

ISSN 1012-2354



ERCIYES ÜNİVERSİTESİ

# ***FEN BİLİMLERİ***

**ENSTİTÜSÜ DERGİSİ**

*Erciyes University  
Journal of  
the  
Institute  
of  
Science and Technology*

**Cilt (Vol.): 36**

**Sayı (No): 1**



ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ  
Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology



ISSN: 1012-2354

**Genel Yayın Yönetmeni**

Prof. Dr. Recai KILIÇ, Erciyes Üniversitesi

**İmtiyaz Sahibi**

Prof. Dr. Mustafa ÇALIŞ, Erciyes Üniversitesi

**Editör**

Prof.Dr. Mehmet AKKURT , Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN , Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. M. Tamer ŞENEL , Erciyes Üniversitesi

**Editörler Kurulu**

Prof.Dr.Musa SARI,Gazi Üniversitesi, msari@gazi.edu.tr

Prof.Dr.Orhan BÜYÜKGÜNGÖR, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, orhanb@omu.edu.tr

Prof.Dr.Hasan Küçükbay, İnönü Üniversitesi, hasan.kucukbay@inonu.edu.tr

Prof.Dr.Kamil KOÇ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, kamil.koc@cbu.edu.tr

Prof.Dr.Tuncay CANDAN, The American University of the Middle East,  
Tuncay.Candan@aum.edu.kw

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA, Erciyes Üniversitesi, karaboga@erciyes.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet HAYTA , Erciyes Üniversitesi, mhayta@erciyes.edu.tr

Prof.Dr. Doğan IŞIK , Erciyes Üniversitesi, dogani@erciyes.edu.tr

Prof.Dr. M.Duran TOKSARI , Erciyes Üniversitesi, dtoksari@erciyes.edu.tr

Doç.Dr. BURAK UZAL, Abdullah Gül Üniversitesi, burak.uzal@agu.edu.tr

Doç.Dr. Fehmi NAİR , Erciyes Üniversitesi, fnair@erciyes.edu.tr

Doç.Dr. NİĞMET UZAL, Abdullah Gül Üniversitesi, nigmet.uzal@agu.edu.tr

Doç. Dr.Murat GÖKÇEK , Ömer Halisdemir Üniversitesi, mgokcek@ohu.edu.tr

**Cilt: 36 Sayı: 1**

**Nisan 2020**

## **İçindekiler**

<b>Sayfalar</b>	<b>Makaleler</b>	<b>Türü</b>
1-21	Buji Ateşlemeli Motorlarda Alkol Yakıt Kullanımının Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristikleri Açısından İncelenmesi	Araştırma Makalesi
22-32	Araçlarda Makas Sistemlerinin Uzun Ömür Testine Yönelik Stant Tasarımı ve Prototip Uygulaması	Araştırma Makalesi
33-46	Katı Atık Getirme Merkezi Kuruluş Yer Seçimi İçin DEMATEL-ANP Ve Matematiksel Programlama Yöntemleriyle Bütünleşik Bir Yaklaşım: Ankara İlinde Bir Uygulama	Araştırma Makalesi
47-60	Aerobik Membran Biyoreaktörde Sülfür Oksidasyonunun ve Filtrasyon Performansının İncelenmesi	Araştırma Makalesi
61-75	Assessment of Livestock Drinking Water Quality: A Case Study in a Special Environmental Protection Area	Araştırma Makalesi
76-81	Biberde Tuz Stresine Karşı Melatonin Uygulamasının Bazı Fide Özellikleri Üzerine Etkisi	Araştırma Makalesi
82-87	A Note On Simplicial Groupoids	Araştırma Makalesi
88-101	Classification of Factors Affecting Renal Failure by Machine Learning Methods	Araştırma Makalesi
102-118	Kentsel Dönüşümle Oluşan İnşaat Atıklarının Maliyet Analizi: "Kayseri Küçükali Mahallesi Örneği"	Araştırma Makalesi
119-127	GPU Programlama ile Yüksek Boyutlu Yoğun Matrislerin Kronecker Çarpımlarının Hesaplanması	Araştırma Makalesi
128-136	Fonksiyonel Derecelendirilmiş Fleyk-Al <sub>3</sub> Ti/Al Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması	Araştırma Makalesi
137-149	Ağırlıklı Uzaylarda q-Szász-Kantorovich-Chlodowsky Operatörlerinin Yaklaşımlar	Araştırma Makalesi

## Buji Ateşlemeli Motorlarda Alkol Yakıt Kullanımının Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristikleri Açısından İncelenmesi

\*Meltem Göktaş<sup>1</sup> , Cenk Sayın<sup>2</sup> ,

\*<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, İSTANBUL

(Alınış / Received: 21.01.2019, Kabul / Accepted: 13.01.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

Alkol yakıt,  
Buji ateşlemeli motor,  
Motor performansı,  
Egzoz emisyonları,  
Yanma karakteristikleri

**Öz:** Fosil yakıtlar ile çalışan taşıtlar, çevrede zararlı gazların artmasına ve petrol rezervlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu zararların minimize edilmesi için pek çok araştırmacı, buji ateşlemeli motorlarda istenilen performansı elde edebilen ve çevreye az oranda egzoz emisyonu bırakabilen alternatif yakıtlardan birinin de alkollerin olduğunu ileri sürmüşler ve pek çok deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırma çalışmasında; buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda motor performansında, emisyonlarda ve yanma karakteristiklerinde ne gibi değişikliklerin olduğu üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalar detaylı bir şekilde incelenerek tablolar oluşturulmuş ve bu değişikliklerin nedenleri açıklanmıştır. Araştırma ile alkol kullanılmasıyla motor performansında ve yanma karakteristiklerinde artış olduğu ve egzoz emisyonlarında ise azalmaların gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

## An Investigation of the Effect of Usage Alcohol Fuel on Performance, Emission and Combustion Characteristics in Spark-Ignition Engines

### Keywords

Alcohol fuel,  
Spark-Ignition engine,  
Engine performance,  
Exhaust emission,  
Combustion characteristics

**Abstract:** Vehicles powered by fossil-fuels cause to increase harmful gases in the environment and decrease petroleum reserves. To minimize these damages, many researchers submitted that one of the alternative fuels which could obtain desired performance and release minimum rates of exhaust emissions in spark-ignition (SI) engines is alcohol and they carried out many experimental studies. In this review study, the studies about which kind of alteration obtained in performance parameters, emissions and combustion characteristics by using alcohol in SI engines were investigated in detail and created tables. In addition, the reasons of these alterations were stated. With this review, improving in engine performance and combustion characteristics and decreasing exhaust emissions were concluded by using alcohols.

### 1. Giriş

Motorlu taşıtlarda kullanılan fosil kökenli yakıtlar, ideal koşullarda oksijen ile reaksiyona girmesi sonucunda, oluşan emisyonlar; hidrokarbon (HC), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) bileşikleridir [1].

Petrole olan bağımlılığın azaltılması, gelecekte yaşanabilecek petrol krizlerinin en az sıkıntıyla atlatılabilmesi ve çevrenin zararlı etkilerden korunabilmesi için alternatif yakıt arayışları ve bunların içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılabilirliklerinin araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle, içten yanmalı motorlarda değişik yapısal ve işletme koşullarında talep edilen gücü en ekonomik ve çevreye en az zararla alabilmek için yapılan çalışmalar hız kazanmıştır [2]. Alkoller, LPG (Likit petrol gazı), biyodizel ve doğalgaz içten yanmalı motorlarda

belirli oranlarda kullanılacak alternatif yakıtlardır. Alkol yakıtlar olarak metanol (M), etanol (E), propanol (P) ve bütanol (B) kullanılmaktadır.

Literatürde, pek çok araştırmacı alkollü yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanılması durumunda motor performansı, emisyonlar ve yanma karakteristikleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirmiştir. Awad vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada, petrol bazlı yakıtların yerini alabilecek veya yakıt özelliklerini iyileştirebilecek oksijenli yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorlarda sıkıştırma oranının performansı, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkisini sistematik olarak gözden geçirmişlerdir.

#### Kısaltmalar ve Semboller

B	Bütanol	N	Motor Devri
CO	Karbonmonoksit	$N_e$	Efektif Güç
CO <sub>2</sub>	Karbondiyoksit	ÖYT	Özgül Yakıt Tüketimi
E	Etanol	P	Propanol
EGS	Egzoz Gazı Sıcaklığı	SGB	Silindir Gaz Basıncı
FG	Fren Gücü	SO	Sıkıştırma Oranı
HC	Hidrokarbon	TV	Termal Verim
ISH	Isı Salınım Hızı	T	Tork
iP	İzo-Propanol	VV	Volümetrik Verim
iB	İzo-Bütanol	V <sub>d</sub>	Strok Hacmi
LHV	Alt Isıl Değer	$\dot{m}_h$	Silindire alınan havanın kütleli debisi
M	Metanol	$\dot{m}_y$	Yakıtın kütleli debisi
NO <sub>x</sub>	Azot Oksit	$\rho_h$	Havanın yoğunluğu
nB	n-Bütanol (Bütanol)	$\lambda$	Hava fazlalık katsayısı

Bu inceleme çalışmasından ortaya çıkan daha önemli bulgulardan biri, içten yanmalı motorlarda orijinal sıkıştırma oranında alkol yakıt kullanıldığında, güçteki kısmî artış veya azalış olmuştur. Ayrıca, özgül yakıt tüketimi artarken; CO, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, daha yüksek sıkıştırma oranında, hem buji ateşlemeli hem de dizel motorları için motor performansının arttığı ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Buji ateşlemeli motorda artan sıkıştırma oranı ile NO<sub>x</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları azalmış, ancak HC artmıştır [3].

Chansauria vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada, geleneksel buji ateşlemeli motorda etanol-benzin karışımlarının etkisini araştırmışlardır. Etanolün özellikleri, üretim prosedürü ve çeşitli etanol karışımlarının motorun performansına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada odaklanılan parametreler; mevcut temel sorunlardan biri olan egzoz emisyonları, motor fren torku, motor volümetrik verimi ve termal verimdir. Karışımdaki artan etanol oranı ile genel ısı verim, ısı salınım hızı, volümetrik verim ve silindir gaz basıncının arttığı görülmüştür. Optimum tutuşma başlangıcının belirlenmesi için belirli sıkıştırma oranında etanol oranının artırılması gerektiği öngörülmüştür [4].

Thakur vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada, buji ateşlemeli motorlarda değişen oranlarda benzin-etanol karışımlarının kullanılması durumunda, hava-yakıt oranı, çalıştırma silindir basıncı, ateşleme zamanlaması ve sadece performans parametrelerine bağlı sıkıştırma oranı gibi çeşitli özellikleri teşhis ederek analiz etmişlerdir. Daha düşük oranlarda etanol karışımları kullanıldığında, motor torku için %2.31-4.16 aralığında ve fren gücü için %0.29-4.77 aralığında bir artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Fren özgül yakıt tüketimi, daha yüksek hacimde etanol içeriği için %5.17-56 aralığında arttığını, etanol-benzin karışımı kullanıldığında, fren ısı veriminin %2,5-6 aralığında yükselişle hafifçe arttığını belirtmişlerdir [5].

Yusri vd. (2017) yapmış olduğu çalışmada, alkol yakıtlarının (metanol, etanol, propanol ve bütanol) kullanılması durumunda buji ateşleme motorunun performansını ve emisyonlarını analiz etmişlerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanol ile ilgili literatürleri gözden geçirmiş ve alternatif bir yakıt olarak uygulanabilirliğini göstermek için özetlemişlerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanolün yakıt özelliklerini açıklamışlar ve bu tür yakıtların buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılmasını sağlayan önemli özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Alkol yakıtların motor performansı ve emisyonlar üzerinde farklı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Şaşırtıcı bir şekilde, bazı araştırmaların, normal dizel ve benzinli yakıtlara kıyasla alkol için olumlu sonuçlar verdiğini açıklamışlardır. Metanol, etanol, propanol ve bütanolün düşük motor performans özelliklerine karşılık olarak motor egzoz emisyonlarını azaltabileceği sonucuna varmışlardır [6].

Yusoff vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada, ilk olarak benzine alternatif olarak biyoetanol ve biyobütanolü incelemişlerdir. Daha sonra, benzin, biyoetanol ve biyobütanolün karşılaştırmalı fizikokimyasal özelliklerini ve potansiyel üretim kaynaklarını sunmuşlardır. Biyoetanol ve biyobütanolün motor performansları, yanma analizi, egzoz emisyonları, motor dayanıklılığı ve bunların yağlama yağı üzerindeki etkilerini tartışmışlardır. Biyoetanol

ve biyobutanolün kullanımıyla motor performansının arttığını ve ayrıca egzoz emisyonlarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, karışımdaki alkol oranının artması ile motor dayanıklılığı ve yağlama yağı özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açtığını belirtmişlerdir [7].

Alternatif yakıt türlerinden olan alkollerin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Alkoller ham petrolden elde edilen yakıtların yerine geçebilirler,
- Ham petrol yataklarına sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyaçlarını petrole bağımlı olmadan karşılayabilirler,
- Alkol üretimi (özellikle etanol), zirai imkânları geniş olan ülkelerin çiftçileri için iyi bir gelir kaynağı oluşturabilir,
- Oktan sayısı 90-100 olan benzin ile karşılaştırıldığında alkoller, 110 gibi yüksek oktan sayısına sahiptir. Bu da motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılması durumunda, motor performansını arttırabilir. Başka bir deyişle daha küçük hacme sahip motorlardan daha yüksek güç çıkışları elde edilebilir,
- Yakıt olarak saf metanol kullanılan bir motorda, benzinin kullanımına kıyasla %10 daha fazla güç artışı görülmüştür,
- Alkoller benzinlere göre daha fakir karışımlarda çalışabilirler.

Alkoller benzinle karıştırıldığında karışımın oktan sayısını arttırıcı etki gösterirler. Örneğin, %10 metanol, %90 benzin karışımının oktan sayısı 95'dir [8].

Bu araştırma çalışmasında, alkol yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanılmasının söz konusu avantajlarından yola çıkılarak, performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerinde geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmaların incelenmesi, yorumlanması ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda motor performansı (termal verim (TV), tork (T), fren gücü (FG), volümetrik verim (VV), özgül yakıt tüketimi (ÖYT)), egzoz emisyonları (hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>)) ve yanma karakteristiklerinde (silindir gaz basıncı (SGB), ısı salınım hızı (ISH), egzoz gazı sıcaklığı (EGS)) ne gibi değişikliklerin olduğu üzerine gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir.

İnceleme işlemi tamamlandıktan sonra performans parametreleri, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerine özel, Excel programında ayrı ayrı tablolar oluşturulmuş ve buji ateşlemeli motorda alkol kullanılmasıyla yukarıda belirtilen parametrelerde artış veya azalışın olduğu belirtilmiş ve bu artış ve azalışların nedenleri açıklanmıştır.

### 2.1. Alkoller

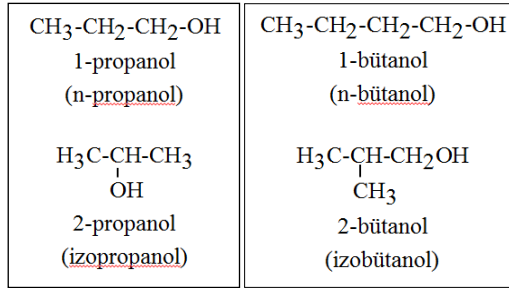
**Metanol:** Oda sıcaklığı ve basıncında renksiz bir organik sıvı olan metanol, genel olarak metil alkol veya odun ispirosu olarak bilinir. Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılması yolu ile doğal gaza birtakım damıtma işlemleri uygulanarak veya CO ve hidrojenin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilebilir. Metanol üretimi düşük basınçta sentez prosesi yaparak gerçekleştirilir. Metanolün özellikleri Tablo 1'de verilmektedir [9]. Metanol kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Çünkü metanol havada kolaylıkla yanabilen bir kimyasaldır. Ayrıca metanol buharı da bazı ortamlarda patlayıcı olabilmektedir. Zehirli bir kimyasal olduğu için de insanlarda kalıcı körlüğe, hatta ölümlere bile sebep olabilir. Su ile her oranda karışabilecek yanıcı bir çözelti meydana getirir [10]. Yakıt olarak metanol kullanıldığında motor geometrisi sıkıştırma oranı önemli ölçüde artırılabilir. Bunun nedeni, daha yüksek bir oktan oranının, sıkıştırma oranında önemli bir artışa izin vermesi ve daha yüksek bir ısı buharlaşma değerinin, gelen yakıt-hava şarjını, artan hacimsel verimi ve artan güç çıkışını azaltmasıdır [11].

**Etanol:** Genellikle C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH olarak kısaltılmış en basit ikinci alkoldür. Uçucu, yanıcı, renksiz bir sıvıdır. Biyokütleden üretilen etanol, tamamen biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir olabilir. Diğer bir avantajı, benzine kıyasla yüksek oktan sayısına sahip olmasıdır. Etanol çok kolay su çeker ve bu da depolamayı sorunlu hale getirir. Dahası, benzinden daha yüksek bir yoğunluğa ve viskoziteye sahiptir ve genellikle fiziksel engeller yoluyla daha etkilidir. Etanol, gaz yakıtından daha yüksek enerji yoğunluğuna ve nispeten düşük C/H oranına (0.33) sahiptir [12]. Etanol; buharlaşma ısısı, oktan sayısı ve kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olduğu için buji ateşlemeli motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir. Bu da motor gücünün artmasını sağlamaktadır. Ayrıca etanol, yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğu için emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturmakta ve bu da motorun volümetrik verimini artırmaktadır. Etanol, buji ateşlemeli motorlarda tek

başına ya da benzine belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır. Etanol ile çalışan motorlarda CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları benzine göre daha az olmaktadır [13].

**Propanol:** Etanol ve metanol ile karşılaştırıldığında n-propanol ve izo-propanolün yanma kimyası ile ilgili çok az detaylı deneysel ve kinetik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Yakın zamanda, 3-karbonlu yakıtlar (propan, n-propanol, propanal ve aseton) arasında, propanol en yüksek alev hızlarını gösterirken, n-propanol ve propanın benzer laminar alev hızları ve özellikle de H ve OH gibi benzer radikal konsantrasyonları sunduğu bulunmuştur. Propanol yanmanın temelleri hakkında daha derin bilgiler sağlamanın yanı sıra, bu çalışmalar ayrıca, alkol yanmasının yan ürünleri olan toksik oksijenli kirleticiler (aldehitler ve asetonlar gibi) hakkında da bilgi vermektedir. Propanolün oksidasyonu sırasında üretilen ana aldehitlerin formaldehit ve propanaldehit olduğu bulunmuştur [14]. Kapalı formülleri aynı olup açık formülleri farklı olan alkollere izomer alkoller denir. Şekil 1’de propanol ve izopropanolün açık kimyasal formülleri verilmiştir.

**Bütanol:** 4-karbonlu bir yapıya sahiptir ve karbon atomları farklı özelliklere sahip olan düz zincirli veya dallı bir yapı oluşturabilir. OH ve karbon zinciri yapısının konumuna bağlı olarak farklı izomerler vardır (n-bütanol, 2-bütanol, izo-bütanol, tert-bütanol). Bütanol izomerlerinin özellikleri oktan sayısı, kaynama noktası, viskozite vb. bakımından farklı olmasına rağmen, ana uygulamalar, çözücüler, endüstriyel temizleyiciler veya benzin katkı maddeleri olarak kullanılma gibi bazı yönlerde benzerdir. Bütün bu bütanol izomerleri fosil yakıtlardan farklı yöntemlerle üretilebilmektedir. Sadece n-bütanol, biyokütleden elde edilen düz zincirli bir molekül yapısıdır [15]. Bütanol ve izobütanolün açık kimyasal formülleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Propanol, izopropanol, bütanol ve izobütanolün açık kimyasal formülleri [16]

Tablo 1’de benzin, metanol, etanol, propanol ve bütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri belirtilmiştir.

**Tablo 1.** Benzin ve alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Benzin (G)	Metanol (M)	Etanol (E)	Propanol (P)	Bütanol (B)
<b>Kimyasal formül</b>	-	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH
<b>Kaynama noktası [9, 17, 18]</b>	°C	27-225	64,5	79	97	117,7
<b>Alt ısı değer [9, 17, 18]</b>	kJ/kg	44300	20100	26800	29820	33100
<b>Buharlaşma gizli ısı [17, 18]</b>	kJ/kg	380-500	1162.64	918.42	727.88	582
<b>Araştırma oktan sayısı (AOS) [18,19]</b>	-	88-98	109	109	112	98
<b>Stokiyometrik H/Y oranı [18, 20]</b>	-	14,7	6,49	9,02	10,35	11,21
<b>C/H oranı</b>	-	0,444	0,25	0,33	0,375	0,4

## 2.2. Performans Parametreleri

**Termal Verim (TV):** Yakıttan elde edilen termal girdinin bir fonksiyonu olarak ısı motorunun fren gücü olarak tanımlanmaktadır. Termal verim, bir motorun yakıttan elde edilen ısıyı mekanik enerjiye ne kadar iyi dönüştürdüğünü değerlendirmek için kullanılır [5].

$$TV = \frac{\text{Fren Gücü (FG)}}{\text{Yakıt Tüketim oranı } (\dot{m}_y) \cdot \text{Alt Isıl Değer (LHV)}} \quad (1)$$

**Tork (T):** Pistonun krank milinden gelen basınçla üretilen bir dönme kuvvetidir. Motor strokunun uzunluğuna, sarj durumuna ve ortalama efektif silindir basıncına bağlıdır [7].

**Fren Gücü (FG):** Dişli, şanzıman, sürtünme vb. aracılığıyla meydana gelen güç kayıpları hariç tutularak motor tarafından üretilen güç çıkışı olarak tanımlanmaktadır. Bu güç, "fren gücü" olarak adlandırılır, çünkü fren, dinamometre içindeki şaftı yavaşlatmak için kullanılır [7].

$$FG = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot T \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

N: Motor devri [rpm]

T: Tork [N/m]

**Volümetrik Verim (VV):** Motordaki emiş sistemi –hava filtresi, karbüratör, gaz kelebeği plakası, emme manifoldu, emme deliği, emme valfi- motora giren hava miktarını kısıtlar. Bu parametre, motorun emme prosesinin etkinliğini ölçmek için kullanılır. Volümetrik verim, belirli bir emme prosesine sahip 4 stroklu motorlarda kullanılır [21].

$$VV = \frac{2\dot{m}_h}{\rho_h \cdot V_d \cdot N} \quad (3)$$

$\dot{m}_h$ : Silindire alınan havanın kütleli debisi [kg/s]

$\rho_h$ : Havanın yoğunluğu [kg/m<sup>3</sup>]

$V_d$ : Strok hacmi [m<sup>3</sup>]

**Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT):** Bir motorun iş üretmek için verilen yakıtı ne kadar verimli kullandığını belirten bir parametredir. Verilen yakıtın kütleli debisinin efektif güce oranı bize ÖYT değerini verir [21].

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{N_e} \left[ \frac{g}{\text{kWh}} \right] \quad (4)$$

$\dot{m}_y$ : Kütleli yakıt debisi [kg/h]

$N_e$ : Efektif güç [kW]

## 2.3. Yanma Karakteristikleri

**Silindir Gaz Basıncı (SGB):** Silindir basıncı; silindir hacmi değişimi, yanma, yanma odası duvarlarına ısı aktarımı, aralık bölgelerin içine ve dışına akış ve sızıntı sonucu oluşan krank açısıyla değişir. Bu etkenlerden ilk ikisinin önemi büyüktür. Hacim değişiminin basınç üzerindeki etkisi kolayca göz önüne alınabilir. Böylece, yanma hızı bilgisi, kalan olgular için modellerin uygun bir yaklaşım seviyesinde geliştirilebilmesi durumunda, doğru basınç verilerinden elde edilebilir. Silindir basıncı genellikle fizyolelektrik basınç transdüserleri ile ölçülür. Aşağıdaki adımların gerçekleştirilmesi yoluyla, gerekli sistemler ile krank açısına karşı hassas silindir basıncı verileri elde edilebilir:

- Ölçülen basınç sinyallerini mutlak basınçlara dönüştürmek için doğru referans basıncı kullanılır.
- Yaklaşık 0.2° krank açısı fazına karşı basınç hassastır.
- Boşluk hacmi yeterli doğrulukta tahmin edilir.



- Motor çevrimi sırasında duvar ısı akışındaki değişiklik nedeniyle transdüser sıcaklık değişimleri (transdüser kalibrasyon faktörünü değiştirebilir) minimumda tutulur.

Silindir gaz basıncının artması veya azalması yakıtların belirli özelliklerine bağlıdır. Yüksek laminer yanma hızına sahip yakıtların kullanılması, yanmanın kısa vadede gerçekleşmesine neden olur. Bunun sonucunda, silindir duvarlarından ısı kaybı azalır ve SGB değeri artar. Buharlaştırma gizli ısıları yüksek yakıtlar, motorda termal ve volümetrik verimleri artırır, bu da SGB'yi artırır [27, 39, 36]. Alt ısı değeri düşük yakıtların kullanılmasıyla, silindir içerisinde yanma sonucunda düşük ısı enerjisi oluşur ve böylece SGB değeri düşer [49, 35, 50].

**Isı Salınım Hızı (ISH):** Yanma sırasında açığa çıkan ısının hızı olarak tanımlanmaktadır. Isı salınım hızı, bir çevrim sırasında termodinamiğin birinci yasasından hesaplanır ve dışına akış ve sızıntılardan elde edilen sonuçlara bağlı olan krank açısı ile değişmektedir [7].

**Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS):** Egzoz gazı sıcaklığı, silindir sıcaklığının önemli bir göstergesidir. Ayrıca EGS, egzoz emisyonunu analiz etmek için de kullanılır. Başka bir deyişle, EGS, yanma sıcaklığının bir fonksiyonudur. Yanma sıcaklığı da yakıtın alt ısı değeri (LHV) ile yakından ilişkilidir. Buna ek olarak, azot oksitlerin ( $NO_x$ ) oluşumu temel olarak yanma sıcaklığına bağlıdır [7].

## 2.4. Emisyonlar

**Hidrokarbon (HC):** Hidrokarbonlar, karter havalandırmadan buharlaşma yolu ile egzozdan ise hatalı hava/yakıt oranı, düşük kompresyon, supap bindirmesi ve silindir içerisinde homojen olmayan sıcaklık dağılımından dolayı ya kısmen yanmış ya da yanma olayına hiç dahil olmadan atmosfere bırakılan emisyonlardır. Atmosferde süspansiyon halinde bulunan HC emisyonları, azot oksitlerle reaksiyona girerek “fotokimyasal sis-smog” olarak bilinen bir sis tabakası oluşturup, solunum sistemi ve canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır [22].

**Karbonmonoksit (CO):** Karbonmonoksit emisyonları, yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarlı olup, hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını  $CO_2$  şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemlidir. Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda dramatik olarak artmaktadır. Bu durum otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıt ihtiyacı duymasından ve  $O_2$  sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır [23].

**Karbondioksit ( $CO_2$ ):** Karbendioksit emisyonu, fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkmakta ve sera gazı emisyonuna en büyük katkıyı tek başına sağlamaktadır. İklim değişikliğine neden olan birçok kirleticiler arasında yer alan  $CO_2$ , tüm sera gazlarının %58.8'ini oluşturmaktadır [24]. Fakir karışimli yanmanın uygulandığı direkt püskürtmeli benzin motorları düşük yakıt tüketimi nedeniyle özellikle Japonya ve AB ülkelerinde yaygınlaşmaktadır. Bunun dışında motorlarda elektronik kontrol donanımlarının kullanımı, verimi artırıcı tasarıma dayalı önlemlerin alınması, küçük strok hacimli motorların şehir içi koşullarda tam yüke yakın işletme koşullarında çalıştırılması da yakıt tüketimi açısından fayda sağlayacaktır [25].

**Azot Oksit ( $NO_x$ ):**  $NO_x$ , değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava-yakıt karışımı içindeki  $NO_x$ , yanma odası sıcaklığı  $1800^\circ C$ 'ye yükseldiğinde azot ( $N_2$ ) ve oksijen ( $O_2$ )nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık  $1800^\circ C$ 'nin üzerine çıkmaz ise  $N_2$  ve  $O_2$ , NO gazını meydana getiremeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO,  $NO_2$ ,  $N_2O$ ,  $N_2O_3$  gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden “azot oksitler” denir ve  $NO_x$  olarak ifade edilir. Azot oksitler, kandaki hemoglobinle birleşmektedir. Akciğerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar. Zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluştururlar. Ayrıca azot oksitler aerosol ve foto kimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açarlar [26].

## 3. Bulgular

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda performans parametrelerinde, emisyon değerlerinde ve yanma karakteristiklerinde ne gibi değişimler gözlediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek tablolar sunulmuş ve parametrelerdeki artış ve azalışların nedenleri açıklanmıştır.

### 3.1. Performans Parametreleri

Tablo 2’de ilgili makaleler incelenerek buji ateşlemeli motorlarda alkol kullanılması durumunda performans parametrelerinde meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

#### 3.1.1. Termal Verim (TV)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; içerisinde oksijen bulundurmaları sonucu yanmanın kaliteli gerçekleşmesi ve yanma verimini artırması nedeniyle TV değerini benzine kıyasla artırmıştır. Ayrıca, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu sıkıştırma aşamasında buharlaşırken silindir duvarlarından daha fazla ısıyı absorbe etmesi, böylece hava-yakıt karışımının daha kolay sıkıştırılması ve alkollerin alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle TV değerini benzinin kullanılmasına kıyasla yüksek oranda artırdığı görülmüştür [27, 28]. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun TV değeri artmıştır.

