ait sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. Tablo 6'daki sonuçlara göre herhangi iki kireç karışım yüzdesine dair ortalama iç sürtünme açıları anlamlı farklılık göstermektedir.

Tablo 6. Farklı yüzdelerde kireç içeren zeminlere ait ϕ değerleri arasında ikili karşılaştırma sonuçları

Farklılık	Kestirim	Serbestlik Derecesi	t	p
%11 Kireç- %9 Kireç	2.386	2	16.914	.0209*
%11 Kireç- %5 Kireç	5.390	2	26.269	.0087**
%11 Kireç- %0 Kireç	23.317	2	180.550	.0002***
%9 Kireç- %5 Kireç	3.003	2	13.613	.0321*
%9 Kireç- %0 Kireç	20.930	2	105.399	.0005***
%5 Kireç- %0 Kireç	17.927	2	53.772	.0021**

Not: *p<.05, **p<.01, ***p<.001 Bonferroni düzeltmesi ile aile boyu I. tip hata miktarı $\alpha = .05$ seviyesinde sabit tutulmuştur

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan üç eksenli basınç deneyleri ile kireç katkı oranına bağlı olarak iç kohezyon ve iç sürtünme değerlerinde çok belirgin bir farklılık gözlemlenmiştir. Kireç katkı oranı arttıkça hem kohezyon hem de iç sürtünme açısı kireçsiz doğal numuneye göre daha fazladır. Ancak iç kohezyon, %5'lik kireç içeren numunelerde en üst seviyeye çıkıp, kireç katkı oranının daha da artmasıyla düşüş göstermektedir. Başlangıçta kohezyonlu bir zemin davranış gösteren zemin numunesi katkı oranına bağlı olarak iri daneli zemin davranışı göstermiştir. Kireç katkısı zemin içinde çimentolaşma özelliği göstermiştir. Ayrıca çalışmada incelenen kireç katkı yüzdeleri göz önüne alındığında, kireç katkı yüzdesindeki artış, iç sürtünme açısındaki artışla açıkça ilişkilidir. Böylece %11 ϕ (iç sürtünme açısı) kadar artmaya devam etmektedir. Yani taşıma gücü %5 optimum seviyeye kadar artmaktadır ve sonra kohezyonun düşmesiyle azalmaktadır.

Yapılan deney sonuçlarını desteklemek amacıyla SPSS istatistik paket programıyla tek yönlü varyans analizi Anova uygulanmıştır. Tablo 5'de kohezyon (c) ve Tablo 6'da bulunan iç sürtünme açısı (ϕ) arasında ikili karşılaştırmalar yapılmış ve her bir ikili karşılaştırma sonucunda ortalama iç kohezyon değerleri (c) için ($F(3,6) = 5933.11$, $p < .0001$, $\eta^2 = .996$) olduğundan ve içi sürtünme açıları (ϕ) için ($F(3,6) = 4845.81$, $p < .0001$, $\eta^2 = .993$) olduğundan; anlamlı farklılık bulunmuştur. Değerlerin arasında anlamlı etki olması, zemine yapılan kireç katkısının zemini iyileştirdiğini dolayısıyla teorimizi ve deneysel çalışmamızı istatistik yöntemle destekler niteliktedir.

Bu çalışmada Siirt ili çevresinde HES bölgesinden alınan stabilizasyona uygun killi zemin üzerinde çalışma yapılmış, yol tabanını oluşturan zeminin güçlendirilmesi ile daha sağlam bir yol temeli oluşturulacağı ve daha uzun kullanılan bir karayolu olmakla birlikte kireç ile stabilizasyon klasik iyileştirme yöntemlerine göre %40 daha ekonomik olmaktadır.

Bu çalışma sonrasında çeşitli sert kabuklu yemişlerin (biokütle) ısınma amacıyla vb. yakılmasından sonra elde edilen atık küllerin kimyasal analizleri sonucunda içinde %10'dan fazla CaO'ya sahip olan küller, ASTM C618 içindeki yüksek kireçli uçucu kül grubuna girmektedir. Kireç oranı fazla olan biokütle küllerinin zemin stabilizasyonunda kullanılması başarılı sonuçlar verebilir.

4. Sonuç

Deney sonuçlarında; %5 kireç katkısı için $c=91.27 \text{ kNm}^2-1$ ve $\phi =26^\circ.42$; %9 kireç katkısı için $c=65.53 \text{ kNm}^2-1$ ve $\phi=29.43^\circ$; %11 kireç katkısı için $c=51.73 \text{ kNm}^2-1$ ve $\phi=31.81^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan deney sonuçları incelendiğinde daha önce bu konuda yapılan çalışmalarla aynı doğrultudadır. Kireç katkı miktarına bağlı olarak γ (birim hacim ağırlık) ile c değeri azalmakta, ϕ (iç sürtünme açısı) ise katkı oranına bağlı olarak artmaktadır. Kireç katkısı % kaç olursa olsun (%5, %9, %11 için yapılan çalışma dahilinde), zemin özellikleri doğal zeminden daha iyi olmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmada beni destekleyen Prof. Dr. M. Haluk Çelik, Dr. Öğr. Üyesi Sungur Gürel ve Arş. Gör. Murat Gülen'e teşekkür ederim.

Kaynakça

- Aksoy, A., İskender, E., 2004 Şubat. Yol Yapılarında Çimento ve Kireç Stabilizasyonu, Yapı Dünyası Dergisi, 54-60.
- Akyarlı, A., Kavak, A., Atay, S., & Alkaya, S., 2009. Killi Zeminlerin Kireç ile İyileştirilmesi. TSE Standart Dergisi, 566, 108-112.
- ARBA- American Road Builders Association Stabilization Committee, 1971. Materials for Stabilization, HC-100,1-1, 7-10
- Bell, F. G., and Tyrer, M. J., 1989. The Enhancement of The Properties of Clay Soils by The Addition of Cement or Lime. Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1339-1341.
- Demir, S. ve Kılıç M., 2010. Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(1), 95-104.
- Develioğlu, İ., 2017. İzmir Körfezi Organik Zeminlerinin Geoteknik Karakterizasyonu ve Sıkışabilirlik Davranışları ve Stabilizasyon İçin Çözüm Önerileri, Yüksek lisans Tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Dhar, S., & Hussain, M. (2019). The strength and microstructural behavior of lime stabilized subgrade soil in road construction. International Journal of Geotechnical Engineering, 1-13.
- Eroğlu, H., İmamoğlu, S. ve Acar, H. H., 2005. Kraft Kâğıt Hamuru Fabrikası Kimyasal Geri Kazanma Ünitesinde Oluşan Anorganik Atığın (Kireç Çamuru) Orman Yolu Stabilizasyonunda Değerlendirilmesi., Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 6(1), 146-154.
- Kalava, İ., 1992. Killerin Çimento ve Kireç ile Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Kavak, A., Gürkan Güngör, A., Avşar, C. ve Atbaş, B., 16-17 Ekim 2008. Kireç ile Zemin Stabilizasyonu, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On ikinci Ulusal Kongresi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Kavak, A., Güngör, A. G., Avşar, C., Yönter, G., Tokgöz, M., ve Akyarlı, A. (2009) Kil Oranı Yüksek Bir Dolgu Malzemesinin Kireç ile Stabilizasyonu. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, KTÜ, Trabzon.
- Kireç Stabilizasyonu Teknik Şartnamesi, 2005. Mart, Karayolları Genel Müdürlüğü, Tek.Ar.D.Bşk.lığı, Üstyapı Şb. Müdürlüğü,
- Manual, C. (2004). Lime-Treated Soil Construction Manual Lime Stabilization & Lime Modification. published by National Lime Association, USA, Bulletin, 326.
- Öztürk, Y. Z., Ünsal, N. ve Akbaş, S. O., 2015. Gölbaşı Ankara Yerleşim Alanını Killerin Şişme ve Kireç ile İyileştirilme Potansiyellerinin Belirlenmesi., Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2). 309-318.
- Sarsılmaz, O.M., 2017. Zemin İyileştirme Yöntemlerinin Sınıflandırılması, İncelenmesi, Değerlendirilmesi ve Anılan Yöntemlerin Seçilme Kriterleri Üzerine Kapsamlı Bir Araştırma, Yüksek lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Soğancı, A. S. ve Yıldız, M., 2011. Tekrarlı Donma ve Çözülmenin Kireç ile Stabilize Edilmiş Kil Zeminlerin Mukavemet ve Permeabilitesine Etkisi. Selçuk-Teknik Dergisi, 10(3), 259-270.
- Türköz, M., 2006. Şişen Killerin Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik Killere Uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2), 75-88.
- Vural, İ., 2019. Utilization of Construction Demolition Waste in Soil Improvement. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(1), 1-6.
- Zayıf Zemin Stabilizatörleri Teknik Şartnamesi, 2005. Mart, Karayolları Genel Md.lüğü, Tek.Ar.D.Bşk.lığı, Üstyapı Şb.Md.lüğü,



Time-delay AVR System Analysis Using PSO-based PID Controller

Ercan Köse^{1*}, Serdar Coşkun²

¹ Tarsus University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronics Engineering, Tarsus, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9814-6339)

² Tarsus University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Tarsus, Mersin, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7080-0000)

(First received 25 February 2020 and in final form 13 April 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.717872)

ATIF/REFERENCE: Köse, E. & Coşkun, S. (2020). Time-delay AVR System Analysis Using PSO-based PID Controller. *European Journal of Science and Technology*, (18), 981-991.

Abstract

In this study, a Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm-based Proportional-Integral-Derivative (PID) controller is proposed for the Automatic Voltage Regulator (AVR) system terminal tracking problem in the existence of time-delay and varying loads. AVR is a commonly used electronic device for maintaining generator output terminal voltage at a given reference under time-delays and varying load thus introduces a challenging electrical system problem. Time-delays exist in many real-world systems due to the lags in transmission and transport, in general, they have a negative effect on the stability and control design. For analysis, the time delay in is approximated by Padé approximation leading to the so-called nonminimum phase system. A nonminimum phase system represents the difficulty of controlling due to its zeroes in the right half side of the s-plane. To this aim, we utilize a PID controller, its design and application widely studied in real-time systems, thus it is a suitable selection for the AVR system. The optimal controller gains, namely, proportional K_p , integral K_i , and derivative K_d are found with the proposed PSO algorithm based on a commonly used error minimization objective function. The PSO-based optimal PID controller's performance is analyzed with several methods including root locus, bode analysis, robustness, and disturbance rejection. It is demonstrated that the proposed PID controller improves the reference terminal voltage tracking performance of the AVR system. According to the obtained results, it has been revealed that the proposed PSO-based PID controller improves tracking properties under time-delay and load change thus it can be effectively used for synchronous generator automatic voltage regulator system terminal voltage stability.

Keywords: Automatic voltage regulator, Time-delay systems, Particle swarm optimization, Proportional-integral-derivative controller, Robustness

PSO Tabanlı PID Denetimci kullanarak Zaman Gecikmeli OVR Sisteminin Analizi

Öz

Bu çalışmada, zaman gecikmesi ve değişken yükler karşısında Otomatik Voltaj Regülatörü (OVR) sistemi terminal referans voltaj gerilimi takip problemi için bir Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması tabanlı Oransal-İntegral-Türev (OİT) kontrolörü önerilmiştir. OVR, jeneratör çıkış terminal voltajını belirli bir referansta zaman gecikmeleri ve değişken yük altında tutmak için yaygın olarak kullanılan bir sistemdir, bundan dolayı zor bir elektriksel problemi ortaya çıkarır. Zaman gecikmeleri, iletim ve aktarmadaki gecikmelerden dolayı gerçek dünyadaki birçok sistemde bulunur, genel olarak kararlılık ve kontrol tasarımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptirler. Analiz için, zaman gecikmesi, asgari olmayan faz sistemine yol açan Padé yaklaşımı ile yaklaşık olarak tahmin edilmektedir. Karmaşık faz sistemi, s-düzleminin sağ tarafında bulunan sıfırları nedeniyle kontrol güçlüğüne neden olur. Bu amaçla, OVR için gerçek zamanlı sistemlerde yaygın olarak kullanılan OİT kontrolör tercih edilmiştir. Optimal kontrolörün kazançları K_p , K_i ve K_d , yaygın

* Corresponding Author: Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9814-6339, ekose@tarsus.edu.tr

olarak kullanılan bir hata minimizasyon objektif fonksiyonuna dayanarak PSO algoritması ile optimize edilmiştir. PSO tabanlı en uygun katsayılı OİT denetleyicisinin performansı; kök yer eğrisi, bode analizi, sağlamlık ve bozucu karşısındaki dayanımı gibi çeşitli yöntemlerle analiz edilmiştir. Önerilen OİT denetleyicisinin OVR çıkış referans terminal gerilim izleme performansını iyileştirdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen PSO tabanlı OİT kontrolörünün zaman gecikmesi ve yük değişimi altında izleme özelliklerini geliştirdiği, böylece senkron jeneratör otomatik voltaj regülatörü sistemi terminal voltaj kararlılığı için etkili bir şekilde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomatik voltaj regülatörü, Zaman gecikmeli sistemler, Parçacık sürüsü optimizasyonu, Oransal-integral-türev denetimcisi, kararlılık

1. Introduction

Synchronous generators are used to generate electrical energy in power plants such as hydroelectric, wind energy, gas turbines, thermal, and nuclear. One of the most important problems in synchronous generators is keeping the terminal output voltage constant against load fluctuations. An electronic device called automatic voltage regulator to keep the terminal output voltage constant by changing the excitation voltage of synchronous generators. In other words, it provides voltage stability.

It requires that the AVR operates with a controller in order to keep the terminal output voltage at a reference value. When the literature is examined most of the studies utilize a proportional-integral-derivative controller to keep AVR output voltage at the desired value. These studies are about the optimal calculation of the PID controller's control variables coefficients. The results of the performance of different algorithms for optimality have been compared and examined. Some of these can be given as Bhati and Nitnawre (2012) genetic particle swarm Sahib (2015), differential evolution, Gozde and Taplamacioglu (2011) artificially bee colony, Bingul and Karahan (2018) cuckoo search, Ekinci et al. (2018), Whale, Ekinci et al (2019) Harris Hawks, dos Santos et al. (2019) chaotic optimization, Razmjoo et al. (2016) world cup competitions, and Ekinci and Hekimoğlu (2019) kidney-inspired algorithms.

The performance of different control methods as much as PID-based studies for the control of the AVR system are also investigated. Some of these important techniques applied to the AVR system are as follows. Ribeiro et al. (2015) sliding mode control, Elsis et al. (2019) the neural network predictive controller, Abegaz and Kueber (2019) Smart Control, Bhutto et al. (2019) Probabilistic Neural Network (PNN) based control, Ortiz-Quisbert et al. (2018) fractional-order model reference adaptive control are applied methods on AVR.

Kennedy and Eberhart developed a PSO algorithm based on the social behavior of bird and fish swarms in 1995. PSO should be considered as the analysis of a simplified social model based on the optimization of nonlinear functions Kennedy and Eberhart (1995). The PSO algorithm, based on swarm intelligence, reaches the target according to the purposeful optimization of the behavior of animals in situations such as food and safety. The PSO algorithm has been successfully applied to many different systems. We can some of these studies as follows.

Doctor et al. (2004) have demonstrated that PSO provides a good solution for target tracking systems of unmanned vehicles and mobile robots. Jeong et al. (2010) have been proposed a new Binary PSO approach inspired by quantum computing for the solution of unit commitment problems in power systems. Zhou et al. (2016) estimated the landslide displacement in the Three Gorges Reservoir, China by using the PSO algorithm. Godio and Santilano (2018) investigated the applicability of PSO to linear and nonlinear multi-parameter problems. They applied PSO using the observed geophysical data to produce a consistent Earth model such as electrical resistivity at depth. That is, they have demonstrated the applicability of PSO to solve the geophysical inverse problem. Madoliat et al. (2017) are represented gas networks transient simulation simplification with known inlet and outlet pressures. The actual values of pressures and flow rates calculated in different network nodes obtained using optimum inlet flow rates can be estimated by algorithms. Malmir et al. (2018) developed an adaptive neuro-fuzzy inference system based PSO algorithm for the asphalt deposition problem in the oil industries. 75 experimental data in the literature were used to test the training and success of the PSO algorithm. According to the graphical and statistical reports, their PSO algorithm has shown to have a feasible potential for investigating the effect on asphaltene inhibitors.

One of the important issues affecting the optimization algorithm is time-delays. Time-delays exist in many forms and systems such as temperature changes, information, energy, mass change, interconnected subsystems, sensors. Time delay is an important factor to be considered especially in complex structural systems. Because time lag may arise during the operation of these systems. When the time lag is not taken into consideration in theoretical and simulation studies of these systems, it is inevitable to encounter problems in practical application. Some studies that take into account time delay are as follows. Birs et al. (2018) investigated in detail the results of fractional order PI controller designed for second-degree dead time processes in an experiment. Narang et al. (2010) fractional-order system models based on a reference model with and without time delays, the adjustment of the PI controllers has introduced a relevant servo control strategy. In addition, an iterative optimization method by minimizing a quadratic cost function is proposed to find satisfactory adjustment parameters of the controller.

In this study, PSO optimization algorithm is proposed for the control of a PID based time-delay AVR system The dynamic system response of the time-delay AVR system is investigated with a PSO-based PID controller first time. The stability of this system, with and without a controller is studied and analysis is performed in both time and frequency domains. By designing a controller to the system, we show how the system behavior changes in detail. The obtained results are demonstrated that the proposed PSO tuned PID controller can be applied to the time-delayed AVR system.

2. Material and Method

2.1. PID Controller

PID controllers are having a robust structure and its proportional, integral, and derivative gains with a first-order filter is added, are given in Figure 1.

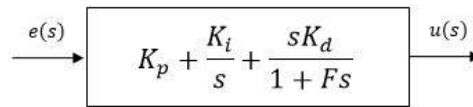


Figure 1. PID controller structure

$$G_{PID}(s) = \frac{u(s)}{e(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{sK_d}{1+Fs} \tag{1}$$

2.2 AVR System Modeling with time delay

AVR maintains of the synchronous generator at the reference voltage. A voltage sensor updates the output and it is compared with the reference voltage signal. Then the error is produced and transmitted to the amplifier. And, commonly, exciter signal transmission possesses a time-delay to control the generator field winding. With this in mind, AVR system components transfer functions are: amplifier transfer function $G_a(s)$, exciter transfer function $G_e(s)$, generator transfer function $G_g(s)$, Sensor transfer function $G_s(s)$, and Padé approximated time-delay transfer function $G_d(s)$ are given in the sequel.

According to academic studies in the literature, constants of AVR subsystems are given below. $10 \leq K_a \leq 40$, $1.0 \leq K_e \leq 10$, $0.7 \leq K_g \leq 1.0$, $K_s = 1.0$, $0.02 \leq T_a \leq 0.1$, $0.5 \leq T_e \leq 1.0$, $1.0 \leq T_g \leq 2.0$, $0.001 \leq T_s \leq 0.06$. The subsystem constants selected are as follows. $K_a = 10$, $K_e = 1.0$, $K_g = 1.0$, $K_s = 1.0$, $T_a = 0.1$, $T_e = 0.4$, $T_g = 1.0$, and $T_s = 0.01$ Elsis et al. (2019).

The time delay is approximated by Padé approximation, leading to a transfer function presentation so-called a nonminimum phase system. A nonminimum phase system represents the difficulty of controlling due to its zeroes in the complex right half-side of s-plane. For control design in this study, delay dynamics is approximated by a first of Padé approximation as follows,

$$e^{-t_s s} = \frac{\left(-\frac{t_s}{2}\right)s + 1}{\left(\frac{t_s}{2}\right)s + 1} \tag{2}$$

where, t_s is the time delay in the AVR model, chosen as $t_s = 0.1$ secs. Since we address set-point tracking of terminal output voltage during steady-state, the magnitude and order of the Padé approximation are important. Higher order approximation can be used at the computational cost as well as making the system harder to analyze.

The amplifier, exciter, generator, sensor, and delay dynamics are shown in equation (3).

$$\left. \begin{aligned} G_a(s) &= \frac{K_a}{1+sT_a} = \frac{10}{1+0.1s}, \\ G_e(s) &= \frac{K_e}{1+sT_e} = \frac{1}{1+0.4s}, \\ G_g(s) &= \frac{K_g}{1+sT_g} = \frac{1}{1+1s}, \\ G_s(s) &= \frac{K_s}{1+sT_s} = \frac{1}{1+0.01s}, \\ G_d(s) &= \frac{\left(-\frac{t_s}{2}\right)s + 1}{\left(\frac{t_s}{2}\right)s + 1} = \frac{1-0.05s}{1+0.05s} \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

The transfer function of AVR system without a controller is leading to equation (4)

$$G_{AVR}(s) = \frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{G_a(s)G_e(s)G_g(s)G_d(s)}{1+G_s(s)G_a(s)G_e(s)G_g(s)G_d(s)} = \frac{-0.005s^2 - 0.4s + 10}{2e - 05s^5 + 0.00267s^4 + 0.07315s^3 + 0.6305s^2 + 1.06s + 11} \tag{4}$$

The zeros-poles of the AVR system are given in Table 1. The system has a stable pole, a pair of stable conjugate poles and a pair of unstable conjugate poles, a zero in the left side of the s-plane and a nonminimum phase zero, i.e., in the right side of the s-plane.

Table 1. Poles and zeros of the AVR system without a controller

Poles and Zeros	Values	Stability
P_1	-100.04 +0i	Stable Pole
P_2	-16.94 + 4.47i	Stable Pole
P_3	-16.94 - 4.47i	Stable Pole
P_4	0.21 + 4.23i	Unstable Pole
P_5	0.21 - 4.23i	Unstable Pole
Z_1	-100+0i	Zero in the left-side of the s-plane
Z_2	20+0i	Nonminimum phase zero, i.e., in the right side of the s-plane

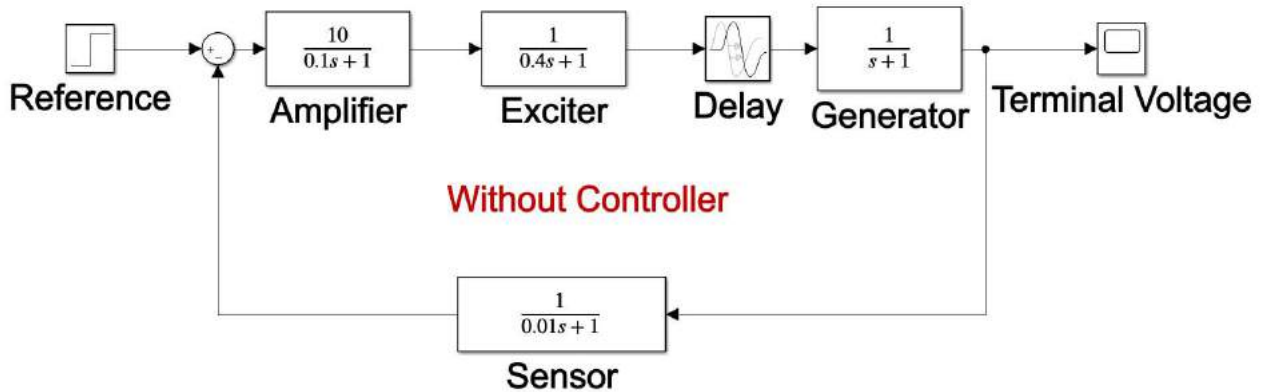


Figure 2. Closed loop AVR model structure with time delay

The dynamic behavior of this system can be observed by a unit step response. For this, a Simulink model is constructed and depicted in Figure 2. We demonstrate a unit step response of the time-delay AVR system without a controller in Figure 3.

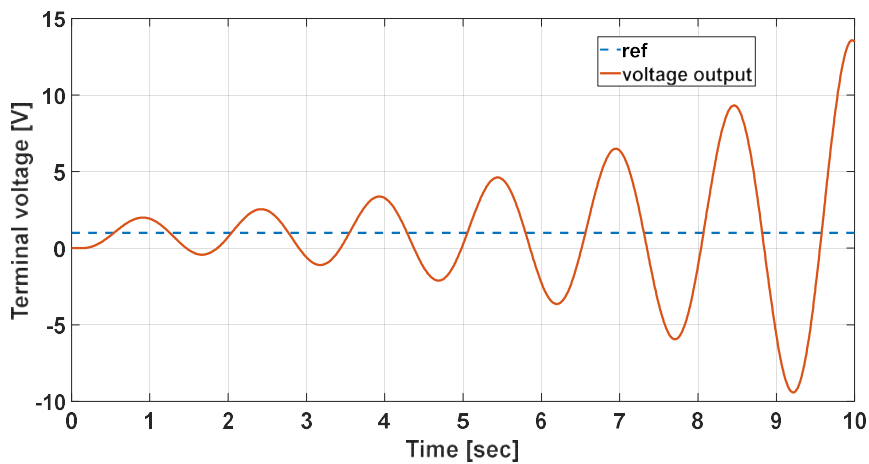


Figure 3. The terminal voltage response of the AVR system without a controller under time delay $t_s=0.1$ secs

As observed in Figure 3, the output voltage is not tracking the desired reference because the system is unstable. The stability behavior of the system can be better seen by examining the zeros-poles of the AVR system. These unstable poles cause the system to go unstable as seen in Figure 3. It can cause great damage to electricity transmission and distribution systems, protection generators and other generators. They can cause strain on the lines and increase losses. It can also lead to prolonged power outages. We show the open-loop system poles and zeros in the root locus diagram in Figure 4. The main goal in the design is not only to drive the system back to stable form but also to enhance closed-loop system characteristics of the AVR system i.e., maximum overshoot, settling time, rise time and steady-state error with a PID controller. The open-loop root locus plot is given in Figure 4.

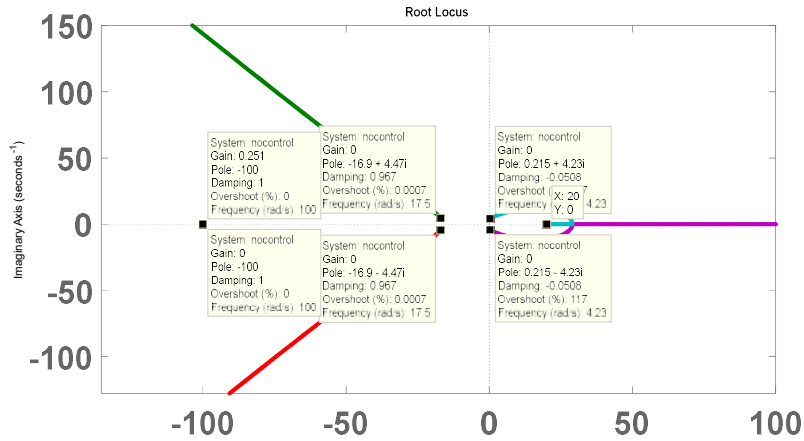


Figure 4. Poles and zeros in open-loop AVR system

The generator output voltage, transient state behaviors should be improved as well as the steady-state error should be reduced to zero in the existence of time-delay and varying load. To achieve these, that is, to bring the system to a point that will show optimal behaviors, a high-performance controller must be added to the system. In this study, a PID controller is chosen for the control of the AVR system. The closed-loop control structure of the AVR system with the PID controller is given in Figure 5.

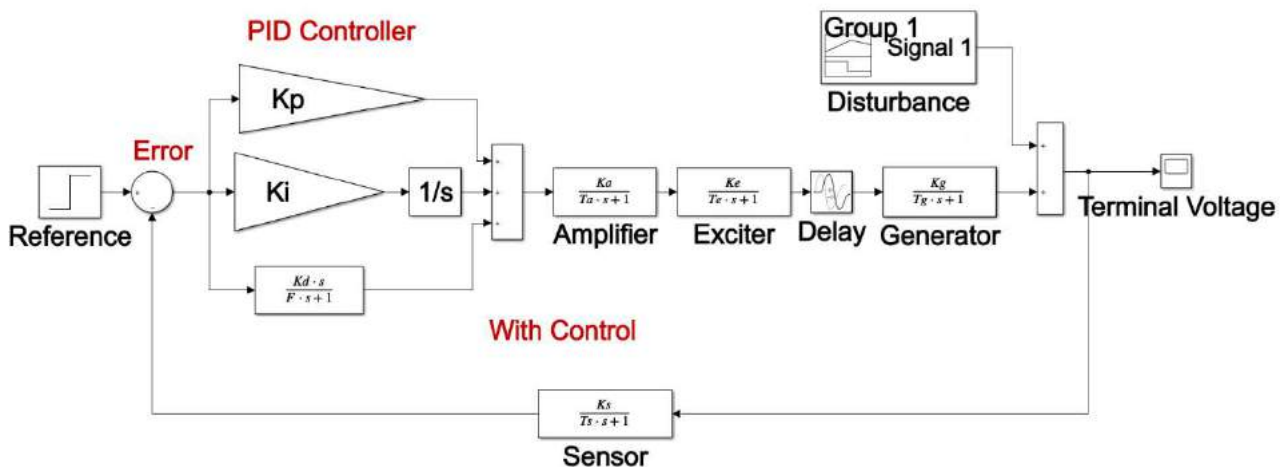


Figure 5. The closed loop-AVR model structure with PID controller and time-delay and disturbance load

The closed-loop transfer function with its K_p proportional, K_i integral, and K_d derivative gains to be determined with the following objective function.

2.3 Objective Function

Numerous cost functions have been described in the related studies to determine the PID controller gains to optimally improve the dynamic behavior of the AVR system. Objective functions are including M_p , t_r , t_s and E_{ss} control criteria. It is the performance indicator for the AVR system to have minimum values of these criteria for a unit step response. In this study, we measure the performance using a time-weighted squared error (ITSE) function of the tracking error for a step reference under time-delay and disturbances, combined with a measure of the energy of the incremental control in equation (5).

$$ITSE = \int_0^t t|V_r - V_t|^2 dt = \int_0^t t|e|^2 dt. \tag{5}$$

2.4 Proposed PSO Algorithm

The swarms such as insects, herds, birds, and fishes show cooperative behaviors to find food. Each member of these constantly changes the search pattern according to their own and other members' learning experiences. PSO is a meta-heuristic algorithm that makes very few assumptions and can scan very large candidate solution areas. Like other meta-heuristic algorithms, it can guarantee that it finds the most suitable solution.

The PSO algorithm has a population called swarm. It works by having a population of candidate solutions called particles. These particles move in the search area according to a few simple formulas Zhang et al (2015). In PSO, while particles are moving stochastically towards new positions; its speed, its previous best performance, and its neighbors' best previous performance are taken into account Kennedy and Eberhart (2001).

The motions of the particles are guided by their best-known position in the search area as well as the best-known position of the whole herd. Once improved positions are revealed, they will come to guide the herd's movements. The process is repeated and it is hoped that this will result in a satisfactory solution.

The PSO algorithm expresses a part in the swarm in two equations based on its speed and position. These equations (6-7) based on speed and location are given below. PSO evaluates the objective at all particles and records the current position for particle $p(i)$, for each i . In addition, definitions and initial parameters values for the PSO algorithm are given in Table 2. Mühürçü et al. (2017).