#### 3.1.2. Tork (T)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre bütanol hariç diğer alkollerin; hava-yakıt oranını artırarak yanmayı daha verimli gerçekleştirmeleri, oktan sayılarının yüksek olması sayesinde yanma zamanlamasını geliştirerek yanma basıncını artırması nedeniyle T değerini benzine kıyasla artırmıştır. Ayrıca, yapılarında oksijen bulundurmaları sayesinde yanmayı tam olarak gerçekleştirmeleri ve buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu emiş aşamasının sonunda yakıt-hava karışımının daha fazla yoğunlukta alınması ve böylece volümetrik verimi artırması nedeniyle benzin kullanılmasına kıyasla T değeri artmıştır [30, 31, 32, 33]. Ancak, bütanol içerikli yakıtların; düşük enerjiye sahip olmaları, alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması sonucu yanma vasıtasıyla ısı salınımında düşüşün gerçekleşmesi nedeniyle T değerini benzine kıyasla azalttığı görülmüştür [34, 29, 35]. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça belirli bir hız ve yük değerine kadar T artarken, sonra azalmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun T artmıştır.

#### 3.1.3. Fren Gücü (FG)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre bütanol hariç diğer alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları, buharlaşma gizli ısılarının benzininkinden yüksek olması sayesinde silindir içerisindeki yakıt-hava karışım sıcaklığının düşmesi ve volümetrik verimin artması nedeniyle FG değerini benzine kıyasla artırmıştır [33, 38, 37]. Ancak, bütanol içerikli yakıtların; enerji içeriklerinin düşük olması ve alt ısı değerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle benzine kıyasla FG değerini azalttığı görülmüştür [29]. Ayrıca, kullanılan yakıt ne olursa olsun, motor hızı arttıkça FG artmıştır.

#### 3.1.4. Volümetrik Verim (VV)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre bütanol hariç diğer alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları ve buharlaşma gizli ısılarının benzininkinden yüksek olması sayesinde silindir içerisine alınan yakıt-hava karışımının yoğunluğunun artması nedeniyle benzine kıyasla VV artmıştır [33]. Ancak, bütanol yakıtlar; doyma basıncının benzininkinden çok daha düşük olması sonucu yüksek yakıt buharlaşma prosesinin gerçekleşmesi nedeniyle VV benzininkinden daha düşük olmuştur [34]. Ayrıca, motor hızının artmasıyla, kullanılan yakıt ne olursa olsun, VV’de düşüş gerçekleşmiştir.

#### 3.1.5. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması sonucu silindirde aynı miktarda enerji çıkışını elde etmek için daha fazla miktarda yakıtın tüketilmesi ihtiyacı nedeniyle benzine kıyasla ÖYT’ni artırdığı görülmüştür [37, 36]. Ayrıca, motor hızının, yükünün ve sıkıştırma oranının artmasıyla ÖYT’nin azaldığı görülmüştür.

**Tablo 2.** İncelenen makalelerde buji ateşlemeli motorlarda alkol içerikli yakıtların kullanılması durumunda performans parametrelerindeki değişimler

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Parametreleri	PERFORMANS PARAMETRELERİ					Kyn.
				Termal Verim (TV)	Tork (T)	Fren Gücü (FG)	Volumetrik Verim (VV)	Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)	
Agarwal vd.	G, M10, M20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1500, 2500 ve 3500 rpm</li> <li>•0 - 8 bar farklı fren ortalama etkin basınçları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Her hızda fren ortalama etkin basınç↑ TV↑</li> <li>•TVM20&gt; TVM10&gt; TVG</li> </ul>	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Her hızda fren ortalama etkin basınç↑ ÖYT↓</li> <li>•ÖYTM20&gt; ÖYTM10&gt; ÖYTG</li> </ul>	[27]
Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>•TVE15&gt;TVG</li> <li>•5000 rpm'e kadar TV↑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•TE15&gt;TG</li> <li>•4000 rpm'e kadar T↑, sonra T↓.</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ÖYTE15&gt; ÖYTG</li> <li>•5000 rpm'e kadar ÖYT↓, sonra ÖYT↑.</li> </ul>	[28]
Elfasakhany A.	G, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	2600- 3400 rpm	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2800 rpm'e kadar T↑, sonra T↓</li> <li>•TG&gt;TniB10&gt; TniB7&gt; TniB3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hız↑ FG↑</li> <li>•FGG&gt; FGniB10&gt; FGniB7&gt; FGniB3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hız↑ VV↓</li> <li>•VVG&gt;VVniB10&gt; VVniB7&gt;VVniB3</li> </ul>	-	[29]
Najafi vd.	G, E5, E10, E15, E20	4 silindir ve 4 strokluk buji ateşlemeli motor	1000-5000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>•3000 rpm'e kadar TV↑, sonra TV↓</li> <li>•TVE20&gt; TVE15&gt; TVE10&gt;TVE5&gt; TVG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•3500 rpm'e kadar T↑, sonra T↓</li> <li>•TE20&gt;TE15&gt; TE10&gt;TE5&gt;TG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hız↑ FG↑</li> <li>•FGE20&gt; FGE15&gt; FGE10&gt;FGE5&gt; FGG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•VVE20&gt;VVE15&gt; VVE10&gt;VVE5&gt;V VG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•3500 rpm'e kadar ÖYT↓, sonra ÖYT↑</li> <li>•ÖYTG&gt; ÖYTE5&gt; ÖYTE10&gt;ÖYTE15&gt; ÖYTE20</li> </ul>	[30]
Koç vd.	G, E50, E85	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	1500-5000 rpm ve farklı sıkıştırma oranları	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•10:1 ve 11:1'lik S.O'da 3000 rpm'e kadar T↑, sonra T↓.</li> <li>•10:1 S.O.da TE50=TE85&gt;TG</li> <li>•11:1'lik S.O.da TE85&gt;TE50&gt;TG</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•10:1 ve 11:1'lik S.O.da 3000 rpm'de ÖYT min.</li> <li>•10:1 ve 11:1'lik S.O.da ÖYTE85&gt; ÖYTE50&gt; ÖYTG</li> </ul>	[31]

**Tablo 2.** (Devamı)

Yusoff vd.	<b>E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10, G</b>	<b>4 silindirli buji ateşlemeli motor</b>	<b>1000- 5000 rpm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hız↑ TV↑</li> <li>•TVE20&gt; TVE10iB10&gt;TVE10&gt;TVE5iB5&gt;TViB20&gt;TViB10&gt;TVG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hız↑ T↑</li> <li>•TE20&gt;TE10iB10&gt;TiB20&gt;TiB10&gt;TE10&gt;TE5iB5&gt;TG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hız↑ FG↑</li> <li>•FGE20&gt;FGiB20&gt; FGE10iB10&gt;FGG&gt; FGE5iB5&gt;FGE10&gt; FGiB10</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hız↑ ÖYT↓</li> <li>•ÖYT<sub>G</sub>&gt; ÖYT<sub>iB20</sub>&gt; ÖYT<sub>iB10</sub>&gt;ÖYTE5iB5&gt;ÖYTE10&gt;ÖYTE20&gt; ÖYTE10iB10</li> </ul>	[32]
Elfasakhany A.	G, EM3, EM7, EM10, iBE3, iBE7, iBE10, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2600 ve 3400 rpm'de TEM&gt;TG&gt; TiBE&gt;TniB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2600 ve 3400 rpm'de FGEM&gt; FGiBE&gt; FGniB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Her iki hızda VVEM&gt; VVG&gt; VViBE&gt; VVniB</li> </ul>	-	[33]
Elfasakhany A.	iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7, nBE10, G	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tüm M yakıt karışımları için T değerleri aynıdır.</li> <li>•TG&gt;TnBE10&gt; TnBE7&gt; TnBE3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hız↑ FG↑</li> <li>•FGG&gt; FGiBM10&gt; FGiBM7&gt; FGiBM3</li> <li>•FGG&gt; FGnBE10&gt; FGnBE7&gt; FGnBE3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hız↑VV↓</li> <li>•VVG&gt; VViBM3&gt; VViBM7&gt; VViBM10</li> <li>•VVG&gt;VVnBE</li> </ul>	-	[34]
Elfasakhany vd.	G, nBM3, nBM7, nBM10	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600 rpm'den 3400 rpm'e kadar değişen motor hızları	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hız↑ T↓</li> <li>•TG&gt;TnBM10&gt;TnBM7&gt;TnBM3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hız↑FG↑</li> <li>•FGG&gt; FGnBM10&gt; FGnBM7&gt; FGnBM3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hız↑VV↓</li> <li>•VVG&gt; VVnBM10&gt; VVnBM7&gt; VVnBM3</li> </ul>	-	[35]
Balki vd.	G, M99, E99	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	1200-4000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2400 rpm'e kadar TV↑, sonra TV↓.</li> <li>•TVE99&gt; TVM99&gt; TVG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2400 rpm'e kadar T↑, sonra T↓.</li> <li>•TM99&gt;TE99&gt;TG</li> </ul>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2400 rpm'e kadar ÖYT↓, sonra ÖYT↑.</li> <li>•ÖYTM99&gt; ÖYTE99&gt; ÖYTG</li> </ul>	[36]
Balki vd.	G, M100, E100	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>•20°C ve 26°C'lık farklı krank açıları</li> <li>•1600-3600 rpm</li> <li>•8.0 ve 9.0'lık sıkıştırma oranları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•TVM100&gt;TVE100&gt; TVG</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•FGM100&gt;FGE100&gt; FGG</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ÖYTM100&gt; ÖYTE100&gt;ÖYTG</li> </ul>	[37]

Najafi vd.	E5, E7.5, E10, E12.5, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1500-4000 rpm	-	•Maks. T değeri 3400 rpm'de. •Karışımındaki E↑ T↑	•Hız↑FG↑ •Karışımındaki E↑ FG↑	-	• Min. ÖYT değeri 3400 rpm'de, maks. ÖYT değeri 4000 rpm'de. •Karışımındaki E↑ ÖYT↓	[38]
Sivasubramanian vd.	G, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 strok, çok noktalı yakıt enjeksiyonlu buji ateşlemeli motor	1400'den 2800 rpm'e kadar değişen farklı motor hızları	•Motor hızı arttıkça yakıtlar için TV↑ •TV <sub>iP30</sub> > TV <sub>iP20</sub> > TV <sub>iP10</sub> >TV <sub>G</sub>	-	-	-	-	[39]

### 3.2. Emisyon

Tablo 3'te ilgili makaleler incelenerek buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda egzoz emisyonlarında meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

#### 3.2.1. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları sayesinde yanma verimini artırmaları, benzine nazaran kimyasal yapılarında az sayıda karbon (C) bulundurmaları ve laminer yanma hızının yüksek olması sonucu yakıt karışımının tam yanmasını sağlaması nedeniyle HC emisyon miktarında benzinin kullanılmasına kıyasla daha fazla azalma görülmüştür. Ayrıca, kaynama noktalarının düşük olması, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu daha fazla havanın emilmesiyle tam yanmanın gerçekleşmesi nedeniyle benzine kıyasla HC emisyon miktarında daha fazla azalma görülmüştür [42, 30, 28, 41]. Ancak, Çelik vd. ve Agarwal vd. yapmış oldukları bir deneysel çalışmada; saf metanolün buharlaşma gizli ısısının benzininkinden yaklaşık 3 kat yüksek olması nedeniyle silindir sıcaklığını düşürmektedir. Bu durum, silindir duvarlarına yakın bölgelerde yanlış ateşlemeye ve/veya kısmî yanmaya sebebiyet vermesi nedeniyle metanol kullanımı HC emisyon miktarını artırmıştır [27, 44]. Bunun yanında, motor hızının artmasıyla silindir içerisine daha fazla yakıt alınacak, yakıt-hava daha iyi karışacak ve daha fazla boyutta yanmanın gerçekleşecek olması, yanmamış HC miktarında azalmaya neden olacak, böylece HC emisyon miktarı azalacaktır [39].

#### 3.2.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları sayesinde daha iyi yanmanın gerçekleşmesi ve CO'nin oluşması için oksijenin verimli bir şekilde sağlanması nedeniyle benzinin kullanılmasına nazaran daha fazla azalma görülmüştür. Ayrıca, buharlaşma gizli ısısının yüksek olması ile silindirde yanmanın yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi sonucu CO oksidasyonunun sağlanması nedeniyle CO emisyon miktarında benzine nazaran daha fazla azalmaya yol açtığı görülmüştür [42, 38]. Bunun yanında, motor hızının artmasıyla, yanma odasındaki türbülansın artması ve homojen karışımın oluşması nedeniyle CO emisyon miktarı azalmıştır [42].

#### 3.2.3. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; C/H oranının düşük olması, yüksek oksijen içeriğine sahip olması, tüm yüklerde yüksek hava/yakıt oranının oluşması sonucu daha fazla oksijenin oksidasyonu ile yanmanın daha verimli gerçekleşmesi nedeniyle benzinin kullanılmasına nazaran CO<sub>2</sub> emisyon miktarında artış görülmüştür. Ayrıca, yanma prosesinin artmasıyla CO oksidasyonunun daha iyi gerçekleşmesi, düşük kaynama noktaları sayesinde yakıtın tam olarak yanması nedeniyle CO<sub>2</sub> emisyon miktarında benzine kıyasla daha fazla artış görülmüştür [44, 32, 43, 33]. Bunun yanında, motor hızı ve sıkıştırma oranının artmasıyla yanma veriminin de artması sonucu, TV'nin yükselmesi nedeniyle CO emisyon miktarında azalma görülürken CO<sub>2</sub> emisyon miktarında ise artış gözlenmiştir [44].

#### 3.2.4. Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre, deneysel çalışmaların bir kısmında; alkollerin buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu karışım sıcaklığının düşmesi ve yakıtların yanması için az miktarda havaya ihtiyaç duyulması, böylece silindir duvarlarından ısı kaybının azalması nedeniyle benzinin kullanılmasına kıyasla NO<sub>x</sub> emisyon miktarında daha fazla azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca ısı değerlerinin düşük olması ve adyabatik alev sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle NO<sub>x</sub> emisyon miktarında benzine kıyasla düşüş gözlemlendiği de belirtilmiştir [44, 45, 46, 47]. Ancak, alkollerin içeriğindeki oksijen NO<sub>x</sub> oluşması için ek oksijeni takviye eder ve bu da TV ve ÖYT'nin artmasına neden olur. Böylece, yanma odasında yakıt daha fazla miktarda yanar ve böylece azami yanma sıcaklığı ve basıncı elde edilir. Azami yanma sıcaklığı ve basıncın da NO<sub>x</sub> emisyon miktarını artırdığı geri kalan çalışmada belirtilmiştir. Ayrıca, yüksek oktan sayısına, düşük hava/yakıt oranına sahip olması nedeniyle daha fakir yanmanın gerçekleşmesi ve NO<sub>x</sub> üretimi için kullanılabilir oksijenin sağlanması nedeniyle NO<sub>x</sub> emisyon miktarında benzine kıyasla artış gerçekleştiği de açıklanmıştır [39, 42, 43, 40]. Ayrıca, motor hızının ve yükünün artmasıyla, alkollerin yüksek oksijen içeriğine sahip olması sonucu silindir gaz basıncı ve sıcaklığının yüksek olması nedeniyle NO<sub>x</sub> emisyon miktarı artmıştır [48].

**Tablo 3.** İncelenen makalelerde buji ateşlemeli motorlarda alkol içerikli yakıtların kullanılması durumunda egzoz emisyonlarındaki değişimler

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Parametreleri	EMİSYON DEĞERLERİ				Kyn.
				Hidrokarbon (HC)	Karbonmonoksit (CO)	Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	Azot Oksit (NO <sub>x</sub> )	
Sivasubramanian vd.	G, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 stroklu, çok nok. yakıt enj. buji ateşlemeli motor	1400-2800 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ HC↓</li> <li>HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>iP10</sub>&gt;HC<sub>iP20</sub>&gt;HC<sub>iP30</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ CO↓</li> <li>CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>iP10</sub>&gt;CO<sub>iP20</sub>&gt;CO<sub>iP30</sub></li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ NO<sub>x</sub>↑</li> <li>NO<sub>x</sub>iP30&gt;NO<sub>x</sub>iP20&gt;NO<sub>x</sub>iP10&gt;NO<sub>x</sub>G</li> </ul>	[39]
Sharudin vd.	G, M5, M5B5, M5B10, M5B15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-2500 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yük↑ HC↑</li> <li>HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>M5</sub>&gt;HC<sub>M5B5</sub>&gt;HC<sub>M5B10</sub>&gt;HC<sub>M5B15</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ CO↑</li> <li>CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>M5</sub>&gt;CO<sub>M5B5</sub>&gt;CO<sub>M5B10</sub>&gt;CO<sub>M5B15</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yük↑ CO<sub>2</sub>↑</li> <li>CO<sub>2</sub>M5B15&gt;CO<sub>2</sub>M5B10&gt;CO<sub>2</sub>M5B5&gt;CO<sub>2</sub>M5&gt;CO<sub>2</sub>G</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ NO<sub>x</sub>↑</li> <li>NO<sub>x</sub>M5B15&gt;NO<sub>x</sub>M5B10&gt;NO<sub>x</sub>M5B5&gt;NO<sub>x</sub>M5&gt;NO<sub>x</sub>G</li> </ul>	[40]
Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maks. HC miktarı 3000 rpm'de.</li> <li>HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>E15</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ CO↑</li> <li>CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>E15</sub></li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>5000 rpm'e kadar NO<sub>x</sub>↑, sonra. NO<sub>x</sub>↓</li> <li>NO<sub>x</sub>E15&gt;NO<sub>x</sub>G</li> </ul>	[28]
Najafi vd.	G, E5, E10, E15, E20	4 silindir ve 4 stroklu buji ateşlemeli motor	1000-5000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ HC↓</li> <li>HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>E5</sub>&gt;HC<sub>E10</sub>&gt;HC<sub>E15</sub>&gt;HC<sub>E20</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ CO↑</li> <li>CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>E5</sub>&gt;CO<sub>E10</sub>&gt;CO<sub>E15</sub>&gt;CO<sub>E20</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız↑ CO<sub>2</sub>↓</li> <li>CO<sub>2</sub>E20&gt;CO<sub>2</sub>E15&gt;CO<sub>2</sub>E10&gt;CO<sub>2</sub>E5&gt;CO<sub>2</sub>G</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NO<sub>x</sub>E20&gt;NO<sub>x</sub>E15&gt;NO<sub>x</sub>E10&gt;NO<sub>x</sub>E5&gt;NO<sub>x</sub>G</li> </ul>	[30]
Yusoff vd.	E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10, G	4 silindirli buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>1000-5000 rpm</li> <li>20-100 Nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor hızlarına bağlı HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>E5iB5</sub>&gt;HC<sub>E10</sub>&gt;HC<sub>E20</sub>&gt;HC<sub>iB20</sub>&gt;HC<sub>iB10</sub>&gt;HC<sub>E10iB10</sub></li> <li>Motor torklarına bağlı HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>E10</sub>&gt;HC<sub>iB10</sub>&gt;HC<sub>E5iB5</sub>&gt;HC<sub>iB20</sub>&gt;HC<sub>E10iB10</sub>&gt;HC<sub>E20</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor hızlarına bağlı CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>E5iB5</sub>&gt;CO<sub>iB10</sub>&gt;CO<sub>iB20</sub>&gt;CO<sub>E10</sub>&gt;CO<sub>E10iB10</sub>&gt;CO<sub>E20</sub></li> <li>Motor torklarına bağlı CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>iB10</sub>&gt;CO<sub>E5iB5</sub>&gt;CO<sub>E10</sub>&gt;CO<sub>iB20</sub>&gt;CO<sub>E10iB10</sub>&gt;CO<sub>E20</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor hızlarına bağlı CO<sub>2</sub>E10iB10&gt;CO<sub>2</sub>E20&gt;CO<sub>2</sub>iB20&gt;CO<sub>2</sub>iB10&gt;CO<sub>2</sub>E10&gt;CO<sub>2</sub>G&gt;CO<sub>2</sub>E5iB5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor hızlarına bağlı NO<sub>x</sub>E20&gt;NO<sub>x</sub>iB20&gt;NO<sub>x</sub>E5iB5&gt;NO<sub>x</sub>iB20&gt;NO<sub>x</sub>E10&gt;NO<sub>x</sub>iB10&gt;NO<sub>x</sub>E10iB10&gt;NO<sub>x</sub>G</li> </ul>	[32]
Elfasakhany A.	G, EM3, EM7, EM10, iBE3, iBE7, iBE10, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>2600 rpm'de HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>iBE3</sub>&gt;HC<sub>niB3</sub>&gt;HC<sub>EM3</sub>&gt;HC<sub>niB7</sub>&gt;HC<sub>EM7</sub>&gt;HC<sub>iBE7</sub>&gt;HC<sub>niB10</sub>&gt;HC<sub>iBE10</sub>&gt;HC<sub>EM10</sub></li> <li>3400 rpm'de HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>niB3</sub>&gt;HC<sub>iBE3</sub>&gt;HC<sub>niB7</sub>&gt;HC<sub>iBE7</sub>&gt;HC<sub>niB10</sub>&gt;HC<sub>iBE10</sub>&gt;HC<sub>EM3</sub>&gt;HC<sub>EM7</sub>&gt;HC<sub>EM10</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2600 rpm'de CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>niB3</sub>&gt;CO<sub>niB7</sub>&gt;CO<sub>niB10</sub>&gt;CO<sub>iBE3</sub>&gt;CO<sub>EM3</sub>&gt;CO<sub>iBE7</sub>&gt;CO<sub>iBE10</sub>&gt;CO<sub>EM7</sub>&gt;CO<sub>EM10</sub></li> <li>3400 rpm'de CO<sub>niB3</sub>&gt;CO<sub>niB7</sub>&gt;CO<sub>niB10</sub>&gt;CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>iBE3</sub>&gt;CO<sub>iBE7</sub>&gt;CO<sub>EM3</sub>&gt;CO<sub>iBE10</sub>&gt;CO<sub>EM7</sub>&gt;CO<sub>EM10</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2600 ve 3400 rpm'de CO<sub>2</sub>EM10&gt;CO<sub>2</sub>EM7&gt;CO<sub>2</sub>EM3&gt;CO<sub>2</sub>G&gt;CO<sub>2</sub>iBE10&gt;CO<sub>2</sub>niB10&gt;CO<sub>2</sub>iBE7&gt;CO<sub>2</sub>iBE3&gt;CO<sub>2</sub>niB7&gt;CO<sub>2</sub>niB3</li> </ul>	-	[33]
Elfasakhany A.	G, E3, E7, E10, M3, M7, M10, nB3, nB7, nB10,	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600- 3400 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>2600 rpm'de HC<sub>G</sub>&gt;HC<sub>E</sub>&gt;HC<sub>M</sub>&gt;HC<sub>iB</sub>&gt;HC<sub>nB</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2600 rpm'de CO<sub>G</sub>&gt;CO<sub>E</sub>&gt;CO<sub>M</sub>&gt;CO<sub>iB</sub>&gt;CO<sub>nB</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2600 rpm'de CO<sub>2</sub>M&gt;CO<sub>2</sub>E&gt;CO<sub>2</sub>G&gt;CO<sub>2</sub>nB&gt;CO<sub>2</sub>iB</li> </ul>	-	[41]

	iB3, iB7, iB10			•3400 rpm'de HC <sub>iB</sub> >HC <sub>G</sub> >HC <sub>nB</sub> >HC E>HCM	•3400 rpm'de CO <sub>nB</sub> >CO <sub>iB</sub> >CO <sub>G</sub> >CO <sub>E</sub> > COM •Genel olarak %10 alkol içeren karışım en düşük, %3 alkol içeren karışım en yüksek CO değerini göstermiştir.	•3400 rpm'de CO <sub>2M</sub> >CO <sub>2E</sub> >CO <sub>2G</sub> > CO <sub>2iB</sub> >CO <sub>2nB</sub>		
Najafi vd.	E5, E7.5, E10, E12.5, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1500 rpm'den 4000 rpm'e kadar değişen farklı motor hızları	•Her bir yakıt için artan motor hızına bağlı olarak HC↓ •HCE <sub>5</sub> >HCE <sub>7.5</sub> >HCE <sub>10</sub> > HCE <sub>12.5</sub> >HCE <sub>15</sub>	•CO <sub>E5</sub> >CO <sub>E7.5</sub> >CO <sub>E10</sub> > CO <sub>E12.5</sub> > CO <sub>E15</sub>	•Her bir yakıt için artan motor hızına bağlı olarak CO <sub>2</sub> ↓ •CO <sub>2E15</sub> > CO <sub>2E12.5</sub> > CO <sub>2E10</sub> > CO <sub>2E7.5</sub> > CO <sub>2E5</sub>	•3000 rpm'e kadar NO <sub>x</sub> E <sub>15</sub> > NO <sub>x</sub> E <sub>12.5</sub> > NO <sub>x</sub> E <sub>10</sub> > NO <sub>x</sub> E <sub>7.5</sub> > NO <sub>x</sub> E <sub>5</sub> , sonra NO <sub>x</sub> E <sub>15</sub> >NO <sub>x</sub> E <sub>10</sub> >NO <sub>x</sub> E <sub>12.5</sub> >NO <sub>x</sub> E <sub>7.5</sub> >NO <sub>x</sub> E <sub>5</sub>	[38]
Mallikarjun vd.	G, M3, M5, M10, M15	4 silindir ve 4 strokluk buji ateşlemeli motor	Farklı fren güçleri (FG)	• FG↑ HC↑ • HCG>HCM <sub>3</sub> >HCM <sub>5</sub> > HCM <sub>10</sub> >HCM <sub>15</sub>	• FG↑ CO↑ • COG>COM <sub>3</sub> > COM <sub>5</sub> >COM <sub>10</sub> > COM <sub>15</sub>	-	• FG↑ NO <sub>x</sub> ↓ • NO <sub>x</sub> M <sub>15</sub> > NO <sub>x</sub> M <sub>10</sub> > NO <sub>x</sub> M <sub>5</sub> > NO <sub>x</sub> M <sub>3</sub> > NO <sub>x</sub> G	[42]
Feng vd.	G, B35	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	•Tam yükte 3500- 9000 rpm' •Kısmi yükte 6500- 8500 rpm	•Min. HC 7500 rpm'de •HCG>HCB <sub>35</sub>	•Hız↑ CO↓ •COG>COB <sub>35</sub>	•Yük↑ CO <sub>2</sub> ↑ •CO <sub>2B35</sub> >CO <sub>2G</sub>	•Maks. NO <sub>x</sub> miktarı 7500 rpm'de görölmüştür. •NO <sub>x</sub> B <sub>35</sub> >NO <sub>x</sub> G	[43]
Çelik vd.	G, M100	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	•1500-3500 rpm •6:1, 8:1 ve 10:1'lik farklı sıkıştırma oranları	• Hız↑ HC↓ •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait HC↑ •6:1'lik sıkıştırma oranında HCM <sub>100</sub> >HCG	•Hız↑ CO↓ •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait CO↓ •6:1'lik sıkıştırma oranında COG>COM <sub>100</sub>	•Hız↑ CO <sub>2</sub> ↑ •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait CO <sub>2</sub> ↑ •6:1'lik sıkıştırma oranında CO <sub>2G</sub> >CO <sub>2M100</sub>	•Tüm yakıtlara ait maks. NO <sub>x</sub> miktarı 2500 rpm'de. •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait NO <sub>x</sub> ↑ •6:1'lik sıkıştırma oranında NO <sub>x</sub> G> NO <sub>x</sub> M <sub>100</sub>	[44]
Doğan vd.	G, E10, E20, E30	4 silindir, 4 strok buji ateşlemeli motor	2000-4500 rpm	•Hız↑ HC↓ •HCE <sub>30</sub> >HCE <sub>20</sub> > HCE <sub>10</sub> >EG	•Hız↑ CO↑ •COG>COE <sub>10</sub> > COE <sub>20</sub> >COE <sub>30</sub>	•CO <sub>2G</sub> >CO <sub>2E10</sub> > CO <sub>2E20</sub> > CO <sub>2E30</sub>	•NO <sub>x</sub> G> NO <sub>x</sub> E <sub>10</sub> > NO <sub>x</sub> E <sub>20</sub> > NO <sub>x</sub> E <sub>30</sub>	[45]
Akansu ve ark.	G, E20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1500 rpm'de ve 2500 rpm'de %0- 100 motor yükleri	•Yük↑ HC↓ •1500 rpm'de %25'lik yüke kadar HCE <sub>20</sub> >HCG, daha sonra HCG>HCE <sub>20</sub> •2500 rpm'de %85'lik yüke kadar HCE <sub>20</sub> >HCG, daha sonra HCG>HCE <sub>20</sub>	•Düşük motor yüklerinde COE <sub>20</sub> >COG •Yüksek motor yüklerinde COE <sub>20</sub> ↓	•Yük↑ CO <sub>2</sub> ↑ •1500 rpm'de %50'lik motor yüküne kadar CO <sub>2G</sub> >CO <sub>2E20</sub> , daha sonra CO <sub>2E20</sub> >CO <sub>2G</sub> •2500 rpm'de CO <sub>2G</sub> >CO <sub>2E20</sub>	•Yük↑ NO <sub>x</sub> ↑ •Her iki hızda da NO <sub>x</sub> G> NO <sub>x</sub> E <sub>20</sub>	[46]



Hasan vd.	G, E10, E20	Tek silindir ve 4-strok buji ateşlemeli motor	1:4, 1:5.5, 1:7, 1:8.5, 1:10'luk farklı sıkıştırma oranları (S.O.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.↑ HC↓</li> <li>HCG&gt;HCE10&gt; HCE20</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1:7'lik S.O.'ya kadar CO↓, sonra artmıştır</li> <li>1:7'lik S.O.'ya kadar COG&gt;COE20&gt; COE10, 1:7'lik S.O.'dan sonra COE20&gt;COE10&gt; COG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>G&gt;CO<sub>2</sub>E10&gt; CO<sub>2</sub>E20</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.O.↑ yakıtlara ait NO<sub>x</sub>↓</li> <li>NO<sub>x</sub>G&gt;NO<sub>x</sub>E10&gt; NO<sub>x</sub>E20</li> </ul>	[47]
Çanakçı vd.	G, M5, M10, E5, E10	4 stroklu buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>5-10-15 ve 20 kW</li> <li>80-100 km/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Güç↑ HC↓</li> <li>80 km/h'de HCG&gt;HCE5&gt; HCM10&gt;HCE10&gt; HCM5</li> <li>HCG&gt;HCM5&gt;HCE5&gt;HCE10≈ HCM10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>80 km/h'de Güç↑ CO↑ ve COG&gt;COM10&gt; COM5&gt;COE10&gt; COE5</li> <li>100 km/h'de güç↑ COM10,E5↓, COG,M5,E10↑ ve COM10&gt;COE5&gt; COG&gt;COE10&gt; COM5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Güç↑ CO<sub>2</sub>↓(az miktarda)</li> <li>80 km/h'de CO<sub>2</sub>G&gt;CO<sub>2</sub>M10&gt;CO<sub>2</sub>E10 &gt; CO<sub>2</sub>E5&gt; CO<sub>2</sub>M5</li> <li>100 km/h'de 10 kW güce kadar CO<sub>2</sub>G&gt;CO<sub>2</sub>M10&gt; CO<sub>2</sub>E10&gt;CO<sub>2</sub>E5&gt; CO<sub>2</sub>M5</li> <li>10 kW'tan sonra CO<sub>2</sub>M10&gt;CO<sub>2</sub>G&gt;CO<sub>2</sub>E5&gt; CO<sub>2</sub>E10&gt; CO<sub>2</sub>M5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Güç↑ NO<sub>x</sub>↑</li> <li>80 km/h'te NO<sub>x</sub>G&gt; NO<sub>x</sub>M10&gt; NO<sub>x</sub>M5&gt; NO<sub>x</sub>E5&gt; NO<sub>x</sub>E10</li> <li>100 km/h'te NO<sub>x</sub>M10&gt; NO<sub>x</sub>M5&gt; NO<sub>x</sub>G&gt;NO<sub>x</sub>E5&gt; NO<sub>x</sub>E10</li> </ul>	[48]
Agarwal vd.	G, M10, M20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>1500 rpm, 2500 rpm ve 3500 rpm</li> <li>0-8 bar farklı fren ortalama etkin basınçları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Düşük fren ortalama etkin basınçlarda HC oranı yüksektir ve yük↑ HC↓</li> <li>Tüm motor koşullarında M yakıtlar için HC oranı benzininkinden yüksektir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yük↑ CO↓</li> <li>Düşük motor hızlarında, yük↑ CO↓</li> <li>Yüksek motor yüklerinde CO↑</li> <li>Aynı motor hızında M yakıtlar için CO oranı benzininkinden düşüktür.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yük↑ NO↑.</li> <li>Çok yüksek motor yüklerinde NO↓</li> <li>M yakıtlar için NO oranının benzininkinden düşüktür.</li> </ul>	[27]

### 3.3. Yanma Karakteristikleri

Tablo 4'de ilgili makaleler incelenerek buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda yanma karakteristiklerinde meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

#### 3.3.1. Silindir Gaz Basıncı (SGB)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre, deneysel çalışmaların bir kısmında; alkollerin oksijen içeriğine ve oktan sayısına sahip olması, yüksek laminer alev hızına sahip olması sonucu yanmanın kısa sürede gerçekleşmesi ve silindir duvarlarından ısı kaybının azalması nedeniyle benzinin kullanılmasına kıyasla SGB değeri artmıştır. Ayrıca, buharlaşma gizli ısılarının benzininkinden yüksek olması sonucu volümetrik ve termal verimlerinin yüksek olması nedeniyle alkol yakıtların kullanılmasıyla elde edilen SGB değeri benzininkinden yüksektir [27, 39, 36]. Deneysel çalışmaların geri kalan kısmında ise; alkol yakıtların silindir içerisindeki sıcaklığı düşürmesi, alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması ve benzinin yanma sürecinin daha uzun olması nedeniyle bu yakıtların kullanılmasıyla SGB değeri düşmüştür [49, 35, 50]. Ayrıca, motor hızının ve gücünün artmasıyla silindir içerisinde daha fazla yakıtın enjekte edilmesi ve yüksek volümetrik verimin elde edilmesi nedeniyle SGB artmıştır [50]. Buna ek olarak, sıkıştırma oranının artmasıyla yanma çevriminin sonunda pistonun üst ölü noktaya ulaşması nedeniyle SGB artmıştır [51].

#### 3.3.2. Isı Salınım Hızı (ISH)

Deneysel çalışmaların bir kısmında; alkollerin yüksek oranda oksijen içeriğine sahip olması ve buharlaşma gizli ısısının yüksek olması nedeniyle ISH benzininkinden yüksektir [39]. Deneysel çalışmalarının diğer kısmında ise; benzinin farklı kaynama noktalarıyla çok sayıda hidrokarbon içermesi ve alkollerin alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle benzinin kullanılmasıyla daha yüksek ISH elde edilmiştir [27, 52].

#### 3.3.3. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)

Deneysel çalışmaları gösteren araştırmacılara göre alkollerin; yüksek oktan sayısına sahip olması sonucu daha fazla yanma ısısının kullanılmasına yardımcı olan silindir içindeki yanmanın daha erken gerçekleştirilmesi nedeniyle EGS düşmüştür [53]. Ayrıca, kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları, alt ısı değerlerinin düşük olması, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu buharlaşma ile silindir içindeki sıcaklığın yüksek oranda düşmesi nedeniyle EGS benzine kıyasla düşmüştür [29, 28, 27]. Ayrıca, yüksek motor hızlarında daha fazla miktarda yakıtın yanması nedeniyle motor hızı arttıkça EGS artmıştır [28].

**Tablo 4.** İncelenen makalelerde buji ateşlemeli motorlarda alkol içerikli yakıtların kullanılması durumunda yanma karakteristiklerindeki değişimler

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Parametreleri	YANMA KARAKTERİSTİKLERİ			Kaynak
				Silindir Gaz Basıncı (SGB)	Isı Salınım Hızı (ISH)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)	
Sivasubramanian vd.	G, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 strok, çok nokt. yakıt enj. buji ateşlemeli motor	1400-2800 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Her bir yakıt için maks. SGB 10°lik krank açısında</li> <li>SGB<sub>iP30</sub>&gt;SGB<sub>iP20</sub>&gt;SGB<sub>iP10</sub>&gt;SGBG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Her bir yakıt için maks. ISH, 5°lik krank açısında</li> <li>ISH<sub>iP30</sub>&gt;ISH<sub>iP20</sub>&gt;ISH<sub>iP10</sub>&gt; ISHG</li> </ul>	-	[39]
Agarwal vd.	G, M10, M20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>1500, 2500 ve 3500 rpm</li> <li>0-8 bar fren ortalama etkin basınçları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız ve yük↑ SGB↑</li> <li>1500 rpm'de maks. SGB 0°lik krank açısında, 2500 ve 3500 rpm'de maks. SGB 10°lik krank</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız ve yük↑ ISH↑</li> <li>Maks. ISH 65°lik krank açısında 1500 rpm'de yüksüz durumda ve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız ve yük↑ EGS↑</li> <li>1500 rpm'de EGS&gt;EG</li> </ul>	[27]

				açısında görülmüştür. •Tüm motor hızlarında SGBM10;20> SGBG	16°de 3500 rpm'de 60 Nm yükte görülmüştür. •ISHG> ISHM10;20	SM10≈ EGSM20 •2500 ve 3500 rpm'de EGSG>EG SM10> EGSM20	
--	--	--	--	--	--	---	--

**Tablo 4 (Devamı)**

Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	-	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG>EGSE15	[28]
Elfasak hany A.	G, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-stroklı buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	•Her bir yakıt için maks. SGB 390°lik krank açısında ve SGBG>SGBniB10>SGBniB3>SGBniB7	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG> EGSniB10> EGSniB7> EGSniB3	[29]
Elfasak hany vd.	G, nBM3, nBM7, nBM10	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600- 3400 rpm	•Maks. SGB 390°lik krank açısında ve bu noktada SGBG> SGBnBM10>SG BnBM7>SGBnB M3	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG> EGSnBM10> EGSnBM7> EGSnBM3	[35]
Balki vd.	G, M99, E99	Tek silindir ve 4-stroklı buji ateşlemeli motor	1200- 4000 rpm	• Hız↑ SGB↓ •Maks. SGB 380°-390°lik krank açılarında. •1600 rpm'de SGBG≈SGBM99> SGBE99 •2400 rpm'de SGBM99> SGBE99> SGBG •3600 rpm'de SGBE99> SGBM99> SGBG	-	-	[36]
Elfasak hany A.	G, iBE3, iBE7, iBE10	Tek silindir ve 4-stroklı buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	•Her bir yakıt için maks. SGB 390°lik krank açısında ve SGBG>SGBiBE10>SGBiBE7> SGBiBE3	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG> EGSiBE10> EGSiBE7> EGSiBE3	[49]

Eyidoğ an vd.	G, M5, M10, E5, E10,	4 silindir ve 4 stroklu buji ateşlemeli motor	80-100 km/h ve 5, 10, 15 ve 20 kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız ve yük↑ SGB↑</li> <li>•80 km/h'de 10-15 ve 20 kW'da SGBG&gt;SGBM,E</li> <li>•100 km/h'de 5 ve 20 kW'da SGBG&gt;SGBM,E</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tüm hız ve yüklerde ISHM,E&gt;ISHG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hız ve yük↑ EGS↑</li> <li>•80 km/h'de EGSg&gt;EGSE5&gt;EGSE10&gt;EGSM10&gt;EGSM5</li> <li>•100 km/h'de EGSg&gt;EGSE5&gt;EGSM10&gt;EGSE10&gt;EGSM5</li> </ul>	[50]
Balki vd.	G, M99, E99	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	8.0:1, 8.5:1, 9.0:1 ve 9.5:1'lik sıkıştırma oranları	<ul style="list-style-type: none"> <li>•S.O.↑ SGB↑</li> <li>•Maks. SGB 15°lik krank açısında görülmüştür.</li> <li>•SGBM99&gt;SGBE99&gt;SGBG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•9.5:1'lik S.O.'ya kadar her bir yakıt için ISH↑, 9.5:1'de ISH düzensizdir.</li> <li>•9.0:1'de ISHG&gt;ISHM99&gt;ISHE99</li> </ul>	-	[51]
Liu vd.	G, B30, B35	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	3000- 8500 rpm	<ul style="list-style-type: none"> <li>•3000 rpm'de SGBG≈SGBB30&gt;SGBB35</li> <li>•4500 rpm'de SGBG&gt;SGBB30&gt;SGBB35</li> <li>•6500 ve 8500 rpm'de SGBG&gt;SGBB35&gt;SGBB30</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•3000 rpm'de ISHG≈ISHB30&gt;ISHB35</li> <li>•4500 ve 6500 rpm'de ISHG&gt;ISHB30&gt;ISHB35</li> <li>•8500 rpm'de ISHG≈ISHB35&gt;ISHB30</li> </ul>	-	[52]
Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hız↑ EGS↑</li> <li>•EGSG&gt;EGSE15</li> </ul>	[53]

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda performans parametrelerinde ne gibi değişimler gözlediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Alkollerin gerek saf halde, gerekse belirli oranlarda benzinle karıştırılması durumunda TV değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun TV değeri artmıştır.
- Bütanol hariç diğer alkollerin kullanılması T değerini artırmıştır. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça belirli bir hız ve yük değerine kadar T artarken, sonra azalmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun T artmıştır.
- Bütanol hariç diğer alkollerin kullanılması FG değerini artırmıştır. Ayrıca, kullanılan yakıt ne olursa olsun, motor hızı arttıkça FG artmıştır.
- Bütanol hariç diğer alkollerin kullanılması VV değerini artırmıştır. Ayrıca, motor hızının artmasıyla, kullanılan yakıt ne olursa olsun, VV'de düşüş gerçekleşmiştir.
- Sadece benzinin kullanılmasıyla en düşük ÖYT elde edilir. Ayrıca, motor hızının, yükünün ve sıkıştırma oranının artmasıyla ÖYT'nin azaldığı görülmüştür.

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda emisyon değerlerinde ne gibi değişimler gözlediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Alkollerin gerek saf halde, gerekse belirli oranlarda benzinle karıştırılması durumunda HC emisyonunun azaldığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızının artmasıyla HC emisyon miktarı azalmaktadır.
- Alkol kullanımının genel olarak CO emisyon miktarında benzine nazaran daha fazla azalmaya yol açtığı sonucuna varılabilir. Ayrıca, motor hızının artmasıyla CO emisyon miktarı azalmıştır.
- Alkollerin kullanılması genel olarak CO<sub>2</sub> emisyon miktarını benzine kıyasla artırmaktadır. Ayrıca, motor hızı ve sıkıştırma oranının artmasıyla CO<sub>2</sub> emisyon miktarı da artmaktadır.
- Deneysel çalışmaların bir kısmında alkollerin kullanılması NO<sub>x</sub> emisyon miktarını artırırken, diğer çalışmalarda ise NO<sub>x</sub> emisyon miktarının azaldığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızının ve yükünün artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon miktarı artmıştır.

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda yanma karakteristiklerinde ne gibi değişimler gözlemediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Deneysel çalışmaların bir kısmında alkollerin kullanılması ile SGB değeri artarken, diğer çalışmalarda ise SGB değerinin azaldığı görülmektedir. Buna ek olarak, sıkıştırma oranının artmasıyla SGB artmıştır.
- Deneysel çalışmaların bir kısmında alkollerin kullanılması ile ISH değeri artarken, diğer çalışmalarda ise ISH değerinin azaldığı görülmektedir.
- Alkollerin gerek saf halde, gerekse belirli oranlarda benzinle karıştırılması durumunda EGS değerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızı arttıkça EGS artmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği geçen herkese, özellikle tez çalışmamın her bir aşamasında zamanını ayıran ve hiçbir yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Cenk SAYIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynakça

- [1] Kelen, F. 2014. Motorlu Taşıtların Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2014), 81-82.
- [2] Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C. 1995. İçten Yanmalı Motorlar. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [3] Awad, O.I., Mamat, R., Noor, M.M., Ibrahim, T.K., Yusri, I.M., Yusop, A.F. 2018. The Impacts of Compression Ratio on the Performance and Emissions Of Ice Powered by Oxygenated Fuels: A Review. Journal of the Energy Institute, 91(2018), 19-32.
- [4] Chansauria, P., Mandloi, R.K. 2018. Effects of Ethanol Blends on Performance of Spark Ignition Engine-A Review. Materials Today: Proceedings, 5(2018), 4066-4077.
- [5] Thakur, A.K., Kaviti, A.K., Mehra, R., Mer, K.S. 2017. Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on a Spark Ignition Engine: A Review. Biofuels, 8(2017), 91-112.
- [6] Yusri, I.M., Mamat, R., Najafi, G., Razman, A., Awad, O.I., Azmi, W.H., Ishak, W.F.W., Shaiful, A.I.M. 2017. Alcohol Based Automotive Fuels From First Four Alcohol Family in Compression and Spark Ignition Engine: A Review On Engine Performance and Exhaust Emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77(2017), 169-181.
- [7] Yusoff, M.N.A.M., Zulkifli, N.W.M., Masum, B.M., Masjuki, H.H. 2015. Feasibility of Bioethanol and Biobutanol as Transportation Fuel in Spark-Ignition Engine: A Review. RSC Advances, 5(2015), 100184-100211.
- [8] Öğüt, H., Kuş, R. 1999. Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, (1999), 149-161.
- [9] Vancoillie, J., Verhelst, S. 2010. Modeling the Combustion of Light Alcohols in SI Engines: A Preliminary Study. FISITA 2010 World Automotive Congress, (2010), 1-12.



- [10] Taymaz, İ., Benli M. 2009. Metanolün Taşıtlarda Enerji Kaynağı Olarak Farklı Kullanım Yöntemlerinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 50(2009), 20-26.
- [11] Şenbahçe, A., Temür, M., Sayın, C. 2014. Alkol Yakıtların Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, (2014), 20-29.
- [12] Bielaczyc, P., Woodburn, J., Gandyk, M., Szcotka, A. 2016. Ethanol as an Automotive Fuel – A Review, *Combustion Engines*, 3(2016), 39-45.
- [13] Çelik, M. B., Çolak, A. 2008. Buji Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2008), 619-626.
- [14] Kumar, B.R., Saravanan, S. 2016 Use of Higher Alcohol Biofuels in Diesel Engines: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60(2016), 84-115.
- [15] Liu, H., Wang, G., Zhang, J. 2013. The Promising Fuel – Biobutanol. *InTech Open Science*.
- [16] Kimya Teknolojisi – Alkoller ve Eterler, 2012. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Alkoller%20Ve%20Eterler.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Alkoller%20Ve%20Eterler.pdf) (Erişim Tarihi: 05.12.2018).
- [17] Geng, P., Cao, E., Tan, Q., Wei, L. 2017. Effects of Alternative Fuels on the Combustion Characteristics and Emission Products from Diesel Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(2017), 523-534.
- [18] Trindade, W.R.S., Santos, R.G. 2017. Review on the Characteristics of Butanol. Its Production and Use as Fuel In Internal Combustion Engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(2017), 642-651.
- [19] Li, Y., Meng, L., Nithyanandan, K., Lee, T.H., Lin, Y., Lee, C.F., Liao, S. 2016. Combustion, Performance and Emissions Characteristics of a Spark-Ignition Engine Fueled with Isopropanol-n-Butanol-Ethanol And Gasoline Blends. *Fuel* 184(2016), 864–872.
- [20] Lapuerta, M., Garcí'a-Contreras, R., Campos-Fernandez, J., Dorado, M.P. 2010. Stability, Lubricity, Viscosity, and Cold-Flow Properties of Alcohol-Diesel Blends. *Energy Fuels*, 24(2010), 4497-4502.
- [21] Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Inc.
- [22] Kelen, F. 2014. Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, 19 (2014), 80-87.
- [23] Ülger, M. 2010. İstanbul Trafikindeki Ticari Taksilerin Emisyon Açısından Olumsuz Etkileri. (2010).
- [24] Altıntaş, H. 2013. Türkiye’de Birincil Enerji Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Eşbütünleşme ve Nedensellik Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi* 8(2013), 263-294.
- [25] Soruşbay, C. Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. *Mühendis ve Makine*, 48 (564), 22-26.
- [26] İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H. 2009. Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), (2009).
- [27] Agarwal, A.K., Karare, H., Dhar, A. 2014. Combustion, Performance, Emissions and Particulate Characterization of a Methanol-Gasoline Blend (Gasohol) Fuelled Medium Duty Spark Ignition Transportation Engine. *Fuel Processing Technology*, 121(2014), 16–24.
- [28] Masum, B.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A. Palash, S.M., Habibullah, M. 2015. Effect of Alcohol-Gasoline Blends Optimization on Fuel Properties, Performance and Emissions of a SI Engine. *Journal of Cleaner Production*, 86(2015), 230-237.
- [29] Elfasakhany, A. 2016. Experimental Study of Dual n-Butanol and iso-Butanol Additives on Spark-Ignition Engine Performance and Emissions. *Fuel*, 163(2016), 166–174.
- [30] Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D.R., Yusaf, T.F., Faizollahnejad, M. 2009. Performance and Exhaust Emissions of a Gasoline Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels Using Artificial Neural Network. *Applied Energy*, 86(2009), 630–639.

- [31] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. 2009. The Effects of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark-Ignition Engine. *Renewable Energy*, 34(2009), 2101–2106.
- [32] Yusoff, M.N.A.M., Zulkifli, N.W.M., Masjuki, M.H., Harith, M.H., Syahir, A.Z., Khuong, L.S., Zaharin, M.S.M., Alabdulkarem, A. 2018. Comparative Assessment of Ethanol and Isobutanol Addition in Gasoline on Engine Performance and Exhaust Emissions. *Journal of Cleaner Production*, 190(2018), 483-495.
- [33] Elfasakhany, A. 2016. Performance and Emissions of Spark-Ignition Engine Using Ethanol–Methanol–Gasoline, n-Butanol–iso-Butanol–Gasoline and iso-Butanol–Ethanol–Gasoline Blends: A Comparative Study. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2016), 2053–2059.
- [34] Elfasakhany, A., 2018. Exhaust Emissions and Performance of Ternary iso-Butanol, Biomethanol, Gasoline and n-Butanol, Bio-Ethanol, Gasoline Fuel Blends in Spark-Ignition Engines: Assessment and Comparison. *Energy*, 158(2018), 830-844.
- [35] Elfasakhany, A., Mahrous, A. 2016. Performance and Emissions Assessment of n-Butanol–Methanol–Gasoline Blends as a Fuel in Spark-Ignition Engines, *Alexandria Engineering Journal*, 55(2016), 3015–3024.
- [36] Balki, M.K., Sayın, C., Çanakçı, M. 2014. The Effect of Different Alcohol Fuels on the Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Gasoline Engine. *Fuel*, 115(2014), 901–906.
- [37] Balki, M.K., Sayın, C., Sarıkaya, M. 2016. Optimization of the Operating Parameters Based on Taguchi Method in sn SI Engine Used Pure Gasoline, Ethanol And Methanol. *Fuel*, 180(2016), 630–637.
- [38] Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T., Ardebili, S.M.S., Mamat, R. 2015. Optimization of Performance and Exhaust Emission Parameters of a SI (Spark Ignition) Engine with Gasoline-Ethanol Blended Fuels Using Response Surface Methodology. *Energy*, 90(2015), 1815-1829.
- [39] Sivasubramanian, H., Pochareddy, Y.K., Dhamodaran, G., Esakkimuthu, G.S. 2017. Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Branched Higher Mass, C3 Alcohol (Isopropanol) Blends Fuelled Medium Duty MPFI SI Engine. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(2017), 528–535.
- [40] Sharudin, H., Abdullah, N.R., Najafi, G., Mamat, R., Masjuki, H.H. 2017. Investigation of the Effects of Iso-Butanol Additives on Spark Ignition Engine Fuelled with Methanol-Gasoline Blends. *Applied Thermal Engineering*, 114(2017), 593–600.
- [41] Elfasakhany, A. 2017. Investigations on Performance and Pollutant Emissions of Spark-Ignition Engines Fueled with n-Butanol–, Isobutanol–, Ethanol–, Methanol–, And Acetone–Gasoline Blends: A Comparative Study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(2017), 404–413.
- [42] Mallikarjun, M.V., Mamilla, V.R. 2009. Experimental Study of Exhaust Emissions & Performance Analysis of Multi Cylinder S.I.Engine When Methanol Used as an Additive. *International Journal of Electronic Engineering Research*, 1(2009), 201–212.
- [43] Feng, R., Yang, J., Zhang, D., Deng, B., Fu, J., Liu, J., Liu, X. 2013. Experimental Study on SI Engine Fuelled with Butanol–Gasoline Blend and H<sub>2</sub>O Addition. *Energy Conversion and Management*, 74(2013), 192–200.
- [44] Çelik, B., Özdalyan, B., Alkan, F. 2011. The Use of Pure Methanol as Fuel at High Compression Ratio in a Single Cylinder Gasoline Engine. *Fuel*, 90(2011), 1591–1598.
- [45] Doğan, B., Erol, D., Yaman, H., Kodanlı, E. 2017. The Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Performance and Exhaust Emissions of a Spark Ignition Engine Through Exergy Analysis. *Applied Thermal Engineering*, 120(2017), 433–443.
- [46] Akansu, S.O., Tangöz, S., Kahraman, N., İlhak, M.İ., Açıkgöz, S. 2017. Experimental Study of Gasoline-Ethanol-Hydrogen Blends Combustion in an SI Engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(2017), 25781-25790.
- [47] Hasan, A.O., Al-Rawashdeh, H., Al-Muhtaseb, A.H., Abu-jrai, A., Ahmad, R., Zeaiter, J. 2018. Impact of Changing Combustion Chamber Geometry on Emissions, and Combustion Characteristics of a

- Single Cylinder SI (Spark Ignition) Engine Fueled with Ethanol/Gasoline Blends. *Fuel*, 231(2018), 197–203.
- [48] Canakci, M., Ozsezen, A.N., Alptekin, E., Eyidogan, M. 2013. Impact of Alcohol-Gasoline Fuel Blends on the Exhaust Emission of an SI Engine. *Renewable Energy*, 52(2013), 111-117.
- [49] Elfasakhany, A. 2016. Engine Performance Evaluation and Pollutant Emissions Analysis Using Ternary Bio-Ethanol-Iso-Butanol-Gasoline Blends in Gasoline Engines. *Journal of Cleaner Production*, 139(2016), 1057-1067.
- [50] Eyidoğan, M., Ozsezen, A.N., Canakci, M., Turkcan, A. 2010. Impact of Alcohol–Gasoline Fuel Blends on the Performance and Combustion Characteristics of an SI Engine, *Fuel*, 89(2010), 2713–2720.
- [51] Balki, M.K., Sayın, C. 2014. The Effect of Compression Ratio on the Performance, Emissions And Combustion of An SI (Spark Ignition) Engine Fueled with Pure Ethanol, Methanol and Unleaded Gasoline. *Energy*, 71(2014), 194-201.
- [52] Liu, K., Li, Y., Yang, J., Deng, B., Feng, R., Huang, Y. 2018. Comprehensive Study of Key Operating Parameters on Combustion Characteristics of Butanol-Gasoline Blends in a High Speed SI Engine. *Applied Energy*, 212(2018), 13-32.
- [53] Masum, B.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A. Palash, S.M., Habibullah, M. 2015. Effect of Alcohol-Gasoline Blends Optimization on Fuel Properties, Performance and Emissions of a SI Engine. *Journal of Cleaner Production*, 86(2015), 230-237.



## Araçlarda Makas Sistemlerinin Uzun Ömür Testine Yönelik Stant Tasarımı ve Prototip Uygulaması

\*Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA<sup>1</sup> , Cihan TOPAÇ<sup>2</sup> ,

\*<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, KAYSERİ

<sup>2</sup>Daimler-Mercedes Truck AG, STUTTGART

(Alınış / Received: 30.11.2019, Kabul / Accepted: 13.12.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

Makas Sistemi,  
Makas Sistemi Test Standı,  
Gerinim,  
Sehim

**Öz:** Makas sistemleri, otomotiv sektöründe özellikle ağır vasıta araçlar için kullanılan en önemli süspansiyon donanımlarından birisidir. Makas sisteminin temel görevi araçların maruz kaldığı farklı tür ve şiddetteki harici kuvvetleri zayıflatmaktır. Makas sistemlerinin seri üretimden önce yüksek hassasiyetli test stantları kullanılarak uzun ömür testlerine tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu test stantları hassas ölçüm yapabilmelerinin yanı sıra değişik boyutta, değişik tipte, değişik malzemede ve değişik yüklerdeki makasların bağlanabileceği şekilde esnek bir yapıya da sahip olmalıdır. Bu çalışmada, makas sisteminin bir hidrolik sistem tarafından üretilen farklı tür ve şiddetteki harici kuvvetler altında test edilebilmesini sağlayan hassas bir test standı tasarlanmıştır. Tasarlanan test standında, hidrolik ünite bir elektrik ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Tasarlanmış olan bu elektrik ünitesi sayesinde hidrolik sistem ürettiği farklı kuvvetleri istenilen periyotlarda uygulayabilecek şekilde kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, her türlü makas tipine yönelik esnek bir test sistemi geliştirebilmek amacıyla sistemin ana gövdesi çok sayıda delik içerecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan test standı ile makas sistemlerinin dayanımları, kullanım ömürleri, gerinimleri ve sehim hesaplamaları yüksek hassasiyetli bir şekilde test edilebilecektir.

## Design and Prototype Application of a Test Stand for Long Life Testing of Vehicle Leaf Spring Systems

### Keywords

Leaf Spring System,  
Leaf Spring System Test  
Stand,  
Strain,  
Deflection

**Abstract:** Leaf spring systems are one of the most important suspension equipment especially used for heavy vehicles in automotive sector. The main task of a leaf spring system is to attenuate external forces of different types and intensity to which vehicles are exposed. Leaf spring systems have to be subjected to long life tests using high precision test stands before mass production. In addition to the ability of precise measurement, these test stands should also have a flexible structure that allows the leaf springs of different sizes, different types, different materials and different loads to be connected. In this work, a precision test stand has been designed in order to allow the leaf spring system to be tested under external forces of different types and strengths produced by a hydraulic system. In the test stand designed, the hydraulic unit is being controlled by an electrical unit. By means of this electrical unit, the hydraulic system can be controlled so as to produce and apply different forces in desired periods. In addition, the main body of the system is designed so as to contain a plurality of holes in order to develop a flexible test system for all types of leaf springs. By means of the test stand designed in this study, the strength, service life, strain and deflection calculations of the leaf spring systems will able to be tested with high precision.

## 1. Giriş

Makas sistemleri, literatürde yaprak yay olarak da adlandırılan ve özellikle ağır vasıta araçlarda kullanılan süspansiyon elemanlarıdır. Araçların maruz kaldığı birçok farklı türde ve şiddette dış kuvveti zayıflatmak veya sönmölemek için kullanılırlar. Makas sistemleri standartlara uygun bir şekilde tasarlanmaz ve uzun ömür testleri hassas bir şekilde gerçekleştirilmez ise bu sistemlerde meydana gelebilecek deformasyon ve kırılmalar can ve mal kaybına neden olabilecektir [1,2]. Otomotiv sektöründe kullanılan ve mekanik aksamı oluşturan diğer parçalarda olduğu gibi makas sistemlerinde de seri üretimden önce uzun ömür testlerinin yapılması gerekmektedir. Uzun ömür testlerinde makas sistemlerinin araçlarda kullanılmadan önce dayanım hesaplamaları, gerinim hesaplamaları ve sehim hesaplamaları yapılarak kullanım ömürleri yüksek doğrulukta hesaplanabilmektedir.