Table 2. Parameters and variables for PSO algorithm

Parameter and variables	Defines
w	Inertia coefficient
$c_{1,2}$	Acceleration coefficient
$x_i(t)$	i . particle's position
$v_i(t)$	i . particle's velocity
$P_i(t)=pbest$	i . particle's the best position
$g(t)=gbest$	i . particle's global the best position
T_{sample}	Sample time
T_{sim}	Simulation time
Iteration	Number of iteration for converge
Particals	Number of particles

$$v_i(t + 1) = w * v_i(t) + c_1 * (P_i(t) - X_i(t)) + c_2 * (g_j(t) - X_i(t)), \tag{6}$$

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t). \tag{7}$$

The update of PSO algorithm is as follows: update the weighted sum of velocity $v_i(t)$ at time t , relative difference between the best position $P_i(t)$ and current position $X_i(t)$ the particle has seen at time t , and relative difference between the best position $g_i(t)$ and the current position $X_i(t)$ in the global search space at time t are used to update the velocity at $t + 1$ in equation (6). Finally, we update the position at $t + 1$ in equation (7). The standard flow chart for PSO have been shown in Figure 6.

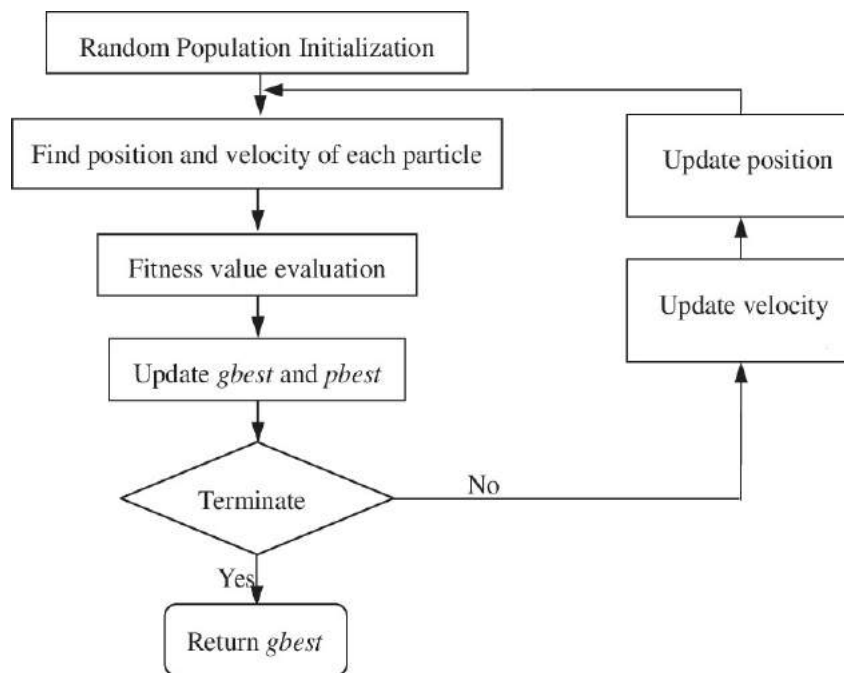


Figure 6. PSO flow cart Wang et al. (2009)

3. Simulation Study and Discussion

In this section, we demonstrate the workings of the proposed PID controller for the time-delay AVR system. The optimal gains are computed with PSO optimization using the objective function defined earlier. The proposed PSO-based PID controller with the first-order filter on its derivative structure is implemented in Simulink software, shown in Figure 7. Several techniques including time-domain transient response analysis, frequency-domain analysis, and robustness analysis are carried out with the designed PSO-based PID controller in the sequel.

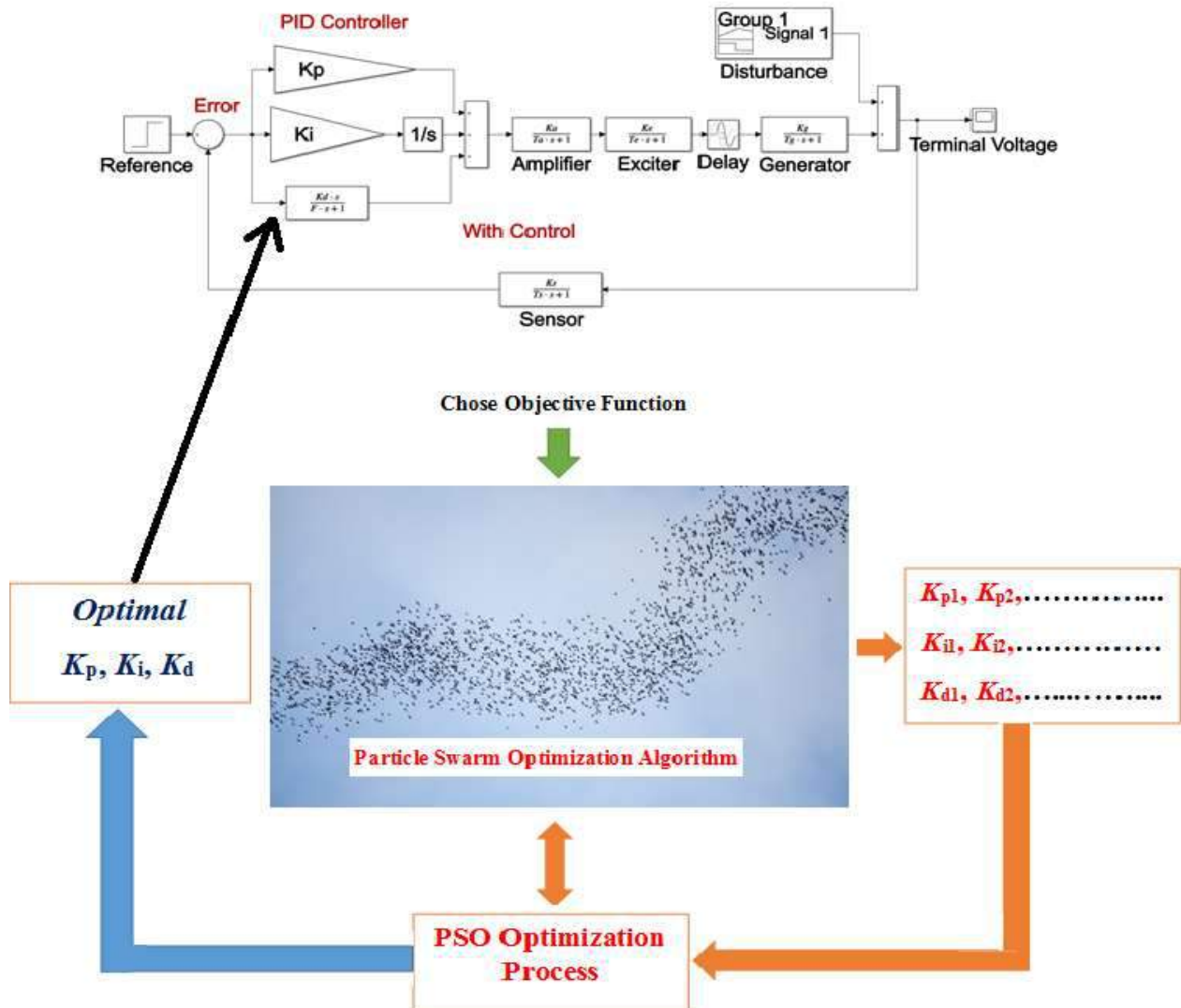


Figure 7. The closed loop-AVR model structure with PSO tuned PID controller and time-delay

As stated, we use ITSE objective in optimization by PID parameters that are calculated with PSO algorithm as shown in Figure 7. $T_{sample} = 0.001$ secs, $T_{sim} = 10$ secs, number of iteration is set to 200 and particle size is set to 50. The optimal parameters after several run in MATLAB software are calculated as $K_p = 0.4275$, $K_i = 0.2640$ and $K_d = 0.1194$.

3.1 Root Locus

The Root Locus analysis for the AVR system tuned by the PSO algorithm is demonstrated. the time-delay AVR system presents nonminimum phase behavior, meaning that it has a right half side plane zero that adds negative phase to the system. Thus slow system response and limited bandwidth are imposed. The gains should be carefully determined by the PSO algorithm such that the system remains stable against all perturbations and present a good tracking behavior. The closed-loop transfer function with found PID coefficients is given below:

$$G_{AVR-PID}(s) = \frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{-0.0006013s^4 - 0.05024s^3 + 1.03s^2 + 4.175s + 2.64}{4e - 08s^7 + 2.534e - 05s^6 + 0.002816s^5 + 0.07441s^4 + 0.5735s^3 + 2.551s^2 + 5.148s + 2.64}$$

Table 3. Poles and zeros of the AVR system with PID controller

Poles and Zeros	Values	Stability
P_1	-500.02+0i	Stable Pole
P_2	-99.36+0i	Stable Pole
P_3	-25.03+0i	Stable Pole
P_4	-2.68 + 4.08i	Stable Pole
P_5	-2.68 - 4.08i	Stable Pole
P_6	-2.98+0i	Stable Pole
P_7	-0.75+0i	Stable Pole
Z_1	-100+0i	Zero in the left side of the s-plane
Z_2	20+0i	Nonminimum phase zero, i.e., in the right side of the s-plane
Z_3	-2.76+0i	Zero in the left-side of the s-plane
Z_4	-0.79+0i	Zero in the left-side of the s-plane

We can observe from Table 3, all closed-loop poles are stable with PSO optimized PID controller gains. We have successfully stabilized system, on the other hand, nonminimum phase zero, i.e., Z_2 still possesses some limitation in terms of achievable time and frequency domain performances.

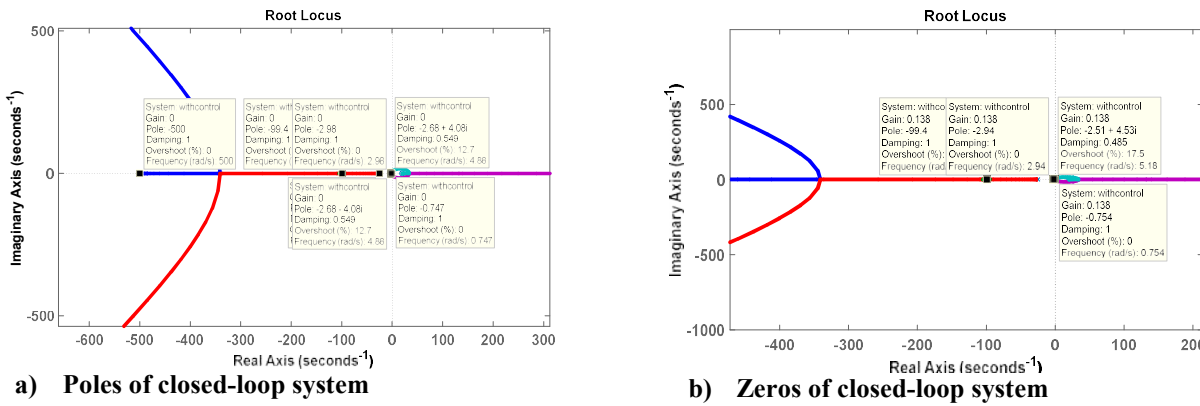


Figure 8. Closed-loop Root locus of AVR system

From Figure 9, we see that all poles of the PID based AVR system lie in the left half side of the s-plane. Therefore, the time-delay AVR system is stable.

3.2 Transient Analysis

The transient response to the PID controller optimized by the PSO algorithm for the time-delay AVR system is studied in this section. Performance indices such as peak overshoot, settling time, rise time, and peak time obtained by the proposed PSO algorithm is depicted in Figure 8.

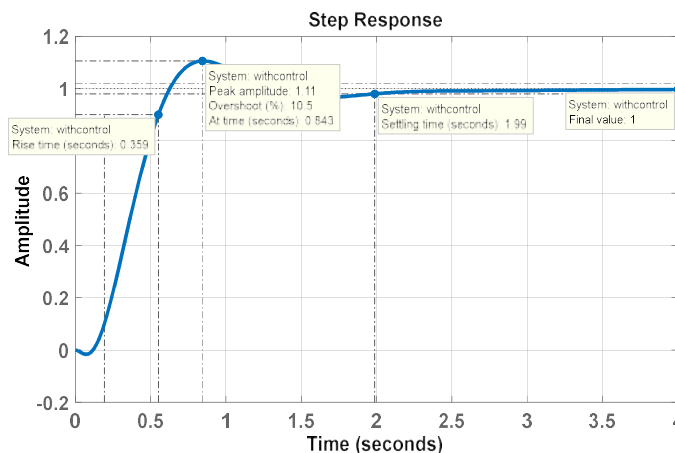


Figure 9. Transient response of AVR system to a unit step input

For system stability maximum overshoot and settling time are essential and desired to maintain at low values. It is noted that maximum overshoot and rise time are conflicted objectives, thus can not be minimized simultaneously. Steady-state behavior of the system is also a dynamic response analysis tool, which is closely related to transient response performance indices.

3.3 Bode Analysis

To analyze the frequency domain behavior of the AVR system optimized by the PSO algorithm. magnitude and phase plots are illustrated in Figure 10. For comparison purposes, bode plots of both open-loop and closed-loop (with PID controller) are drawn. The time-delay AVR system with the PSO-based PID controller exhibits a minimum peak gain 0.651 dB at 0.523 Hz, providing maximum phase margin 152. This is realized that the system with time-delay can follow the reference voltage set point with high accuracy.

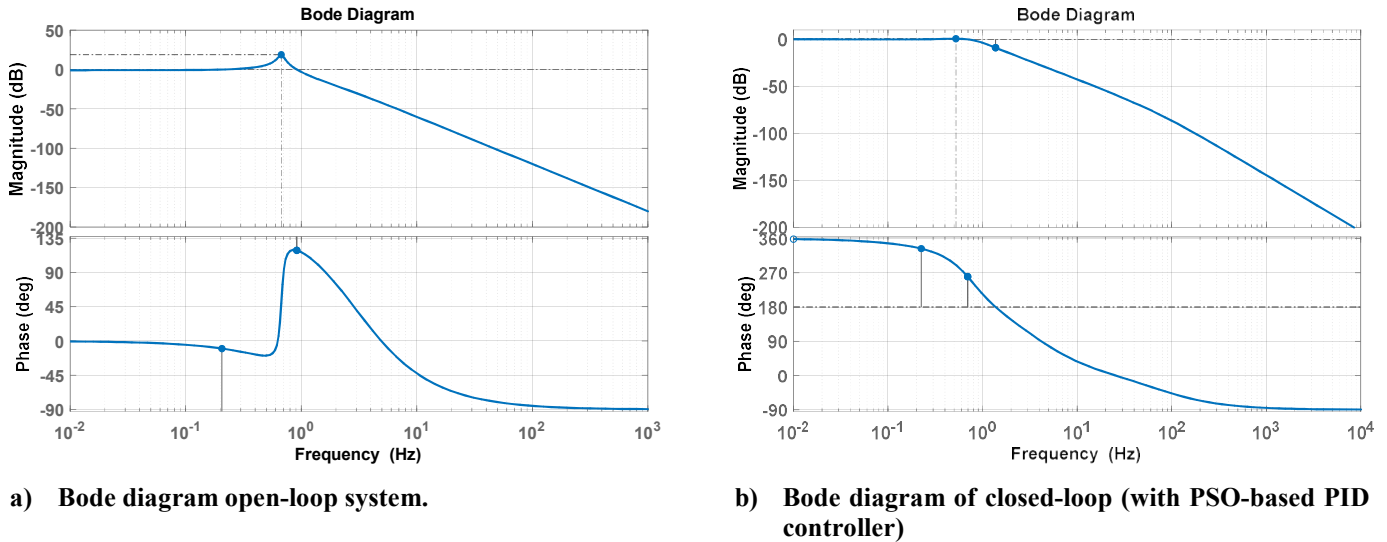
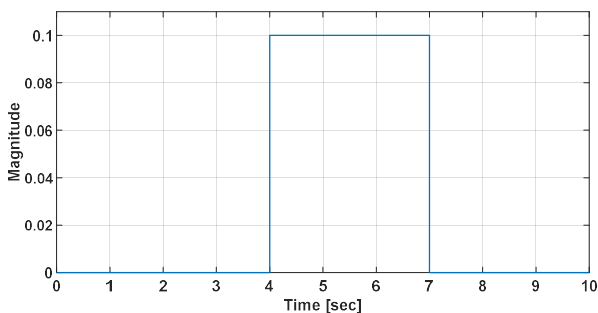


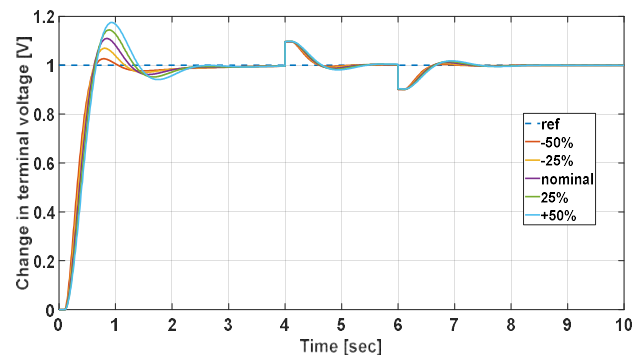
Figure 10. Frequency response of AVR system

3.4 Robustness and Disturbance Rejection Analysis

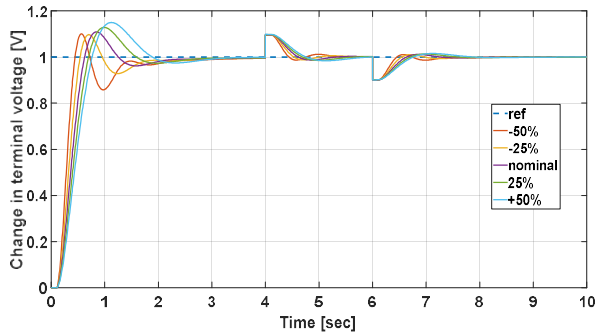
This section is devoted to evaluate the robustness against parametric uncertainties in the system and to represent the disturbance rejection ability of the PSO-based PID controller. First, we analyze, the uncertainties in time constants (T_a, T_e, T_g, T_s) are within range $\pm 50\%$ in steps of $\pm 25\%$. We further analyze the robustness against time delay t_s in the AVR system. Here, the applied disturbance profile, in Figure 11 (a), is also included in the analysis steps. Value of the disturbance signal is $\pm 10\%$, applied at $t=4$ and 7 secs. In comparison with nominal values, it is inferred from Figures (b-e), the PID controller optimized with PSO algorithm exhibits satisfactory robustness in spite of large parametric change in time constants of AVR system thus, indicating the PSO-based PID controlled AVR system is robust. As this paper mainly concern to time-delay analysis in control design, we also depict controller performance against uncertainties in time delay. To this end, variation, ranging $\pm 50\%$ in steps of $\pm 25\%$ is shown in Figure 11 (f). It is concluded in robustness analysis that the proposed controller tuned by the PSO algorithm derives the system to step reference in presence of parameter uncertainties and unexpected disturbances.



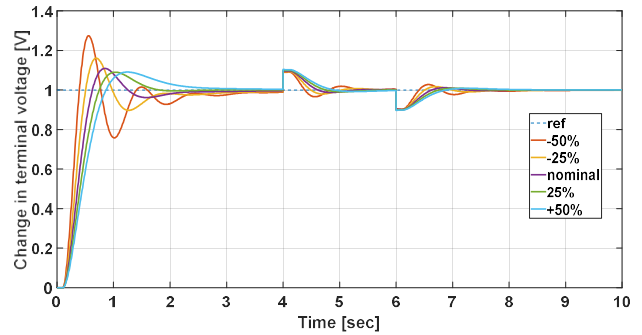
a) Disturbance profile applied to AVR system



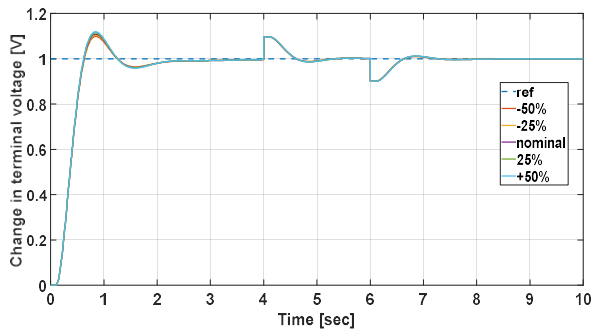
b) Voltage change when T_a is changing in range of $\pm 50\%$



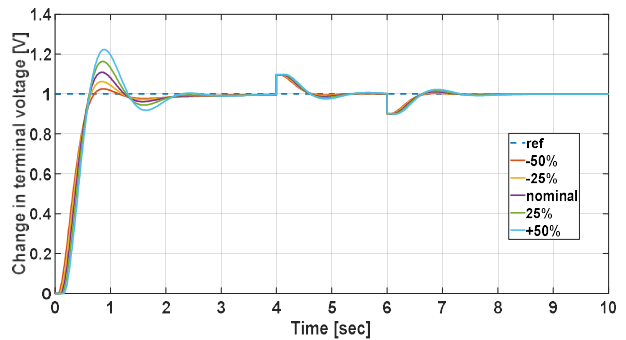
c) Voltage change when T_e is changing in range of $\pm 50\%$



d) Voltage change when T_g is changing in range of $\pm 50\%$



e) Voltage change when T_s is changing in range of $\pm 50\%$



f) Voltage change when t_s is changing in range of $\pm 50\%$

Figure 11. Robustness analysis of time-delay AVR system with proposed PSO algorithm.

4. Conclusions and Future Works

In this article, the stabilization and tracking problems of the time-delay AVR system based on a PSO optimized PID controller are investigated. We study the performance of the design for the AVR system with ITSE objective function. The proposed cost function is utilized in the PSO algorithm for optimal tuning of the PID controller coefficients. We first analyze the dynamic response quantities including peak overshoot, rise time, settling time, steady-state error. Then, we analyze the Bode plots of the system for the frequency behavior of the AVR system based on the PSO algorithm. Furthermore, the PID controller is tested whether the design is robust under parametric uncertainties and unexpected disturbance loads. The obtained results reveal that the PID controller based on the PSO algorithm is robust against uncertainties in AVR parameters for synchronous generator AVR systems. Future studies will involve analyzing the same system structure with a PID controller based on different heuristic algorithms.

References

- Bhati, S., & Nitnawwre, D. (2012). Genetic optimization tuning of an automatic voltage regulator system. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 1(3), 120-124.
- Sahib, M. A. (2015). A novel optimal PID plus second order derivative controller for AVR system. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18(2), 194-206.
- Gozde, H., & Taplamacioglu, M. C. (2011). Comparative performance analysis of artificial bee colony algorithm for automatic voltage regulator (AVR) system. *Journal of the Franklin Institute*, 348(8), 1927-1946.
- Bingul, Z., & Karahan, O. (2018). A novel performance criterion approach to optimum design of PID controller using cuckoo search algorithm for AVR system. *Journal of the Franklin Institute*, 355(13), 5534-5559.
- Ekinci, S., Hekimoğlu, B., Yurtlu, Ö. F., & Uzer, F. (2018). Whale optimization algorithm for optimal controller design in AVR system. *Proc. IENSC*, 1890-1900.
- Ekinci, S., Hekimoğlu, B., & Eker, E. (2019, October). Optimum Design of PID Controller in AVR System Using Harris Hawks Optimization. In *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-6). IEEE.
- dos Santos Coelho, L. (2009). Tuning of PID controller for an automatic regulator voltage system using chaotic optimization approach. *Chaos, Solitons & Fractals*, 39(4), 1504-1514.

- Razmjoo, N., Khalilpour, M., & Ramezani, M. (2016). A new meta-heuristic optimization algorithm inspired by FIFA world cup competitions: theory and its application in PID designing for AVR system. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 27(4), 419-440.
- Ekinci, S., & Hekimoğlu, B. (2019). Improved kidney-inspired algorithm approach for tuning of PID controller in AVR system. *IEEE Access*, 7, 39935-39947.
- Ribeiro, R. L. A., Neto, C. M. S., Costa, F. B., Rocha, T. O. A., & Barreto, R. L. (2015). A sliding-mode voltage regulator for salient pole synchronous generator. *Electric Power Systems Research*, 129, 178-184.
- Elsisi, M. (2019). Design of neural network predictive controller based on imperialist competitive algorithm for automatic voltage regulator. *Neural Computing and Applications*, 31(9), 5017-5027.
- Abegaz, B., & Kueber, J. (2019). Smart Control of Automatic Voltage Regulators using K-means Clustering. *IEEE 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE)*, Anchorage, AK, USA, 2019.
- Bhutto, A. A., Chachar, F. A., Hussain, M., Bhutto, D. K., & Bakhsh, S. E. (2019, January). Implementation of Probabilistic Neural Network (PNN) Based Automatic Voltage Regulator (AVR) for Excitation Control System in MATLAB. In *2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)* (pp. 1-5). IEEE.
- Ortiz-Quisbert, M. E., Duarte-Mermoud, M. A., Milla, F., Castro-Linares, R., & Lefranc, G. (2018). Optimal fractional order adaptive controllers for AVR applications. *Electrical Engineering*, 100(1), 267-283.
- J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks (ICNN'95)*, Perth, Australia, 1995, vol. IV, pp. 1942-1948.
- Doctor, S., Venayagamoorthy, G. K., & Gudise, V. G. (2004, June). Optimal PSO for collective robotic search applications. In *Proceedings of the 2004 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No. 04TH8753)* (Vol. 2, pp. 1390-1395). IEEE.
- Jeong, Y. W., Park, J. B., Jang, S. H., & Lee, K. Y. (2010). A new quantum-inspired binary PSO: application to unit commitment problems for power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(3), 1486-1495.
- Zhou, C., Yin, K., Cao, Y., & Ahmed, B. (2016). Application of time series analysis and PSO-SVM model in predicting the Bazimen landslide in the Three Gorges Reservoir, China. *Engineering geology*, 204, 108-120.
- Godio, A., & Santilano, A. (2018). On the optimization of electromagnetic geophysical data: Application of the PSO algorithm. *Journal of Applied Geophysics*, 148, 163-174.
- Madoliat, R., Khanmirza, E., & Pourfard, A. (2017). Application of PSO and cultural algorithms for transient analysis of natural gas pipeline. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 149, 504-514.
- Malmir, P., Suleymani, M., & Bemani, A. (2018). Application of ANFIS-PSO as a novel method to estimate effect of inhibitors on Asphaltene precipitation. *Petroleum Science and Technology*, 36(8), 597-603.
- Birs, I., Muresan, C., Nascu, I., Folea, S., & Ionescu, C. (2018, November). Experimental results of fractional order PI controller designed for second order plus dead time (SOPDT) processes. In *2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)* (pp. 1143-1147). IEEE.
- Narang, A., Shah, S. L., & Chen, T. (2010, June). Tuning of fractional PI controllers for fractional order system models with and without time delays. In *Proceedings of the 2010 American Control Conference* (pp. 6674-6679). IEEE.
- Zhang, Y., Wang, S., & Ji, G. (2015). A comprehensive survey on particle swarm optimization algorithm and its applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015
- J. Kennedy and R. C. Eberhart, *Swarm Intelligence*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2001.
- Mühürçü, G., Kose, E., Muhurcu, A., & Kuyumcu, A. (2017, September). Parameter optimization of PI controller by PSO for optimal controlling of a buck converter's output. In *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)* (pp. 1-6). IEEE.
- Wang, B., Wu, Z. S., Zhao, Z., & Wang, H. G. (2009). Retrieving evaporation duct heights from radar sea clutter using particle swarm optimization (PSO) algorithm. *Progress In Electromagnetics Research*, 9, 79-91.



Voltage Control at Building Integrated Photovoltaic and Wind Turbine System with PI-PD Controller

Ozan Gül*, Nusret Tan²

¹ Bingol University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Bingol, Turkey (ORCID: 0000-0002-1724-2992)

² Inonu University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Malatya, Turkey (ORCID: 0000-0002-1285-1991)

(First received 31 December 2019 and in final form 13 April 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.668427)

ATIF/REFERENCE: Gül, O. & Tan, N. (2020). Voltage Control at Building Integrated Photovoltaic and Wind Turbine System with PI-PD Controller. *European Journal of Science and Technology*, (18), 992-1003.

Abstract

With the gradual decline in fossil fuels, the area of interest for electric power generation has shifted to wind turbines and other sources of DC electricity such as PV (photovoltaic). Since the voltage output values of these sources vary over a wide range, DC/AC inverters should be used which give a quality and constant value output voltage. In residential buildings that meet the energy need from non-continuous renewable energy sources such as solar panels and wind turbines, it is very important to ensure constant quality power flow to the building, especially when energy demand varies sharply. In this study, it is aimed to control the voltage consumed in the houses by controlling the three phase PWM (pulses width modulation) voltage source inverter system (VSI) with PI-PD controller in the integrated smart building system of renewable energy sources (solar panel and wind turbine). First the building integrated solar and wind systems (BIPv/Wt-Building Integrated PV Panel and Wind Turbine) design, then the controller design and the simulation of the system have been made at this research. We used PI-PD, integer order PI and fractional order PI control structures to control the closed voltage control loop in the DC/AC inverter system used to control the voltage used in the building at the BIPv/Wt system. For that reason obtaining the transfer function of the BIPv/Wt system, then the parameters of the PI-PD controller were calculated using the frequency response analysis method. In order to compare the effects of the control structures on the voltage used in the building, we installed our system on the Matlab/Simulink platform and performed simulations for two test scenarios. Depending on the phase voltages plotting and the harmonic values measured, it is seen that PI-PD control structure has more positive results for the dynamic systems showing the energy demand for the day such as building systems.

Keywords: PI-PD controller, Voltage control loop, Residential building integrated PV-wind system, Energy simulations.

PI-PD Denetleyicisi ile Fotovoltaik ve Rüzgar Türbini Entegre Bina Sisteminde Gerilim Kontrolü

Özet

Fosil yakıtların giderek azalması ile elektrik enerjisi üretimi, rüzgâr türbünü ve PV (fotovoltaik) gibi DC elektrik üreten diğer kaynaklara yönelmektedir. Bu kaynakların gerilim çıkış değerleri geniş bir aralıkta değiştiği için kaliteli ve sabit bir değerde çıkış gerilimi elde etmek için DC/AC invertörlerin kullanılması gerekmektedir. Enerji ihtiyacını güneş paneli ve rüzgâr türbinleri gibi sürekliliği olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayan konut binalarında özellikle enerji talebinin çok keskin değişkenlik gösterdiği zamanlarda binaya sabit kalitede güç akışının sağlanması çok önemlidir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları (güneş paneli ve rüzgâr türbünü) entegre akıllı bina sisteminde PI-PD kontrolör ile üç fazlı PWM (pulses width modulation) gerilim kaynaklı evirici sistemi (VSI) kontrol edilerek konutlarda tüketilen gerilim kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada önce binaya entegre

* Corresponding Author: Bingol University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Bingol, Turkey ORCID: 0000-0002-1724-2992, ogul@bingol.edu.tr

güneş ve rüzgar sistemleri (BIPv/Wt-Bina Entegre PV Panel ve Rüzgar Türbini) tasarımı, daha sonra geri beslemeli gerilim kontrol döngüsü için PI-PD kontrolör tasarımı yapılmış, en son olarakta kontrol edilen sistem için simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.. BIPv/Wt sisteminde binada kullanılan gerilimi kontrol etmek için kullandığımız DC/AC inverter sisteminde, kapalı gerilim kontrol döngüsünü kontrol etmek için PI-PD, klasik PI ve kesir dereceli PI kontrol yapıları kullanıldı. Bunun için BIPv/Wt sisteminin transfer fonksiyonu elde edildi, daha sonra frekans cevap analizi yöntemiyle PI-PD kontrolörünün parametreleri hesaplandı. Kontrol yapılarının binaya sunulan gerilim üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için iki test senaryosu için Matlab/Simulink platformunda sistemimizi kurup simülasyonlar gerçekleştirildi. Çizdirilen faz gerilimleri ve ölçülen gerilim harmonik değerlerine bağlı olarak bina sistemleri gibi gün için enerji talebi değişkenlik gösteren dinamik sistemler için PI-PD kontrol yapısının daha olumlu sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: PI-PD kontrollör, Gerilim kontrol döngüsü, Fotovoltaik ve rüzgar türbini entegre bina sistemi, Enerji simülasyonları

1. Introduction

Due to rapidly developing technology, changing living standards and increasing world population, the energy demand is accelerating and increasing day by day. Fossil fuels are the most important natural resources in energy production. The rapid depletion of non-renewable natural resources, predicting the end of fossil fuels, the harm caused to the waste from fossil fuel use, air pollution, changes in seasons with the effects of greenhouse gases, global warming, degradation of ecosystems and so on. impacts have reached the level that threatens the world.

In the world; In order to reduce energy consumption and increase energy efficiency in new buildings, there are many new houses where successful results are achieved through the selection of high energy performance based design and integration of energy efficiency enhancing systems applied during construction. Building integrated solar and wind systems (BIPv/Wt-Building Integrated PV Panel and Wind Turbine), as a combination of integrated solar panels and wind turbines, will reduce the energy demand from the grid, increase the existing energy diversity and support the gain through smart grid systems (Chaib et al 2016, Gül and Tan 2019, Lind et al 2013, Nookuea et al 2016). When using discontinuous energy sources such as solar panels and wind turbines, and while the building's power demand varies very sharply, it is important to provide a constant and high-quality power flow to the building.

In the study, the intelligent building system fed by the grid and the hybrid renewable energy system based on solar and wind power which the electrical schema shown in Figure 1 are modeled in Matlab/Simulink environment (Kaygusuz et al 2013). As can be seen in Figure 1, the energy integration station of the system consists of AC/DC converter, DC/AC inverter and 2 diodes which determine the direction of flowing power. As long as the energy obtained from renewable energy sources is more than the energy obtained from the grid, the energy obtained from renewable energy sources will be used in our system. The AC/DC converter converts the AC voltage obtained from the grid to DC voltage and transfers it to the DC bus. The DC voltage accumulated in the DC bus is converted to 311 sinwt voltage thanks to the DC/AC inverter and the voltage obtained will be consumed by the households living in the building. The aim of this study is to control the DC/AC inverter system and to provide consumers with a better quality voltage.

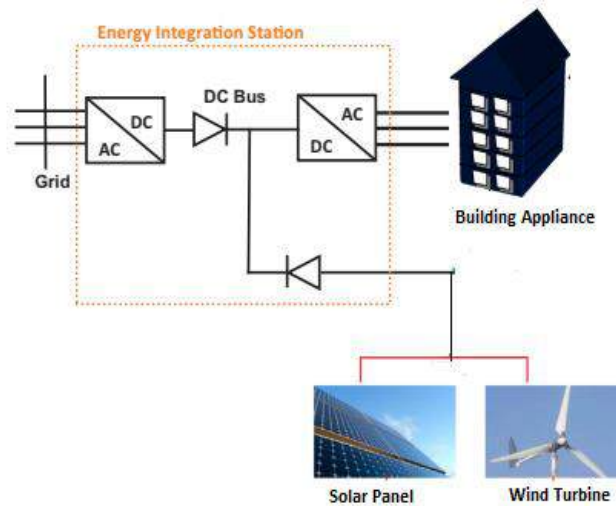


Figure1. Electrical schema of building a concept of integrated PV-wind system

Voltage source DC/AC converters (VSI) are widely used in AC power control systems. Control of these systems is particularly important when operating with non-linear or periodic loads. If the control action in this system is not successful, the output voltage and current of these systems may contain significant harmonic distortions and deformations. Various control methods are used to control the VSI system (Dai et al 2016, Kim et al 2017, Rafiei et al 2003, Rasoanarivo et al 2011). Despite advances in control strategies, structurally simple PI, PID and lag/lead controllers are widely used in industrial control systems. In recent years, some methods have been developed to determine the parameters of these controllers. The most popular methods are Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Åstrom-Hägglund Method, Ziegler-Nichols method derived methods, integral performance criterion (IMC), gain and phase share based design methods (Luo et al 2010, Maiti et al 2008, Malek 2014, Mu et 2011, Tehrani et al 2011).

The PI-PD controller structure is a controller structure with four parameters that provide excellent control in stable, unstable, resonant and integrator processes. In this controller structure, the PD controller is used for feedback in the internal loop system and the PI controller structure is used in the outer loop. Therefore, this structure primarily aims to achieve the desired performance value of the system to be controlled with the PD controller, and in this way it is easier for the result system to give the desired optimum values with the PI controller (Tan 2009).

Since dynamic and/or variable household loads represent a high proportion of the total load in the BIPv/Wt system, problems with power quality are important in such systems (Lenzen et al 2006). The main determinant of the power quality assessment for integrated buildings is that the measured harmonic value of the voltage consumed in the building has less deformation, overshoot value and does not exceed the maximum allowed by the grid regulation of 5%. The aim of this study is to control the VSI system with PI-PD controller in smart building systems integrated with renewable energy sources to ensure that the voltage consumed in the houses is of the desired quality. For this purpose, the transfer function of the BIPv/Wt system is obtained first. Then, the coefficients of the PI-PD controller used to control the feedback voltage control loop in the BIPv/Wt system were designed based on 120 cut-off frequency and 60° phase margin values, utilizing the system's time or frequency domain responses by frequency response analysis method. Integer order PI controller and fractional order PI controller (FOPI) designed for the same cut-off frequency and phase margin by using the same method. Simulations were performed in the Matlab/Simulink environment for comparing PI-PD, PI and FOPI controllers performance in terms of three-phase voltage distribution inside the building and total harmonic distortion (THD) household voltage for two test scenarios. The simulation results show that PI-PD controller shows better performance than PI and FOPI controllers.

Our study is classified as follows: firstly the mathematical modeling of the BIPv/Wt system is obtained and then the PI-PD controller is designed according to this mathematical model. In the result part, simulations were performed in Matlab/Simulink environment for two different test scenarios in in BIPv/Wt system controlled by PI-PD, PI and FOPI controllers and results were analyzed for different load conditions in the building.

2. Materials and Methods

2.1. Mathematical Modeling of BIPv/Wt System

Figure 3 shows the circuit topology of the BIPv/Wt system (Mu et all 2011, Malek 2014). The V_{DC} represents the DC voltage value at the Energy Integration Station. The V_{DC} supplies a three-phase inverter system that converts the DC voltage to a three-phase AC voltage and supplies AC power to dwellings in the building load shown in Z_L in Figure 2.

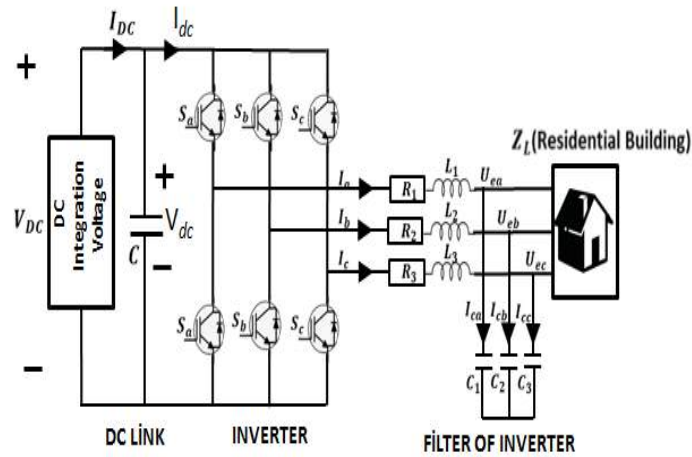


Figure 2. Model of BIPv/Wt system

Assumi $L_1 = L_2 = L_3 = L$, $R_1 = R_2 = R_3 = R$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$. According to Figure 2, considering the inductor currents and capacitor voltages [$i_a, i_b, i_c, V_{dc} = V_{DC}$] in a grid-connected BIPv/Wt system, we write Kirschoff's equations to obtain the transfer function of the three-phase inverter system in three-phase abc coordinate as (Mu et all 2011, Malek 2014);

$$L \frac{di_a}{dt} = -Ri_a + \frac{V_{DC}(2S_a - S_b - S_c)}{3} - U_{ea} \quad (1)$$

$$L \frac{di_b}{dt} = -Ri_b + \frac{V_{DC}(2S_b - S_a - S_c)}{3} - U_{eb} \quad (2)$$

$$L \frac{di_c}{dt} = -Ri_c + \frac{V_{DC}(2S_c - S_a - S_b)}{3} - U_{ec} \quad (3)$$

$$C \frac{dV_{DC}}{dt} = I_{DC} - i_{dc} \quad (4)$$

In these equations, S_a , S_b and S_c are input switching functions.

The output current of the inverter is equal to the input current when the transmission and switching losses of this system are not taken into account. If we rewrite equation 4 according to this condition;

$$i_{dc} = i_a S_a + i_b S_b + i_c S_c \quad (5)$$

$$C \frac{dV_{DC}}{dt} = I_{DC} - (i_a S_a + i_b S_b + i_c S_c) \quad (6)$$

In this study, Park transformation was used to convert a three-phase, three-dimensional system into a two-dimensional system and also to convert the three-phase system into a single-phase system. If we apply Park transformation to the mathematical model of BIPv/Wt system, our new mathematical equations (Mu et al 2011);

$$L \frac{dI_d}{dt} = -RI_d + L\omega I_q + S_d V_{DC} - E_d \quad (7)$$

$$L \frac{dI_q}{dt} = -RI_q - L\omega I_d + S_q V_{DC} - E_q \quad (8)$$

$$C \frac{dV_{DC}}{dt} = I_{DC} - I_d S_d - I_q S_q \quad (9)$$

Where d and q represent the direct and quadratic part of the parameters and ω is the angular frequency of the system. If the two nonlinear terms $L\omega I_q$ and $L\omega I_d$ are compensated in the feed forward voltage control loop (11); equations (7), (8) and (9) can be written as linear equations, as shown in equations (10), (11) and (12), respectively.

$$L \frac{dI_d}{dt} = -RI_d + S_d V_{DC} - E_d \quad (10)$$

$$L \frac{dI_q}{dt} = -RI_q + S_q V_{DC} - E_q \quad (11)$$

$$C \frac{dV_{DC}}{dt} = I_{DC} - I_d S_d - I_q S_q \quad (12)$$

The linear transfer function of the inverter and the inverter output filter is obtained as an equation (13) by analyzing the voltage and current equations.

$$\frac{I_d(s)}{V_d(s)} = \frac{1}{sL + R} \quad (13)$$

In the inverter system, when transferring the system with the inverter and its filter, the time delay caused by the inverter, the delay caused by the filter and the time delay caused by the DSP should be considered. But in simulation the sampling time is less than the sum of all these delays, so we can write the transfer function of the system in continuous time;

$$G_P(s) = \frac{1}{sL + R} \quad (14)$$

2.2. Control of BIPv/Wt System with PI-PD Controller

Compared to the classical PID and PI control structures, the PI-PD control structure offers users a more powerful and flexible control structure with four different controller parameters (Tan 2009). PI-PD design is done by making two separate analyzes for internal and external cycles to obtain the values of the parameters (K_d , K_f) and (K_p , K_i). The voltage control loop for both direct and

quadrature voltage components at the output of the three-phase inverter in the BIPv/Wt system can be modeled as shown in Figure 3 to obtain values at the inverter output q-axis and d-axis voltages that correspond to the reference voltages we set. We want the values of quadrates part of reference voltage and current be zero so that the reactive power drawn by the load is zero.

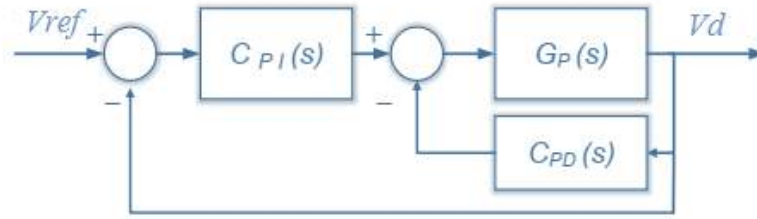


Figure 3. Control structure with PI-PD

$C_{PI}(s)$ and $C_{PD}(s)$ are PI and PD controllers, respectively and $G_P(s)$ is the transfer function of open loop transfer function of the plant. Where $C_{PI}(s)$ and $C_{PD}(s)$ are written as;

$$C_{PI}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (14)$$

$$C_{PD}(s) = K_f + K_d s \quad (15)$$

2.3. Tuning of PI-PD Controller Parameters

The objective of this part is to determine the parameters of the PI and PD controllers that control the DC/AC inverter system in order to obtain the desired result for the voltages consumed in the households in the *BIPv/Wt* system.

In this study, the BIPv/Wt system which we researched was developed using matlab/simulink software. In the system realized by Matlab/Simulink, we perform 500 kHz for sampling frequency and 60 Hz for mains frequency. Due to the high sampling time, the phase delay that can be observed in the system is very small and can be ignored. In our system, resistance and inductance values of inverter filter are accepted as 20 mH and 0.7 Ω. If we rewrite the transfer function of our system according to these values for voltage control loop is;

$$G_P(s) = \frac{1}{0.02s + 0.7} \quad (16)$$

The transfer function of the internal loop feedback with PD controller, refer to Figure 3 is;

$$G_T(s) = \frac{1}{(0.02 + K_d)s + 0.7 + K_f} \quad (17)$$

The roots of transfer function $G_T(s)$ can be founded as ;

$$(0.02 + K_d)s + 0.7 + K_f = 0 \quad (18)$$

$$s = \frac{-0.7 - K_f}{0.02 + K_d} \quad (19)$$

The system will be stable for real positive values of K_f and K_d by examined Equation 19.

In the study, we gave K_f value as 0.3. So transfer function of the system become as;

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{(0.02 + K_d)s + 1} = 1 \quad (20)$$

In order to find the K_d value, we examined the unit step responses of system transfer function for different K_d values (0.03, 0.1, 1, 2) as shown in Figure 4.

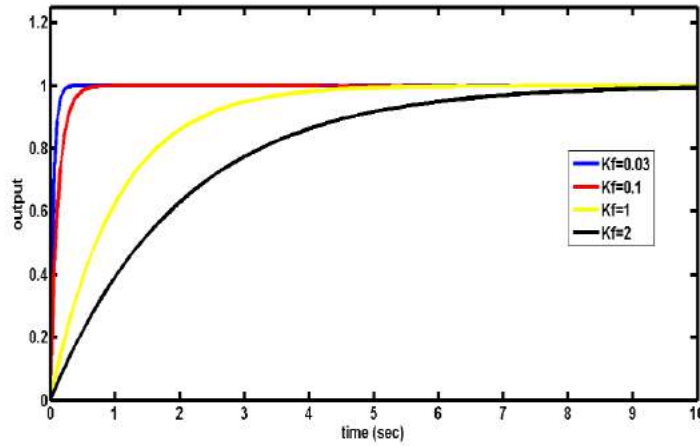


Figure 4. Unit step responses for selected K_f values

As the unit step results show that the K_f value decreases, the time required for the system to settle within a certain percentage of the system of the input amplitude is decreased. For that reason we select the K_f value 0.03. The closed loop transfer function $G_T(s)$ of the inner loop is obtained by replacing the parameters K_f and K_d obtained from the PD closed loop characteristic equation. The new transfer function is;

$$G_T(s) = \frac{1}{0.05s + 1} \tag{21}$$

By obtaining the transfer function $G_T(s)$, the closed closed loop with feedback of the PI controller is generated as shown in Figure 5.

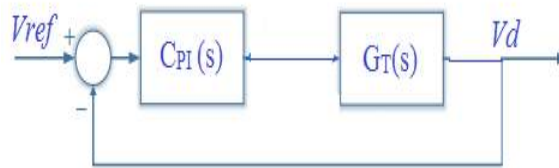


Figure 5. Block diagram of outer control loop of the system with PI

Several methods have been proposed to determine the parameters of the PI control structure shown in Figure 5 (Liu et al 2013, Luo et al 2010, Maiti et al 2008, Malet et al 2013, Malek 2014). The following design criteria should be considered when determining the system's parameters (Maiti et al 2008, Malek 2014).

- $Arg[G_K(j\omega_c)] = Arg[C_{PI}(j\omega_c)G_T(j\omega_c)] = -\pi + \varphi_m$ (22)

- $|G_K(j\omega_c)|_{dB} = |C_{PI}(j\omega_c)G_T(j\omega_c)|_{dB} = 0$ (23)

- $d[Arg[C_{PI}(j\omega)G_T(j\omega)]]/d\omega = 0$ at $\omega = \omega_c$ (24)

where φ_m is phase margin, ω_c is the gain crossover frequency, $G_K(j\omega)$ is the open loop transfer function of the controlled system, $C_{PI}(j\omega)$ is the PI controller transfer function, and $G_T(j\omega)$ is the transfer function of the controlled system.

According to Liu's work (Liu et al 2012), the cut-off frequency of the control loop for the three-phase system connected to the grid must be in the range of [100,640] rad/sec. In the simulations carried out in these studies, the cut-off frequency for the voltage control loop is assumed to be $\omega_c = 140$ rad/sec and in this condition the phase margin must be $\varphi_m = 60^\circ$ to have a damping ratio of $\xi = 0.707$.

The parameters of the PI controller that will control the system are obtained by drawing the Bode diagram which is the frequency response analysis for the dynamic system model by using FOMCON program on Matlab/Simulink software platform and considering the design criteria (22), (23) and (24). The parameter of PI controller was founded to $K_p = 5,6$ and $K_i = 625$.

To obtain a fair comparison between PI-PD controller and PI and FOPI controllers, the same tuning approach, which has been discussed previously is applied to tune the controllers which determined at Gül and Tan work (Gül and Tan 2019). The parameters of PI and FOPI controllers for 140 rad/sec cut-off frequency and 60° phase margin are defined;

$$PI(s) = 2 + \frac{280}{s} \tag{25}$$

$$FOPI(s) = 1.4 + \frac{110}{s^{0.8}} \tag{26}$$

In the bode diagram we examined in Figure 6, it was seen that in the three control structures where we compared performances, the design criteria at equations (22), (23) and (24) were written.

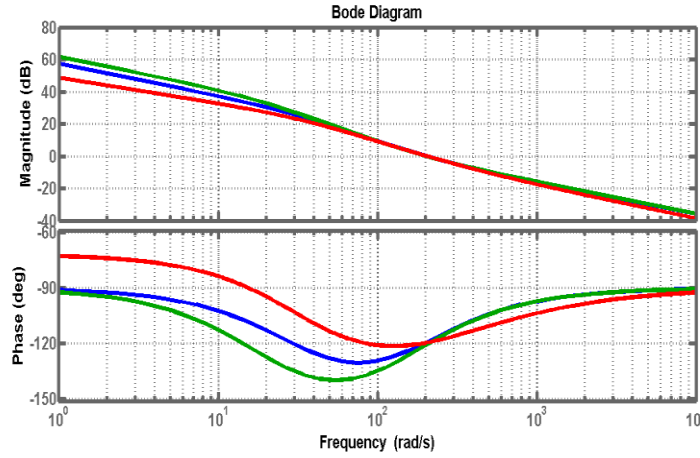


Figure 6. Bode diagram of the controlled system using FOPI (red), PI-PD (green) and PI (blue) Bottom: Phase Plot and Top: Gain Plot

3. Research Results and Discussion

3.1. Case Study

The simulations are applied for two different test scenarios to analyse the phase voltages at the building disturbance and the total harmonic distortion (THD) of home voltage in order to compare the advantages between PI-PD controller designed with PI and fractional order PI controllers which are used to improve the quality of the electrical energy supplied to the building. Our smart building is composed of three floors and four houses on each floor. Each phase at the inverter outlet feeds one floor and therefore four houses. The dynamic load model in the building is designed according to the hourly energy consumption profiles of homes take into consideration of household activities. Table 1 shows the nominal energy consumption of household appliances between 0-24 hours used in this study. Hourly power values of photovoltaic panels and wind turbines are obtained from Capo-Vado site (Italy) power reports (Kaygusuz et al 2013).

Our simulations are performed for two different scenarios. In the first of these scenarios, it is assumed that each phase feeds an equal load (Ra = Rb = Rc = dynamic 4 house load), whereas in the second scenario each phase feeds different load values (Ra = dynamic 4 house load, Rb = dynamic 3 house load, Rc = dynamic 2 house load). Each hour of the day is conducted for 0.1 sec at Matlab/Simulink simulations in this study.

Table 1. Energy Consumption of a House on an Hourly Basis

Hour	Rectifier (Watt)	Lighting (Watt)	Washing Machine, Dishwasher (Watt)	Kitchen (Watt)	Heating/Cooling (Watt)	TV, Computer (Watt)	Total (Watt)
0-7	77				150		227
7-8	77			233		150	460
8-9	77		400				477
9-12	77					150	227
12-13	77			233		150	460
13-14	77		400				477
14-17	77					150	227
17-19	77					250	327
19-20	77	100		233		150	550
20-21	77	150				150	377
21-23	77	150			150	223	600

3.2. Stable Load Condition

In this section, our simulations are performed for stable load condition ($R_a = R_b = R_c =$ dynamic 4 house load). The phase voltages (V_a, V_b, V_c) used by consumers in building which voltages controlled by PI, FOPI and PI-PD controllers are shown in the Figure 7, Figure 8 and Figure 9. In Figure 7 Simulation graphics will be sketched between 08:00-10:00 hours to further thought the effect of the sharpest changes the power demand of home consumption drop from 477 watt to 227 watt at 09:00 hour.

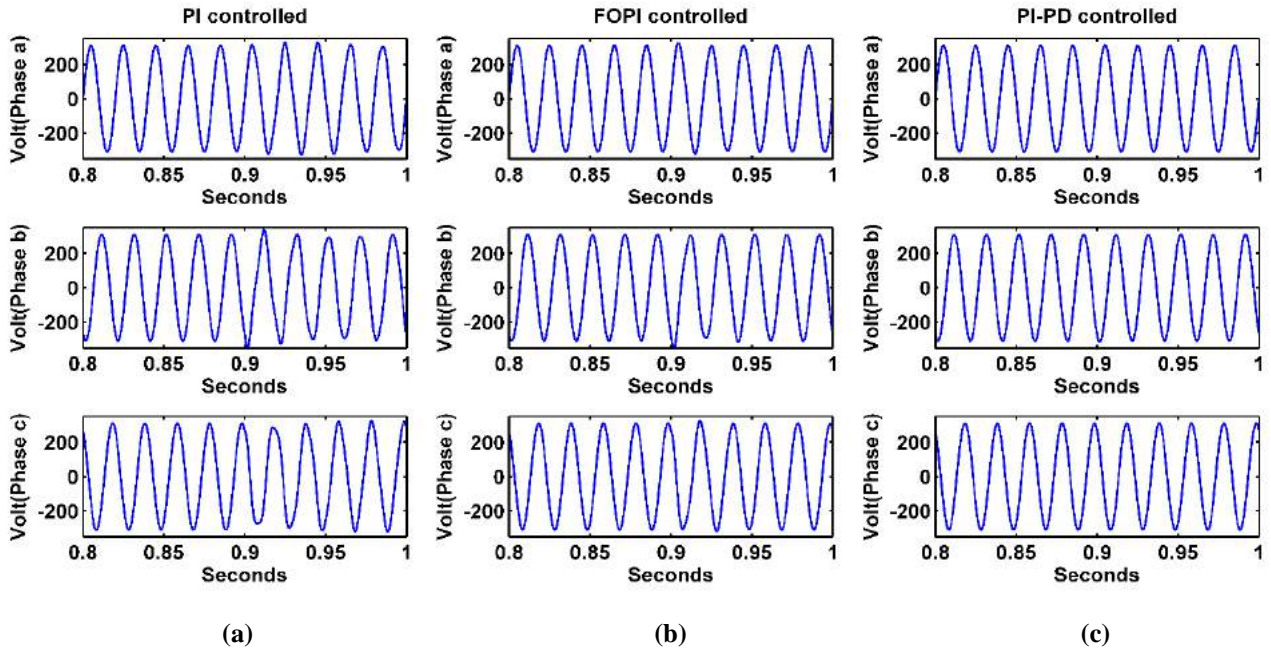


Figure 7. Voltage each phase at distribution inside the building for stable load condition between 08:00-10:00 hours (a) PI controlled system (b) FOPI controlled system (c) PI-PD controlled system

In Figure 8 and Figure 9, simulation graphics will be sketched respectively, between 13:00-15:00 hours and between 19:30-21:30 to further thought the effect of the sharpest changes the power demand of home consumption .

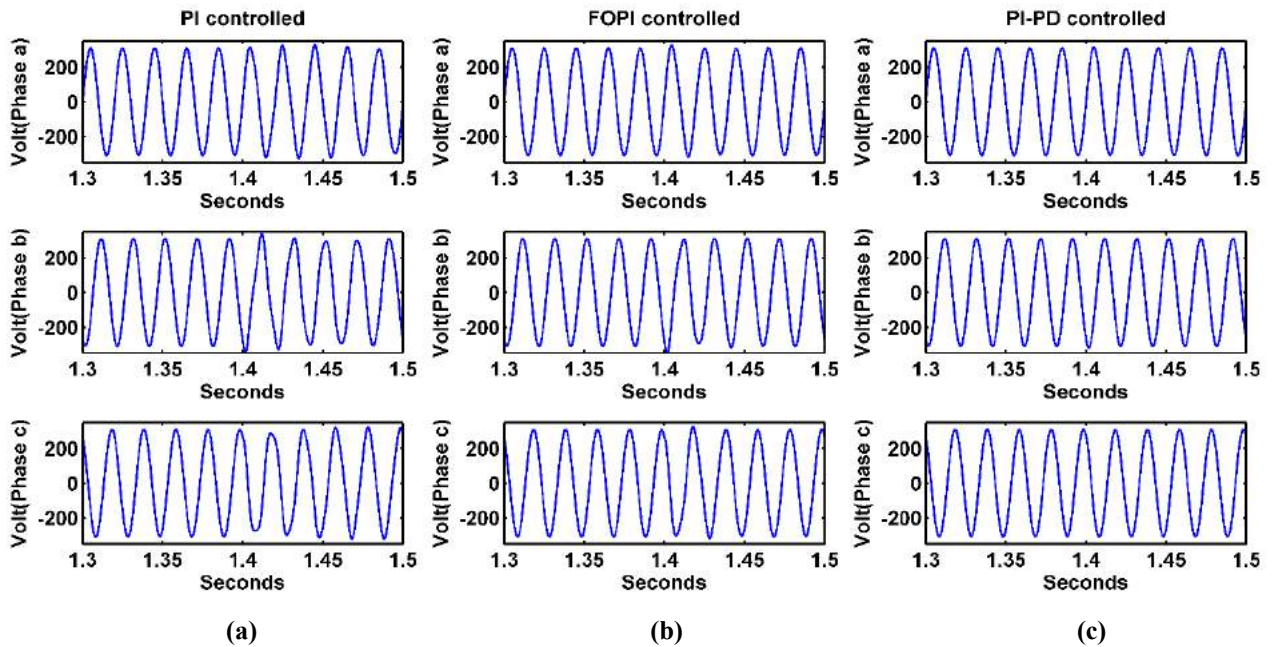


Figure 8. Voltage each phase at distribution inside the building for stable load condition between 13:00-15:00 hours (a) PI controlled system (b) FOPI controlled system (c) PI-PD controlled system

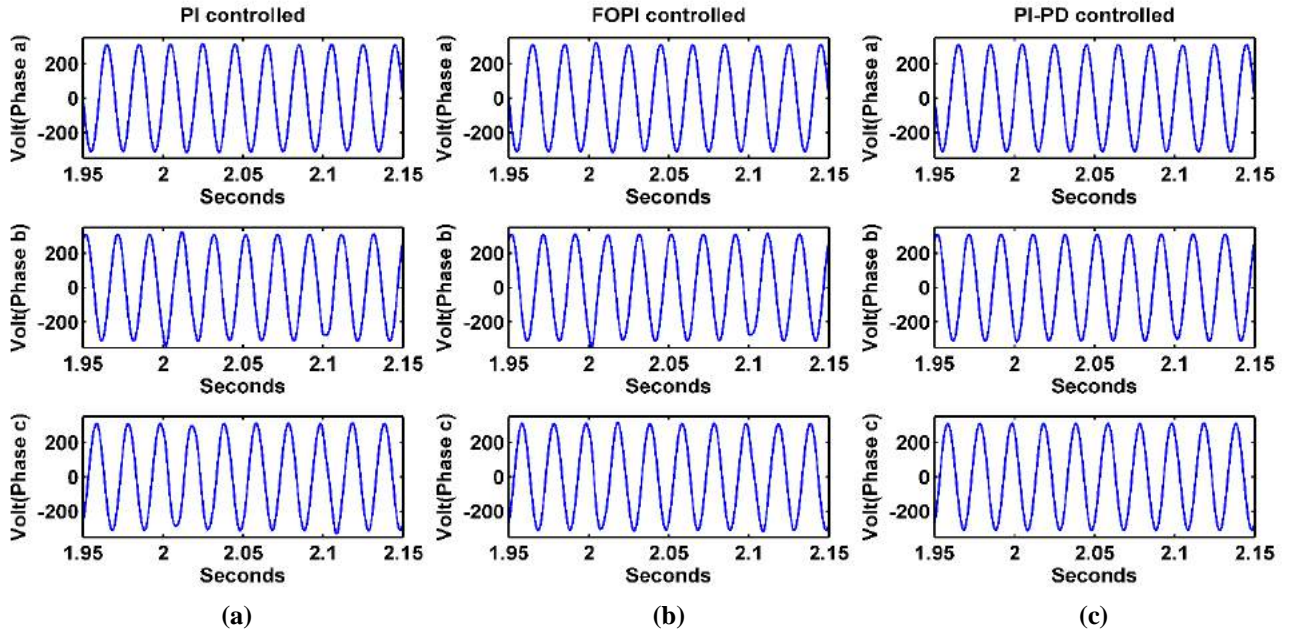


Figure 9. Voltage each phase at distribution inside the building for stable load condition between 19:30-21:30 hours (a) PI controlled system (b) FOPI controlled system (c) PI-PD controlled system

When we examine Figure 7, Figure 8 and Figure 9 closely, we observe that the sinusoidal voltage waveforms b and c show deformation in the PI controlled system especially at 09:00, 14:00, 20:00 and 21:00 hours when the building's power demand changes sharply, and also in the FOPI controlled system deformation is observed at phase b voltage. In the PI-PD controlled system, no deformation has been observed in the phase voltages. When power demand at home drops from 477 Watts to 227 Watts at 14:00, the highest overvoltage values are measured at 350 and 345 Volts in phase b, respectively for the PI and FOPI controlled systems. And also the highest withdrawal value of voltage is 275 Volts in phase c for the PI controlled system at 09:00 hour. The overshoot or withdrawal value in phase voltages was not measured in the system controlled by PI-PD system. As a result, although there is a slight deformation and overshoot values at phase b and phase c voltages in PI and FOPI controlled systems, these observations will not cause electrical fault in the system. However, in the system controlled by PI, it can be seen that it takes a certain time for the sinusoidal wave to reach a proper form again when comparing FOPI controlled system.