Uzun ömür testleri, fiziksel olarak araç üzerine takılarak ve aracı kötü yol şartlarında kullanarak yapılabileceği gibi, yüksek hassasiyetli test stantları kullanılarak ta gerçekleştirilebilmektedir. Araç üzerinde fiziksel olarak testleri yapılan makas sistemleri, önemli oranda zaman ve maliyet kayıplarına neden olmaktadır. Yüksek hassasiyetli test stantları ile gerçekleştirilen makas sistem testleri ise daha düşük maliyetlerle, daha güvenli ve çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

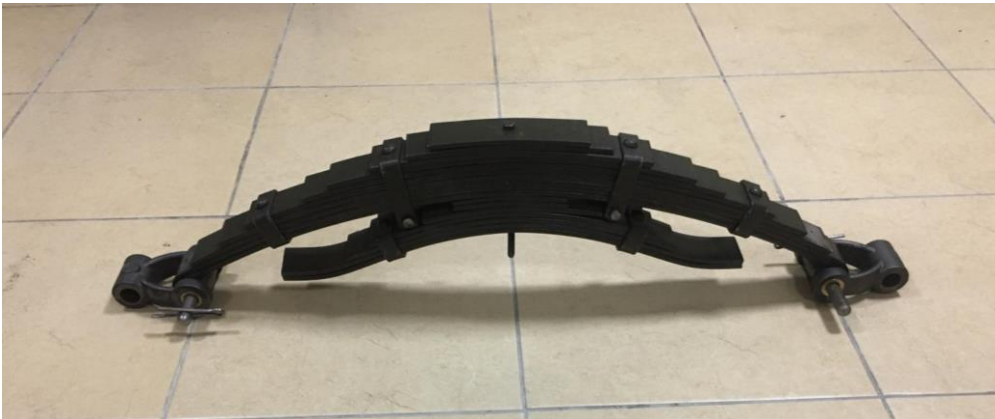
Bu çalışmanın ikinci bölümünde makas sistemleri hakkında bilgi verilerek prototip uygulamada kullanılan makas sistemi detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Ayrıca çalışmada kullanılan hidrolik sistem ve elemanları ile elektronik ünite ve elemanları yine bu bölümde açıklanacaktır.

Üçüncü bölümünde ise makas sistemlerinin uzun ömür testine ait test stant tasarımı ve prototip uygulamanın tüm mekanik tasarımları ve sistemin geneli detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Çalışmanın dördüncü bölümde sonuçlar ve çıktılar detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu kısımda makas sistemleri, hidrolik ünite, elektronik ünite ve sistemin çalışma prensibi detaylı olarak incelenmiştir.

Makas sistemleri yassı kıvrılmış çelik yaprak yaylar kullanılarak tasarlanan süspansiyon elemanlarıdır [3,4]. Çelik yaprak yayların bir merkez cıvata etrafında kelepçeler ile birbirlerine sabitlenmesiyle tasarlanırlar [5]. Temel bir makas sistemi merkez cıvata, kelepçe, yaprak yaylar, lastik burç, bağlantı küpesi, yay gözü elemanları ve araca bağlanabilmesi için iki adet makas gözünü içermelidir. Yaprak yaylar üzerlerine gelen kuvveti birbiri üzerinde sürtünme etkisiyle azaltır ve sönmömlerler [6]. Zamana bağlı olarak sürekli değişen bu kuvvetler makas sisteminin faaliyetini olumsuz yönde etkilemektedir [7, 8]. Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş ve tasarlanmış olan test standı prototip uygulamasında kullanılan makas sistemi 10 adet yaprak yay ile bu sisteme tümleşik olarak bağlanan ve literatürde "Adamlık" olarak isimlendirilen 7 adet yaprak yay sistemini içermektedir. Adamlık yaprak yay sistemi harici kuvvete maruz kalan ilk arayüz olup bu kuvveti zayıflatarak ana sisteme aktardığı için makas sisteminin daha rijit ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Tasarlanarak prototip uygulaması gerçekleştirilen test standında kullanılan ve aşağıda Şekil 1 ile gösterilmiş olan makas sistemi toplamda 3 ton kuvvete dayanıklı olup 2 adet yay gözü, 1 adet merkez cıvata, 6 adet kelepçe ve 2 adet lastik burç içermektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan makas sistemi

## 2.1. Hidrolik sistem

Tasarlanan sistemde, farklı türde ve şiddetteki harici kuvvetler bir hidrolik sistem tarafından üretilmektedir. Hidrolik sistemler yüksek seviyeli kuvvet üretebildikleri, içerdikleri emniyet valfleri ve pleyt sayesinde güvenli ve dayanıklı oldukları ve ayrıca içerisinde yağ bulunduğu için ekstra yağlama işlemine gerek duymadıkları için tasarlanan sistemde harici kuvvetlerin üretilmesinde bir hidrolik sistem tercih edilmiştir.

Tasarlanmış olan hidrolik sistem elektrik motoru, hidrolik pompa, hidrolik valf, hidrolik silindir, hidrolik tank, kampana ve kaplin, emiş ve dönüş filtreleri, hidrolik tank seviye göstergesi ve bağlantı elemanları olarak hidrolik hortum ve rekorlardan oluşmaktadır.

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için teknik özellikleri aşağıda Tablo 1 ile verilmiş olan 1 adet 220 volt alternatif akım (AC) ile çalışan VM90L-4 tip asenkron elektrik motoru kullanılmıştır.

**Tablo 1.** VM90L-4 model asenkron elektrik motoru teknik özellikleri

<b>Maksimum Akım (A)</b>	<b>10,8</b>
<b>Frekans (Hz)</b>	50
<b>Dönme Hızı (rpm)</b>	1400 (devir/dakika)
<b>Motor Gücü (kW)</b>	1,5
<b>Akım-Gerilim Faz Farkı (Güç Çarpanı) (<math>\cos\phi</math>)</b>	0,91
<b>Kondansatör (Sürekli Çalışma) (<math>\mu\text{F/V}</math>)</b>	40 $\mu\text{F}$ / 450 V
<b>Ağırlık (kg)</b>	14,5
<b>Gerilim (V)</b>	220

Elektrik motoruna bağlanan hidrolik pompa ise sistem içerisinde hareket eden yağı istenilen basınç ve debiye yükselten devre elemanıdır. Tasarlanan sistemde, ASC marka ve 6 cc debi üreten bir adet dişli hidrolik pompa kullanılmıştır.

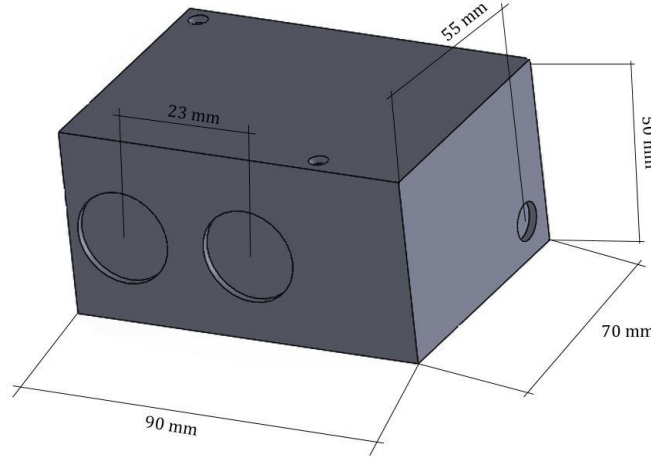
Asenkron elektrik motorunda açılabilir bir kuvvet olarak üretilen hidrolik enerjiyi doğrusal bir kuvvete yani mekanik enerjiye dönüştürmek ve bu kuvveti makas istemine uygulamak için, çift etkili strok uzunluğu 400 mm olan bir adet hidrolik silindir kullanılmıştır.

Sistem içerisinde dolaşan hidrolik yağın çalışma basıncını, debisini veya akış yönünü belirleyen/sınırlayan hidrolik devre elemanları olarak hidrolik valfler kullanılmıştır. Tasarlanan sistem 1 adet hidrolik yön kontrol valfi ve 1 adet hidrolik basınç kontrol valfi içermektedir. Çift etkili hidrolik silindir kullanıldığı için hidrolik yön kontrol valfi olarak 4 yol 2 konumlu bir adet Yutech marka 4/2 NG6 KM elektriksel kumandalı bir valf kullanılmıştır. Kullanılan hidrolik yön kontrol valfi maksimum 315 kgf/cm<sup>2</sup> çalışma basıncına sahip, maksimum 140 kgf/cm<sup>2</sup> tank hattı dönüş basıncına sahip ve maksimum debisi 60 lt/dk olan bir valf olarak seçilmiştir. Hidrolik basınç kontrolünü ise 1 adet LUEN marka hidrolik basınç kontrol valfi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan prototip sistemde alüminyum kaplamalı, 320 bar basınç kapasiteli, normalde kapalı tip bir basınç kontrol valfi kullanılmıştır. Hidrolik ünite içerisinde kullanılan basınç kontrol valfi basınç değeri manuel olarak giriş bölümünden ayarlandığı için doğrudan uyarı tipinde bir valf özelliği de taşımaktadır. Kullanılan basınç kontrol valfine ait 3 boyutlu katı çizim Şekil 2 ile verilmiştir.

Hidrolik yağın çalışma koşullarına uygun bir şekilde depolanması için sistemimizde 1 adet hidrolik tank kullanılmıştır. Hidrolik tank boyutu belirlenirken çalışma esnasında sistem üzerinde dolaşan yağ miktarının 4-5 katı bir değer dikkate alınarak 25 lt. hacimli bir hidrolik tank kullanılmıştır. Bu tank çelikten imal edilmiş olup ısınan hidrolik akışkanın kolayca soğutulması için deponun alt kısmı hava akımı oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Depoya dönen akışkanın dinlenmeden emilmesini önlemek için ise bir dinlendirme levhası bulunmaktadır. Prototipte kullanılan hidrolik tank öncelikle yağın sisteme

aktarılmasını sağlayan pompaya ve bu pompanın hareketini sağlayan bir elektrik motoruna sahiptir. Aynı zamanda tankın içerisinde emiş, basınç ve dönüş hattı filtreleri de bulunmaktadır. Bunlara ek olarak hidrolik tank üzerinde yağ koyma haznesi, yağ miktarı göstergesi, yağ basınç göstergesi gibi durum göstergeleri de bulunmaktadır.

Tasarlanan sistem ayrıca hidrolik pompanın bağlantısını gerçekleştirebilmek için 1 adet ERC marka 1K200 özelliğinde kampana ve hidrolik motor çıkışının hidrolik pompaya bağlantısını gerçekleştirebilmek için 1 adet ERC marka kaplin içermektedir.



Şekil 2. Basınç kontrol valfi 3 boyutlu katı resmi

Sistem çalışırken sistem içerisinde dolaşan hidrolik yağ sıcaklığının ve seviyesinin sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Hidrolik yağ sıcaklığı 50 °C'yi geçtiğinde ve hidrolik yağ seviyesi belirlenen sınırların altında veya üstünde olduğunda hidrolik sistem zarar görecektir. Tasarlanan ve prototip uygulaması gerçekleştirilen test standında hidrolik yağ sıcaklığını ve seviyesini sürekli olarak gösteren 1 adet Gempa marka hidrolik tank seviye göstergesi kullanılmıştır.

Hidrolik yağın temizlik açısından filtrelenmesinde kullanılan hidrolik emiş ve hidrolik dönüş filtreleri hidrolik sistem için son derece önemlidir. Tasarlanan sistemde 1 adet Gempa marka yarım parmak dönüş filtresi ile 1 adet Gempa marka 15 lt/dk özelliğinde emiş filtresi kullanılmıştır.

Devre elemanları arasındaki bağlantıyı sağlamak amacıyla hidrolik bağlantı elemanları olarak sistemimizde toplamda 8 metre hidrolik hortum ve 2 adet rekor kullanılmıştır.

## 2.2. Elektronik güç ünitesi

Stant tasarımı ve prototip uygulamasında kullanılan elektronik güç ünitesi elektrik enerjisinin girişinden tüketilen noktaya kadar sistematik bir şekilde iletilmesi için gerekli olan tüm malzemelerin toplandığı, saklandığı ve montajının yapıldığı bir ünedir. Stant tasarımında 1 adet elektronik güç ünitesi kullanılmıştır ve bu ünitenin içerisinde zaman röleleri, kontaktör, anahtarlı otomatik sigorta, ON-OFF butonlar ve acil stop şalteri bulunmaktadır.

Röleler sıklıkla anahtarlama görevinde kullanılan devre elemanları olmakla birlikte tasarlanan sistemde farklı olarak hidrolik silindir stroğunun inme ve kalkma sürelerini ayarlamaya yönelik olarak kullanılmışlardır. Tasarlanan sistemde, 0-10 saniye aralığında çalışabilen 2 adet zaman rölesi kullanılmıştır. Bu zaman röleleri ile ayrıca hidrolik silindirin periyodu da ayarlanabilmektedir. Tasarlanan sistem toplamda 0-20 saniyelik bir periyot döngüsünde çalışabilmektedir. Zaman rölelerinin bir diğer önemli etkisi de silindirin makasa uygulayacağı kuvvetin süresinin de zaman röleleri ile ayarlanmasıdır. Yani, makas sistemine uygulanan kuvvetin periyodu da zaman röleleri ile ayarlanmaktadır.

Kontaktörler, röleler gibi anahtarlama yapan fakat rölelerden farklı olarak alternatif akım ve yüksek değerli akımlar altında çalışabilen elektronik devre elemanlarıdır. Tasarlanan sistemde elektrik motorunun açılıp kapanmasını sağlayan 1 adet Siemens 3RT2017-1AP02 model *Normalde Kapalı Tip*

kontaklı, 230 Volt AC indüktör gerilimli, 50/60 Hz çalışma frekanslı, 3 fazlı, 5.5 kW güce sahip ve bu güç değerinde en fazla 12 A akım çeken 12 A (5,5 Kw) bir kontaktör bulunmaktadır. Bu kontaktörün tercih edilmesinin temel nedeni ise özellikle motor kontrolü, motor sistemleri ve rezistif yük uygulamaları için tasarlanmış bir kontaktör olmasıdır.

Kaçak akım veya yüksek akım etkilerinden sistemi korumak amacıyla tasarlanan sistemde teknik özellikleri Tablo 2'de verilen 1 adet 5SQ2160 kodlu Siemens marka anahtarlı otomatik sigorta kullanılmıştır.

Sistemin açılıp kapatılmasına yönelik basıldığında işlem yapıp tekrar eski haline dönen 2 adet Hard ON-OFF buton sisteme ilave edilmiştir.

Son olarak, herhangi bir acil durumda hızlı bir şekilde sistemin tüm elektriğini kesmek için kullanabileceğimiz Acil Stop Şalteri hızlı ve kolay ulaşılabilir olacak şekilde elektronik güç panosu üzerine yerleştirilmiştir.

**Tablo 2.** Siemens 5SQ2160 kodlu anahtarlı otomatik sigorta teknik özellikleri

Kutup Sayısı	1
Gerilim Türü	AC/DC
Akım / AC'de / Anma Değeri	20 A
Besleme Gerilimi / AC' de / Anma Değeri	240 V
Besleme Gerilimi Frekansı / Anma Değeri	50 Hz
Anahtarlama Akım Durumu	3 kA
Montaj Derinliği	55 mm

### 2.3. Sistemin çalışma prensibi

Tasarlanan sistem için iki adet Giriş olduğu kabul edilmektedir. Bunlar; *i.*) test edilecek olan makas sistemi ve *ii.*) 220 Volt/50 Hz şebeke elektrik enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Sistemin çıktısı ise test edilmiş olan makas sistemidir. Sistemin hassas bir şekilde ölçüm yapabilmesi için makas montaj ayarı, hidrolik silindir güç ayarı ve hidrolik silindir periyot ayarı olmak üzere 3 temel ayarın en uygun şekilde yapılması gerekmektedir.

Makas montaj ayarı, test edilecek olan makas sisteminin makas kulağı tipine göre delikli veya burçlu makas bağlantı tertibatına montajı ile başlamaktadır. Bu bağlantı gerçekleştirdikten sonra, hidrolik silindirin makas merkez civatasına gelmesi için sağ-sol ve yukarı-aşağı slot delikler ile ayarlanmasıyla makas montaj ayarı tamamlanmaktadır.

Hidrolik silindir güç ayarı makas test stant çalışmasında son derece önemlidir ve bu ayar hidrolik devre ünitesi içerisinde bulunan hidrolik basınç kontrol valfi ile yapılmaktadır. Sistemdeki hidrolik basınç ( $P$ ) barometre kullanılarak *bar* cinsinden ölçülmektedir. Barometrede gösterilen basınç değeri,

$$F = P.A \quad (1)$$

ifadesi kullanılarak *kilogramkuvvet (kgF)* formunda ifade edilebilmektedir. Çapı  $D$  cm olan bir hidrolik silindirin alanı ( $A$ ) ise,

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right) \left(\frac{D}{2}\right) \quad (2)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Geliştirilen sistemde hidrolik silindir çapı  $D = 6$  cm olacak şekilde seçildiği için hidrolik silindir alanı  $A = 3,14 (3)(3) = 28,26 \text{ cm}^2$  olarak elde edilmektedir. Bu durumda, test edilecek olan makas sistemine uygulanacak olan kuvvet değeri yukarıda Eşitlik 1 ile verilmiş olan

formülden basınç değeri ayarlanarak bulunmaktadır. Basınç kontrol valfi ile uygun *bar* değeri ayarlandıktan sonra makas test stant silindir güç ayarı gerçekleştirilir. Barometrede görülen basınç değerinin sabit  $A = 28,26$  değeri ile çarpılması sonucunda *kg* cinsinden uygulanan yük bulunmuş olur.

Makas sistemi uzun ömür testinin kaç *kg* yükte gerçekleştirilmesini istiyorsak ona göre basınç ayarı yapılması gerekmektedir ve değişen basınca göre oluşan kuvvet değerleri de değişmektedir. Basınca göre oluşan kuvvet değerleri aşağıda Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Basınca göre oluşan kuvvet

Alan - A (cm <sup>2</sup> )	Basınç - P (bar)	Kuvvet - F (kg)
28,26	10	282,6
	20	565,2
	40	1130,4
	100	2826
	160	4521,6
	250	7065
	315	8901,9

Makas test standında makas testi yapılırken çok farklı fiziki şartlar da göz önünde tutulmalıdır [9]. Örneğin, araçlar yolda seyir halinde iken çok farklı türde ve zamanda kuvvetlere maruz kalırlar. Bu durum ise elektronik ünite içerisinde bulunan zaman röleleri kullanılarak hidrolik silindirin makasa uygulayacağı kuvvetin periyodunun değiştirilmesi ile simule edilmektedir. Tasarlanan sistemde hidrolik silindir periyodu 0-20 saniye aralığında değiştirilebilirken, hidrolik silindirin aşağı iniş veya yukarı çıkış süreleri 0-10 saniye aralığında ayarlanabilmektedir.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Makas test stant mekanik kısımları

Tasarlanan ve prototip uygulaması gerçekleştirilen makas test standının mekanik kısmı makas test stant gövdesi, delikli ve burçlu makas bağlantı tertibatı ve sağ-sol/ yukarı-aşağı slotlu silindir bağlantı yapısı olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

##### 3.1.1. Makas test stant gövdesi

Makas test stant gövdesi prensip olarak delikli ve burçlu bağlantı tertibatının ve sağ-sol/yukarı-aşağı slotlu silindir bloğunun montajının yapıldığı mekanik kısımdır. Mekanik tüm parçalarının zemin ile bağlantısı makas test stant gövdesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Testlerin hassas şekilde yapılarak en yüksek doğrulukta sonuçların elde edilebilmesi için makas test stant gövdesinin mümkün olduğu kadar kararlı ve sağlam bir yapıda olması gerekmektedir. Bu nedenle, makas test stant gövdesi teknik özellikleri aşağıda Tablo 4 ile verilmiş olan 10 mm St52 çelik malzeme kullanılarak ve her birisi 1000 mm uzunluğunda 4 adet ayak içerecek şekilde tasarlanmıştır.

Gerek maliyet gerekse kullanılabilirlik açısından tasarlanan standın esnek ve tüm makas tiplerinin testini gerçekleştirebilecek bir yapıda olması son derece önemlidir. Bu nedenle makas test stant gövdesinde bulunan 4 ayağın her birisi 35 mm çapta 5 adet delik içerecek şekilde delikli yapıda tasarlanmıştır. Bu delikler 70 mm aralıklarla ayak üzerine yerleştirilmiştir. Bu yapı sayesinde çok farklı boyutlarda ve tiplerde makas sistemlerinin farklı genliklerde kuvvetler uygulayarak test edilebilmesini sağlayacak esnek bir stant yapısı ortaya çıkmıştır.

Ayrıca, makas bağlantı tertibatının makas test stant gövdesine montajını gerçekleştirebilmek için 25 mm çapında ve basmaya karşı dayanıklı 4 adet pimli mil tasarlanmıştır. Makas test stant gövdesi makasa

uygulanan tüm yükü zemine ileten kısım olduğu için hem zemine zarar verilmemesi hem de sistemde oluşacak titreşim etkilerinin minimize edilmesi için standın 4 ayağı 5 mm kalınlığına lastik kauçuklar üzerine oturtulmuştur [10].

**Tablo 4.** St52 çelik malzemenin mekanik özellikleri

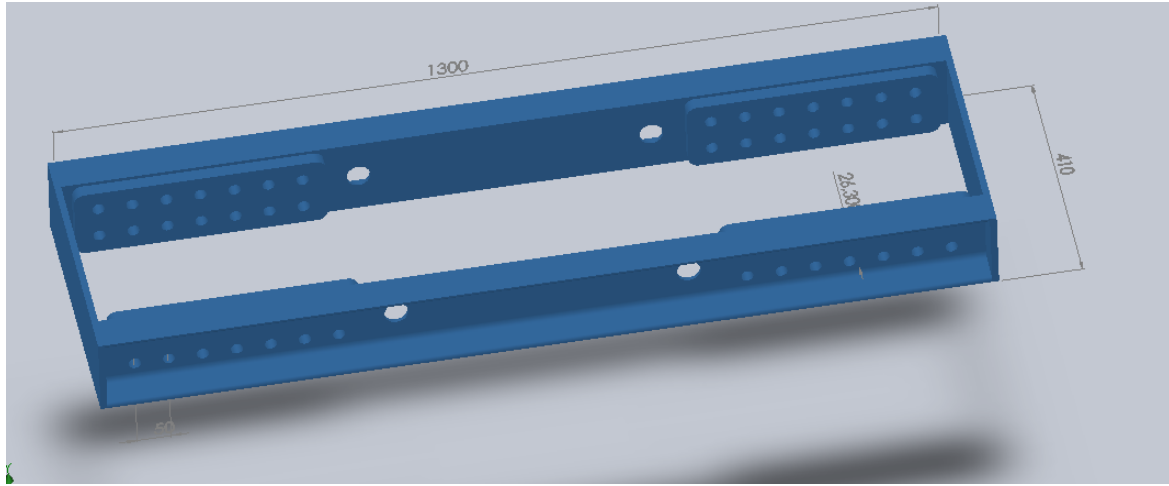
Çekme Dayanımı (Rm)		Akma Sınırı (Re)					Kopma Uzaması		
<3	$\geq 3$ ve $\leq 100$ mm	$\leq 16$ mm	$\geq 16$ ve $\leq 40$ mm	$\geq 40$ ve $\leq 43$ mm	$\geq 63$ ve $\leq 80$ mm	$\geq 80$ ve $\leq 100$ mm	$\geq 3$ ve $\leq 40$ mm	$\geq 40$ ve $\leq 43$ mm	$\geq 63$ ve $\leq 80$ mm
Mpa		$\geq$ Mpa					$\geq$ %		
510 680	490 630	355	345	335	325	315	22 20	21 19	20 18

### 3.1.2. Delikli ve burçlu makas bağlantı tertibatı

Hidrolik silindirin makas yapraklarına kuvvet uygulayabilmesi için makas sisteminin makas bağlantı tertibatına monte edilmesi gerekmektedir. Makas bağlantı tertibatı delikli ve burçlu olmak üzere 2 farklı şekilde tasarlanmıştır.

Delikli makas bağlantı tertibatı, sisteme çok delikli makas kulak tipine göre montaj yapabilmek amacıyla özellikle ağır vasıta kamyon makaslarından esinlenerek tasarlanmıştır. Bu nedenle, tasarlanan sistemde 2 delik arası mesafe ağır vasıta araçlarda olduğu gibi 50 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, tüm ağır vasıta araç makaslarının montajını gerçekleştirebilmek amacıyla sağda ve solda ikişer sıra olmak üzere yedişer delik ile esnek bir yapı elde edilmiştir. Delikli makas bağlantı tertibatı yine aşırı yük altında çalıştığı için St52 çelik malzemeden 26,3 mm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanmış olan makas bağlantı tertibatının katı resmi aşağıda Şekil 3 ile gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Makas bağlantı tertibatı

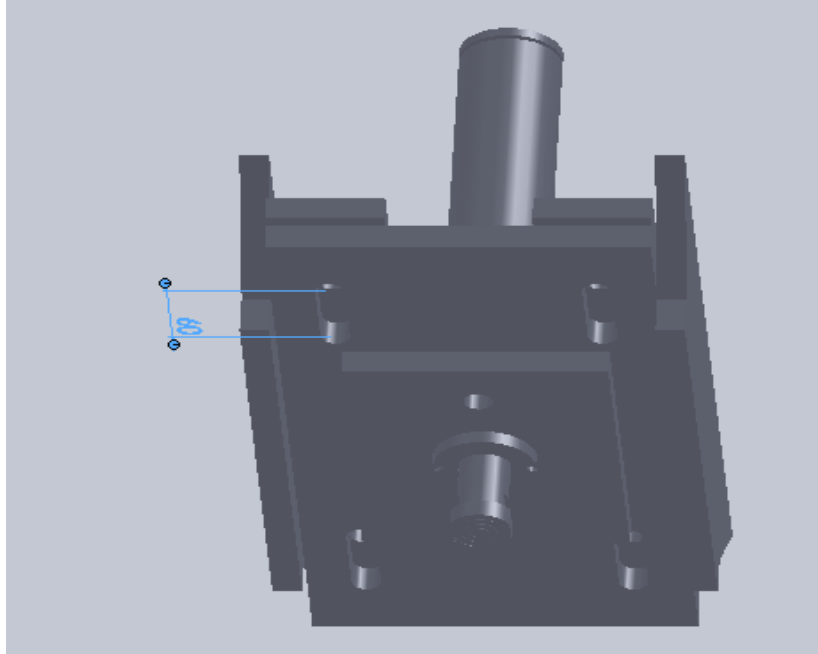
Burçlu makas bağlantı tertibatı ise sistem üzerine tek delikli makas kulak tipine göre montaj gerçekleştirilebilmesi için yapılmıştır. Burçlu makas bağlantı tertibatı özellikle traktör makaslarından esinlenerek tasarlanmıştır [11,12]. Makas bağlantı tertibatı üzerinde sağ tarafta ve sol tarafta dörder adet olmak üzere toplam 8 adet burç bulunmaktadır. Tek delikli makas kulağının burçlu makas tertibatına montajını gerçekleştirebilmek için 2 adet 25 mm çapta basmaya ve çekmeye karşı dayanıklı mil kullanılmıştır.

### 3.1.3. Sağ-sol ve yukarı-aşağı slotlu silindir bağlantı yapısı

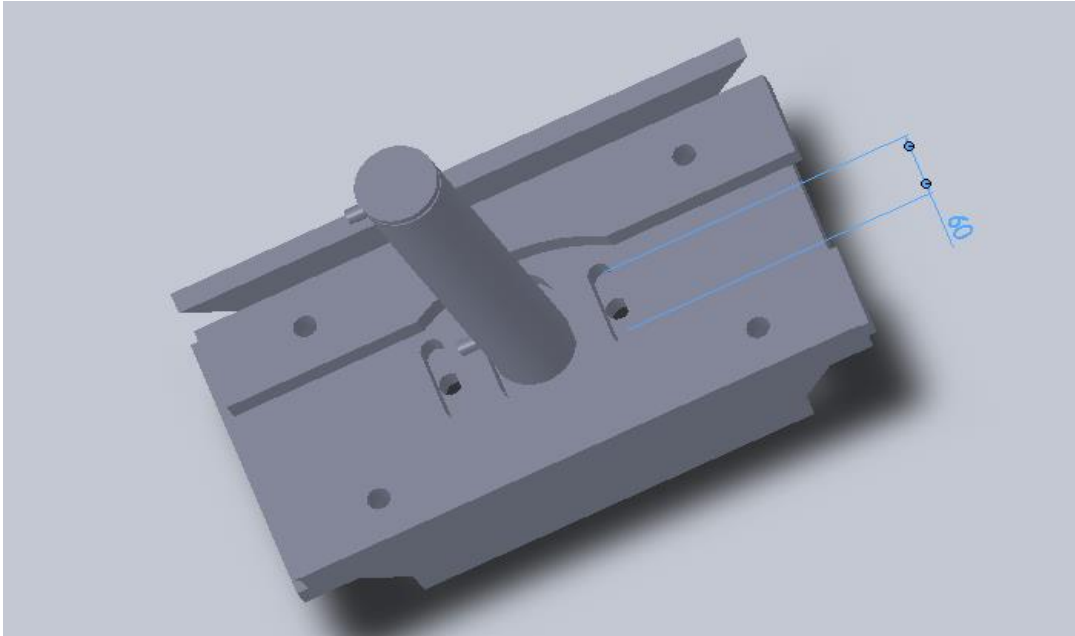
Fiziki şartları en iyi şekilde simule etmek amacıyla makas sistemlerine kullanım şartlarına göre pratikte karşılaşılan farklı tür ve şiddetteki kuvvetlere çok benzer kuvvetler uygulanarak testler gerçekleştirilmelidir. Fiziki şartlarda harici kuvvetler makas sistemine alt kısımdan ve tam olarak

makas sisteminin merkez civatası üzerine etkimektedir. Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan test standında da bu durumu simule etmek için sağ-sol ve yukarı-aşağı olmak üzere toplamda 6 adet slot delikle esnek bir yapı oluşturulmuştur.