When we examined the THD values shown in Table 2, it was seen that the PI-PD controller had more successful results compared to both the FOPI and PI controller. Also when we compare fractional PI and classical PI control, it is analyzed that THD values measured in the system controlled by the FOPI controller are well below the system controlled by the PI controller.

To summarize the simulation study for the stable load situation, better results were obtained in both the measured THD values and the phase voltages consumed at home in the system controlled by PI-PD control structure.

Table 2. Home voltages THD (%) on stable building load condition

THD (%)	V _A	V _B	V _C
PI	2.39	3.5	3.32
FOPI	1.82	2.93	2.73
PI-PD	0.46	0.53	0.47

3.3. Unstable Load Condition

Our second test scenario is refer to unstable load condition. In this test scenario, we designed the system load as the load fed by phase a is the 3/2 times the load fed by phase b and 2 times the load fed by phase c. Figure 10, Figure 11 and Figure 12 demonstrate that phase voltages distribution inside the building from the test scenario of an unstable building load situation respectively, for between 08:00-10:00 hours, 13:00-15:00 hours and 19:30-21:30 hours.

Considering the overshoot values and deformation in the sinusoidal voltage wave of phases a, b, and c, the PI-PD controller performed significantly better than PI and FOPI controllers, as no observed deformation and overshoot phase voltage values changed especially power demands of load change sharply. When FOPI and PI control structures were compared, it was observed that PI controls were not successful in controlling the system in case of unstable load. Significant disturbances were observed in the sinusoidal wave in which we examined the phase voltages. On the other hand, in the FOPI controlled system, only sinusoidal wave of

phase b showed minor deformation and overshoot value at the time 09:00, 14:00, 20:00 and 21:00 when the home power consumption sharply change. Hence, the efficiency of the BIPv/Wt system with fractional order controllers is better compared to integer order controllers under the unstable building load condition.

Another result of this case study is that when we connect different load values to the phases, the voltage values measured in the phases decompose. Phase voltage decreases as phase-dependent load value increases $V_a = 260$ V, $V_b = 315$ V, $V_c = 365$ V. In three-phase systems with equal load distribution, phase voltages are either close to or equal to each other. Voltage unbalance is a measurement of the inequality of the phase voltages and the phase voltages should be equal or very close to equal in a balanced three-phase system. Voltage unbalance situation cause malfunction of the household appliances and shorten the life of the electrical appliances.

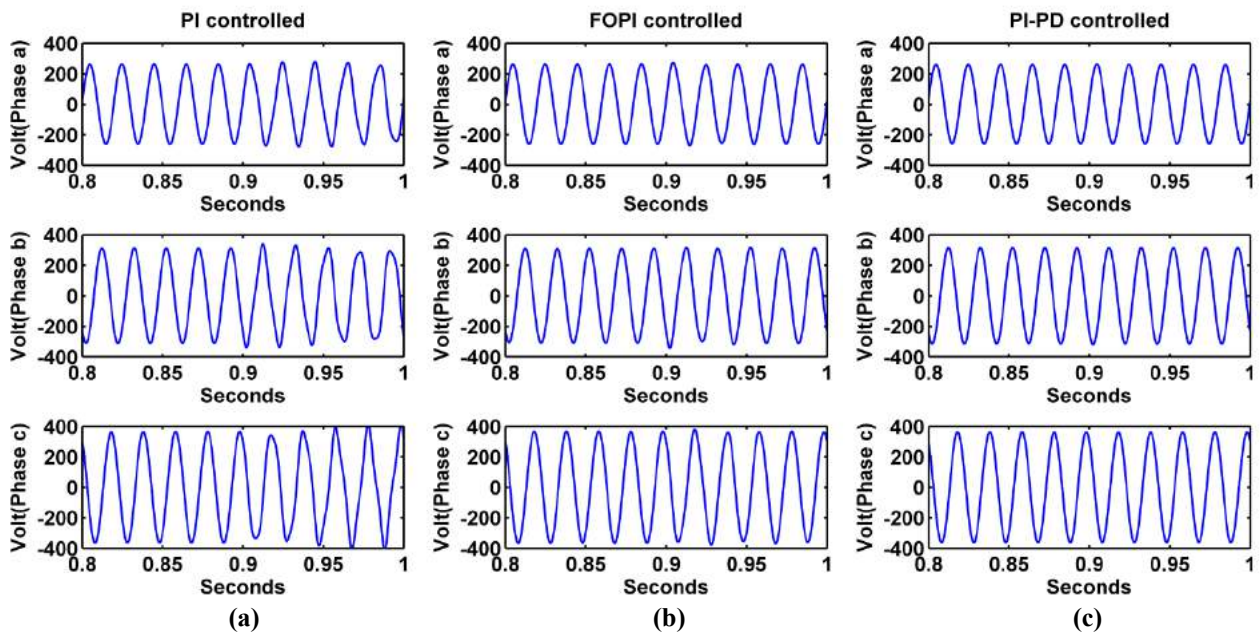


Figure 10. Voltage each phase at distribution inside the building for unstable load condition between 08:00-10:00 hours (a) PI controlled system (b) FOPI controlled system (c) PI-PD controlled system

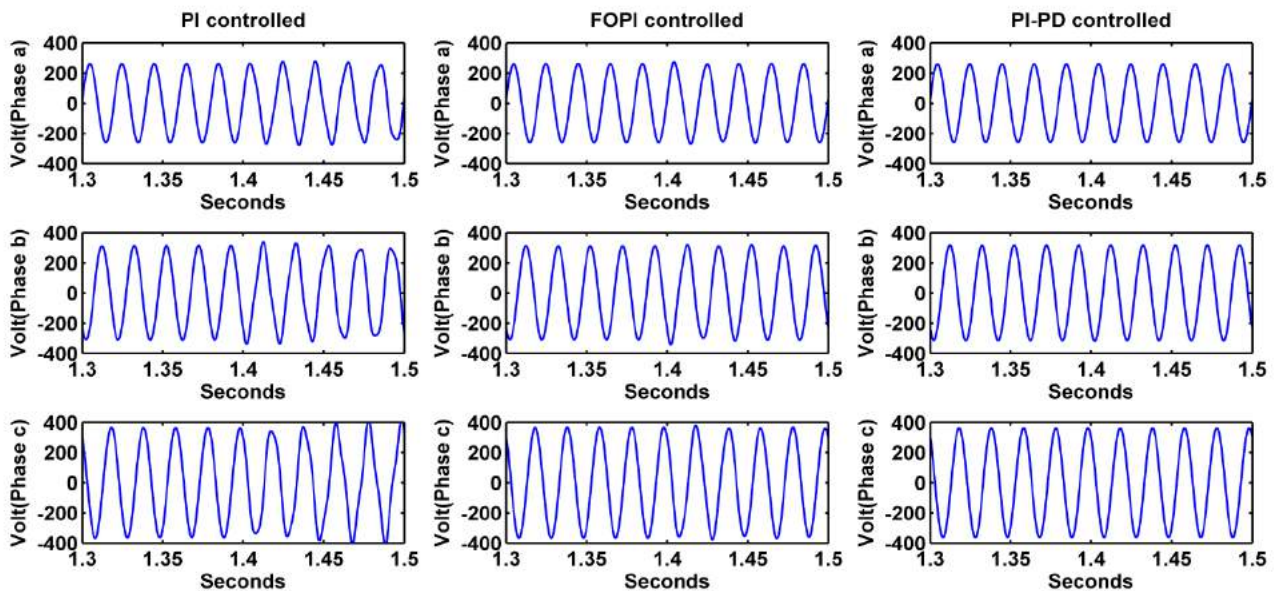


Figure 11. Voltage each phase at distribution inside the building for unstable load condition between 13:00-15:00 hours (a) PI controlled system (b) FOPI controlled system (c) PI-PD controlled system

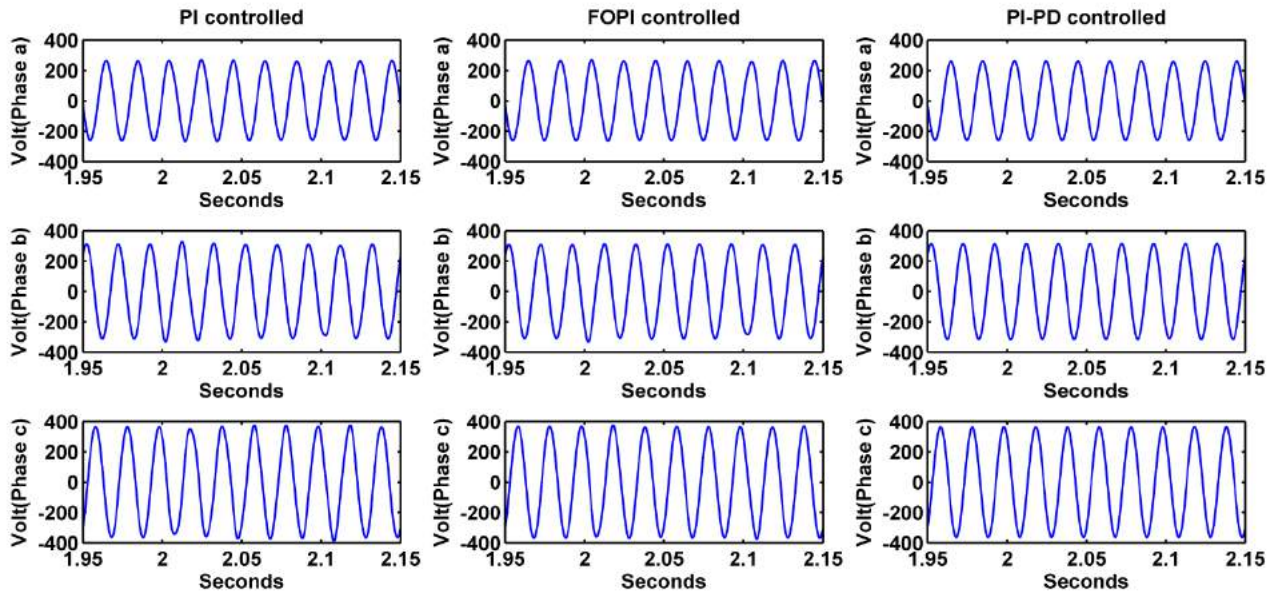


Figure 11. Voltage each phase at distribution inside the building for unstable load condition between 19:30-21:30 hours (a) PI controlled system (b) FOPI controlled system (c) PI-PD controlled system

It is clear from the THD values in Table 3 (6.51%, 8.01%, 11.06%) that the PI control structure fails to control the voltage consumed in the building for the unstable load condition by contrast with in the system controlled by FOPI, it was observed that the THD value measured at the voltage in phase c only exceeded the limit determined by IEEE. For all that, the measured THD values shows the superiority of PI-PD controller.

As a result, while the simulation study performed in this test scenario proves that PI-PD controller is the most preferred control structure for controlling the BIPv/Wt system, it has been observed that FOPI control structure gives more successful responses to changes occurring in the system or the loads connected to the system than PI control structure.

Table 3. Home voltages THD (%) on Unstable Building Load Condition

THD (%)	V _A	V _B	V _C
PI	6.51	8.01	11.06
FOPI	1.77	2.16	2.12
PI-PD	0.30	0.31	0.31

4. Conclusion

This study provides a voltage control system using PI-PD control operator in smart residential building systems integrated into hybrid renewable energy source (photovoltaic panels and wind turbines). Firstly, mathematical modeling of BIPv/Wt system was obtained and according to this mathematical model, PI-PD controller was designed by using frequency response analysis methods according to the 140 cut-off frequency and 60° phase margin values. To measure the success of PI-PD controller, PI and FOPI controls were designed by the same method with the same cutoff frequency and margin values.

For comparison between three different control structure, THD level of output voltages and voltage quality consumed in the building were analyzed in Matlab/Simulink software platform for both stable and unstable building load conditions. The simulation results show that less oscillation (less THD), less overshoot and deformation at three phase voltages injected to the building is observed at PI-PD controlled BIPv/Wt systems. When FOPI and PI control structures are compared, it is seen from the simulation results that FOPI control structure is more successful in controlling voltage compared to PI control structure and it is more advantageous to use more flexible control structures such as FOPI in systems with highly variable variables such as BIPv/Wt systems. The problem we face is that as the load values of the three phases connected to the inverter system change, the voltage values measured in the phases change as well, and different control strategies need to be considered. In this regard, this study will be an important resource for future research on voltage and/or current control in the integration of smart homes, buildings, sites and workplaces with renewable energy systems.

References

Chaib A., Achour D., Kesraoui M. (2016) Control of a solar PV/wind hybrid energy system. *Energy Procedia*, 95, 89-97. doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.028.
 Dai Y-X., Wang H., Zeng G-Q. (2016) Double closed-loop PI control of three-phase inverters by binary-coded extremal optimization. *IEEE Access*, 4, 7621-7632, doi:10.1109/access.2016.2619691.

- Gül O., Tan N. (2019) Application of Fractional Order Voltage Controller in Building Integrated Photovoltaic and Wind Turbine. *Measurement and Control*, 52(7-8), 1145-1158. doi:10.1177/0020294019858213.
- Kaygusuz A., Keleş C., Alagöz B. B., Karabiber A. (2013) Renewable energy integration for smart sites. *Energy and Building*, 64, 456-462. doi:10.1016/j.enbuild.2013.05.031.
- Kim K., Cha H., Kim H. G. A. (2017) A new single-phase switched-coupled-inductor DC-AC inverter for photovoltaic systems. *IEEE Transaction on Power Electronics*, 32, 5016-5018, doi:10.1109/tepel.2016.2606489.
- Lenzen M., Wier M., Cohen C., Hayami H., Pachauri S., Schaeffer R. (2006) A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan. *Energy*, 31, 181–207, doi:10.1016/j.energy.2005.01.009.
- Lind A., Rosenberg E., Seljom P., Espegren K., Fidje A., Lindberg K. (2013) Analysis of the EU renewable energy directive by a techno-economic optimization model. *Energy Policy*, 60, 364–377. doi:10.1016/j.enpol.2013.05.053.
- Liu S., Bi T., Xue A., Yang Q. (2012) An Optimal Method for Designing the Controllers Used in Grid-Connected PV Systems, Proceedings of IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), Wollongong, Australia.
- Luo Y., Chen Y., Wang C., Pi Y. G. (2010) Tuning fractional order proportional integral controllers for fractional order systems. *Journal of Process Control*, 20, 823-831, doi:10.1016/j.jprocont.2010.04.011.
- Maiti D., Acharya A., Chakraborty M., Konar A., Janarthanan R. (2008) Tuning PID and Fractional PID Controllers using the Integral Time Absolute Error Criterion, 4th International Conference on Information and Automation for Sustainability, IEEE. doi:10.1109/iciafs.2008.4783932.
- Malek H., Luo Y., Chen Y. (2013) Identification and tuning fractional order proportional integral controllers for time delayed systems with a fractional pole. *Mechatronics*, 23(7), 746-754, doi:10.1016/j.mechatronics.2013.02.005.
- Malek H. (2014) Control of Grid-Connected Photovoltaic Systems Using Fractional Order Operators, PhD. Thesis, Utah University, Utah.
- Mu K., Ma X., Mu X., Zhu D. (2011) Study on Passivity-Based Control of Voltage Source PWM DC/AC Inverter, International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, Harbin, China.
- Nookuea W., Campana P. E., Yan J. (2016) Evaluation of solar PV and wind alternatives for self renewable energy supply: Case study of shrimp cultivation, *Energy Procedia*, 88, 462-469. doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.026.
- Rafiei S. M. R., Ghazi R., Asgharian R., Barakati M., Toliyat H. A. (2003) Robust Control of DC/DC PWM Converters: A comparison of H^∞ , PI^λ , and fuzzy logic based approaches, Proceedings of the IEEE 2003 Control Applications Conference, Istanbul, Turkey, 2003.
- Rasoanarivo I., Arab-Tehrani K., Sargos F. M. (2011) Fractional order PID and modulated hysteresis for high performance current control in multilevel inverters. Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 2011, Orlando, FL, USA.
- Tan N. (2009) Computation of Stabilizing PI-PD Controllers, *International Journal of Control Automation and Systems*, 7(2), 175-184, doi:10.1007/s12555-009-0203.
- Tehrani K. A., Capitaine T., Barrandon L., Hamzaoui M., Rafiei S. M. R. (2011) Current Control Design with a Fractional-Order PID for a Three-Level Inverter, Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011, 14th European Conference on Publication, Birmingham, England.



Yeni 2-Metoksi-6-[(3-alkil/aryl-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil Furan-2-karboksilat Türevlerinin Sentezi ve *in vitro* Antioksidan Aktiviteleri

Abdurrahman Gürbüz¹, Muzaffer Alkan², Sevda Manap³, Özlem Gürsoy Kol^{3*}, Gül Özdemir³, Haydar Yüksek³

¹Kafkas University, Atatürk Health Services VC, 36100 Kars, Turkey (ORCID: 0000-0002-6820-6377)

²Kafkas University, Faculty of Education, 36100 Kars, Turkey (ORCID: 0000-0002-8820-4555)

³Kafkas University, Department of Chemistry, 36100Kars, Turkey (ORCID: 0000-0002-5025-9622; 0000-0003-2637-9023; 0000-0001-7823-0920; 0000-0003-1289-1800)

(İlk Geliş Tarihi 16 Aralık 2019 ve Kabul Tarihi 13 Nisan 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.656126)

ATIF/REFERENCE: Gürbüz, A., Alkan, M., Manap, S., Kol, G. Ö., Özdemir, G. & Yüksek, H. (2019). Synthesis and *in vitro* Antioxidant Activities of Novel 2-Methoxy-6-[(3-alkyl/aryl-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-yl)-azomethine]phenyl Furan-2-carboxylate Derivatives. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 1004-1011.

Öz

1,2,4-Triazol ve 4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on halkası taşıyan heterosiklik bileşikler çok geniş bir spektrumda biyolojik aktivite göstermektedir. Schiff bazlarının ise boya, tekstil, kozmetik, analitik reaktifler, su iyileştirme ürünleri, petrol katkı maddeleri, sentetik polimer ürünleri, deri ve kağıt gibi doğal makromoleküler materyallerin iyileştirilmesi gibi çeşitli pratik uygulamaları bulunmaktadır. Ancak Schiff Bazlarının en önemli uygulama alanı ilaç kimyasıdır. Potansiyel biyolojik aktif 1,2,4-triazol halkası içeren Schiff bazlarının birçok hastalığın tedavisinde kullanılabilecek faydalı moleküllerin ve ileride hastalıkların tedavisinde kullanılabilecek ilaçların elde edilmesi ümit edilmektedir. Bu amaçla 3-alkil(aryl)-4-amino-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on'ların (1), 2-formil-6-metoksifenil furan-2-karboksilat (2) ile reaksiyonundan 2-metoksi-6-[(3-alkil/aryl-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilatlar (3) elde edilmiştir. Daha sonra 3 bileşiklerinin asetilasyon reaksiyonları incelenerek 2-metoksi-6-[(1-asetil-3-alkil/aryl-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilatlar (4) sentezlenmiştir. On dört yeni bileşiğin yapıları IR, ¹H NMR, ¹³C NMR ve UV spektral verileri kullanılarak aydınlatılmıştır. Ayrıca, sentezlenen 3 ve 4 tipi yeni bileşiklerin üç farklı yöntemle (indirgeme gücü, serbest radikal giderme aktivitesi ve metal şelat aktivitesi) *in vitro* antioksidan özellikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Schiff bazı, 4,5-Dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on, Sentez, Asetilasyon, Antioksidan Aktivitesi.

Synthesis and *in vitro* Antioxidant Activities of Novel 2-Methoxy-6-[(3-alkyl/aryl-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-yl)-azomethine]phenyl Furan-2-carboxylate Derivatives

Abstract

Heterocyclic compounds bearing 1,2,4-triazole and 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazole-5-one ring show a wide spectrum of biological activity. Schiff bases have various practical applications such as dyes, textile, cosmetics, analytical reagents, water treatment products, petroleum additives, synthetic polymer products, the improvement of natural macromolecular materials like leather and paper. However, the most important application area of Schiff Bases is pharmaceutical chemistry. It is hoped that Schiff bases containing a potentially biologically active 1,2,4-triazole ring will provide useful molecules that can be used in the treatment of many diseases and drugs that can be used in the treatment of future diseases. In this regard, new 2-methoxy-6-[(3-alkyl/aryl-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-yl)-azomethine]phenyl furan-2-carboxylates (3) were obtained from the reactions of 3-alkyl(aryl)-4-amino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones (1) with 2-formyl-6-methoxyphenyl furan-2-carboxylate (2). Then, acetylation reactions of 3 compounds were examined and 2-methoxy-6-[(1-acetyl-3-alkyl/aryl-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-yl)-azomethine]phenyl furan-2-carboxylates (4) were

* Sorumlu Yazar: Kafkas University, Department of Chemistry, 36100Kars, Turkey, ORCID: 0000-0003-2637-9023, ozlemgursoy@gmail.com

synthesized. The structures of fourteen new compounds were characterized by IR, ^1H NMR, ^{13}C NMR and UV spectral data. Besides, *in vitro* antioxidant properties of the newly synthesized **3** and **4** type compounds were evaluated by three different methods (reduction power, free radical removal activity and metal chelate activity).

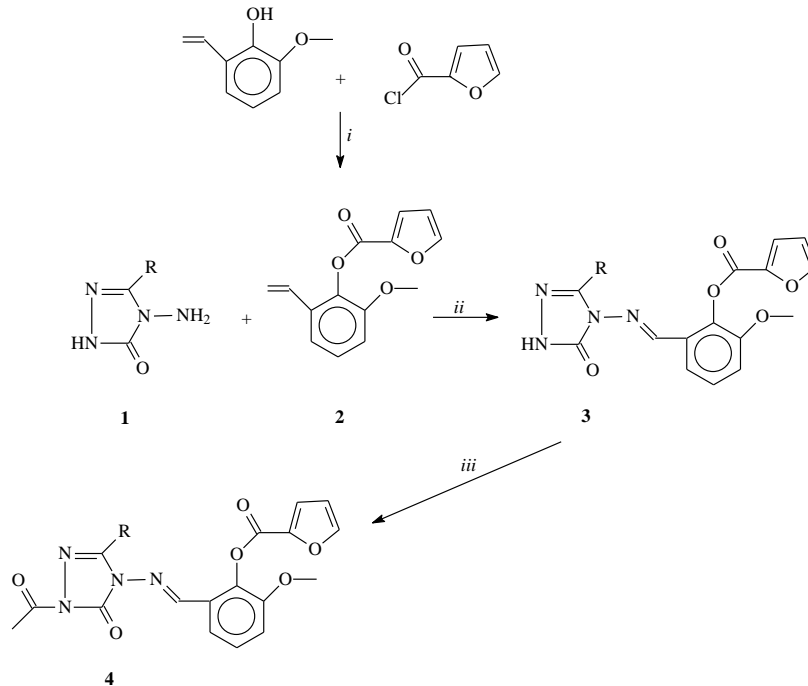
Keywords: Schiff base, 4,5-Dihydro-1*H*-1,2,4-triazol-5-one, Syntheses, Acetylation, Antioxidant Activity.

1. Giriş

Serbest radikaller, biyolojik membranlarda lipid peroksidasyonuna, protein oksidasyonuna ve DNA hasarına sebep olarak hücre metabolizmasını olumsuz yönde etkilerler. Fizyolojik koşullarda, oksidan etkenler ve antioksidan mekanizmalar bir denge halinde bulunmaktadır. Fizyopatolojik şartlarda biyomoleküllerin oksidasyonunu geciktiren veya engelleyen endojen ve eksojen antioksidanlara son yıllarda ilgi giderek artmakta ve organizmaya zarar vermeyen antioksidan özellikteki sentetik bileşiklerin üretimi ve biyolojik sistemlerde oksidan-antioksidan denge üzerine olan etkileri araştırılmaktadır. Eksojen ve metabolik reaksiyonlar sonucu oluşan endojen kimyasallar oldukça reaktif olan serbest radikalleri oluşturabilmektedirler. Özellikle oksijen orijinli radikaller hücre hasarı ve hücre ölümüne sebep olabilecek kadar biyomolekülleri okside edebilme özelliklerine sahiptirler. Oksidatif stres, hastalıkların patolojisinde önemli rol oynar. Reaktif oksijen (ROS) ve azot türlerinin (RNS) aşırı üretimi ve aynı zamanda antioksidan kapasitenin yetersiz olması organizmalarda enflamasyon, diyabet, genotoksisite ve kanser gibi çeşitli fizyopatolojik olaylara sebep olur (Hussain ve ark., 2003; McClements ve Decker, 2000).

1,2,4-Triazol türevlerinin antibakteriyel, antioksidan, antiinflamatuvar, antiparaziter, analjezik, antiviral, antitümör, anti-HIV, antihipertansif ve diüretik özellikleri gibi çok çeşitli farmakolojik aktivitelere sahip oldukları bilinmektedir (Aktaş-Yokuş ve ark., 2017; Ali ve ark., 2011; Chidananda ve ark., 2012; Demirbaş, Uğurluoğlu ve Demirbaş, 2002; Gürsoy-Kol ve Ayazoğlu 2017; Hemen ve ark., 2012; İkizler ve ark., 1999; Li ve ark., 2013; Saadeh ve ark., 2010; Uzgören-Baran ve ark., 2012; Yüksek ve ark., 2013). Ayrıca, yine 1,2,4-triazol halkasını içeren *N*-arilidenamino-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on türevlerinin sentezini bildiren bazı makaleler de mevcuttur (Bahçeci ve ark., 2002; Gürsoy-Kol ve Ayazoğlu, 2017; Yüksek ve ark., 2005). 4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on türevlerinin asetilasyonu ile ilgili çalışmalar da bildirilmiştir (Alkan ve ark., 2008; İkizler ve ark., 1993; Gürsoy-Kol ve Yüksek, 2010).

Aldehid ve ketonların primer aminler ile reaksiyonlarından oluşan imin tipi Schiff bazları kimyanın birçok alanında, tıpta, sanayide, teknolojiye geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada, trietilamin kullanılarak 2-furoil klorür ile 2-hidroksi-3-metoksibenzaldehidin reaksiyonundan 2-formil-6-metoksifenil furan-2-karboksilat (**2**) sentezlenmiştir. Bir primer amin gibi hareket eden ve N-NH_2 grubu içeren 3-alkil(aril)-4-amino-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on'ların (**1**), **2** tipi aldehid ile reaksiyonları incelenerek heteroaromatik Schiff bazları olan 2-metoksi-6-[(3-alkil/aril-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilatlar (**3**) elde edilmiştir. Ayrıca, **3** tipi bileşiklerin asetik anhidrit ile reaksiyonları incelenmiş ve **4** tipi bileşikler hazırlanmıştır (Şema 1). Başlangıç bileşikleri (**1**), literatüre uygun olarak (İkizler ve Ün 1979; İkizler ve Yüksek 1993) ilgili ester etoksikarbonilhidrazonların sulu hidrazin hidrat çözeltisi ile reaksiyonlarından hazırlanmıştır. Yeni bileşiklerin yapıları IR, ^1H NMR, ^{13}C NMR, UV spektral verileri kullanılarak aydınlatılmıştır. **3** ve **4** Tipi bileşiklerin antioksidan aktiviteleri üç farklı yöntem (indirgeme gücü, serbest radikal giderme aktivitesi ve metal şelatlama aktivitesi) kullanılarak analiz edilmiştir.



- i) Et_3N ; ii) AcOH , reflaks, 1h; iii) Ac_2O , reflaks
a) $\text{R} = \text{CH}_3$, b) $\text{R} = \text{CH}_2\text{CH}_3$, c) $\text{R} = \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, d) $\text{R} = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$, e) $\text{R} = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_3$ (*p*-),
f) $\text{R} = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}$ (*p*-), g) $\text{R} = \text{C}_6\text{H}_5$

Şema 1: **2-4** bileşiklerinin sentezi

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan kimyasal reaktifler Merck AG, Aldrich ve Fluka'dan satın alınmıştır. Erime noktaları, Stuart SMP30 erime noktası aparatı kullanılarak açık cam kapiler kullanılarak belirlenmiştir. İnfrared spektrum verileri Alpha-P Bruker FT-IR spektrometresi ile kaydedilmiştir. ¹H ve ¹³C NMR spektrumları, dötero dimetil sülfoksit (d₆-DMSO) içerisinde iç standart olarak tetrametilsilan (TMS) kullanılarak, Bruker Avance III spektrofotometresi ile alınmıştır.

2.1. 2-Metoksi-6-[(3-alkil/aril-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2 karboksilatların (3) sentezi için genel yöntem

Etil asetat (50 mL) içinde çözülmüş 2-hidroksi-3-metoksi-benzaldehid (0.01 mol), 2-furoil klorür (0.01 mol) ile muamele edilmiş ve bu çözeltiye, yavaş yavaş 0-5 °C'de karıştırılarak 10 mL etil asetat içerisinde trietilamin (0.01 mol) ilave edilmiştir. Karıştırma 2 saat devam etmiş ve sonra karışım 3 saat reflaks yapılarak süzölmüştür. Süzöntü vakum altında buharlaştırılmış, ham ürün suyla yıkanmış ve etanolden yeniden kristallendirilerek 2 bileşiği elde edilmiştir. Verim: 94.4%; m.p. 102°C; IR (cm⁻¹) ν_{\max} : 2849 ve 2762 (CHO), 1736, 1696 (C=O), 1250 (COO). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 3.87 (s, 3H, OCH₃), 6.85 (dd, 1H, ArH, *J* = 3.60, 2.00 Hz), 7.52-7.58 (m, 3H, ArH), 7.64 (dd, 1H, ArH, *J* = 3.60, 0.80 Hz), 8.15 (m, 1H, ArH), 10.12 (s, 1H, CHO); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ C: 56.39 (OCH₃), [112.82, 118.76, 120.71, 121.69, 127.51, 129.09, 139.24, 142.46, 148.86, 151.59] (ArC), 155.53 (COO), 189.85 (CHO). Daha sonra, **1** bileşiği (0.01 mol) asetik asit ile çözülmüş (20 mL) ve 2-formil-6-metoksifenil furan-2-karboksilat (**2**) (0.01 mol) ile muamele edilmiştir. Karışım 2 saat reflaks yapılmış ve 50-55 °C'de vakumda kurutulmuştur. Katı madde birkaç kez etanol ile kristallendirilerek, renksiz kristaller olan **3** tipi bileşikler elde edilmiştir.