Sağ-sol yönlü hareketi sağlayan 60 mm'lik 4 adet slot deliğe Şekil 4'te gösterildiği gibi civata-somun ile silindir bağlantı bloğu montajı gerçekleştirilmiştir. Yukarı-aşağı hareketi sağlayan 2 adet 60 mm slot'un montajı ise Şekil 5'te gösterildiği gibi yine civata-somun bağlantısı ile gerçekleştirilmiştir.



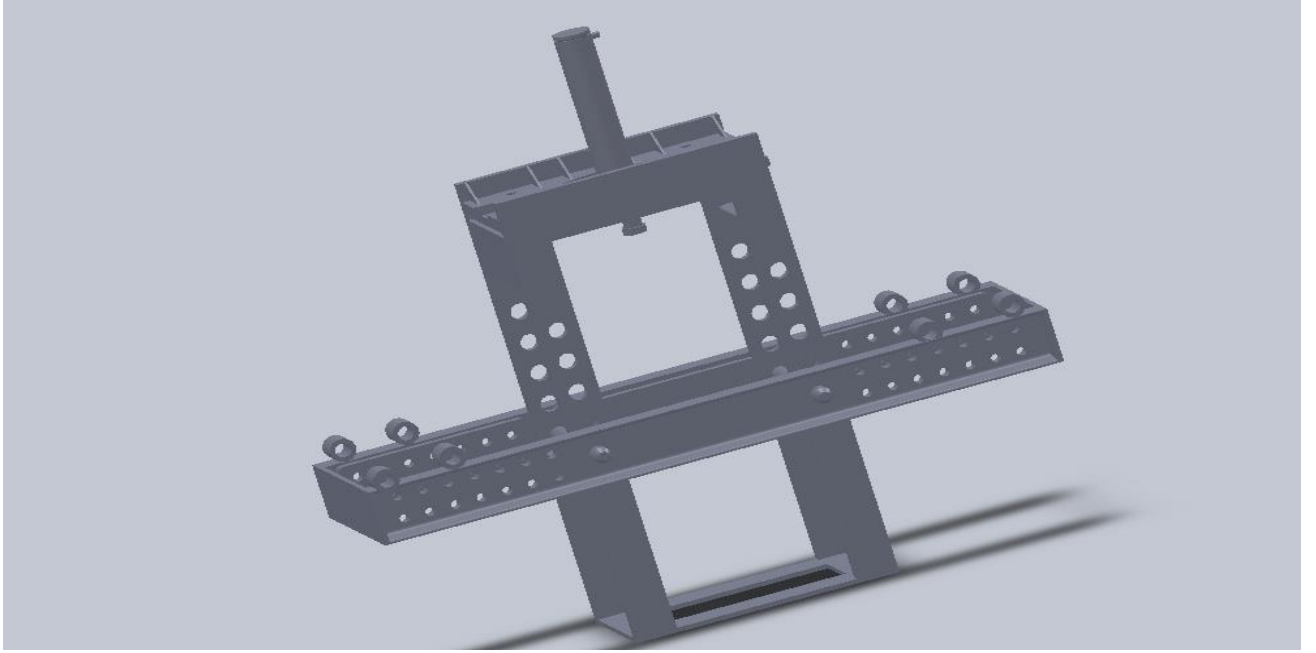
Şekil 4. Sağ-sol hareketi sağlayan slot deliklerin 3 boyutlu katı resmi



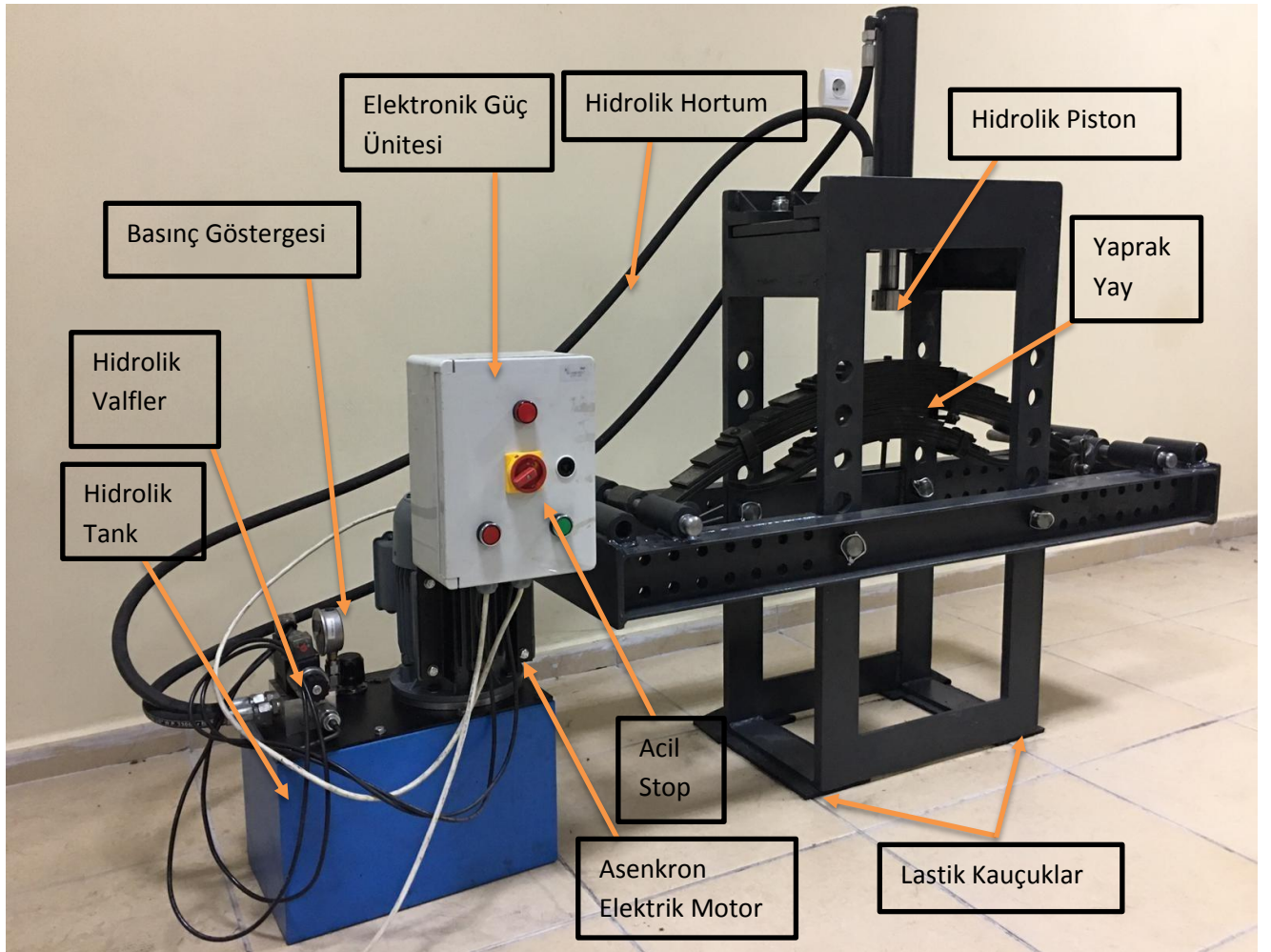
Şekil 5. Yukarı-aşağı hareketi sağlayan slot deliklerin 3 boyutlu katı resmi

Bu çalışma kapsamında tasarımı gerçekleştirilen makas test standının fiziksel tasarımdan önce çizilmiş olan 3 boyutlu katı resmi Şekil 6 ile gösterilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen toplam sistemin prototip uygulaması ise aşağıda Şekil 7 ile gösterilmiştir.





Şekil 6. Tasarımı gerçekleştirilen makas test standının 3 boyutlu katı resmi



Şekil 7. Tasarımı ve prototip uygulaması gerçekleştirilen test standı

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde AR-GE faaliyetlerinin yüksek güvenilirli ve düşük maliyetli olarak gerçekleştirilebilmesi önem arz etmektedir. Otomotiv sektöründe de makas sistemlerinin AR-GE faaliyetlerinden hemen sonra uzun ömür testlerine tabi tutularak araca en uygun makas sisteminin belirlenmesi güvenlik risklerini ve maddi kayıpları önleyecektir.

Bu çalışma kapsamında, otomotiv sektöründe özellikle ağır vasıta araçlarda kullanılan makas sistemlerinin seri üretimden önce kullanım şartları göz önünde bulundurularak uzun ömür testlerine yönelik bir stant tasarımı ve prototip uygulaması gerçekleştirilmiştir. Literatürde makas sistemlerinin bilgisayar destekli performans analizleri ve tek yapraklı makasların malzemeye bağlı yorulma testlerine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada ise literatürden farklı olarak makas sistemi ilk kez bir bütün olarak analiz edilmiştir ve ayrıca tasarım malzemesine bağlı olmaksızın her türlü malzeme için uzun ömür testinin gerçekleştirilebileceği bir makas test stant tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen stant tasarımı sayesinde otomotiv sektöründe çok farklı test stantlarıyla yapılan testler tek bir esnek stantta toplanmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan örnek testler piyasada en yaygın olarak kullanılan 10 yapraklı bir makas sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test edilen makas sistemi burçlu makas bağlantı tertibatına tek delikli makas kulağına bağlanmıştır. Örnek makas sistemi, test standında farklı periyot ve yüklerde test edilmiştir. İlk olarak 1 tona kadar çok farklı yüklerde 0-20 saniye aralığında farklı periyotlarda ayrı ayrı test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 1 ton yük sabit tutularak, 0-20 sn. aralığında her periyotta 50 kez deneme yapılmış ve makas sisteminde işlevini gerçekleştirilmeye engel olabilecek bir deformasyona rastlanmamıştır. Bu testler neticesinde örnek makas sisteminin 1 ton yük altında güvenli bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan test standı kullanılarak gerinim ve sehim haricinde farklı niceliklerin ölçülmesi de mümkün olacaktır. Bunlar; *i.)* yaprak yayların yarı ömürlerini hesaplamak amacıyla ivme sensörü ile üç farklı titreşim analizi gerçekleştirilebilir. Bunlar, yer değiştirme ile titreşim analizi, hız ölçümü ile titreşim analizi ve ivme ölçümü ile titreşim analizidir, *ii.)* Strain-Gauge sensörler ile elde edilen sehim değerleri kullanılarak yine titreşim analizi gerçekleştirilebilir ve son olarak *iii.)* yapraklardaki yıpranmanın tespitinde kullanabilmek için bir dinamometre aracılığıyla kuvvet analizleri gerçekleştirilebilir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2018-8602 kodlu Yüksek Lisans Tez Projesi ile desteklenmiştir.

#### Kaynakça

- [1] Singh, J., Singh, S. P., Joneson, E. 2006. Measurement and Analysis of US Truck Vibration for Leaf Spring and Air Ride Suspensions, and Development of Tests to Simulate These Conditions. Packaging Technology and Science: An International Journal, 19(6), 309-323.
- [2] Hoyle, J. B. 2004. Modelling the Static Stiffness and Dynamic Frequency Response Characteristics of a Leaf Spring Truck Suspension. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 218(3), 259-278.
- [3] Megep, 2011. Süspansiyon sistemleri. Milli Eğitim Bakanlığı. 6-10s.
- [4] Kirkham, B. E., Sullivan, L. S., Bauerle, R. E. 1982. Development of the Liteflex tm Suspension Leaf Spring. SAE Transactions, 663-673.
- [5] Polat, O. 2012. Yaprak yayların bilgisayar destekli yorulma analizi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Balıkesir.
- [6] Haşçalık, A. 1998. Yaprak yay yapımında kullanılan 35 Cr4 Çeliğinin Fretting yorulma davranışının araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 120s, Elazığ.
- [7] Sunar, O., Çevik, M., 2015. Tek katlı yaprak yaylarda sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 1-6.

- [8] Sayman, O., Aksoy, S. 1998. Mukavemet 1. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi. İzmir. 250s.
- [9] Sugiyama, H., Shabana, A. A., Omar, M. A., Loh, W. Y. 2006. Development of Nonlinear Elastic Leaf Spring Model for Multibody Vehicle Systems. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 195(50-51), 6925-6941.
- [10] Rivin, Eugene I., 2003. Passive Vibration Isolation. Asme Press, New York, 426s.
- [11] Dhoshi, N. P., Ingole, N. K., & Gulhane, U. D. 2011. Analysis and Modification of Leaf Spring of Tractor Trailer using Analytical and Finite Element Method. International Journal of Modern Engineering Research 1(2), 719-722.
- [12] Wilson, W. 1999. U.S. Patent No. 5,938,221. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

## Katı Atık Getirme Merkezi Kuruluş Yer Seçimi İçin DEMATEL-ANP Ve Matematiksel Programlama Yöntemleriyle Bütünleşik Bir Yaklaşım: Ankara İlinde Bir Uygulama

\*Tuğçe Düzce İnağ<sup>1</sup>, Murat Arıkan<sup>2</sup>

\*1,2 Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği, ANKARA

(Alınış / Received: 13.11.2019, Kabul / Accepted: 24.02.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

DEMATEL,  
ANP,  
Atık toplama/getirme  
merkezi,  
Tesis yer seçimi,  
Katı atık

**Öz:** Gerçekleşen hızlı ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve refah seviyesinin yükselmesi üretilen atık miktarında artışa neden olmaktadır. Artan atık miktarı nedeniyle karşılaşılan zorluklar atıksız veya olabildiğince az atıklı üretimi ve tüketimi amaçlayan "atık yönetimi yaklaşımını" gerektirmektedir. AB Atık Çevre Direktifindeki hedeflerinden biri atıkları kaynağından ayrı toplamaktır. Bu hedefe ulaşmak ve ülkemizde sürdürülebilir bir atık planı uygulamak için etkin kullanılacak atık getirme merkezlerinin açılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Çankaya İlçe Belediyesine ait atık getirme merkezlerinin kuruluş yer seçim problemi ele alınmıştır. Bunun için atık getirme merkezi yer seçimini etkileyen kriterler belirlenmiş, birbirleri ile olan ilişkileri DEMATEL ile tespit edilmiş ve bu ilişkiler dikkate alınarak her bir kriterin ağırlığı ANP (Analytical Network Process) yöntemiyle hesaplanmıştır. Ardından bu ağırlıklar kullanılarak her tesis aday yeri için bir öncelik değeri elde edilmiştir. Daha sonra yer seçim problemi, atıkların toplanma stratejisi de dikkate alınarak, kamu sektörü tesis yer seçiminde yaygın olarak kullanılan p-medyan ve p-merkez problemleri temel alınarak ayrı ayrı modellenmiştir. Bu problemlere ait amaç fonksiyonları da belirlenen öncelik değerleri ile LP-metrik yaklaşımı kullanılarak birleştirilmiş, böylece tesis yerleri çok amaçlı olarak belirlenmiştir.

## An Integrated Approach by DEMATEL-ANP and Mathematical Programming Methods for Site Selection of Solid Waste Dropping Center: An Application in Ankara Province

### Keywords

DEMATEL,  
ANP,  
Waste dropping centre,  
Site selection,  
Solid waste

**Abstract:** Rapid economic growth, industrialization, urbanization, population growth and welfare increase cause an increase in the amount of waste produced. Challenges due to the increased amount of waste require a "waste management approach" aimed at producing and consuming no waste or as little waste as possible. One of the objectives of the EU Waste Environment Directive is to collect the waste separately from its source. In order to reach this target and to implement a sustainable waste plan in our country, it is necessary to open waste disposal centers that can be used effectively. In this study, the location problem of the waste collection centers belonging to Çankaya District Municipality is considered. For this purpose, the criteria affecting the location of the waste collection centers are determined, the relations with each other are identified by DEMATEL and the weight of each criterion is calculated by ANP (Analytical Network Process) considering these relations. Then, using these weights, a priority value is obtained for each candidate plant site. Later, the site selection problem is modeled separately based on the p-median and p-center problems commonly used for facility location in the public sector, taking into account the waste collection strategy. The objective functions of these problems are also combined with the priority values determined using the LP-metric approach, consequently, facility locations are decided multi-objectively.

## 1.Giriş

Ülkemizde gerçekleşen hızlı ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler üretilen atık miktarında artışa neden olmaktadır.

Artan atık miktarı nedeniyle karşılaşılan zorluklar, atıksız veya olabildiğince az atıklı üretimi ve tüketimi amaçlayan “atık yönetimi yaklaşımını” gerektirmektedir. Atık yönetimi, çevrenin ve doğal kaynakların korunmasında en önemli konulardan biridir. Evsel, tıbbi, tehlikeli ve tehlikesiz atıkların azaltılması, kaynağında ayrı toplanması, ara depolanması, taşınması, geri kazanılması, geri dönüştürülmesi ve bertaraf edilmesi atık yönetimi kapsamındaki süreçler arasında yer almaktadır. Söz konusu süreçleri içeren atık yönetim yaklaşımları sayesinde çöpe giden atık miktarında azalma sağlanabilmektedir.

Geri kazanılabilir atıkların diğer atıklarla karıştırılmadan kaynağında ayrı toplanmasının sağlanması ve geri kazanım ve/veya bertarafa gönderilmek üzere bırakılması amacıyla oluşturulan atık getirme merkezlerinin etkin kullanımı atıkların yüksek oranda toplanıp geri dönüşüme kazandırılabilmesi açısından önemlidir.

Atık getirme merkezlerinin etkin kullanımının sağlanması tesisin kurulacağı yer ile yakından ilgilidir. Uygun yer seçimini yaparken dikkat edilmesi gereken bir çok etken ve kriter bulunmaktadır. Atık getirme/toplama merkezlerinin yer seçimindeki teknik kriterler, ulusal kanunlar ve yerel yönetimler tarafından belirlenmektedir. Bu kriterler değişiklik göstermekle birlikte, genel olarak, atık miktarları, nüfus oranları, eğitim düzeyleri, demografik özellikler, ulaşım kolaylığı, yakınlık, sosyo-kültürel yapı olarak kabul edilmektedirler [1-3]. Atık getirme merkezleri kesinlikle çöplük alanları değildir. Bu merkezlerde, ambalaj, pil, tıbbi zararsız ilaçlar, yağlar, piller, kıyafetler, plastik atıklar toplanmaktadır. Görüntü kirliliğine veya kokuya sebep olacak ürünlerin toplanması yasaktır. Bu sebeple aday tesis yerlerinin seçiminde bir diğer kriter de çevresinde park, bahçe, kütüphane, çay bahçesi, cafe vb. yapıların var olup olmaması olarak belirlenmektedir. Çünkü bireyler sadece geri dönüştürülebilir atıklarını getirmek için bu mesafeye katlanmayı tercih etmemektedirler. Bu durumun önüne geçebilmek adına bu merkezlerin yanında insanların vakit geçirebilecekleri yapıların bulunması yoksa da yapılması hedeflenmektedir.

Literatür incelendiğinde, yer aldıkları sektörden bağımsız olarak tesis yeri seçim problemleri için yöneylem araştırmasının iki ana dalının etkin çözüm yolları sunduğu görülmektedir. Bunların ilki; matematiksel modelledir. Tesis yeri seçimi için oluşturulan matematiksel modeller, tesislerin hangi bölgelere kurulacaklarını ve hangi müşterilerin hangi tesislerden hizmet ya da ürün alacaklarını tespit eder. Tesis yeri seçimi problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan diğer bir yaklaşım da amaç, kriterler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşiyi dikkate alan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleridir. ÇKKV yöntemleri, genellikle çeşitli ölçütlere dayanarak aday yerlerden hangisi ya da hangilerine tesis kurulması gerektiğini ortaya koyar [3].

Katı atık tesis yer seçimine ilişkin literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Katı Atık depolama alanının seçimi ve değerlendirilmesi için çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar geliştirilmiştir [3-8]. Bunun yanında, atık toplama merkezi tesis yer seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile diğer Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini melezleyen çok fazla uygulama bulunmaktadır [4,8-10]. Bu yöntemler, uygunluk indeksine dayalı olarak tüm çalışma bölgesinin yer seçimi uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmaktadır. Diğer benzer çalışmalarda ise, Lin ve Kao, atık toplama alanlarının yer seçimi için sezgisel yaklaşımlar geliştirmiştir [11]. Khadivi ve diğerleri, ANP ve Veri Zarflama Analizi yöntemlerini birlikte kullanarak toplama merkezlerinin yerlerine karar vermiştir [12]. Argones-Beltran ve diğerleri, hem AHP hem ANP yöntemlerini kullanarak toplama merkezlerinin yer seçimini yapmıştır [13]. Önüt ve Soner, İstanbul’da kurulacak atık toplama merkezlerinin yerini belirlemek için AHP ve Fuzzy TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır [14]. Pires ve diğerleri, Portekiz’de yaptıkları çalışmalarında yine AHP ve Fuzzy TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır [15]. Beskese ve diğerleri ise, uygun tesis yerini belirleyebilmek için Fuzzy AHP ve Fuzzy TOPSIS yöntemlerinden birlikte yararlanmışlardır [16].

Literatürde, toplama merkezlerinin yeri kararlarına tersine lojistik ağ tasarımı yapan çalışmaların içinde de rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda matematiksel modellerden faydalanılmıştır. De Figueiredo ve Mayerle, hem belediyelerin açacağı toplama merkezlerinin yerlerine hem de geri dönüşüm için toplanan ürün miktarlarını arttırmak için verilecek teşviklerin miktarına karar vermek için geliştirdikleri modelin çözümünde “Teitz ve Bart” sezgiselini kullanmışlardır [17]. Sidique ve diğerleri, Rassal Fayda Modeli

(Random Utility Model) ile atık getirme merkezlerinin ziyaretinde kabul edilen atık türü sayısı ve merkezlerin yerinin etkisini incelemişlerdir [18]. Jayaraman ve diğerleri tehlikeli atıkların akışına ilişkin açılacak toplama ve yenileme merkezlerinin sayısını ve yerini belirlemek için karışık tam sayılı bir model önermişlerdir [19]. Srinivasan ve Malliga, Miyopik ve Değişim sezgiselini kullanarak çözülen matematiksel modelin sonucunda toplama merkezi yer seçimi yapmışlardır [20]. Sayyady ve diğerleri, toplama merkezlerinin yer seçimi için 0-1 tamsayılı programlama modeli kurmuşlar ve modelin çözümü için Lagrange Sezgisel Algoritması önermişlerdir [21]. Gomes ve diğerleri, atıkları toplama ve ayırma merkezlerinin yer seçimi için karışık tam sayılı bir programlama modeli geliştirmişler ve GAMS ile çözmüşlerdir [22]. Alshamsi ve Diabat, tersine lojistik ağı içindeki toplama merkezlerinin yerini belirlemek için karışık tam sayılı bir doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Çözüm için GAMS'in CPLEX çözücüsünü kullanmışlardır [23].

Burada yapılan çalışmanın asıl amacı, tüketim ömrünü tamamlamış ürünlerin doğru yollarla toplanmasını sağlamak ve geri kazanılabilir ürün miktarını arttırarak ülke ekonomisine ve çevreye katkı sunmaktır.. Geri kazanılabilir atıkların toplanmasında da iki temel yöntem bulunmaktadır: Atıkları tüketiciye "getirme" ve bunları tüketiciden "alma". Literatürde genellikle toplayıcı organizasyon açısından "aktif" bir işlem olan "alma" yani toplama yöntemi incelenmiştir [3]. Adından da anlaşılacağı gibi, Atık Getirme Merkezleri ise, toplayıcı açısından "pasif" olan "getirme" yöntemine dayanmaktadır. Literatürde atık getirme merkezlerinin yer seçimine ilişkin çok az çalışma bulunmaktadır [24].

Habibi ve diğerleri, çalışmalarında, müşterilerden, transfer istasyonlarından, çöp alanlarından, geri dönüşüm tesislerinden ve atık taşıma araçlarından oluşan belediye katı atık yönetim sistemi için çok amaçlı bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Önerilen model, sırasıyla toplam maliyeti, sera gazı emisyonunu ve bunun sonucunda oluşan görsel kirliliği en aza indirmektedir [25]. Panei ve diğerleri, çalışmalarında belediye toplama merkezleri, yeniden kullanım merkezleri, eco-araziler, kentsel atık değerlendirme tesisleri için kuruluş yer seçimi yapmışlardır. Bu çalışmada, yapısal ve yetkilendirme faktörlerini ve aynı zamanda antropik faktörleri de dikkate alarak, altyapı ve şehir temizliği için kullanılacak alanların belirlenmesine yönelik CBS tabanlı bir algoritma önermişlerdir [26]. Reddy ve diğerleri, çok periyotlu bir ortamda ters lojistik ağ tasarımı (RLND) için karma bir tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli önermişlerdir. Toplama merkezleri, yoğunlaştırılmış denetim ve yeniden üretim merkezleri ve hizmet verecek müşteri bölgelerinin yer seçimi gerçekleştirilmiştir [27]. Çakır ve Ulukan, toplama merkezlerinin ve geri dönüşüm tesislerinin yer seçimini yapmışlardır. Bu tesislerin yer seçiminde, uzaklık, maliyet, atık türü gibi kriterler dikkate alınmıştır. Bulanık dilbilim Prolog, seçim ölçütlerinin önemini bulmak ve karar verme sürecindeki tesisleri eşleştirmek için kullanılmıştır [28].

Çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan en önemli farkı, atıkların toplanmasının tüketici etkinliğine dayanmasıdır. Bireyler atıklarını belirli bir uzaklığı kat ederek toplama kumbaralarına, geri satın alma noktalarına ya da ayırma, işleme merkezlerine getirmektedirler. Tüketiciler bu eylemi gönüllü olarak veya menfaat karşılığı yapabilmektedirler. Saphores ve diğerleri, bu yöntemin tüketicilerden alma stratejisinden 2,5 kat daha az maliyetli olduğunu ortaya koymuştur [29]. Ayrıca bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanması sonucunda, CO emisyon oranının azalması, işçilik ve taşıma maliyetlerinden tasarruf sağlanması, konteynır maliyetlerinin düşürülmesi, geri kazanılabilir atık miktarının arttırılması, farklı atık türleri için tek bir alanın kullanılabilmesi ve kullanıcıların da tüm atık tipleri için tek bir alana ulaşabilmesi ile ülke ekonomisine ve çevresel düzene büyük bir katkı sağlanması beklenmektedir.

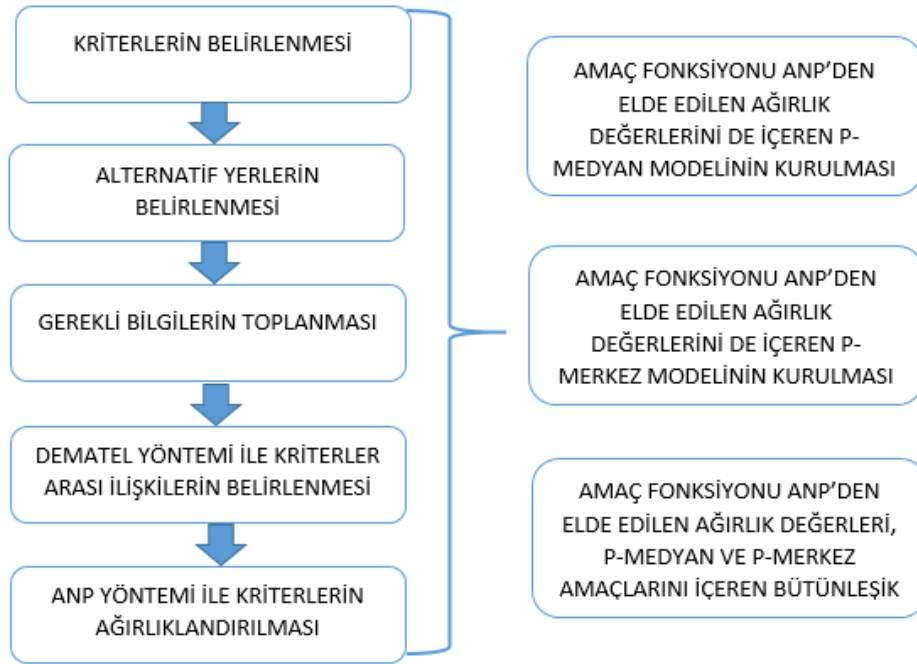
Bu çalışmada, belediyelerin sorumluluğunda kurulan, kullanım ömrünü tamamlamış ya da çeşitli nedenlerden dolayı artık kullanılmayan ürünlerin geçici olarak depolandığı toplama/getirme merkezlerinin yerlerine karar verilmesi amaçlanmaktadır. Probleme yer seçimini etkileyen kriterler belirlenmiş ve bu kriterler arasındaki ilişkileri tanımlamak için bir çok kriterli karar verme yöntemi olan DEMATEL kullanılmıştır. Daha sonra bu ilişkileri dikkate alan ANP yöntemi ile kriter ağırlıkları ve aday tesis yerlerinin öncelik değerleri belirlenmiştir. Ardından, yer seçim problemi, özellikle kamu sektöründe yaygın olarak kullanılan p-medyan ve p-merkez modelleri temel alınarak modellenmiş, bu problemlere ait amaç fonksiyonları ve aday tesis yerleri için belirlenen öncelik değerleri LP-metrik yaklaşımı kullanılarak birleştirilmiş, böylece yer seçim problemi çok amaçlı olarak çözülmüştür.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde, atık getirme merkezlerinin kurulacağı aday yerler için öncelik değerlerinin nasıl belirlendiği ve geliştirilen modeller ayrıntılı şekilde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde çalışmanın çıktıklarına yer verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Çankaya ilçe belediyesi sınırları içerisinde kurulacak ve Çankaya ilçesine bağlı 124 mahalleye hizmet verecek atık getirme merkezlerinin yer seçimi problemi ele alınmıştır. Problem için kullanılan çözüm yaklaşımı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, DEMATEL ve ANP yöntemleri birlikte kullanılarak sıralama modeli geliştirilmiş, aday tesis yerlerinin öncelik değerleri belirlenmiştir. Atık getirme merkezi kuruluş yer seçiminde dikkate alınan, ve Bölüm 2.2’de verilen kriterlerin birbirinden bağımsız oldukları düşünülmemelidir. Kriterler arasındaki ilişkileri ortaya çıkarabilmek için DEMATEL yöntemi, bu ilişkileri dikkate alarak kriter ağırlıklarını belirlemek için ANP yöntemi hibrit bir şekilde kullanılmıştır. Daha sonra, atıkların toplanma stratejisi de dikkate alınarak, kamu sektörü tesis yer seçiminde yaygın olarak kullanılan p-medyan, p-merkez problemini temel alan modeller kurulmuştur. Bu problemlere ait amaç fonksiyonları da aday tesis yerleri için belirlenen öncelik değerleri ile LP-metrik yaklaşımı kullanılarak birleştirilmiş, böylece tesis yerleri çok amaçlı olarak belirlenmiştir.