2-Metoksi-6-[(3-metil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilat (3a)

Verim: 96.5%, m.p. 226°C. IR (KBr, ν , cm⁻¹): 3148 (NH), 1746, 1696 (C=O), 1607 (C=N), 1286 (COO). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 2.07 (s, 3H, CH₃), 3.77 (s, 3H, OCH₃), 6.78 (m, 1H, ArH), 7.31-7.58 (m, 4H, ArH), 8.09 (m, 1H, ArH), 9.81 (s, 1H, N=CH), 11.77 (s, 1H, NH); UV [Etanol, λ_{\max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 298 (23.200), 258 (31.500), 214 (22.550).

2-Metoksi-6-[(3-etil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilat (3b)

Verim 92.7%, m.p. 202°C. IR (KBr, ν , cm⁻¹): 3185 (NH), 1742, 1696 (C=O), 1607, 1589 (C=N), 1278 (COO). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 1.02-1.09 (m, 3H, CH₂CH₃), 2.38-2.45 (m, 3H, CH₂CH₃), 3.76 (s, 3H, OCH₃), 6.77-6.78 (m, 1H, ArH), 7.28-7.54 (m, 4H, ArH), 8.09-8.10 (m, 1H, ArH), 9.80 (s, 1H, N=CH), 11.79 (s, 1H, NH); UV [Etanol, λ_{\max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 296 (20.410), 258 (30.260), 216 (22.530).

2-Metoksi-6-[(3-n-propil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilat (3c)

Verim 89.2%, m.p. 204°C. IR (KBr, ν , cm⁻¹): 3164 (NH), 1751, 1698 (C=O), 1606, 1589 (C=N), 1282 (COO). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 0.83 (t, 3H, CH₂CH₂CH₃, *J* = 7.40 Hz), 1.57 (sext, 3H, CH₂CH₂CH₃, *J* = 7.40 Hz), 2.40 (q, 2H, CH₂CH₂CH₃, *J* = 7.40 Hz), 3.75 (s, 3H, OCH₃), 6.76-6.80 (m, 1H, ArH), 7.27-7.59 (m, 4H, ArH), 8.10 (m, 1H, ArH), 9.79 (s, 1H, N=CH), 11.80 (s, 1H, NH); UV [Etanol, λ_{\max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 298 (13.070), 256 (26.630), 226 (50.510), 216 (18.970).

2-Metoksi-6-[(3-benzil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilat (3d)

Verim 98.1%, m.p. 209°C. IR (KBr, ν , cm⁻¹): 3136 (NH), 1743, 1715 (C=O), 1588 (C=N), 1280 (COO), 769 ve 705 (monosubstitue benzenoid halka). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 3.75 (s, 3H, OCH₃), 3.89 (s, 2H, CH₂Ph), 6.75-6.78 (m, 1H, ArH), 7.16-7.58 (m, 9H, ArH), 8.07-8.08 (m, 1H, ArH), 9.78 (s, 1H, N=CH), 11.91 (s, 1H, NH); UV [Etanol, λ_{\max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 298 (17.000), 254 (30.070), 230 (25.220), 214 (22.480).

2-Metoksi-6-[(3-p-metilbenzil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (3e)

Verim 98.4%, m.p. 202°C. IR (KBr, ν , cm⁻¹): 3165 (NH), 1757, 1704 (C=O), 1591 (C=N), 1283 (COO), 825 (1,4-disubstitue benzenoid halka). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 2.20 (s, 3H, PhCH₃), 3.76 (s, 3H, OCH₃), 3.84 (s, 2H, CH₂Ph), 6.76 (m, 1H, ArH), 7.05-7.10 (m, 4H, ArH), 7.31-7.59 (m, 4H, ArH), 8.05-8.09 (m, 1H, ArH), 9.81 (s, 1H, N=CH), 11.89 (s, 1H, NH); UV [Etanol, λ_{\max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 298 (17.030), 256 (30.290), 230 (25.430), 216 (23.210).

2-Metoksi-6-[(3-p-klorobenzil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (3f)

Verim 97.3%, m.p. 198°C. IR (KBr, ν , cm⁻¹): 3133 (NH), 1758, 1704 (C=O), 1592 (C=N), 1284 (COO), 822 (1,4-disubstitue benzenoid halka). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 3.76 (s, 3H, OCH₃), 3.90 (s, 2H, CH₂Ph), 6.76-6.78 (m, 1H, ArH), 7.23-7.58 (m, 8H, ArH), 8.08 (m, 1H, ArH), 9.78 (s, 1H, N=CH), 11.94 (s, 1H, NH); UV [Etanol, λ_{\max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 298 (13.760), 258 (27.090), 226 (23.970), 214 (21.280).

2-Metoksi-6-[(3-fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilat (3g)

Verim 97.8%, m.p. 218°C. IR (KBr, ν , cm⁻¹): 3213 (NH), 1742, 1708 (C=O), 1612 (C=N), 1278 (COO), 768 ve 696 (monosubstitue benzenoid halka). ¹H-NMR (200 MHz, DMSO-d₆) (ppm) δ H: 3.78 (s, 3H, OCH₃), 6.75-6.77 (m, 1H, ArH), 7.28-7.55 (m, 7H, ArH), 7.78-7.83 (m, 2H, ArH), 8.08 (m, 1H, ArH), 9.78 (s, 1H, N=CH), 12.31 (s, 1H, NH); UV [Etanol, λ_{\max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 282 (28.990), 256 (30.210), 216 (22.900).

2.2. 2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-alkil/aril-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilatların (4) sentezi için genel yöntem

3 Bileşiği (0.01 mol), otuz dakika boyunca asetik anhidrit (15 mL) ile reflaks yapılmıştır. Daha sonra mutlak etanolün (50 mL) eklenmesiyle, karışım 1 saat daha reflaks yapılmıştır. Elde edilen çözeltinin 40-45 °C'de vakumda buharlaştırılması ve katının uygun bir çözücünden birkaç kere tekrar kristallendirilmesi ile saflaştırılmış olarak 4 bileşiği elde edilmiştir.

2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-metil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (4a)

Verim: 71.4%, m.p. 182°C. IR (KBr, ν , cm^{-1}): 1728 (C=O), 1625 (C=N), 1295 (COO). $^1\text{H-NMR}$ (200 MHz, DMSO- d_6) (ppm) δ H: 2.20 (s, 3H, CH₃), 2.43 (s, 3H, COCH₃), 3.83 (s, 3H, OCH₃), 6.84-6.87 (m, 1H, ArH), 7.37-7.67 (m, 4H, ArH), 8.16-8.18 (m, 1H, ArH), 9.72 (s, 1H, N=CH).

2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-etil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (4b)

Verim 91.0%, m.p. 168°C. IR (KBr, ν , cm^{-1}): 1747, 1694 (C=O), 1610 (C=N), 1283 (COO). $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, DMSO- d_6) (ppm) δ H: 1.17 (t, 3H, CH₂CH₃, $J=7.20$ Hz), 2.45 (s, 3H, COCH₃), 2.56 (q, 2H, CH₂CH₃, $J=7.20$ Hz), 3.83 (s, 3H, OCH₃), 6.86 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 1.60 Hz), 7.35-7.41 (m, 1H, ArH), 7.45 (t, 1H, ArH, $J=8.00$ Hz), 7.57 (dd, 1H, ArH, $J=8.00$, 1.60 Hz), 7.66 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 0.80 Hz), 8.17 (dd, 1H, ArH, $J=2.00$, 0.80 Hz), 9.72 (s, 1H, N=CH); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, DMSO- d_6) (ppm) δ C: 9.79 (CH₂CH₃), 18.35 (CH₂CH₃), 23.39 (COCH₃), 56.24 (OCH₃), [112.93, 115.86, 118.74, 120.77, 126.74, 127.47, 138.14, 142.37, 149.09, 151.29] (ArC), 148.01 (triazol-C₃), 150.18 (N=CH), 151.55 (triazol-C₅), 155.45 (COO), 165.98 (COCH₃); UV [Etanol, λ_{max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 292 (11.130), 256 (19.170), 216 (14.310).

2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-*n*-propil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (4c)

Verim 86.6%, m.p. 140°C. IR (KBr, ν , cm^{-1}): 1734, 1696 (C=O), 1611 (C=N), 1271 (COO). $^1\text{H NMR}$ (400 MHz, DMSO- d_6): δ 0.95 (t, 3H, CH₂CH₂CH₃; $J=7.60$ Hz), 1.66 (sext, 2H, CH₂CH₂CH₃; $J=7.20$ Hz), 2.45 (s, 3H, COCH₃), 2.56 (t, 2H, CH₂CH₂CH₃; $J=7.60$ Hz), 3.84 (s, 3H, OCH₃), 6.86 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 1.60 Hz), 7.39-7.41 (m, 1H, ArH), 7.46 (t, 1H, ArH, $J=8.00$ Hz), 7.58 (dd, 1H, ArH, $J=8.00$, 1.60 Hz), 7.66 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 0.80 Hz), 8.17 (dd, 1H, ArH, $J=1.60$, 0.80 Hz), 9.72 (s, 1H, N=CH); $^{13}\text{C NMR}$ (100 MHz, DMSO- d_6): δ 13.35 (CH₂CH₂CH₃), 18.67 (CH₂CH₂CH₃), 23.41 (COCH₃), 26.43 (CH₂CH₂CH₃), 56.25 (OCH₃), [112.94, 115.88, 118.76, 120.78, 126.74, 127.51, 138.17, 142.34, 149.09, 151.22] (ArC), 147.97 (triazol-C₃), 150.34 (N=CH), 151.55 (triazol-C₅), 155.51 (COO), 166.01 (COCH₃); UV [Etanol, λ_{max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 294 (9.780), 254 (18.535), 218 (14.190).

2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-benzil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (4d)

Verim 81.8%, m.p. 183°C. IR (KBr, ν , cm^{-1}): 1739, 1715 (C=O), 1609 (C=N), 1251 (COO), 771 ve 705 (monosubstitue benzenoid halka). $^1\text{H NMR}$ (400 MHz, DMSO- d_6): δ 2.45 (s, 3H, COCH₃), 3.83 (s, 3H, OCH₃), 4.07 (s, 6H, 3CH₂), 6.85 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 1.60 Hz), 7.25-7.27 (m, 1H, ArH), 7.28-7.33 (m, 4H, ArH), 7.36-7.40 (m, 1H, ArH), 7.45 (t, 1H, ArH, $J=8.00$ Hz), 7.55 (dd, 1H, ArH, $J=8.00$, 1.60 Hz), 7.66 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 0.80 Hz), 8.16 (dd, 1H, ArH, $J=1.60$, 0.80 Hz), 9.72 (s, 1H, N=CH); $^{13}\text{C NMR}$ (100 MHz, DMSO- d_6): δ 23.47 (COCH₃), 30.79 (CH₂Ph), 56.26 (OCH₃), [112.97, 115.91, 117.89, 121.03, 126.76, 127.49, 138.47, 142.09, 148.06, 149.46] (arom-C), [126.96, 128.48 (2C), 128.95 (2C), 134.52] (C₃'e bağlı arom-C), 147.97 (triazol-C₃), 149.19 (N=CH), 151.46 (triazol-C₅), 155.38 (COO), 165.99 (COCH₃); UV [Etanol, λ_{max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 292 (9.110), 254 (18.070), 226 (15.725).

2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-*p*-metilbenzil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (4e)

Verim 78.8%, m.p. 163°C. IR (KBr, ν , cm^{-1}): 1739, 1715 (C=O), 1609 (C=N), 1282 (COO), 819 (1,4-disubstitue benzenoid halka). $^1\text{H NMR}$ (400 MHz, DMSO- d_6): δ 2.28 (s, 3H, PhCH₃), 2.44 (s, 3H, COCH₃), 3.83 (s, 3H, OCH₃), 4.00 (s, 2H, CH₂Ph), 6.84 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 1.60 Hz), 7.14 (d, 2H, ArH; $J=7.60$ Hz), 7.23 (d, 2H, ArH; $J=8.00$ Hz), 7.38-7.40 (m, 1H, ArH), 7.46 (t, 1H, ArH, $J=8.00$ Hz), 7.56 (dd, 1H, ArH, $J=8.00$, 1.60 Hz), 7.65 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 0.80 Hz), 8.16 (dd, 1H, ArH, $J=2.00$, 0.80 Hz), 9.71 (s, 1H, N=CH); $^{13}\text{C NMR}$ (100 MHz, DMSO- d_6): δ 20.62 (PhCH₃), 23.47 (COCH₃), 30.40 (CH₂Ph), 56.26 (OCH₃), [112.96, 115.90, 117.94, 121.02, 126.76, 127.50, 138.46, 142.10, 148.21, 149.46] (arom-C), [128.83 (2C), 129.05 (2C), 131.37, 136.07] (C₃'e bağlı arom-C), 147.97 (triazol-C₃), 149.18 (N=CH), 151.47 (triazol-C₅), 155.38 (COO), 165.99 (COCH₃); UV [Etanol, λ_{max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 292 (13.930), 256 (27.490), 228 (25.030), 216 (23.570).

2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-*p*-klorobenzil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (4f)

Verim 91.7%, m.p. 178°C. IR (KBr, ν , cm^{-1}): 1731 (C=O), 1607 (C=N), 1290 (COO), 827 (1,4-disubstitue benzenoid halka). $^1\text{H NMR}$ (400 MHz, DMSO- d_6): δ 2.44 (s, 3H, COCH₃), 3.83 (s, 3H, OCH₃), 4.07 (s, 2H, CH₂Ph), 6.84 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 1.60 Hz), 7.36-7.42 (m, 5H, ArH), 7.45 (t, 1H, ArH, $J=8.00$ Hz), 7.54 (dd, 1H, ArH, $J=8.00$, 1.60 Hz), 7.66 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 0.80 Hz), 8.16 (dd, 1H, ArH, $J=1.60$, 0.80 Hz), 9.72 (s, 1H, N=CH); $^{13}\text{C NMR}$ (100 MHz, DMSO- d_6): δ 23.46 (COCH₃), 30.11 (CH₂Ph), 56.26 (OCH₃), [112.97, 115.94, 117.95, 121.03, 126.72, 127.51, 138.46, 142.09, 147.96, 149.52] (arom-C), [128.41 (2C), 130.90 (2C), 131.69, 133.52] (C₃'e bağlı arom-C), 147.77 (triazol-C₃), 149.19 (N=CH), 151.47 (triazol-C₅), 155.37 (COO), 165.96 (COCH₃); UV [Etanol, λ_{max} , nm (ϵ , L.mol⁻¹.cm⁻¹): 294 (11.030), 256 (22.600), 222 (26.240).

2-Metoksi-6-[(1-asetil-3-fenil-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]-fenil furan-2-karboksilat (4g)

Verim 72.7%, m.p. 204°C. IR (KBr, ν , cm^{-1}): 1771, 1736 (C=O), 1607 (C=N), 1194 (COO), 764 ve 693 (monosubstitue benzenoid halka). $^1\text{H NMR}$ (400 MHz, DMSO- d_6): δ 2.54 (s, 3H, COCH₃), 3.84 (s, 3H, OCH₃), 6.83 (dd, 1H, ArH, $J=3.60$, 1.60 Hz), 7.40-7.42 (m, 1H, ArH), 7.45 (t, 1H, ArH, $J=8.00$ Hz), 7.51-7.61 (m, 5H, ArH), 7.90-7.92 (m, 2H, ArH), 8.15 (dd, 1H, ArH, $J=2.00$, 0.80 Hz), 9.69 (s, 1H, N=CH); $^{13}\text{C NMR}$ (100 MHz, DMSO- d_6): δ 23.51 (COCH₃), 56.29 (OCH₃), [112.91, 115.59, 117.78, 120.94, 126.67, *e-ISSN: 2148-2683*

127.48, 138.72, 142.10, 149.10, 141.25] (arom-C), [127.60, 127.98 (2C), 128.65 (2C), 130.09] (C₃'e bağlı arom-C), 145.90 (triazol-C₃), 148.07 (N=CH), 151.51 (triazol-C₅), 155.36 (COO), 166.30 (COCH₃); UV [Etanol, λ_{max}, nm (ε, L.mol⁻¹.cm⁻¹): 256 (20.800), 216 (15.190).

2.3. Yeni bileşiklerin antioksidan özelliklerinin incelenmesi

2.3.1. İndirgeme gücü tayini

İndirgeme gücü tayini Oyaizu metodu kullanılarak yapılmıştır (Oyaizu, 1986). Farklı konsantrasyondaki örneklerin (50-250 µg/mL) dimetilsülfositte (1 mL) hazırlanan çözeltileri, fosfat tamponu (2.5 mL; 0.2 M; pH = 6.6) ve potasyum ferrisiyanür (2.5 mL; 1%) ile karıştırılmıştır. Deney tüpleri iyice karıştırılmış ve 50 °C'de 20 dakika inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun ardından oda sıcaklığına getirilen her bir deney tüpüne %10'luk TCA çözeltilisinden 2,5 mL ilave edilmiş ve 3000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Süzüntüden 2,5 mL alınarak deney tüplerine aktarılmış ve çözeltiliye 2,5 mL su, ardından 0,5 mL FeCl₃ çözeltilisinden eklenmiştir. Elde edilen renkli komplekslerin, UV spektrofotometresi ile 700 nm'de ölçümü yapılmıştır. Reaksiyon karışımının absorbensında meydana gelen artış ile numunenin indirgeme gücü arasında doğru bir orantı vardır.

2.3.2. Serbest radikal giderme aktivitesi tayini

Yeni sentezi gerçekleştirilen bileşiklerin serbest radikal giderme aktivitelerinin tayini DPPH'ın kullanıldığı Blois metoduna göre yapılmıştır (Blois, 1998). Özetle, DPPH'ın etanoldeki 0.1 mM çözeltilisinden (1 mL), DMSO (3 mL) içinde farklı konsantrasyonlarda (50-250 µg/mL) örnek çözeltilere eklenmiştir. Deney tüpleri iyice karıştırılmış ve sonra oda sıcaklığında 30 dakika bekletilerek 517 nm'de UV spektrofotometresinde absorbensları ölçülmüştür. Reaksiyon karışımının absorbensında görülen düşüş, numunenin serbest radikal giderme aktivitesi ile doğru orantılıdır. Reaksiyon ortamındaki DPPH radikalini giderme aktivitesi için hesaplamalar aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

% Serbest Radikal Giderme Aktivitesi = $(A_0 - A_1/A_0) \times 100$; A₀ kontrol reaksiyonunun absorbens değeri iken, A₁ numune veya standardın absorbensıdır.

2.3.3. Metal şelatlama aktivitesi tayini

Metal şelat aktivitesi tayini Dinis metodu kullanılarak yapılmıştır (Dinis et al., 1994). Kısaca, deney tüplerine konulan numuneler ve standartlar 15, 30 ve 45 µg/mL konsantrasyonlarını oluşturacak ve toplam hacimleri 200 µL olacak şekilde saf su kullanılarak seyreltilmiştir. Sonra sırasıyla FeCl₂.4H₂O, etil alkol ve ferrozin ilave edilerek karıştırılmış ve oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiştir. Oluşan renk 562 nm'de UV spektrofotometresinde köre (ferrozin dışındakiler) karşı okunmuştur. Reaksiyon karışımının absorbensındaki düşüş, numunenin metal şelatlama aktivitesi ile doğru orantılıdır. Ferrozin-Fe⁺² kompleks oluşumunun inhibisyon yüzdesi aşağıdaki formülü kullanılarak hesaplanmıştır:

Şelat Yüzdesi = $(A_0 - A_1/A_0) \times 100$, A₀ kontrol reaksiyonunun absorbens değeri iken, A₁ numune veya standardın absorbensıdır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Mevcut çalışmada, 3-alkil(aril)-4-amino-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on'ların (1), 2-formil-6-metoksifenil furan-2-karboksilat (2) ile reaksiyonundan 2-metoksi-6-[(3-alkil/aril-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilatlar (3) sentezlenmiştir. Daha sonra, 3 bileşiğinin asetilasyon reaksiyonu ile 2-metoksi-6-[(1-asetil-3-alkil/aril-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilatlar (4) elde edilmiştir. 2-4 Bileşiklerinin yapıları IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR ve UV spektral verileri kullanılarak aydınlatılmıştır.

3.1. Antioksidan aktivite incelemeleri

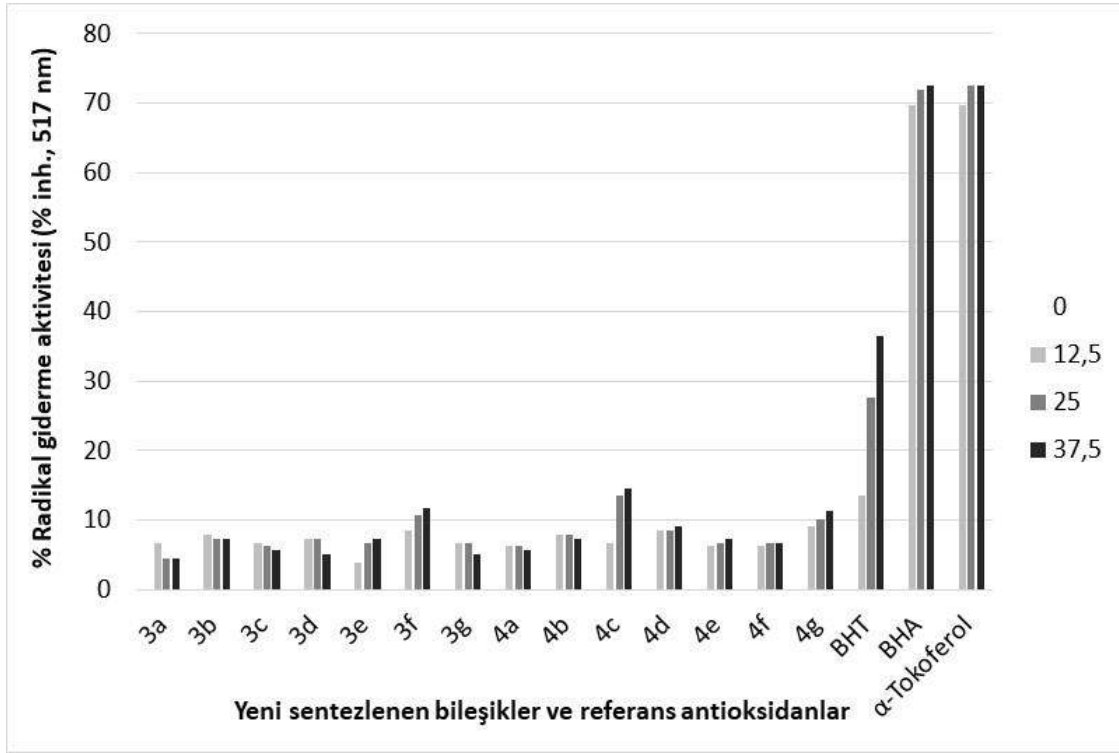
Sentezlenen on dört yeni bileşiğin, 3 ve 4, antioksidan aktivite incelemeleri yapılmıştır ve sonuçlar aşağıda verilmiştir:

3.1.1. İndirgeme gücü

Sentezlenen bileşiklerin 700 nm'de yapılan indirgeme gücü testleri sonucunda elde edilen bulgular, sentezlenen bileşiklerin absorbens değerlerinin, standartlara kıyasla çok daha düşük olması nedeniyle bileşiklerin indirgeyici özelliğe sahip olmadıklarını göstermektedir.

3.1.2. Serbest radikal giderme aktivitesi

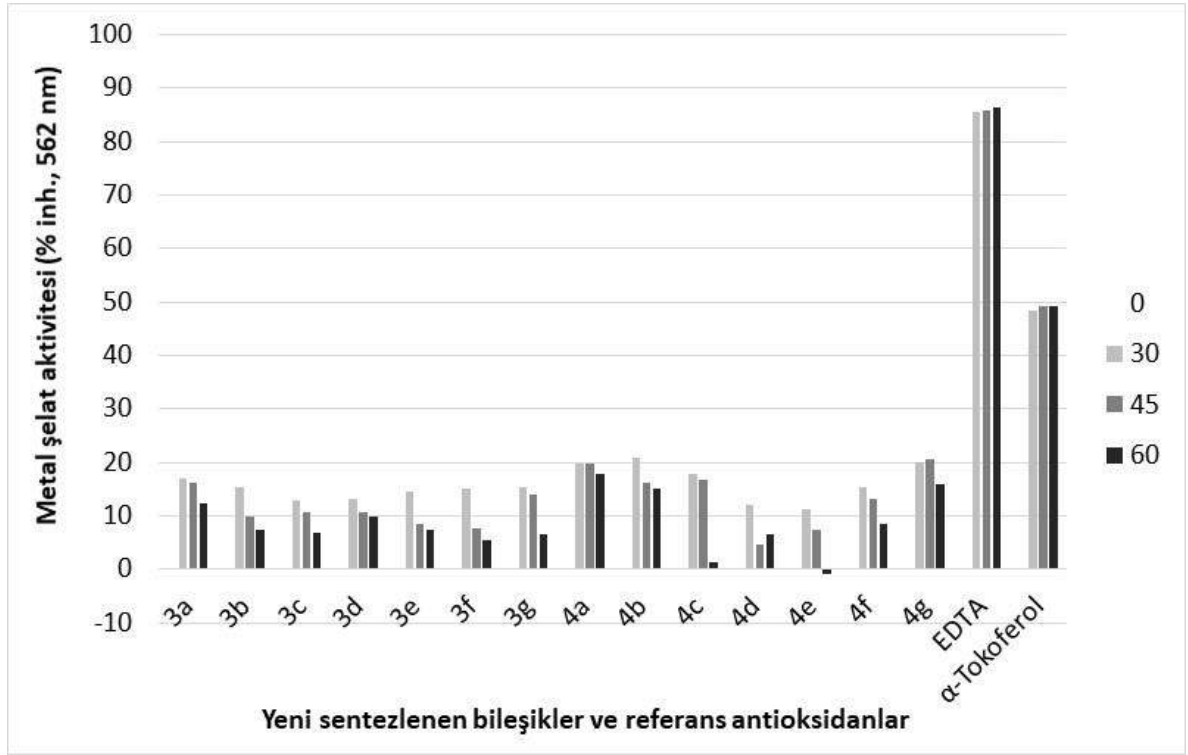
Sentezlenen yeni bileşiklerin (3a-g, 4a-g) ve kullanılan referans antioksidan maddelerin (BHT, BHA ve α-tokoferol), radikal giderme aktivite testleri neticesinde elde edilen veriler aşağıdaki grafiğe (Şekil 1) geçirilmiştir. Grafikte sentezi gerçekleştirilen yeni bileşiklerin 517 nm'de farklı derişimlerde yapılan ölçümlerinde, serbest radikal giderme aktiviteleri % inhibisyon olarak verilmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda; yeni sentezlenen 3e, 3f ve 4c-4g bileşiklerinin konsantrasyona bağlı olarak aktivitelerinde artış olduğu halde, diğer bileşiklerde böyle bir durum olmadığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak yine de bahsi geçen bileşikler etkin radikal giderici özelliğe sahip değildir.



Şekil 1. 3, 4 Bileşiklerinin ve referans antioksidanların farklı konsantrasyonlardaki radikal giderme aktiviteleri

3.1.3. Metal şelat aktivitesi

Genellikle, yapısında -OH, -SH, -COOH, -PO₃H₂, C=O, -NR₂, -S-, -O- gibi iki veya daha fazla fonksiyonel grubu uygun bir yapı-işlev konfigürasyonu ile içeren bileşiklerin şelasyon aktivitesi göstereceği bildirilmiştir (Hussain ve ark., 2003; McClements ve Decker, 2000). (Lindsay, 1996; Yuan ve ark., 2005; Gülçin, 2006). Bu açıdan bakıldığında, L-karnitin için demir iyonlarını hidroksil ve karboksilat gruplarıyla şelatladığı düşünülmektedir (Gülçin, 2006). Bu çalışmada; 3 ve 4 tipi bileşikler -O- ve C=O gruplarını içermektedir. Hatta 3 tipi bileşiklerin asetilasyon reaksiyonu ile daha etkili şelatörlere dönüştürülmeleri planlanmıştır. Bu amaçla, 3 ve 4 bileşikleri ile EDTA ve α-tokoferol referans antioksidanlarının metal şelatlama aktiviteleri incelenmiştir. Şekil 2'deki grafikte aktiviteleri % inhibisyon olarak gösterilmektedir. Tüm beklentilere karşın yeni bileşiklerin düşük konsantrasyonda düşük aktiviteye sahip oldukları görülmektedir, yani etkin şelatörler değillerdir.



Şekil 2. 3, 4 Bileşiklerinin ve referans antioksidanların farklı konsantrasyonlardaki metal şelatlama aktiviteleri

4. Sonuç

Bu çalışmada, umut verici bir biyolojik ajan olan 1,2,4-triazol halkasını yapısında içeren yeni 2-metoksi-6-[(3-alkil/aryl-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-azometin]fenil furan-2-karboksilatlar ve asetil türevleri sentezlenmiştir. Sentezlenen bileşiklerin yapıları IR, ¹H NMR, ¹³C NMR ve UV spektral verileri kullanılarak karakterize edilmiştir. Son olarak sentezlenen bileşiklerin üç farklı yöntemle *in vitro* antioksidan özellikleri incelenmiştir. Bileşiklerin antioksidan aktivite sonuçlarına göre umut verici bir aktivite göstermedikleri belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma (107T633) no'lu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- Aktas-Yokus, Ö., Yüksek, H., Manap, S., Aytemiz, F., Alkan, M., Beytur, M., Gürsoy-Kol, Ö. (2017). In-vitro biological activity of some new 1,2,4-triazole derivatives with their potentiometric titrations. *Bulg. Chem. Commun.*, 49: 98-106.
- Ali, K.A., Ragab, E.A., Farghaly, TA, Abdalla, M.M. (2011). Synthesis of new functionalized 3-substituted [1,2,4]triazolo [4,3-a] pyrimidine derivatives: Potential antihypertensive agents. *Acta Pol. Pharm.*, 68(2): 237-247.
- Alkan, M., Yüksek, H., Gürsoy-Kol, Ö., Calapoğlu, M. (2008). Synthesis, acidic and antioxidant properties of some novel 3,4-disubstituted-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives, *Molecules*, 13: 107-121.
- Bahçeci, Ş., Yüksek, H., Ocak, Z., Köksal, C., Özdemir, M., (2002). Synthesis and non-aqueous medium titrations of some new 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivative, *Acta Chem. Slov.*, 49: 783-794.
- Blois, M. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617): 1199-1200.
- Chidananda, N., Poojary, B., Sumangala, V., Kumari, N.S., Shetty, P., Arulmoli, T. (2012). Facile synthesis, characterization and pharmacological activities of 3,6-disubstituted 1,2,4-triazolo[3,4-b][1,3,4]thiadiazoles and 5,6-dihydro-3,6-disubstituted-1,2,4-triazolo[3,4-b][1,3,4]thiadiazoles. *Eur. J. Med. Chem.* 51: 124-136.
- Demirbas, N., Ugurluoglu, R., Demirbas, A. (2002). Synthesis of 3-alkyl(Aryl)-4-alkylidenamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones and 3-alkyl-4-alkylamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones as antitumor agents. *Bioorg. Med. Chem.*, 10(12): 3717-3723.
- Dinis, T.C.P., Madeira, V.M.C., Almeida, L.M. (1994). Action of phenolic derivatives (Acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers. *Arch. Biochem. Biophys.* 315(1): 161-169.

- Gülçin, I. (2006). Antioxidant and antiradical activities of L-carnitine. *Life Sci.*, 78: 803-811.
- Gürsoy-Kol, Ö., Ayazoglu, E. (2017). Antioxidant activities and acidic properties of some novel 4-[3,4-di-(4-nitrobenzoxy)-benzylidenamino]-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives. *Arab. J. Chem.*, 10(S2): S2881-S2889.
- Gürsoy Kol, Ö. Yüksek, H. (2010). Synthesis and *in-vitro* antioxidant evaluation of some novel 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives, *E-J. Chem.*, 7(1): 123-136.
- Henen, M.A., El Bialy, S.A.A., Goda, F.E., Nasr, M.N.A., Eisa, H.M. (2012). [1,2,4]Triazolo[4,3-a]quinoxaline: Synthesis, antiviral, and antimicrobial activities. *Med. Chem. Res.*, 21(9): 2368-2378.
- Hussain, H.H, Babic, G., Durst, T, Wright, J.S., Fluerau, M., Chichirau, A., Chepelev, L.L. (2003). Development of novel antioxidants: Design, synthesis, and reactivity. *J. Org. Chem.*, 68(18): 7023-7032.
- Ikizler, A., Yüksek, H. (1993). Acetylation of 4-amino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones. *Org. Prep. Proc. Int.*, 25(1): 99-105.
- Ikizler, A.A., Johansson, C.B., Bekircan, O., Çelik, C. (1999). Synthesis and antibacterial activities of some 1,2,4-triazole derivatives. *Acta Pol. Pharm. - Drug Res.*, 56(4): 283-288.
- Li, Z., Cao, Y., Zhan, P., Pannecouque, C., Balzarini, J., Clercq, E.De. (2013). Synthesis and anti-HIV evaluation of novel 1,2,4-triazole derivatives as potential non-nucleoside HIV-1 reverse transcriptase inhibitors. *Lett. Drug Des. Discov.*, 10(1): 27-34.
- Lindsay, R.C. (1996). Food additives. In: Fennema, O.R. (Ed.), *Food Chemistry*. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 778-780 (Chapter 12).
- McClements, D., Decker, E. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *J. Food Sci.*, 65(8): 1270-1282.
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction. Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese J. Nutr. Diet.*, 44(17): 307-315.
- Saadah, H.A., Mosleh, I.M., Al-Bakri, A.G., Mubarak, M.S. (2010). Synthesis and antimicrobial activity of new 1,2,4-triazole-3-thiol metronidazole derivatives. *Monats. Chem.*, 141(4): 471-478.
- Uzgören-Baran, A., Tel, B.C., Sarıgöl, D., Öztürk, E.I., Kazkayası, I., Okay, G., Ertan, M., Tozkoparan, B. (2012). Thiazolo[3,2-b]-1,2,4-triazole-5(6H)-one substituted with ibuprofen: Novel non-steroidal anti-inflammatory agents with favorable gastrointestinal tolerance. *Eur. J. Med. Chem.*, 57: 398-406.
- Yuan, Y.V., Bone, D.E., Carrington, M.F. (2005). Antioxidant activity of dulse (*Palmaria palmata*) extract evaluated *in vitro*. *Food Chem.*, 91: 485-494.
- Yüksek, H., Akyıldırım, O., Yola, M.L., Gürsoy-Kol, Ö., Çelebier, M., Kart, D. (2013). Synthesis, *in vitro* antimicrobial and antioxidant activities of some new 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivative, *Arch. Pharm.*, 346(6): 470-480.
- Yüksek, H., Üçüncü, O., Alkan, M., Ocak, Z., Bahçeci, Ş. (2005). Non-aqueous medium titrations of some new 4-benzylidenamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one derivatives”, *Molecules*, 10: 961-970.



Deep Learning for Communication Systems

Mete Yıldırım^{1*}, Radosveta Sokullu², Saliha Pehlivan³

¹ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6335-4752)

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3544-0319)

³ Freelance Researcher, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6299-4424)

(First received 25 January 2020 and in final form 15 April 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.679929)

ATIF/REFERENCE: Yıldırım, M., Sokullu, R. & Pehlivan, S. (2020). Deep Learning for Communication Systems. *European Journal of Science and Technology*, (18), 1012-1025.

Abstract

Deep learning has become the most successful learning method in machine learning. While deep learning provides a clear advantage over other machine learning methods, especially when the amount of data is high, it can produce an approximate result to other machine teaching methods when data is low. This new learning method has the potential to contribute to many innovations, from redesigning the physical layers used in communication technologies to modeling wireless networks. It is particularly useful in communication systems where mathematical modeling is difficult, for example, 5G and molecular communication. Therefore, many types of research on the application of deep learning in communication systems have been conducted recently. However, the distance of institutions and researchers about communication technologies to deep learning methods has limited the number and impact of these studies. Therefore, it is necessary to collectively examine the studies that involve the application of deep learning to communication technologies, to evaluate the achievements, and to contribute to the determination of new research topics. For this purpose, in this study, firstly, the achievements of deep learning and usage areas are summarized and then the studies that contribute to the development of communication technologies are classified and examined comparatively. To make deep learning more effective in communication, what needs to be done were discussed and deep learning based research areas that could lead to next generation communication systems were determined.

Keywords: Communication, Deep learning, Machine Learning, Intelligent communication, Wireless Communication.

Haberleşme Sistemlerinde Derin Öğrenme

Öz

Makine öğreniminde derin öğrenme en başarılı öğrenme yöntemi olmuştur. Derin öğrenme özellikle veri miktarının çok olduğu durumlarda diğer makine öğrenimi yöntemlerine açık ara üstünlük sağlarken, verinin az olduğu durumlarda diğer makine öğrenim yöntemlerine yakın bir sonuç üretebilmektedir. Bu yeni öğrenme yöntemi haberleşme teknolojilerinde kullanılan fiziksel katmanların yeniden tasarlanmasından telsiz ağların modellenmesine kadar birçok yeniliğe katkı sunacak potansiyele sahiptir. Özellikle matematiksel modellemesi zor olan haberleşme sistemlerinde, örneğin 5G ve moleküler haberleşme, kolaylık sağlamaktadır. Bundan dolayı derin öğrenmenin haberleşme sistemlerinde uygulanmasını konu alan birçok araştırma son zamanlarda yapılmaktadır. Buna rağmen haberleşme teknolojileriyle ilgili kurum ve araştırmacıların derin öğrenme yöntemlerine olan uzaklığı bu çalışmaların sayısını ve etkisini sınırlı bırakmıştır. Bu sebeple derin öğrenmenin haberleşme teknolojilerine uygulamasını konu alan çalışmaların toplu olarak incelenmesi, elde edilen başarıların değerlendirilmesi, yapabilecek yeni araştırma konularının belirlenmesine katkı sunacak çalışmalara gerek duyulmaktadır. Bu amaca yönelik olarak bu çalışmada öncelikle derin öğrenme yöntemi, başarıları ve kullanım alanları özetle

*Mete Yıldırım: Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6335-4752),

meteyildirim2005@gmail.com

sunuldu ve haberleşme teknolojilerinin gelişmesine katkı sunan çalışmalar sınıflandırılarak karşılaştırmalı incelendi. Derin öğrenmenin haberleşmede daha başarılı kullanımı için yapılması gerekenler tartışıldı ve yeni nesil haberleşme sistemlerine öncülük edebilecek derin öğrenme tabanlı araştırma alanları belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Haberleşme, Derin öğrenme, Makine Öğrenimi, Telsiz Haberleşme, Akıllı Haberleşme

1. Giriş

Haberleşme bir bilginin bir noktadan başka bir noktaya fiziksel bir ortam üzerinden taşınması olarak tanımlanabilir. Bu fiziksel ortam kanal olarak adlandırılır (örneğin metal kablolar, hava, boşluk, fiber kablo, kimyasal ortam v.b). Kanallar genelde sinyal üzerinde olumsuz etki oluşturur. Bu olumsuz etkinin sebebi çok çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Termal gürültü (thermal noise), farklı kaynaklardan doğan sinyal girişimleri (interference), çok yollu sönümlenme (multipath fading) başta olmak üzere birçok yapay veya doğal istenmeyen sinyaller bunlardan sayılabilir. Bu alanın uzman veya araştırmacıları bu etkileri ortadan kaldıracak veya haberleşmenin en azından sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacak yöntemler üzerinde çalışma yaparlar. Bu çalışmalar genellikle bazı matematiksel modeller üzerine kurulur. Bu yaklaşım ise gerçek fiziksel yapıdan oldukça uzaktır. Gerçek fiziksel ortam birçok zaman bu etkilerin aynı anda haberleşmeyi etkileyebileceği ortamlardır. Tüm bu etkileri dikkate alacak matematiksel modelleme ise ortaya çıkan girift yapıdan dolayı çok zor ve bazende imkansızdır. Mobil haberleşmenin ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin (örneğin fırsatçı-opportunist, işbirlikçi-cooperative, bilişsel-cognitive) gelişiminde bu karmaşıklığı çok daha fazla artırmaktadır. Sonuç olarak matematiksel modellenmesi imkansız kanal yapıları türemektedir. Ayrıca kimyasal kanallar ve 5G'nin kullanacağı yüksek frekanslı kanallarda bu tür kanallardan sayılır (Diamandis, 2017). Her ne kadar matematiksel modellemelere dayanan çalışmalar ve onlara dayalı geliştirilen haberleşme teknolojileri çok tatmin edici başarılarla imza atarak Shannon'un koymuş olduğu üst limite yakın haberleşme imkanı sağlamış olsalarda donanımsal karmaşıklığın ve bunun neticesinde ortaya çıkan yüksek maliyetin önüne geçememişlerdir. Bununla birlikte haberleşmenin kalitesine artıracak araştırmaların etkisinin ise giderek azaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan etkilerle Shannon limitinin üstünde bir kapasite için yapılan çalışmalarda çok karmaşık modeller gerektireceğinden matematiksel modellemeye ihtiyaç duymayan haberleşme modellerinin geliştirilmesi önemli olmuştur (Sorokina & Turitsyn, 2014). Şüphesiz bu yöntemlerin başında son zamanların birçok çalışmasında adından sıkça söz edilen, her alanı etkisi altına alan, bunda ötesinde farklı çözüm yaklaşımları geliştiren ve belki de sanayi devriminin yaptığı etkiyi tekrar yaşattırarak günümüzün en çok çalışılan konularından olan Derin Öğrenme (DL – Deep Learning) gelmektedir.

Bu çalışma DL yönteminin haberleşme sistemlerine uygulanabilirliğini yönelik güncel çalışmaları inceleyerek, haberleşme için yeni alternatif yöntemler ortaya koyan bu yaklaşımın pozitif ve negatif sonuçlarını ortaya koymayı ve yeni araştırmalar için bir yol haritası belirlemeyi amaçlamaktadır. Bunun için çalışmanın birinci bölümde kısaca DL'e değinilmiş, ikinci bölümde derin öğrenmenin haberleşme uygulamaları alt bölümler halinde incelenmiş ve son bölümde yapılan çalışmalardan elde edilen kazanımlar değerlendirilerek araştırma yol haritası çıkarılmıştır.

2. Derin Öğrenme

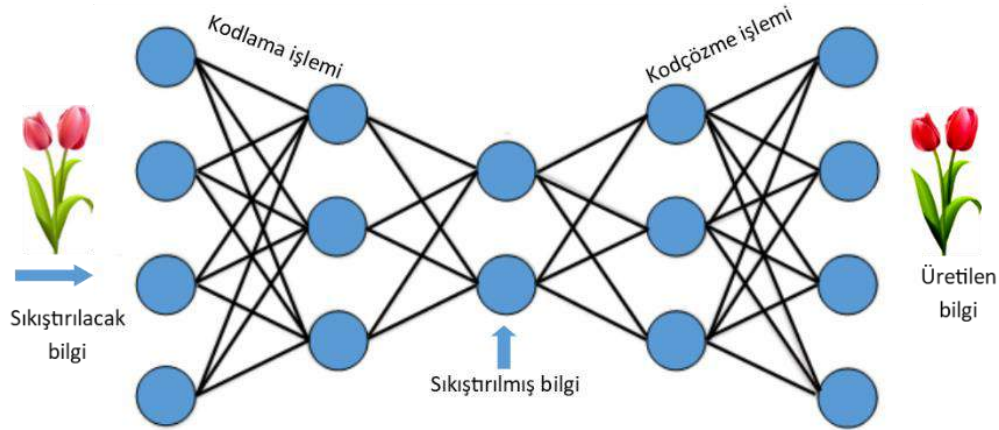
Yapay zeka ile çözülmesi çok zor olan problemlerin çözülmesinde çok büyük bir katkı yapan DL makine öğrenme yöntemlerinden biri olmasına rağmen görüntü, ses ayırtma, dil çevirisi yapma, doğal konuşma anlama, konu sınıflandırma, soru cevaplama vb. birçok alanda diğer makine öğrenme tekniklerine çok büyük bir üstünlük sağlamıştır (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015). En önemli özelliği ise ham bilgiyi doğrudan işleyebilmesidir (Goodfellow, Bengio, Courville, & Bengio, 2016). Bu öğrenme yöntemleri genel olarak ilk katmandan son katmana doğru ham bilginin her katmanda bulunan çok sayıda doğrusal olmayan karar vericiler tarafından işlenip birleştirilmesinden oluşmaktadır. Makine öğrenimi genelde denetimli, denetimsiz ve yarı denetimli olmak üzere üçe ayrılır. Denetimli öğrenme eldeki sınıflandırılmış bilgiye dayanarak öğrenme yapan makinenin, ilk defa karşılaştığı bir nesne veya durum hakkında karar verebilmesidir. Örneğin bazı nesnelerin resimleri ile eğitilen makine yeni bir resimle karşılaştığında bu resmi ayırt edebilir (Şekil 1).



Şekil 1. Derin öğrenme ile gerçek zamanlı nesne algılama

Sınıflandırılmış bilgidен kasıt makinin ayırt etmesi istenen nesnelerden oluşan bir veri tabanıdır. Bu veri tabanında hangi nesnenin ne olduğu belirtilmiştir. Bu verilere dayanarak bir öğrenimden geçirilen makinenin yeni bir nesne ile karşılaştığında bunun en yüksek olasılıkla ne olduğunu bilmesi beklenir ve bu denetimli öğrenim olarak adlandırılır. Örneğin Şekil 1’de makine nesneleri olasılıklarına belirterek tanımlamıştır. Amaç en yüksek olasılıkla doğru seçimi yapmak olduğu için sistem iç parametrelerini yeniden ayarlayarak tahmindeki hatayı düşürmeye çalışır. Yani hatadan ders çıkarılarak öğrenme yapılır. Bu parametreler ağırlık olarak adlandırılır ve bir katmanın giriş ile çıkış arasındaki ilişki oranını belirtirler. Peki hatayı düşürmek için bu parametreler nasıl ayarlanmalıdır? Aslında parametrelerin ayarlanması zincirleme türevin bir uygulamasıdır. Öncelikle her katmandaki ağırlığın en son değeri ne kadar etkilediği bulunur. Bu hesaplama en son katmandan gelen ağırlıklar sonucu nasıl etkilemiştir hesaplanır. Tahmindeki hatanın en aza indirilmesi için bu ağırlıklar etkileme oranları kadar ters yönde değiştirilir ve bu en iyi tahmin yapılabileceği kadar devam ettirilir. Özetle en nihayi sonucun bütün katmalardaki ağırlıklar tarafından ne kadar etkilendiğinin hesaplanması ve bu miktarda ters yönde değiştirilmesi ile yeni hesaplama yapılır. Veri tabanındaki her örnek için bu hesaplama yapılarak ağırlıklar için ortalama değer bulunur. Bulunan bu ortalama değer sistemin öğrenimini tamamladığı anlamına gelmektedir ve yeni durumlarda karar verebilmek için kullanılır.

Denetimsiz öğrenmede ise etiketlenmiş bilgi söz konusu değildir. Sadece gruplanmamış ham bilgi vardır. Makineden bu sınıflandırılmamış bilgilerden sınıflandırma yapması beklenir. Bu sınıflandırma herhangi bir veya birkaç özelliğe göre olabilir. Denetimsiz öğrenme şimdiye kadar yapılan çalışmalarda denetimli öğrenmenin gerisinde kalmasına rağmen gelecekte çok daha fazla etkili olacağı beklenmektedir. Bunun sebebi ise insanın daha çok bu şekilde öğrenmesidir. Örneğin otokodlayıcı (AE-Autoencoder) önemli bir denetimsiz öğrenme yöntemidir ve haberleşme sistemleri dahil birçok uygulaması vardır(G. E. Hinton & Salakhutdinov, 2006). Şekil 2’de görüldüğü gibi uç uca eklenmiş iki yapay sinir ağını andıran bu öğrenme yöntemi ile bir resim kodla-kodçöz (encode-decode) işleminin uygulanarak yeniden oluşturulmuştur. Bu tıpkı haberleşmede olduğu gibi bilginin bir noktadan başka bir noktaya transfer edilerek yeniden oluşturulmasına benzetilebilir. Çünkü haberleşmede de bir bilgi aslında başka bir noktaya iletilmemekte ama hedef noktada yeniden yapılmaktadır. Bu durumda AE yapısı verici-alıcı dahil tüm haberleşme bloklarının tek bir yapı olarak düşünüldüğü uçtan-uca(end-to-end) tam bir haberleşme sistemi gibi değerlendirilebilir.



Şekil 2. Otomatik kodlayıcı kullanılarak orijinal bilgi (sol lale resmi) sıkıştırılmış şekilde saklanması ve daha sonra bu bilgiden orijinal bilgiye çok yakın bilgi (sağ lale resmi) yeniden yapılması

DL'nin farklı uygulamalar için öne çıkan farklı yapıları vardır. Bu DL yöntemleri konvansiyonel sinir ağları (CNN- Convolutional Neural Network), tekrarlanabilir sinir ağları (RNN-Recurrent Neural Networks), sınırlı boltzman makinesi (RBM- Restricted Boltzmann Machines), derin inançlı ağlar (DBN- Deep Belief Networks), otomatik kodlayıcı (AE- Autoencoders), üretken rakip ağlar (GAN – Generative Adversarial Nets) olarak sayılabilir.

Derin öğrenmeye sahip olduğu şöhreti kazandıran büyük öneme sahip dönüm noktası niteliğinde çalışmalar vardır. (Goodfellow et al., 2016) makine öğrenimi ile genel bir bilgi sunan ve özellikle DL'ye yönelik hazırlanmış internet ortamında herkese açık önemli bir kaynak kitaptır. (LeCun et al., 2015) ise DL'ye yönelik hazırlanmış en önemli inceleme makalelerinden biri olarak değerlendirilebilir. (G. E. Hinton, Osindero, & Teh, 2006) ve (G. E. Hinton & Salakhutdinov, 2006) derin inançlı ağlara (DBN) yönelik en önemli çalışmalardandır. (Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012; Szegedy et al., 2015) çalışmaları görsel sınıflandırmaya yönelik önemli CNN araştırmalardandır.(G. Hinton et al., 2012), (Graves & Jaitly, 2014), (Sak, Senior, Rao, & Beaufays, 2015) , (Amodei et al., 2016) ve (Xiong et al., 2016) ise RNN kullanarak konuşma tanıma için önemli makalelerdendir. (G. E. Hinton, Srivastava, Krizhevsky, Sutskever, & Salakhutdinov, 2012), (Srivastava, Hinton, Krizhevsky, Sutskever, & Salakhutdinov, 2014), (Ioffe & Szegedy, 2015), (Ba, Kiros, & Hinton, 2016), (Jaderberg et al., 2017) ise DL için oluşturulacak modellerin verimliliğini artırmak için yapılan en önemli araştırmalardandır. (Kingma & Ba, 2014)ve Ba (2014), (Andrychowicz et al., 2016)(Han, Mao, & Dally, 2016) ise tasarlanan modelin

optimizasyonu hedefleyen en önemli eserlerdendir. Makinelere insan gibi bir control kazandırmayı hedefleyen önemli derin öğrenme takviyeli (DRL) çalışmaları arasında ise (Mnih et al., 2015), (Silver et al., 2016) ve (Silver et al., 2016) kabul edilir. Bazı araştırmacılara göre belkide son on yılın en önemli makine öğrenimi olarak değerlendirilen GAN için, (Goodfellow et al., 2014) ilk çalışmadır.

Derin öğrenme için kullanılan modelin bir programlama dilinde oluşturulması gerekir. Bunun için birçok programla dili kullanılabilir. Hazır modüller içeren, Keras, TensorFlow, Caffe vb. çerçeve programlarda kullanılabilir. Anaconda tüm bu programların kullanılabilceği bir platformdur. Eğer çevrimiçi çalışılmak isteniyorsa Google ait Colab bu hizmeti ücretsiz GPU ve TPU desteği ile beraber sunmaktadır. Pratik amaçlı birçok veri bankası Kaggle'dan ücretsiz alınabilir. Bununla birlikte telsiz haberleşmeye yönelik birkaç veri bankası DeepSig'de sunulmaktadır.



Şekil 3. Öğrenme metotlarının bilgi miktarına göre performansları

Tablo 1. Bölümler halinde DL'nin haberleşme uygulamaları

Makale	Konusu
(West & O'Shea, 2017), (T. J. O'Shea, Corgan, & Clancy, n.d.; T. J. O'Shea & Corgan, 2016), (Ramjee et al., 2019), (J. H. Lee, Kim, Kim, Yoon, & Choi, 2017), (Zhang et al., 2018), (Chikha, Dayoub, Hamouda, & Attia, 2014), (Yashashwi, Sethi, & Chaporkar, 2019), (Mendis, Wei, & Madanayake, 2019), (Liu, Yang, & Gamal, 2017)	Sinyal Tanıma
(H. Wang et al., 2019), (U. Mohammad & Sorour, 2018), (Elbaz & Zibulevsky, 2018), (Chen & Laneman, 2006), Ahmad (A. S. Mohammad, Reddy, James, & Beard, 2018)	Modülasyon
(T. J. O'Shea, Karra, & Clancy, 2016; T. J. O'Shea, Roy, West, & Hilburn, 2018; T. J. O'Shea, Roy, & West, 2018), (Karanov, Lavery, Bayvel, & Schmalen, 2019), (He, Wen, Jin, & Li, 2018a), (Y. Yang, Gao, Ma, & Zhang, 2019), (Hao Ye, Li, & Juang, 2018) Ye, (Soltani, Pourahmadi, Mirzaei, & Sheikhzadeh, 2019), (Arnold et al., 2019), (Jiang et al., 2018),(Jiang et al., 2019), (Cheng, Liu, Wang, Yan, & Zhu, 2019),(Fujihashi, Koike-Akino, Watanabe, & Orlik, 2018), (H. Ye & Li, 2017),(Kang, Chun, & Kim, 2018),(T. J. O'Shea, Erpek, & Clancy, n.d.), (Hao Ye et al., 2018), (Y. Yang, Li, et al., 2019), (Saud Mobark Aldossari, 2019), (Laura Brink Anant Sahai, 2018)	Kanal Kestirim, Eşitleme
(Z. Xu, Wang, Tang, Wang, & Gursoy, 2017), (U. Mohammad & Sorour, 2018), (Ahmed, Tabassum, & Hossain, 2018), (Reddy, 2006),(Sanguinetti, Zappone, & Debbah, 2018), (Nasir & Guo, 2018), (Kim, Lee, & Choi, 2018),(Zhou, Fadlullah, Mao, & Kato, 2018), (H. Ye, Li, & Juang, 2019), (H. Li, Gao, Lv, & Lu, 2018), (J. Li, Gao, Lv, & Lu, 2018), (Ahmed et al., 2018), (Zhao, Liang, Niyato, Pei, & Jiang, 2018), (J. Wang, Zhao, Liu, & Kato, 2019), (Hao Ye et al., 2018), (Wu et al., 2019), (T. Yang, ü, Gursoy, Schmeink, & Mathar, 2018),(S. Xu, Liu, Wang, & Panwar, 2018), (Shen, Shi, Zhang, & Letaief, 2018) (Guo, Liang, & Li, 2019)	Kaynak Paylaşımı
(Bourtsoulatze, Kurka, & Gunduz, 2018), (H. Ye & Li, 2017), (Nachmani et al., 2018; Nachmani, Be'ery, & Burshtein, 2016), (Han et al., 2016), (Gruber, Cammerer, Hoydis, & Brink, 2017),	Kodlama
(Farsad & Goldsmith, 2018), (Corlay, Boutros, Ciblat, & Brunel, 2018), (He et al., 2018a), (Samuel, Diskin, & Wiesel, 2017), (Jia, Cheng, & Zhang, 2019), (Al-Baidhani & Fan, 2019)	Deteksiyon

Derin öğrenmenin son zamanlarda yaygın kullanılıyor olmasının temel iki sebebi çok büyük kapasitelere sahip hesaplama imkanının oluşması ve çok fazla bilginin erişilebilirliği olarak değerlendirilebilir. Bu yapı normal nöral ağlara göre (NN) çok fazla katmana sahiptir ve isminde buradan almaktadır. Bu ise yüksek işlem kapasitesi gerektirmektedir. Öyleki mevcut CPU işlem kapasitesinin ötesinde işlem yapabilecek GPU ve son zamanlarda konuşulan TPU bu amaca yönelik geliştirilmiş teknolojilerdir. Bunun yanında DL'nin NN göre üstünlüğü özellikle çok yüksek bilginin erişilebilirliği ile ortaya çıkmaktadır. Şekil 3'de gösterildiği gibi bilginin az olduğu durumlarda DL metodu diğer öğrenmelere yakın bir performans sergilerken bilgi artıkça DL'nin performans farkı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu daha önce farklı makine öğrenim metodları ile ele alınan problem çözümlerinin yeniden DL ile ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

3. Haberleşmede Derin Öğrenme

(Ibnkahla, 2000) ve içerdiği kaynaklar makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak haberleşme sistemleri birimlerinin gerçekleştirilmesine veya performanslarının artırılmasına yönelik yapılan ilk araştırmalardır. Bunlar modülasyon tipinin tanımlanması, kanal modelleme, kodlama ve çözümlenme, kanal kestirimi, kanal eşitleme ve benzeri konuları içermektedir. Bu çalışmalar zamanın makine öğrenimi yöntemlerindeki öğrenme kapasitesinin sınırlılığından dolayı ihtiyaç duyulan sonuçları üretememiş ve bunun neticesinde gerçek uygulamalarda yer almamışlardır. Bununla birlikte derin öğrenmenin göstermiş olduğu olağanüstü performansta göz önüne alınırsa bu çalışmaların yeniden yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ne yazık ki haberleşme alanında araştırmada bulunanların DL'den uzak olması bu çalışmalarını sınırlamıştır. Yine de son zamanlarda birçok araştırmacı derin öğrenmenin haberleşme sistemlerine uygulanmasına yönelik çalışmalar yapmış ve klasik yöntemlerin ötesinde performanslar elde etmeyi başarmışlardır. İncelenen bu araştırmalar yapılan çalışmaya göre Tablo.1'de sınıflandırılmıştır.

3.1. Yeni Modeller

Bir haberleşme sistemi farklı görevleri yerine getiren alt sistemlerden oluşur. Her alt sistem bir blokla temsil edilir. Bu bloklar belirli bir düzene göre birbirleriyle ilişkilendirilir. Farklı tasarımlarda blokların sıralaması veya sayısı değişiklik gösterse de genelde bir uyum söz konusudur. Bu sayede teknolojinin gelişmesi ile ortaya çıkan ve haberleşmenin kalitesini artıracak yeni bloklar sisteme kolayca entegre edilebilmektedir. Örneğin ilk haberleşme sistemlerinde bugün kullandığımız kaynak kodlama, kanal kodlama, şifreleme, çoğullama, kanal eşitleme gibi birçok alt sistem yer almamıştır. Daha çok sayısal haberleşmenin gelişmesi ile ortaya çıkan bu sistemlerde kendi içinde başka alt sistemlere ayrılabilir. Buna örnek olarak kaynak kodlamanın örnekleme ve kuantize yapan iki alt sistemden oluşması gösterilebilir. Her sistemden olduğu gibi bir haberleşme sisteminden beklenen de yapım amacına yönelik en optimum sonucu üretmesidir.

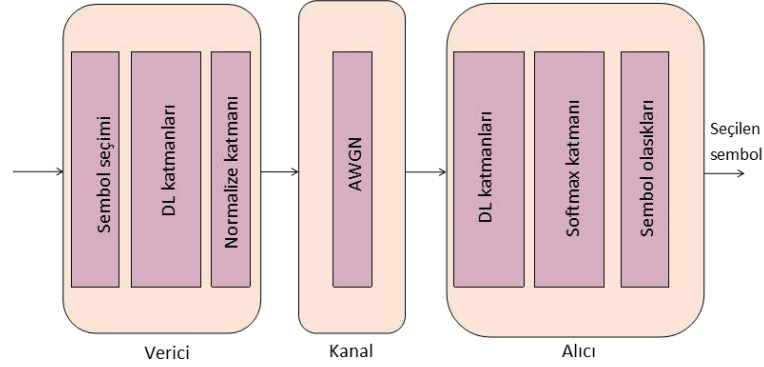
Bu amaca yönelik olarak şimdiye kadar her blok kendi içinde optimum çalışacak şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu tüm yapının en optimum şekilde çalışacağı anlamına gelmemektedir. Son zamanlarda tüm sistemi tek bir parça olarak düşünüp, tasarlayıp ve optimize yapma gayretleri oluşmuştur. İşte biz bu yaklaşımları yeni modellerin tasarımı olarak sunmayı tercih ediyoruz. Bu yeni model tasarımlarında en son hedef tüm sistemin optimize edilmesi ise de klasik haberleşme sistemlerinde yer alan birkaç bloğun bir arada optimize edilmesi de bu yeni model yaklaşımlarına dahil edilebilir.