Aday toplama merkezi tesis yerlerinin öncelik ağırlıklarının belirlenme sürecinde sırasıyla şu adımlar izlenmiştir: Tesis yer seçimi kararında etkin olacak uzman bir grup oluşturulmuştur. Bu uzman grup, Çankaya İlçe Belediyesinde çalışan ve tesisin kurulacağı alanları yakından bilen iki çevre mühendisi, bir şehir bölge planlamacısı ve bir endüstri mühendisinden oluşmaktadır. Bu uzman grup Atık Getirme Merkezi Tebliğ Taslağı’nda belirtilen teknik özelliklere göre aday tesis yerlerini belirlemiştir. Değerlendirmede kullanılacak kriterler uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiş olup literatürle de desteklenmiştir [3,18,30,31,34]. Kriterler arasındaki ilişkiler DEMATEL yöntemi kullanılarak incelenmiş, bu ilişkiler dikkate alınarak oluşturulan ağ yapısına göre ANP yöntemi vasıtasıyla aday yerlerin öncelik değerleri elde edilmiştir. Çalışma akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma akış diyagramı

DEMATEL, kriterleri, ilişkilerin cinsi ve birbirleri üzerindeki etkilerinin önemi yönünden öncelik sırasına göre düzenleyebilen bir yöntemdir [32]. Adımları aşağıda verilmiştir;

- Adım 1: Direkt-ilişki matrisinin oluşturulması
- Adım 2: Normalleştirilmiş direk ilişki matrisinin elde edilmesi.
- Adım 3: Toplam ilişki matrisi S'nin elde edilmesi.
- Adım 4: Gönderici ve alıcı grupların hesaplanması.
- Adım 5: Eşik değerinin belirlenmesi ve etki-yönlü graf diyagramının elde edilmesidir.

ANP, yöntemi her alanda uygulanabilir özellikle olması ve uygulama kolaylığından dolayı birçok alanda yaygın kullanıma sahiptir. Kuruluş yeri seçiminde de sıkça tercih edilen bir yöntemdir[32]. ANP'nin adımları aşağıdaki gibidir:

- Adım 1: Karar probleminin tanımlanması.  
Adım 2: Bağımlılıkların tespit edilmesi.  
Adım 3: İkili karşılaştırmaların yapılması.  
Adım 4: Süpermatrisin oluşturulması.  
Adım 5: Limit süpermatrisin belirlenmesi.  
Adım 6: En iyi alternatifin seçilmesidir.

Yöntemlere ilişkin adımların matematiksel detaylarına Aksakal ve Dağdeviren [32]'in çalışmasından ulaşılabilir.

## 2.1. Aday Yerlerin Belirlenmesi

Çalışmada, atık getirme merkezlerinin kurulabileceği aday mahalleler Atık Getirme Merkezi Tebliğ Taslağı'nda belirtilen teknik özelliklere, çevresinde bireylerin vakit geçirebilecekleri alanların varlığına ve uzman görüşlerine göre belirlenmiştir. Tebliğe göre, bu merkezlerin kurulabileceği yerler 1000  $m^2$  alana sahip ve belediye tarafından hizmet ve teknik altyapı alanı olarak belirlenmiş olmalıdır. Buna göre aday tesis yeri olarak 15 mahallenin dikkate alınabileceği tespit edilmiştir. Bu 15 mahalle Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Aday tesis yerleri

Sıra	Mahalleler
1	Ata Mahallesi 1
2	Ata Mahallesi 2
3	Bağcılar Mahallesi
4	Beytepe Mahallesi 1
5	Beytepe Mahallesi 2
6	Beytepe Mahallesi 3
7	Cevizlidere Mahallesi
8	Çukurambar Mahallesi
9	Gökkuşuğu Mahallesi
10	Huzur Mahallesi
11	Karapınar Mahallesi
12	Mustafa Kemal Paşa Mahallesi
13	Sokullu Mahallesi
14	Yıldızevler Mahallesi
15	Yukarı Dikmen Mahallesi

## 2.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Literatürde birçok çalışmada, bu merkezlerin etkinliğinin belirlenmesinde eğitim düzeyi, mesafe, atık miktarı, nüfus, eğitim durumu gibi kriterlerin etkili olduğu belirtilmiştir[18,29,30]. Owens ve diğerleri, eğitim düzeyinin merkezlerin etkinliğinde en önemli kriterlerden biri olduğunu belirtmiştir[33]. Sidiq ve diğerleri, bu merkezlere yakınlığın yani mesafenin bu merkezlerin etkinliğinde oldukça etkili olduğunu göstermiştir [18]. Snyder ve diğerleri da mesafe, atık miktarı, nüfus, eğitim durumu gibi değişkenlerin önemini belirtmiştir [30].

Kriterler, literatürdeki kaynaklar göz önünde bulundurularak uzman grup tarafından belirlenmiştir[3,18,30,33,34]. Uzmanlar grubu ile yapılan toplantılar sonucu literatür de dikkate alınarak belirlenen ana ve alt kriterler Tablo 2'de verilmiştir.



**Tablo 2. Alt ve Ana Kriterler**

Ana Kriterler	Alt Kriterler
Sosyal (K1)	Gece nüfus oranı (K1,1) Gündüz nüfus oranı (K1,2) Halk tepkisi (K1,3)
Sosyo-Kültürel (K2)	Nüfus Atık Miktarı (K2,1) Eğitim oranı (K2,2) Çalışan nüfus oranı (K2,3)
Topoğrafik (K3)	Arazi değeri (K3,1) Arazi eğimi (K3,2) Su kaynaklarına yakınlık (K3,3)
Ulaşım (K4)	Alternatif yol yapımı (K4,1) Trafik yoğunluğu (K4,2) Ulaşım kolaylığı (K4,3)
Çevresel (K5)	Estetik (K5,1) Sosyal alan yapıma (K5,2) Şehirleşme (K5,3)

Bu kriterler dikkate alınarak aday yerlerin öncelik değerlerinin belirlenmesi amacıyla DEMATEL ve ANP yöntemleri birlikte kullanılmıştır.

### 2.3. Kriterlerin İlişkilerinin Belirlenmesi

Kriterler arasındaki ilişkiler belirlenirken ilişkileri, cinsi ve birbirleri üzerindeki etkilerinin önemi yönünden öncelik sırasına göre düzenleyen DEMATEL yönteminden yararlanılmıştır. İlk önce, Çankaya belediyesindeki uzmanların istekleri yönünde Tablo 3'deki ikili karşılaştırma skalası kullanılarak Tablo 4'teki direkt ilişki matrisi elde edilmiştir.

**Tablo 3. DEMATEL yöntemi karşılaştırma skalası**

Değer	Tanım
0	Etkisiz
1	Düşük etki
2	Orta etki
3	Yüksek etki
4	Çok yüksek etki

**Tablo 4. Ana kriterler için ikili karşılaştırma skalası kullanılarak bulunan direkt-ilişki matrisi**

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	0	2	0	2	1
K2	1	0	0	1	0
K3	0	0	0	1	1
K4	0	0	1	0	2
K5	0	0	0	2	0

Direkt-ilişki matrisindeki her bir hücre kriterlerin birbirleri üzerindeki etkisinin Tablo 3'e göre derecesini ifade etmektedir.

Direkt-ilişki matrisinin oluşturulmasından sonra sırasıyla Eş. (1)-(3) eşitlikleri kullanılarak Tablo 5'de gösterilen normalleştirilmiş direkt-ilişki matrisi ve Tablo 6'da gösterilen toplam ilişki matrisleri elde edilmiştir.

$$M = k * A \quad (1)$$

$$k = \text{Min} \left( \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n |a_{ij}|} \right) \quad i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (2)$$

$$S = M + M^2 + M^3 + \dots = \sum_{i=1}^{\infty} M^i = M(I \cdot M)^{-1} \quad (3)$$

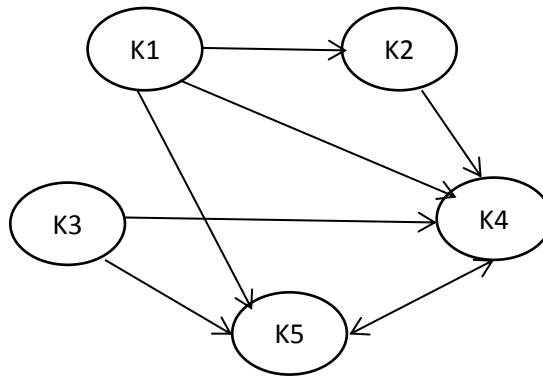
**Tablo 5.** Normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	0	0,3	0	0,3	0,17
K2	0,17	0	0	0,17	0
K3	0	0	0	0,17	0,17
K4	0	0	0,17	0	0,3
K5	0	0	0	0,3	0

**Tablo 6.** Toplam ilişki matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	0,06	0,35	0,09	0,55	0,38
K2	0,18	0,06	0,05	0,29	0,13
K3	0,00	0,00	0,04	0,26	0,26
K4	0,00	0,00	0,20	0,17	0,42
K5	0,00	0,00	0,07	0,39	0,14

Uzman grup tarafından belirlenen eşik değer 0,20'dir. Bu değerden büyük olan her hücre bir ilişkiyi temsil etmektedir. Eşik değer toplam ilişki matrisine uygulandıktan sonra gönderici grubu ve alıcı grubu hesaplamaları yapılmış ve kriterler arasındaki ilişkiyi gösteren yapı Şekil 1'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.



**Şekil 1.** Kriterler arası ilişkiler

Şekil 1'de gösterilen kriterler arası ilişkiler elde edildikten sonra alternatiflerin öncelik değerlerinin belirlenebilmesi için Super Decision 15.0 programından yararlanılarak ANP yöntemi kullanılmıştır. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri birbirleri arasındaki etkiler göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. İkili karşılaştırma matrisleri  $A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$  işleminden geçirilerek her bir aday yerin öncelik değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 7'de gösterilmektedir.

**Tablo 7.** Aday mahallelerin öncelik değerleri

1	Ata Mahallesi 1	0,069
2	Ata Mahallesi 2	0,061
3	Bağcılar Mahallesi	0,044
4	Beytepe Mahallesi 1	0,098
5	Beytepe Mahallesi 2	0,049
6	Beytepe Mahallesi 3	0,101
7	Cevizlidere Mahallesi	0,073
8	Çukurambar Mahallesi	0,105
9	Gökkuşluğu Mahallesi	0,050
10	Huzur Mahallesi	0,073
11	Karapınar Mahallesi	0,050
12	Mustafa Kemal Paşa Mahallesi	0,052
13	Sokullu Mahallesi	0,050
14	Yıldızevler Mahallesi	0,063
15	Yukarı Dikmen Mahallesi	0,061

### 2.3. Modelleme Aşaması

Atık getirme merkezlerinin yer seçiminde sadece ANP'den elde edilen öncelik değerlerine bağlı kalınmamış, elde edilen bu değerler p-medyan probleminin tesislerin yerleşim yerlerinden toplam uzaklığını minimize etme ve p-merkez probleminin yerleşim yerlerinin tesislere maksimum uzaklığını minimize etme amaçları ile ayrı ayrı birleştirilerek ilgili matematiksel modeller kurulmuştur. İki ve üç amaçlı bütünleşik amaç fonksiyonları LP-metrik yaklaşımıyla oluşturulmuştur.

#### 2.3. 1. Model 1

Ele alınan problemin, tesislerin yerleşim yerlerinden toplam uzaklığını minimize eden p-medyan modeli ve kullanılan amaç fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

Amaç Fonksiyonları;

$$Z_1 = \min \sum_{i=1}^{124} \sum_{j=1}^{15} d_{ij} z_{ij} \quad (4)$$

$$Z_2 = \max \sum_{j=1}^{15} v_j * y_j \quad (5)$$

$$Z = \min \left[ w_1 * \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 * \frac{Z_2^* - Z_2}{Z_2^*} \right] \quad (6)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{15} z_{ij} = 1 \quad i=1,2,\dots,124 \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{15} y_j = p \quad (8)$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad i=1,2,\dots,124, j=1,2,\dots,15 \quad (9)$$

$$z_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,124, j=1,2,\dots,15 \quad (10)$$

Karar Değişkenleri;

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ mahallesi } j \text{ mahallesinde açılan} \\ & \text{atık getirme merkezine atanırsa} \\ 0 & \text{diğer durum} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer } j \text{ noktasında bir atık getirme} \\ & \text{merkezi açılırsa} \\ 0 & \text{diğer durum} \end{cases}$$

$d_{ij}$ ,  $i$  noktası ile  $j$  noktası arasındaki en kısa mesafe,  $p$  yerleştirilecek olan tesis (medyan) sayısıdır.

$v_j$ ,  $j$  aday tesis yerinin ANP'den elde edilen öncelik değerleridir.

$w_1$ ,  $w_2$  değerleri ise, karar verici tarafından atanan ağırlık değerlerini ifade etmektedir. Bizim modelimizde bu değerler eşit olarak alınmıştır.

İki amaç fonksiyonu da sırası ile  $Z_1$ ,  $Z_2$  ile temsil edilmektedir. Sırası ile, modelin her bir amaç fonksiyonuyla ayrı ayrı çözümünden elde edilen optimal değerler  $Z_1^*$ ,  $Z_2^*$ 'dir. (4) ile gösterilen amaç fonksiyonu kurulacak tesis ile hizmet bekleyen talep noktaları arasında oluşacak olan maliyeti minimize etmektedir. (5)'deki amaç, seçilen aday yerlerinin ANP'den elde edilen öncelik değerleri toplamını en büyükmektedir. (6) ise, bu iki amacı LP-metric yaklaşımı ile birleştiren amaç fonksiyonudur. (7) kısıtı ile her talep noktasının yalnız bir tesisten hizmet alması sağlanmaktadır. (8) ise kurulacak olan tesis sayısını  $p$  adet ile sınırlı kalmasını sağlamaktadır. (9) kısıtı ile tesis kurulmayan herhangi bir düğüme talep noktası atanmasını engellenmektedir.

### 2.3. 2. Model 2

Ele alınan problemin, yerleşim yerlerinin tesislere maksimum uzaklığını minimize eden p-merkez modeli ve kullanılan amaç fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$Z_1 = \min m \quad (11)$$

$$Z_2 = m \max \sum_{j=1}^{15} v_j * y_j \quad (12)$$

$$Z = m \min \left[ w_1 * \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 * \frac{Z_2 - Z_2^*}{Z_2^*} \right] \quad (13)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{15} c_{ij} * z_{ij} \leq m \quad i=1,2,\dots,124 \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^{15} z_{ij} = 1 \quad i=1,2,\dots,124 \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^{15} y_j = p \quad (16)$$

$$z_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,124, j=1,2,\dots,15 \quad (17)$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad i=1,2,\dots,124, j=1,2,\dots,15 \quad (18)$$

(12), (13)-(15), (16)'daki amaç ve kısıtlar p-medyan problemi ile aynıdır. (11), açılacak tesis ile müşteri arasındaki maksimum uzaklığı minimize eden amaç fonksiyonudur. (14), bir talep noktasıyla en yakınındaki tesis arasındaki maksimum uzaklığın herhangi bir talep noktası ve atandığı tesis arasındaki uzaklıktan büyük olmasını sağlar.

### 2.3.3. Model 3

P-medyan ve p-merkez amaç fonksiyonlarına matematiksel olarak ifade edilemeyen fakat ÇKKV yöntemlerini kullanarak dikkate alınabilen nitel özellikleri de ekleyerek oluşturulan amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir:

$$Z_1 = \min m \quad (19)$$

$$Z_2 = \min \sum_{i=1}^{124} \sum_{j=1}^{15} d_{ij} z_{ij} \quad (20)$$

$$Z_3 = \max \sum_{j=1}^{15} v_j * y_j \quad (21)$$

$$Z = \text{Min} \left[ w_1 * \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 * \frac{Z_2 - Z_2^*}{Z_2^*} + w_3 * \frac{Z_3 - Z_3^*}{Z_3^*} \right] \quad (22)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^{15} z_{ij} = 1 \quad i=1,2,\dots,124 \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^{15} c_{ij} * z_{ij} \leq m \quad i=1,2,\dots,124 \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^{15} y_j = p \quad (25)$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad i=1,2,\dots,124, j=1,2,\dots,15 \quad (26)$$

$$z_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,124, j=1,2,\dots,15 \quad (27)$$

(19)ve (20)'deki amaçlar sırasıyla p-merkez ve p-medyan modellerinin amaç fonksiyonlarıdır. (21)'deki amaç fonksiyonu, seçilen aday yerlerinin ANP'den elde edilen öncelik değerleri toplamını en büyüklemektedir. (23), (25),(26), p-merkez ve p-medyan modellerinin ortak kısıtlarıdır. (24)'deki kısıt ise p-merkez modelinin bir talep noktasıyla en yakınındaki tesis arasındaki maksimum uzaklığın herhangi bir talep noktası ve atandığı tesis arasındaki uzaklıktan büyük olmasını sağlayan kısıttır.

### 3. Bulgular

Problem, kurulacak tesis sayısının 1 ve 2'ye eşit olduğu iki durum için çözülmüştür.

*Senaryo 1:* Açılacak tesis sayısının 1'e eşit olma durumu

P-medyan ve p-merkez amaçlarının tek başına kullanılmasıyla model 1 ve 2'nin GAMS 23.5 paket programında çözümü sonucunda elde edilen optimal değerler sırası ile 1139 km, 58 km'dir. ANP yönteminden elde edilen öncelik değerlerine göre tesis yer seçimi yapıldığında, en yüksek öncelik değerine sahip aday yer seçilecek ve öncelik değeri 0,105 olacaktır. Senaryo 1 için model 1, 2 ve 3'ün çözümlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir.

P-medyan ve ANP öncelik değerlerinden oluşan amaç fonksiyonlarını birleştiren Model 1'in çözümü sonucunda her iki amacı da yüksek oranda sağlayan bir tesis ataması yapılmıştır. P medyan amacı %84, ANP amacı ise %100 oranında sağlanmaktadır.

P-merkez ve ANP öncelik değerlerinden oluşan amaç fonksiyonlarını birleştiren Model 2'nin çözümü sonucunda p-merkez amacının %99, ANP amacının % 100 sağlandığı bir atama yapılmıştır.

P-medyan, p-merkez ve ANP öncelik değerlerinden oluşan amaç fonksiyonlarını birleştiren Model 3'ün çözülmesi sonucu ise p-medyan amacının %84, ANP amacının %100, p-merkez amacının %99 sağlandığı bir sonuç elde edilmiştir. Her 3 model de, ANP yönteminin işaret ettiği gibi, tesisin Çukurambar mahallesine kurulması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Tüm çok amaçlı modellerin ANP yöntemi ile aynı sonuca ulaşmasının nedeni, kriterler dikkate alınarak tesis kurulması için en yüksek önceliğe sahip olduğu tespit edilen mahallenin, p-medyan ve p-merkez amaçları için de iyi sonuçlar vermesidir. Bu ele alınan problem özelinde böyle olmuştur. Farklı bölgeler için atık getirme merkezleri yer seçiminde farklı sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Ayrıca, p-medyan ve p-merkez amaçlarının ağırlıkları arttırılırsa, yine ANP'nin seçtiğinden farklı bir mahalle seçilebilir.

**Tablo 8.** Tek tesisli modellerin amaçlarına göre tesis kurmak üzere seçtiği mahalleler ve amaç fonksiyonlarının ayrı ayrı aldıkları değerler

Amaçlar	Tesisin kurulacağı mahalle	Toplam uzaklığın alabileceği en küçük değer	En dezavantajlı talep noktasının alabileceği en küçük değer	ANP öncelik değerlerinin alabileceği en büyük değer
P-medyan ve ANP öncelik değerleri	8	1352	-	0,105
P-merkez ve ANP öncelik değerleri	8	-	58,7	0,105
P-medyan, p-merkez, ANP öncelik değerleri	8	1352	58,7	0,105

*Senaryo 2:* Açılacak tesis sayısının 2'ye eşit olma durumu

P-medyan ve p-merkez amaçlarının tek başına kullanılmasıyla model 1 ve 2 'nin GAMS 23.5 paket programında çözümü sonucunda elde edilen optimal değerler sırası ile 834 km, 53 km'dir ANP yönteminden elde edilen öncelik değerlerine göre tesis yer seçimi yapıldığında, en yüksek öncelik değerine sahip iki aday yer seçilecek ve toplam öncelik değeri 0,206 olacaktır. Senaryo 2 dikkate alındığında model 1, 2 ve 3'ün çözümlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir.

Model 1'in çözümü sonucunda seçilen mahalleler Bağcılar ve Çukurambar'dır. P-medyan amacının %90, ANP amacının %73 sağlandığı bir tesis ataması yapılmıştır.

Model 2'nin çözümü sonucunda seçilen mahalleler Beytepe 3 ve Çukurambar'dır. P-merkez amacının %91, ANP amacının %100 sağlandığı görülmektedir

Model 3'ün çözümü sonucunda Bağcılar ve Çukurambar mahalleleri tesis kurulmak üzere seçilmiştir. P-medyan amacı %90, p-merkez amacı %91, ANP amacı %74 oranında sağlanmıştır. Modellerin iki tesis kurulması durumunda, tesis kurmak üzere seçtiği mahalleler ve amaç fonksiyonlarının ayrı ayrı aldıkları değerler Tablo 9'da gösterilmektedir.

**Tablo 9.** İki tesisli modellerin amaçlarına göre tesis kurmak üzere seçtiği mahalleler ve amaç fonksiyonlarının ayrı ayrı aldıkları değerler

Amaçlar	Tesisin kurulacağı mahalle	Toplam uzaklığın alabileceği en küçük değer	En dezavantajlı talep noktasının alabileceği en küçük değer	ANP öncelik değerlerinin alabileceği en büyük değer
P-medyan ve ANP öncelik değerleri	3, 8	918 km	-	0,154
P-merkez ve ANP öncelik değerleri	6, 8	-	58km	0,201
P-medyan, p-merkez, ANP öncelik değerleri	3, 8	918km	58km	0,153

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Katı atık sorunu ülkemizde ve dünyada önemli kent ve çevre sorunlarından birini oluşturmaktadır. Katı atıkların kontrol edilememesi durumunda çevre, insan sağlığına ve ekonomiye ilişkin birçok sorun ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle atıkların düzenli ve ekonomik bir biçimde, belli bir yerde toplanması gerekmektedir. Atıkların toplanması için açılması planlanan atık getirme merkezlerinin etkin kullanımını sağlamak tesisin nereye kurulacağına belirlenmesi ile de yakından ilgilidir.

Kurulması amaçlanan atık getirme merkezlerinin yer seçimi için sadece ANP'den elde edilen öncelik değerlerine bağlı kalmamak, geniş bir alana hizmet verecek tesislerin müşterilere uzaklığını da dikkate almak için problemin çözümüne p-medyan, p-merkez gibi tesis yer seçim modelleri de dahil edilmiştir. ANP'den elde edilen sonuçlara göre en önemli kriterler sırasıyla, Sosyo-kültürel yapı, Ulaşım, Çevresel, Sosyal, Topoğrafik kriterleri olarak belirlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere yer seçiminde en önemli unsurlardan biri, eğitim düzeyi, nüfus atık miktarıdır. Bu kriterlere ek olarak mesafenin de etkisini ölçebilmek adına ANP'den elde edilen öncelik değerleri ile söz konusu tesis yer seçim modellerinin amaç fonksiyonları, LP-metrik yaklaşımı ile birleştirilerek atık getirme merkezlerinin kurulacağı yerlere ve tesislerden hizmet alacak mahallelere karar verilmiştir.

Sonuç olarak, üç farklı model kurularak farklı amaç kombinasyonlarına göre tesislerin kurulacağı yerler belirlenmiştir. Tek tesisin kurulması halinde en uygun yer Çukurambar mahallesi seçilmiştir. Atık toplama merkezlerinin kurulacağı yerler seçilirken en önemli kriterlerden biri çevresinde park, bahçe, kütüphane, çay bahçesi, cafe vb. yapıların var olup olmamasıdır. Çünkü bireyler sadece geri dönüştürülebilir atıklarını getirmek için bu mesafeye katlanmayı tercih etmemektedirler. Bu sebeple çevrede insanların atıkları bıraktıktan sonra vakit geçirebilecekleri alanların olması çok önemlidir. Ayrıca çevrede yaşayan insanların sosyo-ekonomik düzeyinin ve eğitim düzeyinin yüksek olması gerekmektedir. Bu kriterler dikkate alındığında Çukurambar mahallesi bu merkezin kurulması açısından oldukça uygundur. İki tesis kurulması halinde ise karar verici, dikkate alacağı amaçlara göre alternatif çözümlerden birini seçebilir. İleriki çalışmalarda, problem, toplama stratejisinin kullanılacağı durum için modellenebilir. Farklı belediyeler içinde aynı çalışma yapılabilir.

#### Teşekkür

Çalışmamı gerçekleştirebilmem için gerekli olan verilere ulaşmamı sağlayan ÇANKAYA Belediyesi'ne ve çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- [1] Wang, B., Ren, C., Dong, X., Zhang, B., & Wang, Z. (2019). Determinants shaping willingness towards on-line recycling behaviour: An empirical study of household e-waste recycling in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 143, 218-225.
- [2] Almazán-Casali, S., Alfaro, J. F., & Sikra, S. (2019). Exploring household willingness to participate in solid waste collection services in Liberia. *Habitat International*, 84, 57-64.

- [3] Eskandari, M., Homaei, M. and Mahmodi, S. (2012). An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. *Waste Management*, 32(8), 1528-1538.
- [4] Khorsandi, H., Faramarzi, A., Aghapour, A. A., & Jafari, S. J. (2019). Landfill site selection via integrating multi-criteria decision techniques with geographic information systems: a case study in Naqadeh, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 191(12), 730.
- [5] Bosompem, C., Stemn, E., & Fei-Baffoe, B. (2016). Multi-criteria GIS-based siting of transfer station for municipal solid waste: The case of Kumasi Metropolitan Area, Ghana. *Waste Management & Research*, 34(10), 1054-1063.
- [6] Srivastava, S.K. (2008). Network design for reverse logistics. *Omega*, 36(4), 535-548.
- [7] Kaçtıoğlu, S. and Şengül, Ü. (2010). Erzurum kenti ambalaj atıklarının geri dönüşümü için tersine lojistik ağı tasarımı ve bir karma tamsayılı programlama modeli. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1), 28-36.
- [8] Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K., & Jutidamrongphan, W. (2019). Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 220-235.
- [9] Özkan, B., Özceylan, E., & Sariçiçek, İ. (2019). GIS-based MCDM modeling for landfill site suitability analysis: A comprehensive review of the literature. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.
- [10] Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., Laue, J., & Chabuk, A. (2019). Landfill site selection using MCDM methods and GIS in the sulaimaniyah governorate, Iraq. *Sustainability*, 11(17), 4530.
- [11] Lin, H.-Y., Kao, J.-J. (2008). Subregion districting analysis for municipal solid waste collection privatization, *Journal of the Air and Waste Management Association* 58(1), pp. 104-111.
- [12] Khadivi, M.R. and Fatemi Ghomi, S.M.T. (2012). Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches. *Waste Management*, 32(6), 1258-1265.
- [13] Aragonés-Beltrán, P., Pastor-Ferrando, J.P., García-García, F. and Pascual-Agulló, A. (2010). An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). *Journal of Environmental Management*, 91(5), 1071-1086.
- [14] Tuzkaya, G., Önüt, S., Tuzkaya, U.R. and Gülsün, B. (2008). An analytic network process approach for locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 970-983.
- [15] Pires, A., Chang, N.-B., Martinho, G. (2011). An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling* 56(1), pp. 7-21.
- [16] Beskese, A., Demir, H.H., Ozcan, H.K., Okten, H.E. (2015). Landfill site selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS: a case study for Istanbul. *Environmental Earth Sciences* 73(7), pp. 3513-3521.
- [17] de Figueiredo, J. N., & Mayerle, S. F. (2008). Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(5), 731-752.
- [18] Sidique, S.F., Lupi, F. and Joshi, S.V. (2013). Estimating the demand for drop-off recycling sites: A random utility travel cost approach. *Journal of environmental management*, 127, 339-346.
- [19] Jayaraman, V., Patterson, R.A. and Rolland, E. (2003). The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures. *European journal of operational research*, 150(1), 128-149.