Şekil 4'te verilen AE bu amaç için haberleşme sistemlerinde kullanılan en önemli yapılarından biridir. Araştırmalarımız bize AE'nin haberleşmeye yeni tasarım olarak değerlendirilebilecek ilk uygulanmasının (T. J. O'Shea & Hoydis, 2017) tarafından yapıldığını göstermiştir. Bu çalışmada çoğunlukla veri sıkıştırma için kullanılan ve her kanalı öğrenme yeteneğine sahip denetimsiz öğrenme algoritmalarından biri olan AE kullanılarak uçtan uca haberleşme sistemi (tüm haberleşme blokları) bir bütün olarak tasarlanmıştır. Bu sistem BPSK modülasyonu kullanılarak AWGN kanalında test edilmiştir. AE'nin performansı, kodlanmış ve kodlanmamış BPSK ile bit hata oranı üzerinden karşılaştırılmıştır. AE tasarımının kodlanmamış BPSK yapısından daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte AE sistemin esas sorununun sembol sayılarının artması ile modelin eğitilmesinden dolayı ortaya çıktığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada uzaysal dönüştürücü ağların (SPN- Spatial Transform Networks) değiştirilmiş bir versiyonu olan ve yapısında AE bulunan radyo (Şekil 5) dönüştürücü ağlar (RTN- Radio Transformer Networks) önerilmiş ve solmalı kanalda test edilmiştir. Daha az veri ile öğretimi mümkün olan bu yapı ile daha iyi bir performans üstelik solmalı kanalda elde edilmiş ve 20dB'de on kat verim artırılmıştır. Bununla beraber sistem daha girift bir hal almıştır. (Dörner, Cammerer, Hoydis, & Brink, 2018) bu çalışmayı pratik ortama taşımıştır. Bu çalışmada yazılım tabanlı bir radyo olan USRP kullanılarak sembol girişimi ile senkronizasyon işlenmiştir. (Felix, Cammerer, Dörner, Hoydis, & Brink, 2018) ise benzer araştırmayı OFDM tabanlı sistemde kullanılarak çok yönlü telsiz ortamda AE'nin başarılı olarak kullanılabileceği göstermiştir. (T. J. O'Shea, Erpek, & Clancy, 2017) AE'nin tek kullanıcı MIMO sisteminde başarılı şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

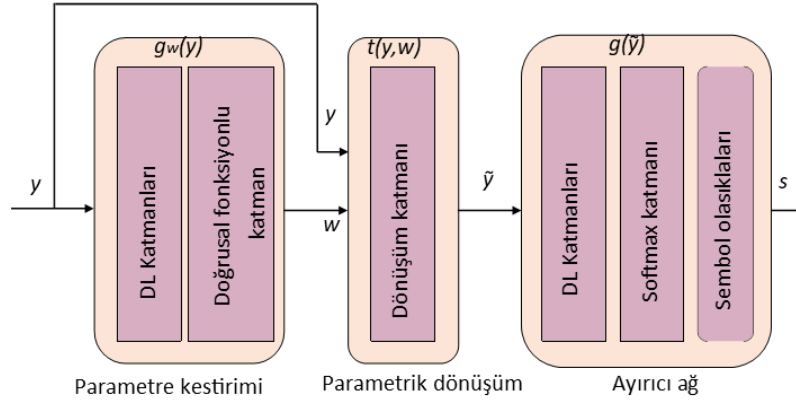
(H. Wang et al., 2019) gerçek bir kablosuz sisteme derin öğrenme uygulamasına güzel bir örnek oluşturmaktadır. Çalışmada belirtilen gerçek ortam her ne kadar çok farklı özelliklere sahip olabilecek telsiz ortamı temsil etmekten uzak olsada, DL'nin gerçek sinyaller üzerine uygulanması adına güzel bir çalışmadır. Oluşturulan sinyaller ayrıca paylaşılarak araştırmacılara farklı yeni çalışma yapma imkanı sunulmuştur. Bu çalışmada alınan sinyalin bir kısmı modelin öğretimi için kullanılmıştır. Her ne kadar bu durum pilot veri kullanarak sinyal elde etmeye benzesede, temelde farklılık göstermekte, çünkü öğretilen model tekrar ek bir bilgiye ihtiyaç duymamaktadır. Bundan dolayı daha başarılı sayılabilir. Ayrıca çalışmada Adaboost adında önerilen model ile bu başarı daha ileriye taşınmış sistem performansı yükselmiştir.

Yeni haberleşme modelleri için önerilebilecek modeller veriye dayalı ve modele dayalı başlıklar altında incelenebilir. Yukarıda bahsedilen modeller daha çok veriye dayalı modellerden oluşmaktadır. Veriye dayalı modeller çok büyük veri miktarı gerektirdiğinden yüksek işlem gücü ve uzun zamana ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı alternatif modele dayalı tasarımlar önerilmiştir. Modele dayalı tasarımlarda haberleşme için kullanılan fiziksel yapı dikkate alınarak daha az veri ile daha az sürede öğretim başarılmaktadır. Modele

dayalı haberleşme ilgili çalışmalara (He et al., 2018a), (He, Wen, Jin, & Li, 2018b) örnek olarak verilebilir. He, Jin ve diğ. (2018) modele dayalı alıcı tasarımı önerilirken kanal modelinin tamamen belirsiz olduğu durumlarda veriye dayalı öğrenimin kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir. (He et al., 2018b) modele dayalı DL sistemi MIMO'ya uygulanırken rayleigh ve korelasyonlu MIMO kanalda yinelemeli algoritmaların verimliliğini artırmıştır.



Şekil 4. AE ile uçtan uca haberleşme sisteminin AWGN kanalda tasarımı (O'Shea ve Hoydis, 2017).



Şekil 5. RTN'nin bir alıcı olarak kullanımı (O'Shea ve Hoydis, 2017).

3.2 Sinyal ve Modülasyon Tanıma

Spektrumun verimli kullanılması, istihbarat amaçlı sinyallerin izlenmesi, alıcıların farklı yayın türlerini algılaya bilmesi, yetkili kurumların spektrumunu takip etmesi, farklı sinyallerin girişimin engellenmesi ve benzeri gibi birçok sebepten dolayı sinyal ve modülasyon tanımlanmasına gerek duyulabilir. Özellikleri bilinen sinyallerin algılanması kolayken, hiçbir özelliği bilinmeyen sinyallerin algılanması oldukça karmaşık işlemler gerektirebilir.

Dinamik spektrum erişimi sağlayan önemli bir teknoloji bilişsel radyo (CR- Cognitive Radio) olarak bilinir. Sürekli aynı biçimde yayın yapan vericilerden farklı olarak CR düzenli spektrum dinlemesi yaparak iletişim parametrelerini (güç, modülasyon tipi, çoğullama tekniği vb.) en uygun şekilde ayarlayıp yayın yapan gelişmiş bir teknolojidir. Bu sayede spektruma dinamik erişim sağlanmakta ve spektrum kullanım verimliliği artırılmaktadır. İletişim parametreleri aynı spektrum kullanan yakın kaynakların sinyalleri ile en az sinyal girişimini sebep olacak şekilde ayarlanır. Bu ise etraftaki diğer sinyallerin parametrelerinin bilinmesine bağlıdır.

Diğer taraftan istihbarat amaçlı kullanılan sinyallerin izlenmesi ve ortaya çıkarılması güvenlik açısından önemlidir. Bu sinyaller sık sık format değiştiren üstün gizlilik özelliklere sahip olabilirler. Bundan dolayı hızlı ve güvenilir şekilde izlenmeleri ve özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

Her ülkenin kendi sahasında spektrumunu düzenleyen ve denetleyen yetkili kurumları vardır. Bu kurumların görevlerini icra edebilmeleri sürekli olarak spektrumunu izlemeleri ve denetlemelerini gerektirdiğinden dolayı yayındaki sinyallerin özelliklerini bilmeleri çok önemlidir.

Başka bir örnekte günlük hayatımızda kullandığımız cihazlara yönelik olabilir. Bu alıcılar sinyal tanımlama özelliğine sahip tasarlanabilirse farklı yayın özellikleri kullanıldığında kullanım dışı kalmazlar. Örneğin son zamanlarda birçok yerde analog radyo yayınından dijital yayına geçilmesi üzerine milyonlarca radyo kullanım dışı kalmıştır. Bu tanım her ne kadar yazılım tabanlı alıcı (SDR- Software Defined Radio) tanımına uysada, bizim kastettiğimiz bunun ötesinde yeni yayınları almak için bir yazılım güncellemesine ihtiyaç duymayan ama kendiliğinden öğrenme yaparak uyumlu hale gelen bir alıcıdır.

Bu bölümde ele alınan gelecek çalışmalar genel anlamda sinyal algılama, modülasyon tanıma, demodülasyon vb. işlemlerinin DL kullanılarak gerçekleştirildiği çalışmalar olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmalardan (T. J. O'Shea & Corgan, 2016), (West & O'Shea, 2017), (T. J. O'Shea, Roy, & Clancy, 2017), (Ramjee et al., 2019) derin öğrenme sahnede başrolü aldıktan sonra modülasyon tanımaya yönelik yapılan ilk çalışmalardan bazılarıdır. (T. J. O'Shea & Corgan, 2016)'da kullanılan sinyaller GNU radyo kullanılarak oluşturulmuş ve kullanıma açık olarak paylaşılmıştır. Gerçek ortamın sinyal üzerine yapabileceği tüm olumsuz etkiler (frekans seçmeli kanal, AWGN, lokal osilatör frekans kayması, güç geçikme profili) dikkate alınarak sinyaller oluşturulmuştur. Aslında bu, bu problemin çözümünde derin öğrenmeyi cazip yapmıştır, çünkü bu şekilde matematiksel modellemesi çok zor bir kanal yapısı oluşturulmuştur. Dolayısıyla klasik yöntemlerin kullanılma olasılığı zorlaşmıştır. Çalışmanın sonucunda, özellikle düşük sinyal gürültü oranında (SNR) modülasyon tanımda önemli gelişme kaydedilmiştir. Aynı yazarlar (T. J. O'Shea & Corgan, 2016)'deki modeli dahada geliştirerek oluşturdukları yeni veri seti ve yazılım tabanlı radyo USRP B-210 ile havadan elde ettikleri sinyalleri en çok kullanılan yirmidört farklı modülasyon arasında sınıflandırmayı çalışmışlardır. Neticede en modern sinyal tanıma tekniklerin başarısı elde edilebilmiştir. Bu çalışmanın diğer bir özelliğide sentetik veri ile eğitilerek gerçek veri üzerinde kullanılan ve transfer öğrenim olarak adlandırılan öğrenmenin yanında, havadan alınarak öğrenim yapılan modelde başarılı sonuç elde edilmiş olmasıdır. Modelin tüm detaylarının veri seti ile birlikte paylaşılmasından dolayı bu çalışma araştırmacılar için çok iyi bir referans kaynak olarak değerlendirilebilir. (West & O'Shea, 2017) verilen çalışma (T. J. O'Shea & Corgan, 2016)'da çalışılan modelin üzerine kurulmuş ve ek olarak katmanlardan sonra filtreler kullanılmıştır. Optimum model elde edilmeye çalışılmıştır. Bunun için optimum filtre sayısı ve filtre uzunluğu incelenerek, DL'nin diğer uygulamalarda başarı gösteren optimum modellerinin test edilmesi amaçlanmıştır. Dört farklı model test edilmiştir. Normal CNN modelinin yalnızca katmanlarının sayısını artırmanın sinyal doğru tanımlama oranına bir katkı yapmadığı ortaya konulmuştur. Artık ağ (RN-Residual Network) mimarisinin kullanıldığı modelde, ilk iki katmandan sonra öğrenmenin durağan seviye vardığı gözlemlenmiştir. Birçok uygulamada önemli katkı yaptığı bilinen başlama (Inception) modülünün kullanımında bir katkı yapmadığı tespit edilmiştir. Son olarakta zamansal sinyallerin öğrenmesinde sıkça kullanılan ve bir RNN türevidir olan uzun kısa süreli hafıza (LSTM – Long short term memory) modeli ile CNN'nin beraber kullanıldığı model incelenmiştir. Bu yapının önceki üç yapıya göre daha iyi sonuç ürettiği belirtilmiştir. Ayrıca CNN'de çokça kullanılan biriktirme (pooling) katmanının bir katkı yapmadığı gözlemlenmiştir. Sonuçta kullanılan sinyallerin gerçek ortam sinyallerden uzak olduğuda belirtilerek, DL modellerinin radyo sinyallerini sınıflarken diğer alanlarda olduğu gibi daha fazla katmanla daha iyi sonuç veremeyeceğini, dolayısıyla radyo sinyalleri için optimize edilmiş modeller geliştirilmesi gerektiği yargısına varılmıştır. (Ramjee et al., 2019) ana komponent analizini kullanarak (PCA- Principal Component Analysis) (T. J. O'Shea & Corgan, 2016)'daki çalışmanın öğretim süresini maliyet fonksiyonunda az bir kayıp karşılığında gerçekleştirmeye çalışmış ve öğretim süresini tahmindeki %2 kayıpla yirmi kat düşürmeyi başarmıştır. (J. H. Lee et al., 2017) yukarıdaki çalışmalardan biraz daha farklı bir yol izlemiş, öncelikle alınan sinyallerin örneklerinden sinyallin birçok istatistiksel özelliğini (en fazla yirimi sekiz) hesaplamış ve bu özelliklere dayanarak beş tür modülasyon arasında sınıflama yapmaya çalışmıştır. DL'den önce özellik belirleyici kullanılmasının DL'nin kullanım amacına aykırı olması ve sistemi daha kompleks hale getireceği dikkate alınmamıştır. Buna rağmen elde edilen sonuçlar tüm özellikler kullanıldığında BPSK için gayet iyiyken QAM-64 için yetersiz olmuştur. Zhang ve diğ. (2018) konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve uzun kısa süreli bellek (LSTM) kullanarak otomatik modülasyon sınıflama (AMC) önermiştir. Bir önceki çalışmada yapılan sinyal özelliklerin belirlenmesi doğrudan DL modeline bırakılmıştır. CNN'nin zamana bağlı fonksiyonlardaki yetersizliğinden dolayı model, RNN'in bir türevidir olan LSTM ile desteklenmiştir. Tek taşıyıcılı onbir farklı modülasyon tipinin sınıflandırılması için insansız have aracının simülasyonundan alınan veriler kullanılmıştır. Sonuçta özellik belirleyici ve DL modelinin ayrı kullanıldığı modellemeden veya destek vektör makinesinden (SVM) daha iyi sonuç elde edilmiştir. Çalışmada LSTM ve CNN'nin birbirlerine paralel ve seri bağlanarak test edilmiş ve seri bağlamanın daha iyi sonuç ürettiği belirtilmiştir. Bu durumun (West & O'Shea, 2017)'te ki tezi doğrular nitelikte olduğunu değerlendiriyoruz. Farklı SNR değerleri için tahmin değerleri grafikler halinde sunulmuş ve 10dB'de %80'nin üzerinde tahmin doğruluğuna ulaşılmıştır.

Modülasyon tanımlamada mevcut tekniklerden biri olan olabirlik tabanlı (LB- likelihood based) yöntem optimum sonuçları üretmek için kullanılır. LB'nin alınan sinyalin parametrelerini mükemmel bir şekilde bilmesi gerekir. Bundan dolayı her zaman kullanılabilir değildir. Diğer sistemlerde maksimum güç spektral yoğunluğu (maximum power spectral density), faz, frekans ve genlik standart sapması gibi sinyal özellikleri kullanılır. Üstelik bu sistemler gürültülü ortamda iyi performans sergilemezler. Bundan dolayı gürültülü ortamlarda modülasyon tanıma önemli olmaktadır. (Mendis, Wei, & Madanayake, 2016) bunu gerçekleştirmek için yapılmış bir çalışmadır. Çalışmada spektral korelasyon kullanılarak sinyalin ortalama ve oto korelasyon özellikleri DBN ile işlenerek modülasyon tanımlama yapılmıştır. Araştırmada yarı denetimli bir öğrenim modeli kullanmış, yani modülasyon tanımlaması yapılan sinyal etiketlenerek öğretimde kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen simülasyonlar önerilen yöntemin -2 dB SNR da %90 doğru karar verme yeteneğine ulaştığını göstermektedir.

3.3 Kaynak Paylaşımı

Kaynak sınırlılığı her alanda olduğu gibi haberleşmede de kendini çok hissettirir ve yapılacak araştırmaların en önemli belirleyicilerinden biridir. Her kullanıcının en azından daha az enerji harcıyarak daha hızlı ve masrafsız bir haberleşme beklenmesini tahmin etmek zor olmayacaktır. Haberleşmedeki kaynaklar genel olarak güç, spektrum ve zaman olarak düşünülebilir. Daha az güç harcayan, spektrumunu verimli kullanan, hızlı ve güvenli olan bir haberleşme sistemi oluşturmak ana hedeflerdendir. Gücün verimli kullanımı özellikle bataryaya bağlı mobil cihazlarda önem kazanmaktadır. Sabit cihazların az enerji harcaması ise hem maliyet hemde global dünyanın en büyük sorunlarından biri haline gelen küresel ısınma için önem arz etmektedir. Kullanılan milyonlarca cihazın enerji tüketiminin düşürülmesinin veya verimli kullanılmasının çevreye yapacağı pozitif katkı inanılmaz büyüklükte olabilir. Bu açıdan bakıldığında her ne kadar diğer kaynaklar kadar kısıtlı olmasada enerjinin optimum kullanımı diğer kaynakların paylaşımından daha değerli olduğu değerlendirilebilir. Bununla birlikte haberleşmede en önemli ve en kısıtlı ve dolayısıyla en maliyetli kaynak spektrumdur. Dolayısıyla en verimli kullanılması gereken kaynaktır. Örneğin hücrel haberleşme sağlayan şirketler kendilerine verilen kısıtlı bant genişliği için çok büyük ödemeler yaparlar ve bundan dolayı spektrumu çok verimli kullanmak zorundadırlar. Hücrel ağ tasarımları,

seçilen modülasyon tipi, ışın hüzmesi (beamformer), çoklu erişim yöntemleri kullanma ve benzeri teknolojilerin arkasında genelde bu yatmaktadır. Tüm bu hedeflere ulaşmaya çalışırken servis kalitesinde ödün vermemek gerekmektedir. Dolayısıyla ortaya bir optimizasyon problemi çıkmaktadır. Bu optimizasyon için yapılan çalışmalar genelde karmaşık numerik ve yinelemeli algoritmalar içerirken sinyal SNR gibi gerçek zamanlı parametrelerin bilinmesi gerektirir. Örneğin birçok güç paylaşım yaklaşımı matris tersi bulma, tekil değer ayrışımı (SVD- singular value decomposition) hesaplama vb. matematiksel işlemlerin her yinelemede yapılmasını gerektirir ve dolayısıyla gerçek bir sistemde uygulanması en azından harcanan güç ve hesaplama kapasitesi açısından oldukça maliyetlidir. Bu sebeplerden dolayı kompleks olmayan yapılar içeren DL'nin haberleşmede kaynak paylaşımı için kullanılmasına yönelik çalışmalar ilgi odağı haline gelmektedir. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalar kaynak paylaşımından bazılarını çözüm önerileri sunmuştur.

(Sun et al., 2017) güç paylaşım optimizasyonunun öğrenilebilir olduğunu gösterir. Derin sinir ağları (DNN) kullanarak modern bir yöntem olan ağırlıklı minimum ortalama kare hatası (WMMSE) ile kaynak paylaşımı gerçekleştirmeye çalışılmıştır. Kullanılan veri hem sentetik hemde gerçek verilerden oluşmaktadır. Çalışmada simülasyonun yanında teorik hesaplamalarda sunulmuştur. Hesaplamanın kompleksliği ile DNN'de kullanılan katman sayısı arasındaki ilişki ortaya konulmuş ve WMMSE'nin fazla iteresyondan kaynaklanan uzan hesaplama problemini çözmüştür. Bu çalışmalarda modern WMMSE referans alınarak oluşturulan etiketlenmiş veri üzerinden DNN öğrenimi söz konusunu olduğundan DL kapasitesine bir sınırlamada getirilmiştir. Bundan dolayı (Eisen, Zhang, Chamon, Lee, & Ribeiro, 2018; W. Lee, Kim, & Cho, 2018) bu sınırlamayı aşmak için uğraşmış ve (W. Lee et al., 2018) CNN ile vericinin güç kontrolünü yaparak enerji veya spektrum verimliliğinden birini maksimum yapmayı modern güç paylaşımı yöntemlerinin ötesinde başarmıştır. (Eisen et al., 2018) ise güç paylaşımı takviyeli derin öğrenme (RDL – reinforcement deep learning) kullanılarak sistem modeli bilinmediğinde çevrim içi yapılan öğrenimle gerçekleştirilmiş ve WMMSE'nin ötesinde bir başarı elde edilebileceği farklı bir yaklaşımla gösterilmiştir.

Pilot olarak adlandırılan ve kanal kestirimi, eşitlemesi, senkronizasyon vb. amaçlar için kullanılan bilgi haberleşmedeki gereksiz bilgi transferine sebep olmakta ve spektrumun kullanım verimliliğini düşürmektedir. Sistemin her kullanıcı için aynı sayıda pilot bilgi kullanmasına gerek olmadığından yola çıkarak, (Kim et al., 2018) kullanıcı konumuna göre kullanılan pilot sayısına karar vermeyi DL ile gerçekleştirmiştir. Model DL'nin giriş verisi olarak kullanıcı yerlerini, çıktı olarak pilot atamayı yapmaktadır. Verilen sonuçlara göre teorik üst limitin %99'na ulaşılmıştır. Spekturumun verimli kullanmanın başka bir yoluda ışın hüzmesi oluşturma (BF- beam forming) ile elektromanyetik dalganın istenilen yöne yönlendirilmesi ile gerçekleştirilebilir. 5G'nin mmWave'i kullanmasında önemli bir unsur olan BF çok fazla sayıda anten içermektedir. Kanalin iyi bilinmediği durumlarda oldukça zor bir mimari olan BF'in DL kullanılarak planlanması (Lin & Zhu, 2019)'da ele alınmış ve kanal kestiriminden BF oluşturularak verimlilik açısından performans artırımı elde edilmiştir.

Kanalda bilginin hatasız iletilmesi için kodlama yapmak gerekir. Kodlama için eklenen fazladan bilginin spektrumun kullanımı açısından verimliliği düşürdüğü değerlendirilir. Bunun yanında kodun uzun olmasında bilginin hatasız iletimi için önemlidir. Buda alıcıda maliyeti artırır. Çünkü uzun kodlar alıcıda daha kompleks donanımlara gerektirirken harcanan gücü artırır. Bu açıdan kodun en uygun seçilmesi kaynak paylaşımı başlığı altında değerlendirilebilir. Bu şekildeki kaynak paylaşımının ise kanal uygulamaları bölümünde incelenmesi uygun görüldü.

3.4 Kanal Uygulamaları

Haberleşmenin sağlandığı ortam olarak bilinen kanal tüm tasarımların şeklini belirleyen ana unsurlar biridir. Kanalin özel olduğu durumların aksine paylaşımlı kanallar, özellikle telsiz kanallar tasarımcının en çok dikkat etmesi gereken kanallar olarak adlandırılabilir. Telsiz teknolojinin göstermiş olduğu olağan üstü gelişmeler, mobil haberleşmenin çok yaygınlaşması, nesnelerin internetinin hayatın olağan bir parçası haline gelmesi telsiz kanallarının üzerindeki yükü çok artırmıştır. Bu kanallar giderek çok daha yoğun kullanılmakta ve karmaşık bir yapıya bürünmektedir. Haberleşmenin kesintisiz, verimli ve en genel tanımıyla sağlıklı yapılabilmesi bu kanalların en doğru şekilde kullanılmasına bağlıdır. Kanallar genelde haberleşmeyi olumsuz etkilerler. Bu bozulmayı tespit etmek ve düzeltmek için kodlama kullanılır. Ayrıca kanal etkisi alıcıda kestirilerek ortadan kaldırılmaya ve kanalın sinyal üzerindeki etkisi giderilmeye çalışılır. Bu kestirim genellikle sürekli olmak zorundadır. Bunlar yapılmadığında bir haberleşmeden söz etmekte mümkün olamayabilir. Özetle kanalın verimli kullanılması, kodlama ile veride oluşacak hatanın önüne geçilmesi ve alıcıda kestirim ile kanalın etkisinin giderilmesi çok önemlidir ve bu amaçlara en iyi şekilde ulaşabilmek için sürekli arayışlar vardır. Tüm bunları optimum olarak yapacak sistemler çok girift matematiksel modeller gerektirebilir. Bundan dolayı DL'nin kanala yönelik uygulamaların etkili olabileceği düşünülebilir. Çünkü DL'nin bu durumlarda iyi bir alternatif olduğu bilinmektedir. Buna özellikle milimetrik dalga boyunu kullanacak 5G sistemleri, matematiksel modelleri henüz olmayan kimyasal kanallar örnek verilebilir. Bundan dolayı olarak araştırmacılar DL'yi kullanarak bu problemlere daha iyi çözümler üretmeye çalışmaktadır. Kanalin etkisini anlamak için daha iyi kestirimlerde bulunmak, kanal eşitlemeyi sağlamak, kanalın durumu değerlendirerek daha iyi kodlama ve çözümleme sunmak, frekans ve zaman kaymasının önüne geçmek, kanal kestirimi yapmadan öğretilmiş modeller üzerinden sembol algılama, sembol ve kanal girişimlerinin etkisini düşürmek veya bunlar için klasik yöntemlerin geliştirdiği çözümleri kompleks bir yapı gerektirmeden çözmek için yapılan çalışmaları bu grup da değerlendirildi.

Milimetrik dalga haberleşme sisteminde olduğu gibi moleküler haberleşmede de kanalı matematiksel olarak modellemek çok zordur. Bundan dolayı (Farsad & Goldsmith, 2018) çift yönlü tekrarlayan sinir ağı (SBRNN) kullanılarak geliştirilen modelle kanal modeli veya bilgisi olmadan bilgi algılama yapılmıştır. Doğrudan iletilen veriden öğrenmeye dayalı bu yöntem her ne kadar kör dedektöre (BD- blind detector) benzesede, BD tahminlerini varsayılan bir kanal modeline göre yaptığından SBRNN daha iyi bir model olarak kabul edilebilir. Bu çalışma DL'nin matematiksel modellemenin zor olduğu durumlarda çok iyi bir alternatif oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Büyük anlamda 5G ile hayatımıza girecek milimetrik dalga haberleşme (mmWave) kanal kestirimi için çok büyük ön bilgi kullanmak zorundadır. Ayrıca Masif MIMO 5G nin en önemli unsurlarından biridir. 5G'nin mmWave'de masif MIMO kullanması ortaya gerçekten olağanüstü bir kanal yapısı çıkarmıştır. (He et al., 2018a) kullanarak bu kanalın kestirimi yönünde yapılan bir çalışmadır. LDAMP şeklinde isimlendirdikleri yöntemde yine kanal matrisi 2D resim olarak model öğretiminde kullanılmış ve mevcut sistemlere göre daha iyi sonuçlar elde edilirken, yöntem analitik çıkarımlarla desteklenmiştir. Ayrıca (X. Li, Alkhateeb, & Tepedelenlioglu, 2018) kullanılan gereksiz ön bilgi boyutunu düşürmek için GAN yapısının kullanıldığı bir çalışma yapılmıştır. Kanal matrisinin haberleşme ortamının bir fonksiyonu olduğundan hareketle, elde edilen kovaryans matris 2D resim gibi değerlendirilip model eğitiminde kullanılmış ve eğitilen modelle çok daha az pilot bilgi kullanılarak az bir ortalama kare hatası ile kanal matrisini tahmin etmeyi başarmıştır. Araştırma makalesi (Hao Ye et al., 2018), DL kullanarak OFDM tabanlı sistemler üzerinde kanal kestirimi ve sinyal tespitini araştırmıştır. Model çevrimdışı olarak öğretilmiş ve çevrimiçi olarak test edilmiştir. Çalışmada çevrimdışı ve çevrimiçi kanalın aynı istatistiksel özelliklere sahip olmasına dikkat edilmiştir. Bulunan sonuç yeterli pilot kullanıldığında DL'nin geleneksel sistemlerle karşılaştırılabilir bir performansa sahip olacağını göstermiştir. Sistem LS ve MMSE'den daha iyi performans göstermiştir. Diğer ilginç bir sonuçta, döngüsel ön ek (CP- Cyclic Prefix) kullanmadan sistemin güzel sonuç vermesidir. Bu dolayısıyla spektral verimide artıracaktır. Çalışmada OFDM tabanlı sistemlerde önemli bir sorun olan tepe-ortalama oranı (Peak-to-Average Ratio) da dikkate alınmıştır. Ne yazık ki çalışmada kullanılan optimizasyon teknikleri, istatistiksel kanal modeli ve diğer derin öğrenme modeli detayları ile sunulmamıştır.

DL'in genelde görüntü ve resim tanımak için kullanılan CNN yapısından yararlanmak için birçok çalışmada sinyallerin özellikleri örneğin spektrumları, zaman-frekans cevapları v.b önce resim haline dönüştürülür. (Soltani et al., 2019) öncelikle zaman-frekans cevabı pilot veriler ile tahmin edilip 2D resim haline getirildikten sonra, tahmindeki hatalar gürültü olarak değerlendirilip CNN ait gürültü iyileştirme yöntemleri kullanılarak kanal kestirimi yapılmış ve ideal MMSE'e çok yakın bir kestirim kompleks olmayan bir yapıyla başarılmıştır.

Filtre dizili çoklu taşıyıcı (FBMC – Filter bank multi carrier) gelecek nesil telsiz haberleşme sistemlerinde OFDM'e benzer ama yapısındaki değişikliklerle daha iyi spektrum verimliliği sunan ve OFDM'e alternatif olarak sunulan bir çoklu erişim yöntemidir. Bununla birlikte FBMC'de kanal kestirimi yapmak daha zordur. (Cheng et al., 2019) FBMC'de kanal kestirimi DL için formüle edilerek kanal eşitleme yapılmış ve mevcut yöntemlerden daha iyi bir başarı elde edilmiştir.

Alıcıda frekans çevrimi, demodülasyon yapılmadan önce lokal osilatör, dobler v.b etkilerden kaynaklanan frekans, faz ve zaman kaymalarının giderilmesi gerekir. (T. O'Shea, Karra, & Clancy, 2017) zaman ve frekans kayması için bilinen yöntemlere açıklandıktan sonra DL kullanılarak bu iki senronizasyon simule edilmiş ve performans karşılaştırılması yapılmıştır. Kullanılan modelle düşük SNR'da frekans kaymasında iyi sonuçlar alınmış, zaman kaymasında ise eşleştirme fitresi (MF -match filter) performansı elde edilememiştir.

Kanal kodlama iletilmek istenen bilgiye fazladan eklenen bilgi ile alıcıda kanal etkisinden dolayı oluşabilecek hataları saptama ve/veya düzeltme için kullanılan ve her sayısal haberleşme sisteminin kullanmış olduğu temel bir yöntemdir. Kodlama bir kanalın tam kapasite kullanılabilmesi için gereklidir. Normalde alıcı gönderilen sinyalin nasıl bir kodlama tekniği kullandığını bilmesi gerekir. Belkide DL'nin kullanıldığı sistemlerde buna gerek kalmayacaktır. Kanal türlerine göre farklı kodların kullanılması, değişen kanal göre kodun özelliğinin değiştirilmesi buna örnek gösterilebilir. Bunun gibi birçok yenilik DL ile kodlamaya kazandırılabilir. (Gruber et al., 2017) DL'nin kod çözümlemede kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmaya göre DL sadece basit bir sınıflayıcı değil, bunun ötesinde kodlama algoritmasında öğrenebilir bir yapıdır. Hem düzenli hemde rastgele kodları kapsayan bu çalışmada, düzenli kodların kod yapısının genel olarak DL tarafından öğrenilebildiği gösterilirken modelin yalnızca kısa kodlarda uygulanabilirliği belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışma DL'nin kodlamada potansiyel ve kısıtlamalarını ortaya koymak için komplekslik ve performansı açısından değerlendirme kriteri içeren analitik çalışma içermektedir. Diğer bir çalışma (H. Ye & Li, 2017) kanal eşitleme ve kod çözümleme sisteminin optimum olması için bir arada gerçekleştirilmiş, DL'nin komplike kodlamayı öğrenebileceğine vurgu yapılmış, DL modelinin üstünlükleri kod çözümleme için ön bir bilgiye ihtiyaç olmaması ve dolayısıyla tüm kodlar için evrensel bir yöntem olma potansiyeli olduğu ayrıca kanal eşitlemeyi ve kod çözümlemeyi bir arada yaparak her iki yapının gerektirmiş olduğu döngüsel hesaplamalı yapıya gerek bırakmaması olarak belirtilmiştir. Bununla birlikte henüz uzun kodlar için bir ön bilgi olmadan (kodun özellikleri gibi) çözümleme yapan DL modellerinin geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu çalışmadaki yaklaşım (W. Xu, Wu, Ueng, You, & Zhang, 2017)'de CNN destekli bir kod çözücü ile daha ileri taşınmak amacı ile ele alınmıştır. CNN kanal eşitleme ve gürültü giderimi için kullanıldıktan sonra diğer bir DL modelide çözümleme için kullanılmıştır. (Nachmani et al., 2018)'de önemli bir kod çözme algoritması olan BP (belief propagation) için DL kullanılarak gelişme kaydedilirken BP önemli bir özelliği olan iletilen kodtan bağımsız performans özelliğide korunmuştur. (Nachmani et al., 2018, 2016)'deki model biraz daha geliştirilmiş ve model parametrelerinin sayısı düşürülerek performansa az da olsa iyileşme elde edilmiştir.

4. Tartışmalar ve Araştırma Fırsatları

Derin öğrenmenin haberleşme teknolojilerine olan uygulamaları sınıflandırılarak incelendi. Bazı çalışmaların içeriğinden dolayı birkaç sınıfta değerlendirilmesi mümkünken, daha çok öne çıkan özelliği dikkate alınarak sınıflandırıldı. Yapılan çalışmalardan derin öğrenmenin haberleşmeye yönelik birçok uygulamasının mümkün olduğu gözlemlendi. Bu çalışmalar klasik haberleşme sistemleriyle yarışacak alternatif ortaya koyarken birçok yeni araştırma fırsatını da araştırmacılara sunduğu gözlemlendi.

Yeni modeller bölümünde ilgili çalışmalardan örnekler verilerek açıklanan AE modelinin özellikle gelecekteki haberleşme sistemlerinin tasarımlarında yer alacağı öngörüldü. AE ile yapılan çalışmaların pratik uygulamalara taşınması, modern mobil haberleşmenin önemli bir altyapısı olan OFDM teknolojisinde başarı ile kullanılması, OFDM’de önemli olan CP olmaksızın dahi kullanılabilmesi bu öngörüye doğrulamaktadır. Bununla birlikte AE’nin profesyonel anlamda haberleşme sektöründe kullanılabilmesi için yeni teknolojileride kapsayan uygulamalar genellikle henüz yapılamadığı anlaşıldı. Buna örnek olarak 5G’de kullanılması değerlendirilen ve OFDM’den farklı ortogonal olmayan çoklu erişim tekniği (NOMA) (Vaezi, Schober, Ding, & Poor, 2018), (Ding et al., 2017) verilebilir. NOMA aynı frekansın aynı anda birçok kullanıcı tarafından kullanılmasını esas almakta ve dolayısıyla sürekli vurgulanan kanal yapısının modellenmesindeki zorluk ortaya çıkmaktadır. Yapılan araştırmalardan AE’nin NOMA ve benzeri birçok yeni nesil mobil teknolojileri için incelenmediği gözlemlendi. Bundan dolayı AE’nin yeni nesil teknolojilere uygulamaları çok geniş bir araştırma sahası oluşturduğu değerlendirildi.

Sinyal algılama ve demodülasyon bölümünde DL’nin birçok farklı uygulamasına değinildi. Çalışmaların başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlendi. Araştırmalarda kullanılan sinyallerin farklı veri bankalarından elde edilmesinden dolayı geliştirilen modelleri birbirleriyle kıyaslamak mümkün olmamaktadır. Bu kıyaslamaların sağlıklı yapılabilmesi için bu modellerin aynı sinyaller üzerinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeleri yapabilecek birkaç kaynağın dışında açık kaynağa rastlanmadı. Rastlanan kaynaklardaki sinyallerin standartları ise farklılık gösterebilmektedir. Bundan dolayı öncelikle modellerin öğretileceği ve test edileceği sinyallerin özellikleri üzerinde ortak bir fikir birliğine ulaşılması ve araştırmalara yardımcı olacak veri bankalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu sebeple öğretim için kullanılacak sinyallerin standartlarının belirlenmesi, bu standartlara uygun gerçek sinyallerden oluşan veri bankalarının oluşturulması, bu veri bankaları üzerinde yapılan çalışmaların yeniden değerlendirilerek karşılaştırılması ve iyi sonuç veren modelleri daha da geliştirilmesi birçok açık araştırma alanı oluşturmaktadır.

Kaynak paylaşımları bölümünde DL kullanılarak en modern yöntemlerin başardığı güç paylaşımını yapabilen çalışmalar incelendi. Bununla birlikte yapılan çalışmaların sayıca az olmasından dolayı sağlıklı bir kıyaslama yapılamayacağı değerlendirildi. Geliştirilen modellerin optimum olup olmadığının anlaşılması için yapılacak araştırmalara ihtiyaç olduğu değerlendirildi.

Kanal uygulamaları bölümünde incelenen araştırmalar DL’nin kanal kestiriminde ve eşitlemesinde çok iyi sonuçlar ürettiğini gösterirken kod çözümlene çalışmalarındaki performanslara bakılınca henüz istenen sonuçları üreten modellerin geliştirilemediği görüldü. Yapılan çalışmalar kısa kodlarda kodlama özelliklerini belirten herhangi bir ön bilgi olmadan genel bir kodlama algoritmasını öğrenilebileceğini ortaya koymakla sınırlı kalmaktadır. DL’nin kod çözme uygulamaları başta olmak üzere kanal kestirimi ve eşitleme modellerinin optimize edilmesine yönelik geniş bir araştırma potansiyeli mevcuttur. Yapılan araştırmaların birçoğunun pratik ortamdan uzak olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen bazı çalışmalarda ise yazılım tabanlı bir radyo olan USRP kullanılarak gerçek ortamda modeller test edilmiştir. Diğer çalışmalarında bu şekilde gerçekleştirilmesi bu modellerin profesyonelleşmesine yardımcı olurken araştırmaya açık birçok yeni alanı da ortaya koymaktadır.

Yapılabilecek araştırma alanları özetle aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

1. Yazılım tabanlı alıcılar kullanılarak gerçek sinyallerden oluşan veri bankalarının oluşturulup genel üretici lisansı hakkıyla sunulması.
2. DL tabanlı alıcıların gerçekleştirilmesi ve ticarileştirilmesi
3. Haberleşmeye uygulanabilir özel DL modellerinin oluşturulması, eğitilmesi ve eğitilmiş model verilerinin paylaşılması.
4. DL tabanlı kod çözümlerinin geliştirilmesi ve performanslarının standart kod çözümlerle karşılaştırılması.
5. Kaynak paylaşımı yapan DL modellerinin geliştirilmesi.
6. Kanal kestirimi ve eşitlemesi yapan DL modellerinin geliştirilmesi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada DL'nin haberleşmeye, özellikle telsiz haberleşmeye yönelik uygulamaları alt başlıklar altında incelendi. Derin öğrenmenin çok farklı alanlarda göstermiş olduğu başarıdan dolayı haberleşme alanına dönük araştırmaların arttığı ve bu bağlamda birçok çalışmanın yürütülmekte olduğu, buna rağmen bu çalışmaların yeterli sayıda olmadığı sonucuna varıldı. Yapılan çalışmalardan: DL ile kullanılan mevcut sistemlere daha az kompleks daha başarılı olan alternatif sistemlerin yapılabileceği gözlemlendi. Özellikle çok karmaşık modelleme ve hesap yükü oluşturan sistemlerde DL'nin çok iyi bir alternatif oluşturacağından dolayı tercih edilmesi gerektiği anlaşıldı. Haberleşmede DL'nin kullanımına yönelik araştırmaların önündeki en önemli bir etkenin model öğretiminde kullanılacak standart sinyal veri bankalarının bulunmaması olarak değerlendirildi. Bunun için öncelikle gerçek ortam verilerin (haberleşmede kullanılan sinyaller) belirlenecek standartlara göre oluşturulması ve kullanıma açılması gerektiği sonucuna varıldı. Diğer çok önemli bir etkeninde DL'nin farklı alanlara özel modelleri olmasına karşın, örneğin görsel, ses vb. haberleşmeye özel modellerinin henüz geliştirilmemiş olmamasından kaynaklandığı anlaşıldı. DL'nin diğer dallarda geçirmiş olduğu evreler bakılınca bu özel modellerin daha çok araştırmacının çalışmalarıyla ortaya çıkacak doğal bir süreç olduğu değerlendirildi. Çalışmaların sayısını ve kalitesinin etkileyen diğer bir sebebinde haberleşme alanında çalışan araştırmacıların, DL'nin isminin daha çok görüntü, ses tanıma v.b gibi işlemlerle anılmasından dolayı, DL'ye daha az ilgi göstermesinden kaynaklandığı değerlendirildi. İncelenen araştırmalardan DL'nin haberleşmede kullanılan alt sistemlerin birçoğunda uygulanabileceği ve modern tasarımlarla karşılaştırılabilecek sonuçları elde edilebileceği kanısına varıldı. Bu başarının üstelik daha DL'nin haberleşmeye yönelik araştırmaların yeni başladığı evrede gerçekleşmesi gerçekten çok büyük bir başarı olarak değerlendirildi. Bundan dolayı araştırma yapabilecek birçok konu olduğu anlaşıldı.

DL'nin haberleşme teknolojilerine günümüze kadar yaptığı katkılardan hiçbiri henüz çığır açıcı nitelikte olmamıştır. Bununla birlikte küçük ama çok fazla DL tabanlı çalışma haberleşmenin her kolunda birçok yerde yapılmaktadır. Buna örnek olarak arXiv'de günlük ortalama 1-2 makale yayınlanması verilebilir. DL'in mühendisliğin ve bilgi teknolojilerinin diğer dallarında göstermiş olduğu başarıyı haberleşme teknolojilerinde de bu alanındaki uzmanların DL kullanmasıyla göstereceği açıktır. Son olarak belirtmeliyizki yapılan çalışmaların ivmesindeki artış çok yakın zamanda DL'yi pratik olarak birçok haberleşme sisteminin bir parçası olarak görülebileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- Ahmed, K. I., Tabassum, H., & Hossain, E. (2018). Deep Learning for Radio Resource Allocation in Multi-Cell Networks. *CoRR*, *abs/1808.00667*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1808.00667>
- Al-Baidhani, A., & Fan, H. H. (2019). Learning for Detection: A Deep Learning Wireless Communication Receiver Over Rayleigh Fading Channels. *2019 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)* (pp. 6–10). doi:10.1109/ICNC.2019.8685517
- Amodei, D., Ananthanarayanan, S., Anubhai, R., Bai, J., Battenberg, E., Case, C., Casper, J., et al. (2016). Deep speech 2: End-to-end speech recognition in english and mandarin. *International conference on machine learning* (pp. 173–182).
- Andrychowicz, M., Denil, M., Colmenarejo, S. G., Hoffman, M. W., Pfau, D., Schaul, T., & Freitas, N. de. (2016). Learning to learn by gradient descent by gradient descent. *CoRR*, *abs/1606.04474*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1606.04474>
- Arnold, M., Dörner, S., Cammerer, S., Yan, S., Hoydis, J., & Brink, S. ten. (2019). Enabling FDD Massive MIMO through Deep Learning-based Channel Prediction. *CoRR*, *abs/1901.03664*.
- Ba, J. L., Kiros, J. R., & Hinton, G. E. (2016). Layer normalization. *arXiv preprint arXiv:1607.06450*.
- Bourtsoulatzé, E., Kurka, D. B., & Gunduz, D. (2018). Deep joint source-channel coding for wireless image transmission. *arXiv preprint arXiv:1809.01733*.
- Chen, D., & Laneman, J. N. (2006). Modulation and demodulation for cooperative diversity in wireless systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *5*(7), 1785–1794.
- Cheng, X., Liu, D., Wang, C., Yan, S., & Zhu, Z. (2019). Deep Learning based Channel Estimation and Equalization Scheme for FBMC/OQAM Systems. *IEEE Wireless Communications Letters*, 1–1. doi:10.1109/LWC.2019.2898437
- Chikha, W. B., Dayoub, I., Hamouda, W., & Attia, R. (2014). Modulation Recognition for MIMO Relaying Broadcast Channels with Direct Link. *IEEE Wireless Communications Letters*, *3*(1), 50–53. doi:10.1109/WCL.2013.111113.130655
- Corlay, V., Boutros, J. J., Ciblat, P., & Brunel, L. (2018). Multilevel MIMO Detection with Deep Learning. *2018 52nd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers* (pp. 1805–1809). doi:10.1109/ACSSC.2018.8645519
- Diamandis, T. (2017). Survey on Deep Learning Techniques for Wireless Communications.
- Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G. K., Schober, R., Yuan, J., & Bhargava, V. K. (2017). A survey on non-orthogonal multiple access for 5G networks: Research challenges and future trends. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, *35*(10), 2181–2195.
- Dörner, S., Cammerer, S., Hoydis, J., & Brink, S. ten. (2018). Deep learning based communication over the air. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, *12*(1), 132–143.
- Eisen, M., Zhang, C., Chamon, L. F. O., Lee, D. D., & Ribeiro, A. (2018). Online Deep Learning in Wireless Communication Systems. *2018 52nd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers* (pp. 1289–1293). doi:10.1109/ACSSC.2018.8645312
- Elbaz, D., & Zibulevsky, M. (2018). End to End Deep Neural Network Frequency Demodulation of Speech Signals. *Future of Information and Communication Conference* (pp. 1–11). Springer.
- Farsad, N., & Goldsmith, A. (2018). Neural network detection of data sequences in communication systems. *arXiv preprint arXiv:1802.02046*.

- Felix, A., Cammerer, S., Dörner, S., Hoydis, J., & Brink, S. ten. (2018). OFDM-Autoencoder for End-to-End Learning of Communications Systems. *2018 IEEE 19th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, 1–5.
- Fujihashi, T., Koike-Akino, T., Watanabe, T., & Orlik, P. V. (2018). Nonlinear Equalization with Deep Learning for Multi-Purpose Visual MIMO Communications. *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1–6). doi:10.1109/ICC.2018.8422544
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). *Deep learning* (Vol. 1). MIT press Cambridge.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., et al. (2014). Generative adversarial nets. *Advances in neural information processing systems* (pp. 2672–2680).
- Graves, A., & Jaitly, N. (2014). Towards end-to-end speech recognition with recurrent neural networks. *International Conference on Machine Learning* (pp. 1764–1772).
- Gruber, T., Cammerer, S., Hoydis, J., & Brink, S. t. (2017). On deep learning-based channel decoding. *2017 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)* (pp. 1–6). doi:10.1109/CISS.2017.7926071
- Guo, C., Liang, L., & Li, G. Y. (2019). Resource Allocation for V2X Communications: A Large Deviation Theory Perspective. *IEEE Wireless Communications Letters*, 1–1. doi:10.1109/LWC.2019.2908165
- Han, S., Mao, H., & Dally, W. J. (2016). Deep Compression: Compressing Deep Neural Network with Pruning, Trained Quantization and Huffman Coding. *CoRR, abs/1510.00149*.
- He, H., Wen, C., Jin, S., & Li, G. Y. (2018a). A Model-Driven Deep Learning Network for MIMO Detection. *2018 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)* (pp. 584–588). doi:10.1109/GlobalSIP.2018.8646357
- He, H., Wen, C., Jin, S., & Li, G. Y. (2018b). Deep Learning-Based Channel Estimation for BeamSpace mmWave Massive MIMO Systems. *IEEE Wireless Communications Letters*, 7(5), 852–855. doi:10.1109/LWC.2018.2832128
- Hinton, G., Deng, L., Yu, D., Dahl, G., Mohamed, A., Jaitly, N., Senior, A., et al. (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition. *IEEE Signal processing magazine*, 29.
- Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y.-W. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural computation*, 18(7), 1527–1554.
- Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *science*, 313(5786), 504–507.
- Hinton, G. E., Srivastava, N., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. R. (2012). Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. *arXiv preprint arXiv:1207.0580*.
- Ibnkahla, M. (2000). Applications of neural networks to digital communications—a survey. *Signal processing*, 80(7), 1185–1215.
- Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *arXiv preprint arXiv:1502.03167*.
- Jaderberg, M., Czarnnecki, W. M., Osindero, S., Vinyals, O., Graves, A., Silver, D., & Kavukcuoglu, K. (2017). Decoupled neural interfaces using synthetic gradients. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning-Volume 70* (pp. 1627–1635). JMLR. org.
- Jia, Z., Cheng, W., & Zhang, H. (2019). A Partial Learning Based Detection Scheme for Massive MIMO. *IEEE Wireless Communications Letters*, 1–1. doi:10.1109/lwc.2019.2909019
- Jiang, Z., Chen, S., Molisch, A. F., Vannithamby, R., Zhou, S., & Niu, Z. (2019). Exploiting Wireless Channel State Information Structures Beyond Linear Correlations: A Deep Learning Approach. *IEEE Communications Magazine*, 57, 28–34.
- Jiang, Z., He, Z., Chen, S., Molisch, A. F., Zhou, S., & Niu, Z. (2018). Inferring Remote Channel State Information: Cramér-Rae Lower Bound and Deep Learning Implementation. *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 1–7.
- Kang, J., Chun, C., & Kim, I. (2018). Deep-Learning-Based Channel Estimation for Wireless Energy Transfer. *IEEE Communications Letters*, 22(11), 2310–2313. doi:10.1109/LCOMM.2018.2871442
- Karanov, B., Lavery, D., Bayvel, P., & Schmalen, L. (2019). End-to-End Optimized Transmission over Dispersive Intensity-Modulated Channels Using Bidirectional Recurrent Neural Networks. *CoRR, abs/1901.08570*.
- Kim, K., Lee, J., & Choi, J. (2018). Deep Learning Based Pilot Allocation Scheme (DL-PAS) for 5G Massive MIMO System. *IEEE Communications Letters*, 22(4), 828–831. doi:10.1109/LCOMM.2018.2803054
- Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems* (pp. 1097–1105).
- Laura Brink Anant Sahai, E. Ed. John Wawrzynek. (2018). *Deep Networks for Equalization in Communications* (No. UCB/EECS-2018-177). Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley. Retrieved from <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2018/EECS-2018-177.pdf>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436.
- Lee, J. H., Kim, J., Kim, B., Yoon, D., & Choi, J. W. (2017). Robust Automatic Modulation Classification Technique for Fading Channels via Deep Neural Network. *Entropy*, 19, 454.
- Lee, W., Kim, M., & Cho, D. (2018). Deep Power Control: Transmit Power Control Scheme Based on Convolutional Neural Network. *IEEE Communications Letters*, 22(6), 1276–1279. doi:10.1109/LCOMM.2018.2825444
- Li, H., Gao, H., Lv, T., & Lu, Y. (2018). Deep Q-Learning Based Dynamic Resource Allocation for Self-Powered Ultra-Dense Networks. *2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)* (pp. 1–6). doi:10.1109/ICCW.2018.8403505
- Li, J., Gao, H., Lv, T., & Lu, Y. (2018). Deep reinforcement learning based computation offloading and resource allocation for MEC. *2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)* (pp. 1–6). doi:10.1109/WCNC.2018.8377343
- Li, X., Alkhateeb, A., & Tepedelenlioglu, C. (2018). Generative adversarial estimation of channel covariance in vehicular millimeter wave systems. *2018 52nd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers* (pp. 1572–1576). IEEE.
- Lin, T., & Zhu, Y. (2019). Beamforming Design for Large-Scale Antenna Arrays Using Deep Learning.

- Liu, X., Yang, D., & Gamal, A. E. (2017). Deep neural network architectures for modulation classification. *2017 51st Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, 915–919.
- Mendis, G. J., Wei, J., & Madanayake, A. (2016). Deep learning-based automated modulation classification for cognitive radio. *2016 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS)* (pp. 1–6). doi:10.1109/ICCS.2016.7833571
- Mendis, G. J., Wei, J., & Madanayake, A. (2019). Deep Learning based Radio-Signal Identification with Hardware Design. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1–1. doi:10.1109/TAES.2019.2891155
- Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., Graves, A., et al. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518, 529–533.
- Mohammad, A. S., Reddy, N., James, F., & Beard, C. (2018). Demodulation of faded wireless signals using deep convolutional neural networks. *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 969–975). IEEE.
- Mohammad, U., & Sorour, S. (2018). Adaptive Task Allocation for Mobile Edge Learning. *arXiv preprint arXiv:1811.03748*.
- Nachmani, E., Be'ery, Y., & Burshtein, D. (2016). Learning to decode linear codes using deep learning. *2016 54th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)* (pp. 341–346). doi:10.1109/ALLERTON.2016.7852251
- Nachmani, E., Marciano, E., Lugosch, L., Gross, W. J., Burshtein, D., & Be'ery, Y. (2018). Deep Learning Methods for Improved Decoding of Linear Codes. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 12(1), 119–131. doi:10.1109/JSTSP.2017.2788405
- Nasir, Y. S., & Guo, D. (2018). Deep reinforcement learning for distributed dynamic power allocation in wireless networks. *arXiv preprint arXiv:1808.00490*.
- O'Shea, T. J., & Corgan, J. (2016). Convolutional Radio Modulation Recognition Networks. *CoRR, abs/1602.04105*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1602.04105>
- O'Shea, T. J., Corgan, J., & Clancy, T. C. (n.d.). Unsupervised Representation Learning of Structured Radio Communication Signals.
- O'Shea, T. J., Erpek, T., & Clancy, T. C. (2017). Deep learning based MIMO communications. *arXiv preprint arXiv:1707.07980*.
- O'Shea, T. J., Erpek, T., & Clancy, T. C. (n.d.). Deep Learning Based MIMO Communications.
- O'Shea, T. J., & Hoydis, J. (2017). An introduction to machine learning communications systems. *arXiv preprint, 1702*.
- O'Shea, T. J., Karra, K., & Clancy, T. C. (2016). Learning to communicate: Channel auto-encoders, domain specific regularizers, and attention. *Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), 2016 IEEE International Symposium on* (pp. 223–228). IEEE.
- O'Shea, T. J., Roy, T., & Clancy, T. C. (2017). Over the Air Deep Learning Based Radio Signal Classification. *CoRR, abs/1712.04578*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1712.04578>
- O'Shea, T. J., Roy, T., & West, N. (2018). Approximating the Void: Learning Stochastic Channel Models from Observation with Variational Generative Adversarial Networks. *CoRR, abs/1805.06350*.
- O'Shea, T. J., Roy, T., West, N., & Hilburn, B. C. (2018). Physical Layer Communications System Design Over-the-Air Using Adversarial Networks. *arXiv preprint arXiv:1803.03145*.
- O'Shea, T., Karra, K., & Clancy, T. C. (2017). Learning approximate neural estimators for wireless channel state information. *2017 IEEE 27th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP)* (pp. 1–7). IEEE.
- Ramjee, S., Ju, S., Yang, D., Liu, X., Gamal, A. E., & Eldar, Y. C. (2019). Fast Deep Learning for Automatic Modulation Classification. *CoRR, abs/1901.05850*.
- Reddy, Y. B. (2006). Reinforcement Learning for Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems. *ICWN* (pp. 78–83).
- Sak, H., Senior, A., Rao, K., & Beaufays, F. (2015). Fast and accurate recurrent neural network acoustic models for speech recognition. *arXiv preprint arXiv:1507.06947*.
- Samuel, N., Diskin, T., & Wiesel, A. (2017). Deep MIMO detection. *2017 IEEE 18th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)* (pp. 1–5). doi:10.1109/SPAWC.2017.8227772
- Sanguinetti, L., Zappone, A., & Debbah, M. (2018). Deep Learning Power Allocation in Massive MIMO. *2018 52nd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, 1257–1261.
- Saud Mobark Aldossari, K.-C. C. (2019). Machine Learning for Wireless Communication Channel Modeling: An Overview. *Wireless Personal Communications*, 1.
- Shen, Y., Shi, Y., Zhang, J., & Letaief, K. B. (2018). LORA: Learning to Optimize for Resource Allocation in Wireless Networks with Few Training Samples. *arXiv preprint arXiv:1812.07998*.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Driessche, G. van den, Schrittwieser, J., et al. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529, 484–489.
- Soltani, M., Pourahmadi, V., Mirzaei, A., & Sheikhzadeh, H. (2019). Deep Learning-Based Channel Estimation. *IEEE Communications Letters*.
- Sorokina, M., & Turitsyn, S. (2014). Regeneration limit of classical Shannon capacity. *Nature communications*, 5, 3861.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. *The Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929–1958.
- Sun, H., Chen, X., Shi, Q., Hong, M., Fu, X., & Sidiropoulos, N. D. (2017). Learning to optimize: Training deep neural networks for wireless resource management. *2017 IEEE 18th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)* (pp. 1–6). doi:10.1109/SPAWC.2017.8227766
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., et al. (2015). Going deeper with convolutions. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1–9).
- Vaezi, M., Schober, R., Ding, Z., & Poor, H. V. (2018). Non-orthogonal multiple access: Common myths and critical questions. *arXiv preprint arXiv:1809.07224*.
- Wang, H., Wu, Z., Ma, S., Lu, S., Zhang, H., Ding, G., & Li, S. (2019). Deep Learning for Signal Demodulation in Physical Layer Wireless Communications: Prototype Platform, Open Dataset, and Analytics. *IEEE Access*, 7, 30792–30801.

- Wang, J., Zhao, L., Liu, J., & Kato, N. (2019). Smart Resource Allocation for Mobile Edge Computing: A Deep Reinforcement Learning Approach. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 1–1. doi:10.1109/TETC.2019.2902661
- West, N. E., & O'Shea, T. J. (2017). Deep Architectures for Modulation Recognition. *CoRR*, abs/1703.09197. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1703.09197>
- Wu, C., Zhang, Li, Q., Fu, Z., Zhu, W., & Zhang, Y. (2019). Enabling Flexible Resource Allocation in Mobile Deep Learning Systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 30(2), 346–360. doi:10.1109/TPDS.2018.2865359
- Xiong, W., Droppo, J., Huang, X., Seide, F., Seltzer, M., Stolcke, A., Yu, D., et al. (2016). Achieving human parity in conversational speech recognition. *arXiv preprint arXiv:1610.05256*.
- Xu, S., Liu, P., Wang, R., & Panwar, S. S. (2018). Realtime Scheduling and Power Allocation Using Deep Neural Networks. *CoRR*, abs/1811.07416.
- Xu, W., Wu, Z., Ueng, Y., You, X., & Zhang, C. (2017). Improved polar decoder based on deep learning. *2017 IEEE International Workshop on Signal Processing Systems (SiPS)* (pp. 1–6). doi:10.1109/SiPS.2017.8109997
- Xu, Z., Wang, Y., Tang, J., Wang, J., & Gursoy, M. C. (2017). A deep reinforcement learning based framework for power-efficient resource allocation in cloud RANs. *Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on* (pp. 1–6). IEEE.
- Yang, T., ü, Y., Gursoy, M. C., Schmeink, A., & Mathar, R. (2018). Deep Reinforcement Learning based Resource Allocation in Low Latency Edge Computing Networks. *2018 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)* (pp. 1–5). doi:10.1109/ISWCS.2018.8491089
- Yang, Y., Gao, F., Ma, X., & Zhang, S. (2019). Deep Learning-Based Channel Estimation for Doubly Selective Fading Channels. *IEEE Access*, 7, 36579–36589. doi:10.1109/ACCESS.2019.2901066
- Yang, Y., Li, Y., Zhang, W., Qin, F., Zhu, P., & Wang, C. (2019). Generative-Adversarial-Network-Based Wireless Channel Modeling: Challenges and Opportunities. *IEEE Communications Magazine*, 57(3), 22–27. doi:10.1109/MCOM.2019.1800635
- Yashashwi, K., Sethi, A., & Chaporkar, P. (2019). A Learnable Distortion Correction Module for Modulation Recognition. *IEEE Wireless Communications Letters*, 8(1), 77–80. doi:10.1109/LWC.2018.2855749
- Ye, H., & Li, G. Y. (2017). Initial Results on Deep Learning for Joint Channel Equalization and Decoding. *2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)* (pp. 1–5). doi:10.1109/VTCFall.2017.8288419
- Ye, H., Li, G. Y., & Juang, B.-H. (2018). Power of deep learning for channel estimation and signal detection in OFDM systems. *IEEE Wireless Communications Letters*, 7(1), 114–117.
- Ye, H., Li, Y. G., & Juang, B. F. (2019). Deep Reinforcement Learning for Resource Allocation in V2V Communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1–1. doi:10.1109/TVT.2019.2897134
- Zhang, D., Ding, W., Zhang, B., Xie, C., Li, H., Liu, C., & Han, J. (2018). Automatic Modulation Classification Based on Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*.
- Zhao, N., Liang, Y., Niyato, D., Pei, Y., & Jiang, Y. (2018). Deep Reinforcement Learning for User Association and Resource Allocation in Heterogeneous Networks. *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)* (pp. 1–6). doi:10.1109/GLOCOM.2018.8647611
- Zhou, Y., Fadlullah, Z. M., Mao, B., & Kato, N. (2018). A Deep-Learning-Based Radio Resource Assignment Technique for 5G Ultra Dense Networks. *IEEE Network*, 32(6), 28–34.