- [20] Srinivasan, S.P., Malliga, P. (2013). An optimal jatropha seed warehouse location decision using myopic and exchange heuristics of P Median. Proceedings of 2012 3rd International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation, IEMI 2012 pp. 439-449.
- [21] Sayyady, F., Tutunchi, G.K.and Fathi, Y. (2015). P-Median and p-dispersion problems: A bi-criteria analysis. Computers and Operations Research, 61, 46-55.
- [22] Gomes, M.I., Barbosa-Povoa, A.P.and Novais, A.Q. (2011). Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal. Waste management, 31(7), 1645-1660.
- [23] Alshamsi, A.and Diabat, A. (2015). A reverse logistics network design. Journal of Manufacturing Systems, 37, 589-598.
- [24] Plewa, M., Giel, R., & Młyńczak, M. (2015, June). Logistic support model for the sorting process of selectively collected municipal waste. In International Conference on Dependability and Complex Systems (pp. 369-380). Springer, Cham.
- [25] Habibi, F., Asadi, E., Sadjadi, S. J., & Barzinpour, F. (2017). A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study in Tehran. Journal of cleaner production, 166, 816-834.
- [26] Panei, R., Petrucciani, G., Bonanni, D., & Trovalusci, P. (2018). ECOSITING: A Sit Platform for Planning the Integrated Cycle of Urban Waste. In International Symposium on New Metropolitan Perspectives (pp. 585-592). Springer, Cham.
- [27] Reddy, K. N., Kumar, A., & Ballantyne, E. E. (2019). A three-phase heuristic approach for reverse logistics network design incorporating carbon footprint. International Journal of Production Research, 57(19), 6090-6114.
- [28] Çakir, E., & Ulukan, H. Z. (2019). A Fuzzy Logic Programming Environment for Recycling Facility Selection.
- [29] Saphores, J.D.M., Nixon, H., Ogunseitan, O.A.and Shapiro, A.A. (2006). Household willingness to recycle electronic waste: An application to California. Environment and Behavior, 38(2), 183-208.
- [30] Snyder, K.C., Kristel, O., Dhmmamarungruang, B.and Sang, S. (2004). Drop-off recycling understanding participation and determining an empirically based access credit model: Report to the Ohio Environmental Protection Agency.America, 3-20.
- [31] Owens, J., Dickerson, S.and Macintosh, D.L. (2000). Demographic covariates of residential recycling efficiency. Environment and behavior, 32(5), 637-650
- [32] Aksakal, E.and Dağdeviren, M. (2010). ANP VE DEMATEL YÖNTEMLERİ İLE PERSONEL SEÇİMİ PROBLEMİNE BÜTÜNLEŞİK BİR YAKLAŞIM. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(4).
- [33] Gamba, R.J.and Oskamp, S. (1994). Factors influencing community residents' participation in commingled curbside recycling programs. Environment and behavior, 26(5), 587-612.
- [34] Werner, C.M.and Makela, E. (1998). Motivations and behaviors that support recycling. Journal of environmental psychology, 18(4), 373-386.

## Aerobik Membran Biyoreaktörde Sülfür Oksidasyonunun ve Filtrasyon Performansının İncelenmesi

Zeynep Tayran<sup>1</sup>, Adem Yurtsever<sup>2</sup>, Senem Teksoy Başaran<sup>3</sup>, Erkan Şahinkaya<sup>4\*</sup>

<sup>\*1</sup> İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTANBUL

<sup>2</sup> Hasan Kalyoncu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, GAZİANTEP

<sup>3,4</sup> İstanbul Medeniyet Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Biyomühendislik Bölümü, İSTANBUL

(Alınış / Received: 26.12.2019, Kabul / Accepted: 09.01.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

Aerobik Membran  
Biyoreaktör  
Sülfür oksidasyonu  
Kirlenici karakterizasyonu

**Öz:** Bu çalışmada laboratuvar ölçekli bir aerobik membran biyoreaktörde (MBR) sülfür oksidasyon verimi ve filtrasyon performansı incelenmiştir. Bunun için sentetik asidik maden sızıntı suyu arıtımı amaçlı işletilen sülfat indirgeyen anaerobik MBR (SanMBR) çıkış suları sülfür oksitleyen MBR'ye (SoxMBR) beslenerek, yüksek filtrasyon akı değerlerinde (8-30 L/m<sup>2</sup>.saat) sülfür oksidasyon ve organik madde giderim veriminin tespit edilmesinin yanı sıra, membran tıkanma durumunun takibi, reaktör içinde ve membran yüzeyinde organik ve inorganik kirlenicilerin tayini ve çamurun özellikleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. SoxMBR ile süzültüde sülfür konsantrasyonu 1 mg/L'nin altında olacak şekilde oldukça yüksek sülfür oksidasyon ve organik madde giderim verimleri elde edilmiş, yüksek akılarda işletim sırasında dahi sınırlı sayıda kimyasal yıkama ihtiyacı görülmüştür.

## Investigation of Sulfide Oxidation and Filtration Performance of an Aerobik Membrane Bioreactor

### Keywords

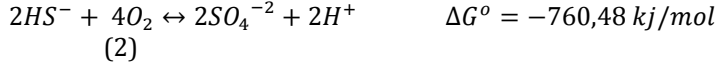
Aerobic Membrane  
Bioreactor  
Sulfide oxidation  
Foulant characterization

**Abstract:** This study investigated sulfide oxidation efficiency and filtration performance of a laboratory scale aerobic membrane bioreactor (MBR). For this purpose, effluent of an anaerobic MBR (SanMBR) that treated synthetic acidic mine drainage was fed to the sulfide oxidizing MBR (SoxMBR) and the system was operated at high filtration flux values (8-30 L/m<sup>2</sup>.s) while sulfide oxidation and organic matter removal efficiencies were determined and evaluations were made based on characterization of organic and inorganic membrane foulants and sludge properties. High sulfide oxidation and organic matter removal efficiencies were achieved in SoxMBR that was operated at high filtration flux values with limited number of chemical cleaning requirements.

### 1. Giriş

Kağıt hamuru ve kağıt üretimi, petrokimya tesisleri, madencilik aktiviteleri sırasında oluşan asidik sızıntı suları gibi birçok endüstriyel kaynaklı atıksularda yüksek konsantrasyonlarda sülfat bulunabilmektedir [1]. Anaerobik koşullar altında ve organik madde varlığında atıksulardaki bu sülfat sülfüre dönüşmektedir. Kötü kokulu, toksik ve korozif olması nedeniyle, sülfürün bu atıksulardan giderilmesi gerekmektedir. Atıksulardan sülfür giderimi için fizikokimyasal ve biyolojik prosesler kullanılmakla birlikte daha ekonomik ve etkili olması nedeniyle biyolojik yöntemlerin kullanımı daha umut verici bir proses olarak göze çarpmaktadır [2].

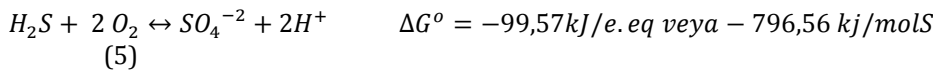
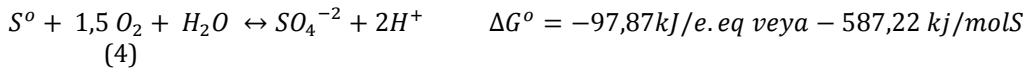
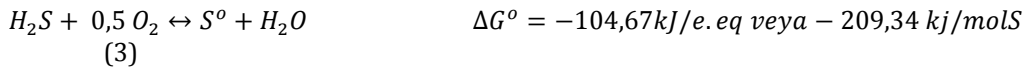
Biyolojik oksidasyon çalışmalarında sülfür, ortamda var olan oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak elementel kükürt ( $S^0$ ) ya da sülfata okside olmaktadır (Reaksiyon 1-2). Yapılan çalışmalar, sınırlı miktarlarda oksijen sağlanması durumunda (ÇO: <0,1 mg/L) atıksudaki sülfürün elementel kükürde, yüksek miktarda oksijen verilmesi durumunda ise sülfata okside olduğunu göstermiştir [3].



Son yirmi yılda, arıtımı zor atıksuların deşarj kriterlerini karşılayacak mertebede arıtılabilmesini sağlayan ve geri kullanım olanakları oluşturan membran biyoreaktörler (MBR) üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Aktif çamur prosesi ile membran prosesinin bir birleşimi olan MBR'ler, sistemde kullanılan membran sayesinde mikroorganizmaların tamamen sistem içerisinde kalmasını sağlamasından dolayı önemli bir avantajlara sahiptir [4]. Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında aerobik MBR prosesleri oldukça sık bir şekilde kullanılmakla birlikte, membran fiyatlarının halen yüksek olması ve membranların sık sık kirlenerek fiziksel ve kimyasal yıkamaya ihtiyaç duymaları, özellikle UF membranlarda akının çok düşük olması MBR'lerin yaygın kullanımını sınırlayan en önemli etkenlerdir [5]. Bu nedenlerle de özellikle membran tıkanmalarına yönelik olarak oldukça fazla sayıda araştırma yapılmaktadır. Ancak sülfür oksidasyonu yapan aerobik bir MBR işletimine dair herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Sülfür içeren atıksular; sülfat içeren atıksuların sülfüdojenik arıtmaları sırasında oluşabileceği gibi, petrokimya endüstrilerinde, viskoz naylon üretiminde, kömürün gazifikasyonu gibi proseslerde üretilebilir. Örnek olarak asidik maden sızıntı sularının (AMS) arıtımı sırasında, ilave edilen organik madde ile sülfat indirgenme gerçekleşir ve sülfür üretilir. Üretilen sülfür ile metaller çöktürülerek ortamdan uzaklaştırılır [6]. Fakat ortamdaki fazla sülfürün giderilmesi gerekmektedir. AMS arıtımı gerçekleştirilen reaktörlerde sülfür konsantrasyonu kısmen yüksek tutularak ani metal yüklemelerine karşı bir tampon etkisi oluşturulur. Şartlara bağlı olarak bu reaktörlerde sülfür konsantrasyonları 600-800 mg/L seviyelerine kadar çıkabilir [7]. Dolayısıyla uygun arıtma yöntemleriyle sülfürün giderilmesi gerekmektedir [8].

Bu kapsamda en uygun biyoteknolojik yaklaşımlardan biri sülfür-oksitleyen bakterilerin (SOB) kullanımınıdır. Bu bakterilerin basit nütrient ihtiyaçları olup, indirgenmiş sülfürü elektron verici, oksijeni de elektron alıcı olarak kullanarak ototrofik bir şekilde büyümektedir. Reaksiyon neticesinde oluşacak kükürtlü ürünün akıbeti ise, sülfür ve oksijen konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Aşağıda farklı ara ürün oluşumları için reaksiyonlar özetlenmiştir [8].



Yukarıdaki denklemlerden de görüldüğü gibi sülfürün sülfata oksidasyonu, oksitlenen mol S başına daha fazla enerji üretmekte olup, sülfürün limitli olduğu koşullarda sülfat üretilecektir. Bununla birlikte  $S^0$  üretimi daha fazla istenebilir, çünkü  $S^0$  üretimi 4 kat daha az oksijene ihtiyaç duymaktadır. Bu kapsamda oksijen konsantrasyonunun düşürülmesi elementel kükürt üretimini tetikleyecektir. Örnek olarak, Lohwacharin ve Annachatre [3] oksijen sınırlı koşullarda (0,2-1 mg/L) hava-kaldırılmalı bir reaktörde sülfür oksidasyonunu çalışmıştır. Yaklaşık olarak oksitlenen sülfürün %90'ı kükürte gitmiştir. Krishnakumar vd. [9] Thiobacillus denitrificans ile sülfür oksidasyonunu ters akışkan yataklı reaktörde araştırmış olup, reaktör 250 mg/L sülfür ile beslenmiştir. Yükleme hızının 11 kg sülfür/(m<sup>3</sup>.gün) olması durumunda pH kontrollü ortamda oksitlenen sülfürün %95'i elementel kükürt olarak geri kazanılmıştır.

Celis-García vd. [10] tarafından yapılan bir çalışmada ise biyolojik sülfat indirgenmesi ve sülfür oksitlenmesi eş zamanlı olarak çalışılmıştır. Reaktöre oksijen vererek oksijen konsantrasyonu 0,12 mg/L seviyesinde tutulmuştur. Bu durumda %50 elementel kükürt üretimi gözlenmiştir.

Sahinkaya vd. [8] tarafından yapılan çalışmada ise oldukça yenilikçi bir membran biyofilm reaktör kullanılmıştır. Oksijen kontrollü olarak bir hidrofobik membrandan kabarcık üretmeden verilmiş ve membran etrafına tutunan biyofilm ile sülfür oksidasyonu gerçekleştirilmiştir. Şartlara bağlı olarak sülfür oksidasyon performansı %37-99 arasında değişmiş olup, sülfürün elementel kükürte oksidasyon performansı ise %64-89 arasında olmuştur. Sülfürün elementel kükürte oksidasyon performansı; sülfür yükleme hızına, oksijen akısına ve HRT'ye bağlı olarak değişmiştir.

Başka bir çalışmada ise Tang vd. [11] tarafından sülfür, KOİ ve nitrat giderimi için biyofilm reaktörlerde ototrofik ve heterotrofik prosesleri incelemiştir. Bu amaç için bir petrol rezervuarından elde edilen kültür kullanılarak üç farklı biyoreaktörde sülfür ve nitrat yükleme hızlarının ve oranlarının sülfür, nitrat ve asetat giderimine etkileri incelenmiştir. Biyofilm kullanılması durumunda süspanse haldeki bakterilere kıyasla performansın önemli derecede arttığını vurgulamışlardır. Ototrofik koşullar altında maksimum sülfür ve nitrat giderim hızları, sırasıyla, 30 ve 24,4 mM/saat olarak belirlenmiştir. Asetat ve sülfür varlığında bakterilerin ilk olarak sülfürü tercih ettikleri ve ancak yeterli nitrat sağlanırsa sülfür oksidasyonu tamamlandıktan sonra asetat oksidasyonu gerçekleştirilebilmiştir. Dolayısıyla, nitrat/sülfür molar oranının 0,7 veya daha yüksek olması durumunda ancak asetat oksidasyonu gerçekleşmiştir. Sülfürün sülfata oksidasyonu nitrat/sülfür molar oranının 0,34'ten 3,98'e artmasıyla %0'dan %66'ya artmıştır. Gözlenen en yüksek nitrat ve asetat giderim hızlarıysa bekleme süresinin 0,8 saat olması durumunda heterotrofik koşullar altında 183,4 ve 88 mM/saat olarak belirlenmiştir.

Yukarıda görüldüğü gibi farklı reaktör tipleriyle sülfür oksidasyonu aerobik şartlarda araştırılmıştır. Bununla birlikte, anaerobik asidik maden sızıntı suyu arıtma prosesleri çıkışında kalan sülfürün giderilmesi için aerobik membran biyoreaktör kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle anaerobik reaktör çıkışında arsenik bulunması durumunda sistem performansının ve membran tıkanma özelliklerinin incelenmesine yönelik bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu kapsamda, bu çalışmanın amacı, AMS'nin sülfat indirgeyen bakteriler tarafından biyolojik olarak anaerobik MBR'de arıtılması sırasında oluşan yüksek konsantrasyonlarda sülfür içeren süzüntü suyunun aerobik MBR'de arıtılması, sülfür oksidasyon veriminin ve membran filtrasyon performansının incelenmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Sülfür Oksitleyen Aerobik Membran Biyoreaktör (SoxMBR) Sistemi

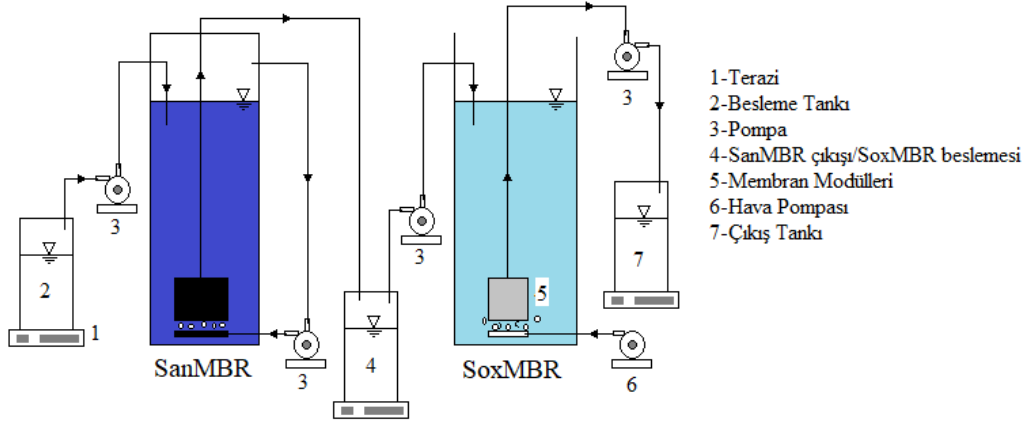
Çalışmada laboratuvar ölçekli bir sülfür oksitleyen aerobik membran biyoreaktör (Sox-MBR) kurularak işletilmiştir (Şekil 1). SoxMBR, toplam 4,26 L hacme ve 2,5 L aktif hacme sahiptir. Membran biyoreaktörde, modül başına toplam aktif alanı 0,01 (işletmenin ilk 68 günü) veya 0,0072 m<sup>2</sup> olan pleksiglas modül üzerine sabitlenmiş, 0,02 µm gözenek çaplı düz tabaka polyethersülfon (PES) ultrafiltrasyon membran kullanılmıştır. Çalışmanın son periyodunda (171-180 günler), iki taraflı membranın bir yüzeyi kapatılarak toplam aktif alan 0,0036 m<sup>2</sup>'ye düşürülerek HRT değiştirilmeden akının değiştirilmesi sağlanmıştır.

SoxMBR'ye sabitlenmiş problemler ile pH ve çözünmüş oksijen (ÇO) değerleri izlenmiştir. Reaktöre tabanından difüzör ile hava verilmesi sonucu reaktör içindeki ÇO konsantrasyonu 2-5 mg/L arasında (ortalama 3 mg/L) tutulmuş, reaktörde tam karışım sağlanmış, ayrıca spesifik havalandırma ihtiyacı (SAD<sub>m</sub>) 12-15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-membran/saat değerinde tutularak hava kabarcıkları ile membranın fiziksel olarak sürekli temizlenmesi ve kek tabakasının sıyrılması sağlanmıştır.

SoxMBR İstanbul Ataköy Atıksu Arıtma Tesis'i'nden alınan aerobik aktif çamur ile başlangıç AKM konsantrasyonu yaklaşık 8,4 g/L olacak şekilde devreye alınmıştır.

Reaktör, peristaltik pompa vasıtasıyla süzüntü hattında vakum oluşturularak sabit akı elde edilecek şekilde işletilmiştir. Vakum hattında bulunan basınç sensörü ile membran tıkanması izlenmiştir. Basınç artışı minimize etmek üzere vakum pompası zaman rölesi yardımıyla sistem 5 dakika filtrasyon, 1 dakika rahatlatma döngüsünde işletilmiştir. Reaktör sıcaklık kontrollü bir odada 35±2 °C'de işletilmiştir.

Reaktör içerisindeki pH, ÇO ve basınç değişimleri otomatik olarak bilgisayar aracılığıyla izlenmiş olup, anlık olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 2. Sülfür oksitleyen MBR (SoxMBR) sistemi

## 2.2. SoxMBR İşletim Koşulları

SoxMBR, sentetik asidik maden sızıntı suyu ile beslenen sülfat indirgeyen anaerobik MBR (SanMBR) çıkışı suyu ile beslenmiştir. Dolayısıyla giriş atıksu kompozisyonu SanMBR işletme koşullarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Başlangıç aşamasında, reaktörde sülfür oksidasyonunu sağlayacak mikroorganizmaların zenginleştirilmesi amacıyla, metalsiz beslenen SanMBR çıkış suyuyla beslenmiş, reaktörün stabil işletimi sağlandıktan sonra test sürecine geçilmiştir (veri gösterilmemiştir). SoxMBR, toplam 180 gün işletilmiş olup, farklı akı, çamur yaşı (SRT), SADm değerlerinde işletmenin SoxMBR performansına etkileri gözlenmiştir. Çalışma süresince test edilen işletme koşulları Tablo 1'de özetlenmiştir.

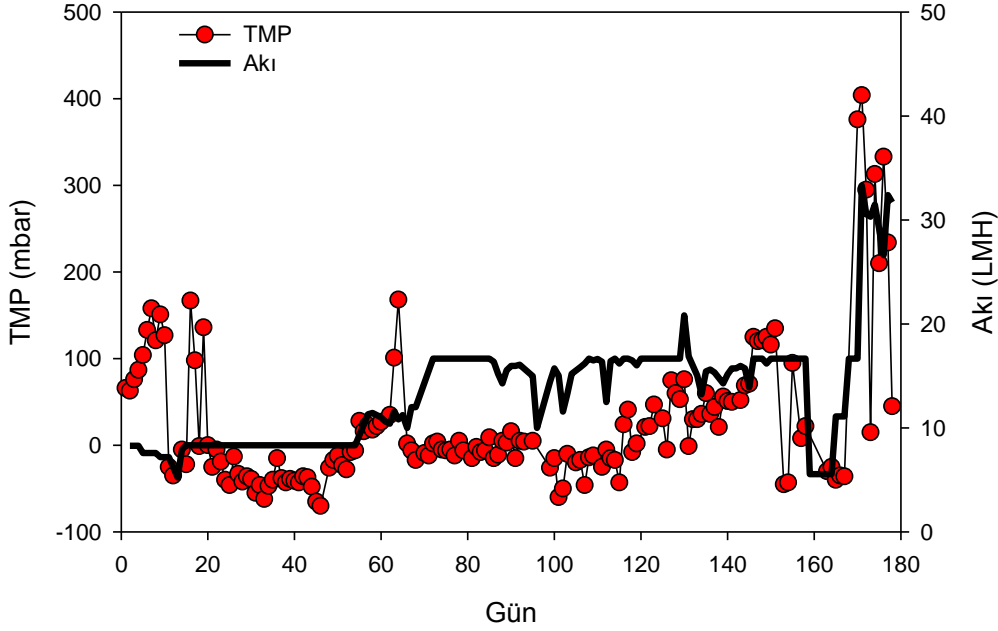
Tablo 1. SoxMBR işletme koşulları

Günler	1-55	56-170	171-180
HRT (Gün)	1,3±0,1	1±0,3	1±0,1
Akı (L/m <sup>2</sup> .saat)	8,1±0,5	15±3,0	31±2,0
SRT (gün)	∞	∞	60
SADm (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	12	13	15
KOİ giriş (mg/L)	119± 81	202± 183	98±82
Sülfür giriş (mg/L)	354±132	395± 100	580± 206
Sülfat giriş (mg/L)	532±198	389±272	313±194
Metal giriş (mg/L)	Fe: 0,24±0,010; Cu: 0,32±0,004; Zn: 0,28±0,010; Co: 0,001±0,001; Mn: 0,41±0,320; As: 0,70±0,240		

SoxMBR; SanMBR'ın çıkış suyuyla beslenmekte olduğu için nispeten düşük giriş KOİ konsantrasyonlarında (100-200 mgKOİ/L), buna mukabil yaklaşık 600 mg/L'ye varan, genel olarak 300-530 mg/L arasında seyreden yüksek sülfür (HS<sup>-</sup>) konsantrasyonlarında beslenmiştir. Böylelikle hem ototrofik hem de heterotrofik türlerin gelişmesine sebep olacak bir ortam oluşturmuştur. SanMBR'de genel olarak oldukça yüksek metal giderim verimleri elde edildiğinden SoxMBR girişinde arsenik ve mangan dışında metal konsantrasyonları oldukça düşüktür. Çalışmanın ilk 170 günü boyunca reaktör sonsuz SRT'de beslenmiş olup, sonrasında SRT değeri 60 güne düşürülmüştür.

SoxMBR işletimi boyunca reaktöre 1 - 1,5 L/dak. arasında değişen debide hava verilerek, hesaplanan teorik ihtiyaç olan 1,38 L/dak. değeri ile uyumlu bir işletme koşulu elde edilmiştir. Çalışma süresince SoxMBR'de çözülmüş oksijen (ÇO) 4,7±1,5 mg/L ve pH 8,1±0,2 aralığında seyretmiştir.

Çalışmada, ilk 55 gün  $8,1 \pm 0,5$  LMH, sonraki 114 gün  $15 \pm 3,0$  LMH ve işletmede 170. Günden sonra ise  $31 \pm 2,0$  LMH olan akı değerleri test edilmiştir. İşletme süresince uygulanan akı değerleri ile reaktörde gözlenen TMP değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. SoxMBR işletimine ait akı ve TMP profili

SoxMBR'nin işletimi sırasında, tıkanma kontrolü için, reaktöre sürekli olarak verilen hava ile kek tabakası sıyrılmaya ve kek tabakası oluşumu önlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, membran tıkanma durumu, vakum hattında bulunan basınç sensöründen elde edilen değerler üzerinden takip edilmiş, basıncın 350-400 mbar seviyelerine çıkması halinde fiziksel ve/veya kimyasal temizleme işlemi uygulanmıştır. Her durumda, önce fiziksel olarak sünger yardımıyla kek tabakasının sıyrılması işlemi uygulanmış, ardından çeşme suyu altında kalan kirlilik temizlenmiştir. Gerekli görüldüğünde bu işlemin sonrasında membran, gözeneklerdeki organik ve inorganik madde birikimine bağlı tıkanmanın giderilmesi amacıyla, ardışık olarak bazik (%0,1 NaOCl) ve asidik (pH=2 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) çözeltilere daldırılarak 1'er saat bekletilmiştir. Son olarak çeşme suyu ile durulanarak tekrar tekrar kullanılmıştır.

### 2.3. Filtrasyon özellikleri ve kirlenici karakterizasyonu

Sülfat oksitleyen aerobik çamurun filtrasyon özellikleri, viskozite, kapiler emme süresi (KES), spesifik filtrasyon direnci (SFD) ve süpernatant filtrelenebilirliği (SF) analizleri ile değerlendirilmiştir [12].

Çamur örneklerinin viskozitesi, viskozimetre (Brookfield, LVDV-E) ile ölçülen kayma hızı ve kayma gerilimi arasındaki bağıntıdan Bingham plastik modeli kullanılarak hesaplanmıştır [13]. KES ölçümleri KES (Triton Electronics Ltd., 304 M) aleti kullanılarak yapılmış, askıda katı madde (AKM) konsantrasyon değerlerine bölünerek normalize edilmiştir. SFD analizinde, Dereli vd. [12] çalışmasına göre, reaktör içinden alınan çamur numunesi 0,5-0,6 bar basınç altında karıştırma uygulanmaksızın 0,45 µm membran kullanılarak 30 dk filtre edilmiş ve zaman/süzüntü hacmi (t/V) ile süzüntü hacmi (V) grafiği çizilmiştir. Grafikte elde edilen eğim kullanılarak SFD değeri hesaplanmıştır. SF ise Dereli vd. [12] çalışmasından adapte edilerek, çamur numunelerinin 10 dak 4000 g'de santrifüjlenmesinden sonra, üst fazın kesikli filtrasyon sisteminde sabit basınç (0.5 – 0.6 bar) ve karıştırma uygulanarak 0.45 µm gözenek çaplı polietersülfon (PES) mikrofiltrasyon filtreleden geçirilmesi ile ilk 5 dak verisi hariç tutularak elde edilen ortalama süzüntü debisi (mL/min) olarak belirlenmiştir.

Filtrasyon dirençleri, TMP ile birlikte akı ve süzüntü suyun viskozitesi kullanılarak, aşağıdaki denklem yardımıyla direnç hesaplanmıştır [14,15].

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

$J \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{s})$  cinsinden akı değerini, TMP Pa olarak membran basıncını,  $\mu$  ise Pa.s olarak viskoziteyi ve R ise  $1/\text{m}$  cinsinden direnci göstermektedir. Toplam direnç, membran direnci ( $R_m$ ), kek direnci ( $R_c$ ) ve Por tıkanma direnci ( $R_f$ ) değerlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır.

Organik kirleticilerin karakterizasyonu için Şahinkaya vd. [16] çalışmasında tarif edilen yöntemler kullanılarak, Jel Permeasyon Kromatografisi (GPC) (Agilent 1260 Infinity) ve Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrofotometre-Zayıflatılmış Toplam Yansıma (FTIR-ATR) analizleri yapılmıştır. Süpernatant, süzüntü ve kek/jel tabakasından alınan numunelerde çözünmüş organik makromoleküllerin ortalama molekül ağırlıkları GPC ile analiz edilmiştir.

İnorganik membran kirleticilerinin belirlenmesi için Taramalı Elektron Mikroskopu Enerji Dağılımı X-ışını Spektroskopisi (SEM-EDS) (Philips-XL30SFEG) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrofotometrisi (ICP-OES) (Perkin Elmer Optima 7000) analizleri yapılmıştır. Tıkanmış membranın yüzey morfolojisi doğrudan SEM görüntüsü ile gözlenirken, yüzeydeki inorganik kirleticilerin yarı-kantatif analizi için SEM ile birlikte EDS kullanılmıştır. Kek tabakasındaki inorganik bileşenler ayrıca İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrofotometrisi (ICP-OES) ile belirlenmiştir. Bunun için membran üzerinde biriken kek tabakası plastik spatül ile sıyrılarak, asit çözeltisi (2,000 mg/L sitrik asit) içinde 1 saat ultrasonik banyoda ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Elde edilen ekstratta Fe, Cu, Co, Mn, Zn, Ni, As, Ca, Mg ve Si analizleri yapılmıştır.

## 2.4. Analizler

Sülfat, sülfür ( $\text{HS}^-$ ) ve  $\text{KOİ}$  (metot No: 5220-A) ölçümlerinden önce numuneler  $0,45 \mu\text{m}$  gözenek çaplı selüloz asetat şırınga filtreden süzülümüş ve standart yöntemlere göre ölçülmüştür [17]. Sülfat ölçümü için, baryum klorürlü türbidimetrik yöntem kullanılmıştır (Metot no: 4500-E) [17]. Askıda Katı Madde (AKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) ve alkalinite konsantrasyonları (Metot No: 2320-B) standart yöntemlere göre ölçülmüştür [17].

Çözünmüş Mikrobiyal Ürün (SMP) ve Extraselüler Polimerik Madde (EPS) konsantrasyonları, ölçülen protein ve karbonhidrat fraksiyonlarının toplamı olarak ifade edilmiştir. SMP analizi için, alınan numune 10 dak. 4.000 rpm'de santrifüjlenmiş, üst fazı  $0,45 \mu\text{m}$  gözenek çaplı filtreden süzülümüşür. Süzüntüde yapılan protein ve karbonhidrat analizi ile toplam SMP hesaplanmıştır. Karbonhidrat ve protein tayini için sırasıyla Fenol-sülfürik asit [18] ve Lowry [19] yöntemleri kullanılmıştır. EPS analizi için ise, santifüj sonrası kalan tortu iki kere yıkanarak, tuzlu çözeltide (0,5% NaCl) resüspanse edilmiştir. Elde edilen süspansiyon ısıl işlemde (1 saat boyunca  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) geçirilerek yeniden santrifüjlenmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. SoxMBR performansı

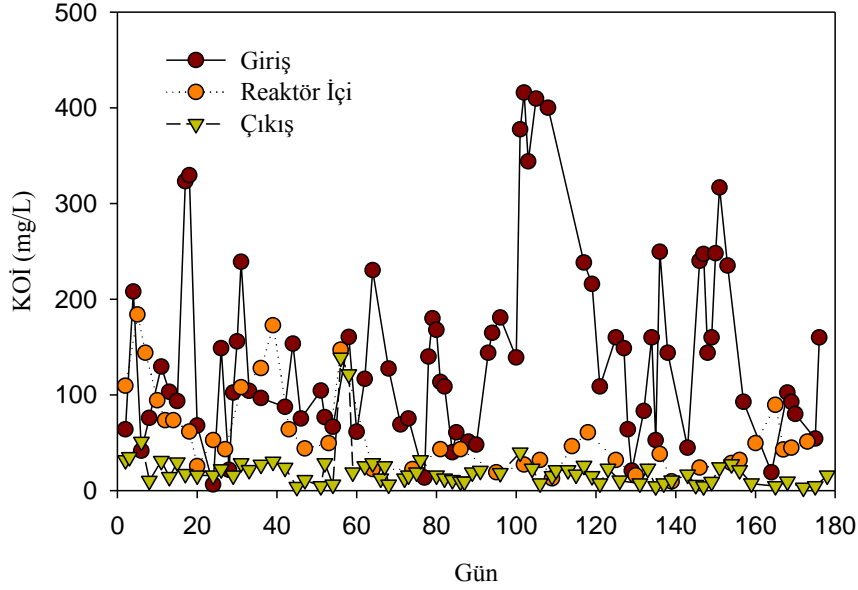
SoxMBR'ye beslenen SanMBR çıkış suları, işletme koşullarına bağlı olarak değişim göstermekle birlikte, reaktörde elde edilen yüksek organik madde oksidasyon verimi (ort. %90) nedeniyle oldukça düşük  $\text{KOİ}$  konsantrasyonlarına sahip ve ağırlıklı olarak SMP ve uçucu yağ asitlerinden oluşan sular olmuştur.

SoxMBR'de de %98'lere varan ve ortalama %86 olan yüksek  $\text{KOİ}$  giderim verimleri gözlenmiştir. SoxMBR giriş, reaktör içi ve süzüntü ortalama  $\text{KOİ}$  konsantrasyonları sırasıyla,  $144 \pm 98 \text{ mg/L}$ ,  $61 \pm 45 \text{ mg/L}$  ve  $21 \pm 21 \text{ mg/L}$  olarak ölçülmüştür. SoxMBR'de izlenen  $\text{KOİ}$  profilleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

Anaerobik biyoreaktör çıkışında bulunan SMP'lerin aerobik ortamda artırılabilirliği daha önce çalışılmış olup, artırılabilirliklerinin molekül boyutuna bağlı olduğu, 1 kDa'dan küçük olmaları halinde artırılabilirliğin zayıf (< %17) olması ile birlikte, ortalama %89'unun aerobik arıtım ile giderilebileceği ortaya konmuştur [20].

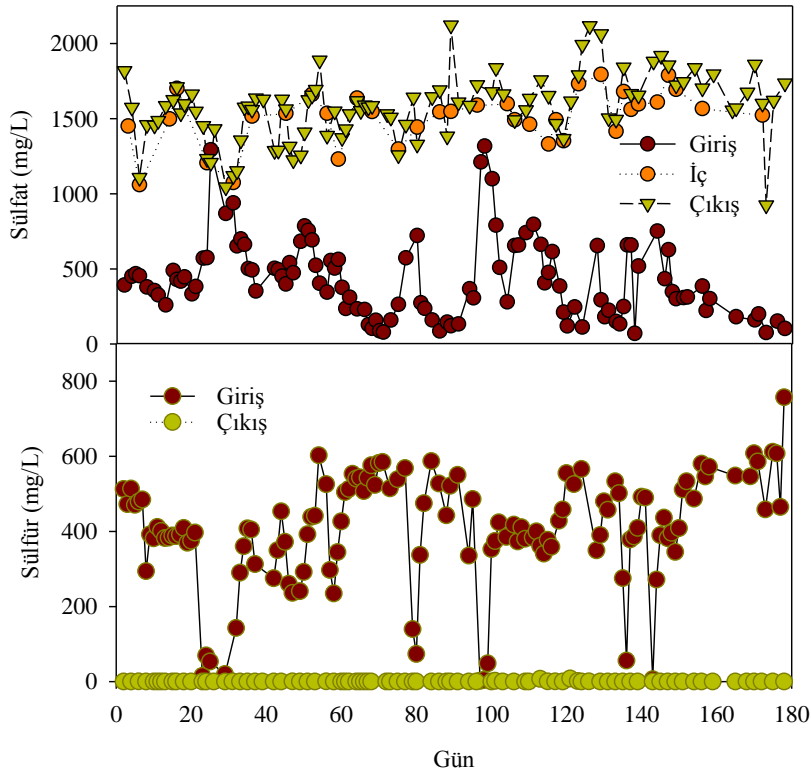
Buna ilaveten, önemli miktarda organik maddenin membran ve kek tabakası tarafından da tutulması söz konusudur. Membran üzerinde gelişen kek ve jel tabakası, aynı anda hem SMP'leri biyolojik olarak gidermekte hem de etkin gözenek çapının düşmesi nedeniyle reaktör içinde tutulumlarını artırmaktadır [21–23]. Hocaoğlu ve Orhon [24] tarafından yapılan bir çalışmada MBR'de kullanılan membranın gözenek çapı 400 nm iken, membran üzerinde gelişen kek ve jel tabakası nedeniyle  $\text{KOİ}$  giderimi için membranın etkin gözenek çapı 4-8 nm ve karbonhidrat giderimi için etkin gözenek çapı ise 14 nm olarak

belirlenmiştir. Ayrıca, membran tarafından çözülmüş organiklerin yaklaşık yarısının reaktör içerisinde tutulabildiği ve reaktörde daha uzun süre geçmeleri nedeniyle yavaş parçalanmış çözülmüş organiklerin artılabilirliklerinin arttığı ortaya konmuştur.



Şekil 3. SoxMBR Giriş, Reaktör İçi ve Süzüntü KOİ konsantrasyon profilleri

Literatürde de gösterildiği üzere, SoxMBR'de, ortalama %66 oranında membran ve kek tabakası etkin olmak üzere, oldukça yüksek KOİ giderimi elde edilmiştir. SoxMBR'de test edilen işletme koşullarında, girişteki 612 mg/L'ye varan ve yaklaşık 415 mg/L ortalama değerinde seyreden yüksek sülfür (HS<sup>-</sup>) konsantrasyonlarına rağmen, çıkışta sülfür konsantrasyonu 1 mg/L'nin altında ölçülerek, sülfürün tam oksidasyonu başarıyla gerçekleştirilmiştir. Reaktöre giren sülfürün tamamının giderildiği kabul edilerek, Reaksiyon 2'ye göre çıkışta beklenen sülfat konsantrasyonları hesaplanarak ölçülen değerler ile kıyaslandığında, aralarındaki oranın  $1,06 \pm 0,2$  olduğu görülmüştür.

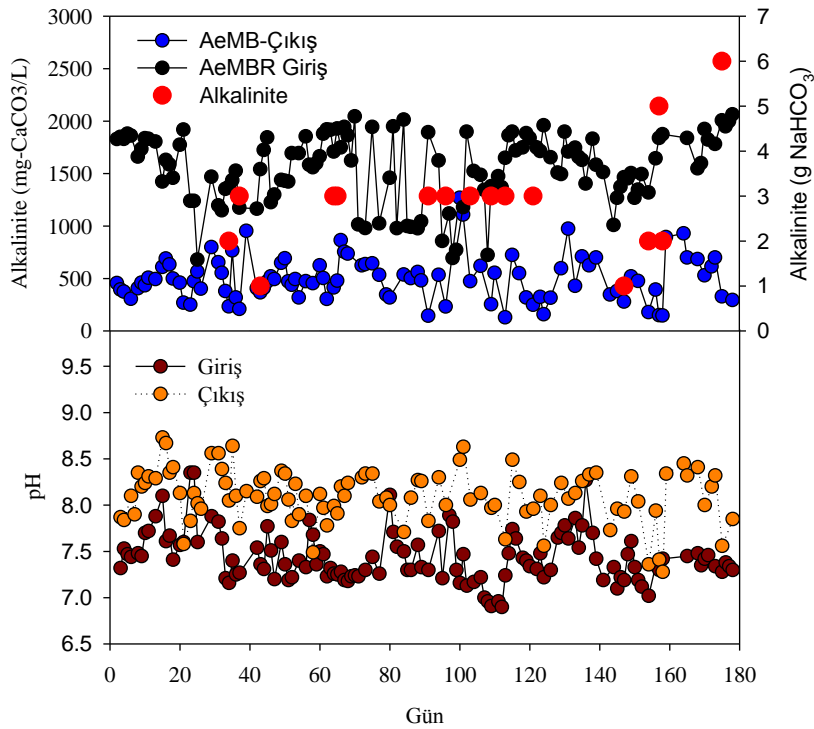


Şekil 4. SoxMBR sülfür ve sülfat konsantrasyon profilleri



Çözünmüş oksijen ( $\text{ÇO}$ ) konsantrasyonlarının kısıtlı olduğu hallerde SOB varlığında, kükürt ( $\text{S}^0$ ) oluşumunun artarak, sülfat oluşumunun azaldığı daha önce gösterilmiştir [1,3,25]. Buna göre, test edilen işletme koşullarında genel olarak  $\text{ÇO}$  konsantrasyonunun  $3 \text{ mg/L}$ 'den yüksek olduğu, üretilen sülfürün sülfata oksitlendiği görülmüş, reaktör içinde  $\text{ÇO}$  kısıtına bağlı kükürt ( $\text{S}^0$ ) oluşumunun gerçekleşmediği kabul edilmiştir. SoxMBR'de izlenen sülfür ve sülfat profilleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

SoxMBR girişinde alkalinite konsantrasyonu  $1560 \pm 327 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$  olup çıkışta bu değer  $502 \pm 212 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$  olarak ölçülmüştür. pH değerleri ise giriş ve çıkışta sırasıyla  $7,4 \pm 0,3$  ve  $8,1 \pm 0,3$  olarak değişmiştir. Reaksiyon 2'de görüldüğü gibi 1 mol sülfür oksidasyonu ile  $2\text{H}^+$  iyonu üretilmekte, dolayısıyla alkalinite tüketimi  $\text{mg H}_2\text{S-S}$  başına  $3,125 \text{ mg CaCO}_3$  olmaktadır. Buna göre yaklaşık  $415 \text{ mg/L}$  olan ortalama giriş sülfür konsantrasyonunun oksidasyonu için yaklaşık  $1300 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$  alkalinite tüketildiği kabul edilmiştir. Reaktör'de pH'nın 7-7,5 aralığında olması ve güvenli işletimi için ise en az  $200 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$  alkalinite olması istendiğinden toplam 15 gün kadar alkalinite ilavesi gerekmiştir. SoxMBR çıkışında alkalinite ortalama değeri yaklaşık  $500 \text{ mg/L}$  ölçülmüştür. SoxMBR'de alkalinite ve pH değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi koşullara bağlı olarak reaktöre 1,0 ile 6,0 g  $\text{NaHCO}_3$  ilave edilmiş olup, yaklaşık 250 ile  $1500 \text{ mg/L CaCO}_3$ 'a tekabül etmektedir.



Şekil 5. SoxMBR'de pH ve alkalinite değişim profili. Üstteki şekilde pH ı nötral tutmak için ilave edilen alkalinite miktarı (g- $\text{NaHCO}_3$  olarak) kırmızı yuvarlak sembol ile gösterilmiştir.

### 3.2. AKM, UAKM, SMP ve EPS değişimleri

AeMBR'da başlangıçta MLSS ve MLVSS konsantrasyonları  $4485$  ve  $3340 \text{ mg/L}$  olup MLSS ve MLVSS oranı %75 olarak tespit edilmiştir. Reaktör işletmesi boyunca MLSS ve MLVSS konsantrasyonları kısmi olarak artış göstererek  $5430$  ve  $4375 \text{ mg/L}$  değerlerine yükselmiştir. MLSS ve MLVSS oranı %80 olmuştur. 129 gün boyunca reaktörden çamur çekilmemiş olup SRT sonsuz olarak işletilmiştir. Buna rağmen MLSS ve MLVSS konsantrasyonlarında artış son derece düşüktür. Bunun en önemli nedeni ise; yukarıda da bahsedildiği gibi reaktör girişinde KOİ konsantrasyonu oldukça düşük olup, heterotrofik bakteriler için yüksek bir organik madde konsantrasyonu ortamda mevcut değildir. Yüksek sülfür konsantrasyonu ototrofik bakterilerin büyümesini sağlamakla birlikte ototrofik bakteriler için dönüşüm katsayısının (Y) düşük olması nedeniyle işletim süresince biyokütle konsantrasyonu yüksek oranda artış göstermemektedir. İşletmenin ilk 170 günü SRT sonsuzda işletilmiş sonrasında ise SRT 60 gün'e indirilmiştir. SRT'nin düşürülmesi proses performansına zarar vermemiş olup, AKM konsantrasyonu yaklaşık  $5000 \text{ mg/L}$  değerlerinden  $4125 \text{ mg/L}$ 'ye düşmüştür.

SoxMBR, SRT sonsuz ve 60 gün değerlerinde işletilirken, reaktör içi ve süzöntü ortalama SMP konsantrasyonları, sırasıyla,  $10,57 \pm 6,67$  mg KOİ/L ve  $6,81 \pm 5,96$  mg KOİ/L olup, toplam KOİ değerinin sırasıyla %6 ve %4'üne tekabül etmiştir. SMP'nin %36'sının membran tarafından tutulduğu gözlenmiştir. Çalışma boyunca ortalama EPS konsantrasyonu  $32,38 \pm 18$  mg/g VSS olduğu görülmüştür.

Literatürdeki birçok çalışmada EPS ve SMP'nin membran tıkanmasında önemli bileşenler olduğu rapor edilmiştir [5,15,26]. Bazı araştırmacılar, yüksek SRT değerlerimde membran tıkanmasının azaldığını fakat sonsuz SRT değerlerinde filtrelenebilirliğin düştüğünü rapor etmişlerdir [27]. Meng vd. [5] reaktörde bağlı EPS konsantrasyonunun kontrol edilebilmesi için SRT değerinin 20-50 gün arasında olması gerektiğini vurgulamıştır.

Ni vd. [28] tarafından yapılan çalışmada SRT değerinin artması ile birlikte reaktör içi SMP'nin, neredeyse tamamının biyokütleyle bağlı SMP fraksiyonu olacak şekilde konsantrasyonlarının da arttığı gösterilmiştir.

EPS çamur yumaklarını bir arada tutan en önemli bileşendir. Dolayısıyla EPS konsantrasyonunun artması kek direncini de arttırabilir [5]. Ayrıca, EPS'in hidrolizi neticesinde SMP'nin biyokütleyle bağlı fraksiyonu da artmakta olup membran yüzeyinde jel tabakasının gelişmesine ve membran tıkanmasına da neden olabilmektedir [29]. EPS konsantrasyonu besin içeriğine, reaktör işletim koşullarına, besin konsantrasyonuna bağlı olarak değişmekle birlikte, Moreau vd. [30] tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek KOİ içeriğine sahip suların arıtımı sırasında 100-200 mg/g UAKM arasında olan EPS değerinin, tam ölçekli aktif çamur sistemlerinde 10-30 mg/g UAKM arasında değişebileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada belirlenen SMP ve EPS profilleri, literatürdeki ortaya konan değerler ile uyumlu olup SoxMBR filtrasyon performansına olan etkileri bir sonraki bölümde ayrıca tartışılmıştır.

### 3.3. SoxMBR filtrasyon performansı

SoxMBR işletimi sırasında akı değişikliği (8-31 LMH) yapılarak TMP değişimleri günlük kayıt altına alınmıştır (Şekil 2). Reaktör işletimi sırasında uzun bir süre TMP tıkanıklığa sebep olmayacak şekilde düşük değerlerde kalmıştır. Reaktör, yaklaşık 15 LMH gibi kısmen yüksek bir akıda işletilmesine rağmen TMP'de önemli bir artış gözlenmemiş ve kimyasal yıkama yapılmamıştır. Akının 30 LMH civarına yükselmesiyle birlikte TMP'nin de yükseldiği görülmüştür.

SoxMBR işletimi sırasında 52 gün 8,33 LMH akıda çalışılmıştır. İşletmenin ilk günlerinde akıda hızlı bir artış olmuş ve kimyasal yıkama yapılmıştır. Sonrasında ise 65. güne kadar tıkanma gözlenmemiş olup, TMP nin 200 mbar civarına yükselmesiyle yeniden bir temizlik yapılmıştır. Akı  $15 \pm 2,69$  LMH'de 114 gün çalıştırılmış ve önemli bir tıkanık sorunu gözlenmemiş olup, akı  $30,7 \pm 1,96$  LMH'e yükseltilmiştir. SoxMBR için kritik akı 30-40 LMH arası gözlenmiş olup, işletme sırasında akının 30 LMH civarına yani kritik akıya yakın bir seviyeye çıkarılmasıyla birlikte TMP değerleri hızlı bir şekilde 400 mbar seviyesine kadar artmıştır. Bu süreçte bir haftalık bir işletmede dahi hemen her gün membran temizliğine ihtiyaç duyulmuştur.

Yurtsever vd. [31] tarafından yapılan çalışmada, aerobik MBR'de benzer akılar elde etmiş olmasına karşılık, bu çalışmaya kıyasla reaktör içi ve süzöntüde daha yüksek SMP (sırasıyla  $38 \pm 11$  mg/L ve  $25 \pm 8$  mg/L) değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmada TMP'nin daha stabil seyretmesinin temel nedeninin düşük SMP konsantrasyonları olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak, AKM konsantrasyonunun membran filtrasyon performansına etkisi üzerine literatürde çelişkili sonuçlar bulunmaktadır [32]. Düşük AKM konsantrasyonlarında (<6 g/L), AKM konsantrasyonunun artmasıyla tıkanmanın azalacağı, AKM konsantrasyonunun 15 g/L değerinin üzerine çıkmasının ise tıkanmayı arttıracığı gözlenmiştir [33]. Bu çalışmada AKM konsantrasyonu genel olarak 4,0-6,0 g/L arasında kalmış olup, önemli bir tıkanma gözlenmemiştir.

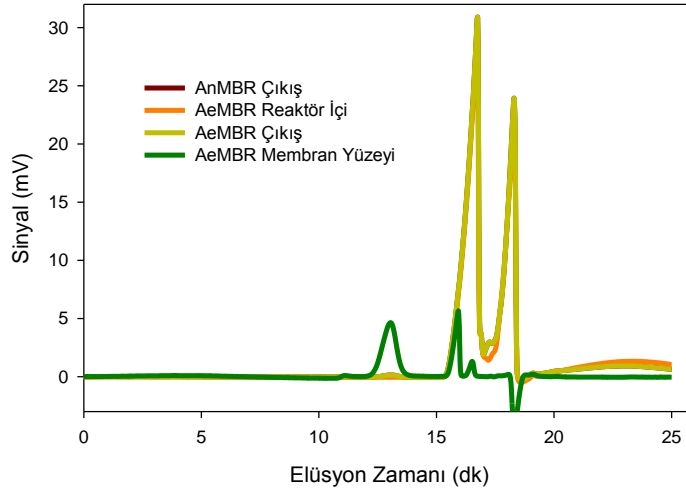
Reaktör işletiminin ilk günlerinde ve kritik akı değerinde işletim yapılan son 10 günde filtrasyon direncinin arttığı gözlenmiştir. Bu dönemde toplam direnç ortalama  $5,3 \pm 2 \times 10^{11}$  1/m olup, daha önceki çalışmalarda da [31,34] bildirildiği üzere anaerobik MBR'ye kıyasla daha düşüktür. Bunun nedeni, sülfür nedeniyle azalan AKM ve hava ile membran yüzeyinin sıyrılması etkisi ile kek tabakası oluşumunun çok sınırlı olması olarak düşünülmüştür.

### 3.4. Kirlenici karakterizasyonu

Organik kirlenicilerin karakterizasyonu için reaktör içi, süzüntü ve ekstrate edilmiş jel tabakası numunelerinin GPC analizleri yapılmıştır. Jel kolonun yüksek molekül ağırlığına sahip bileşikler itmesi prensibine dayanan GPC analizinde, daha büyük moleküller kolondan önce çıkmakta, küçük moleküller ise detektör tarafından daha sonra görülmektedir.

GPC analizleri, SoxMBR'de oluşan jel tabakasındaki organik kirlenicilerin polisakkarit veya polisakkarit benzeri organik maddelerden, protein ikincil yapıları olan Amid gruplarından, karboksilat ve karboksil asit gruplarının C-O gerilmelerinden oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca, reaktörlerde SMP molekül boyutları tespit edilmiştir.

Çalışmanın 147 ve 154. günlerinden alınan numunelerden yapılan GPC sonuçlarına ait grafik Şekil 6'da gösterilmiştir. Giriş, reaktör içi ve süzüntü GPC profillerinde aynı piklerin gözlenmesi, membran üzerinde etkin bir kek tabakasının gelişmemesi ve sadece jel tabakasının gelişmesine bağlı olarak tıkanmanın çok sınırlı olması ile açıklanmıştır. Ayrıca, anaerobik MBR'de yüksek molekül ağırlıklı organikler filtrasyon sırasında giderilerek, SoxMBR'ye yalnızca düşük molekül ağırlıklı organiklerin girişi gerçekleşmiştir. Membran yüzeyinde gözlenen 1000 kDa'luk pik, kek ve jel tabakasında SMP ve EPS kaynaklı büyük molekül ağırlıklı organik kirlenicilerin varlığını göstermiştir. Literatürde de, özellikle yüksek molekül ağırlıklı organiklerin, organik maddenin biyodegradasyonu sırasında üretilen SMP ve EPS'ye bağlı olduğu rapor edilmiştir [22,35].



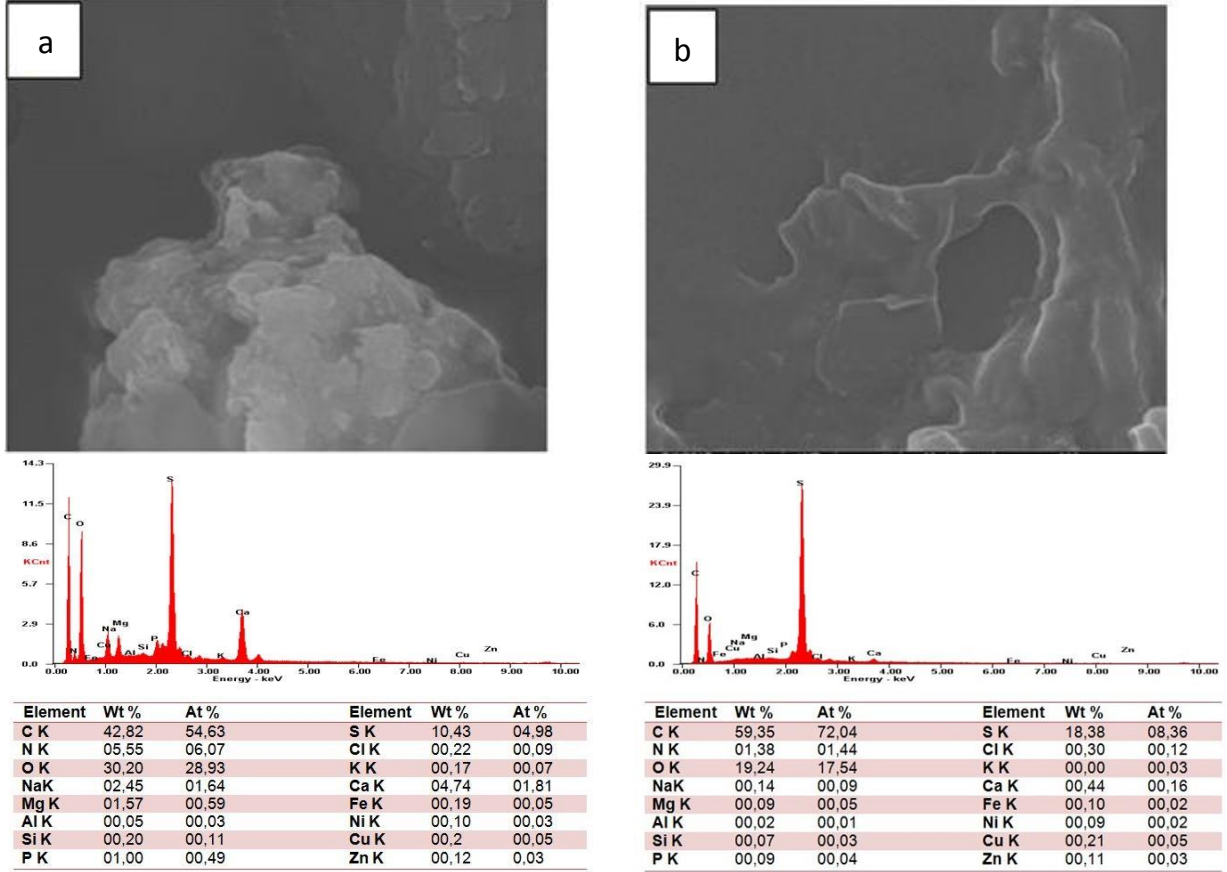
Şekil 6. SoxMBR'de giriş, reaktör içi, çıkış ve kek tabakasından alınan numunelere ait GPC sonuçları

Membran yüzeyindeki kek tabakasından ve reaktör içinden alınan numunelerle yapılan FT-IR analizleri ise elde edilen pikler oldukça benzer olup, reaktör içi organik maddelerin kek yüzeyinde biriktiğini göstermektedir. Kek tabakasından ve reaktör içinden alınan numunelerden sırasıyla 1033 1/cm ve 1081 1/cm olarak gözlenen pik değerler polisakkarit ve türevi maddeler; 1417 1/cm ve 1717 1/cm aralığında kalan pik değerler protein yapılı bileşikler; 2920 1/cm ve 2922 1/cm civarında gözlenen pikler ise hücrel lipitlerden kaynaklı ve EPS'in ana bileşimini oluşturan organik maddelerdir. 3223 1/cm 3284 1/cm'de gözlenen pikler amid gruplarının O-H gerilmeleri ya da N-H gerilmelerini belirtmektedir. Kimyasal olarak temizlenmiş membran ve temiz membrandan alınan numunelerdeki FT-IR analizinde elde edilen oldukça benzer pikler ise, uygulanan kimyasal yıkama prosedürünün bütün kirlenicileri giderdiğini göstermiştir.

İnorganik kirleniciler, membran üzerinde ve içerisinde çökelti oluşturma ve/veya organik maddeleri köprüleme mekanizmaları ile membran tıkanmasında önemli rol oynamaktadırlar. Daha önceden yapılan çalışmalarda membran yüzeyinde hidroksiapatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ),  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$  çökeleği kaydedilmiştir. İnorganik kirlenicilerin tespiti için SEM görüntüleri alınan membranlarda ayrıca SEM-EDS analizleri de gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

SoxMBR'de gelişen kek tabakasında Ca içeriğinin %4,74 ile oldukça yüksek olduğu analiz edilmiş olup suyun havalandırılmasıyla  $\text{CO}_2$ 'in uçurulması ve böylece  $\text{CaCO}_3$ 'ün daha kolay çökmesinden kaynaklı

olmaktadır. Ayrıca, kek tabakasında gelişen P içeriğinin varlığı %1 olarak kaydedilmiştir. Kirli membran yüzeyinde organik madde birikiminden dolayı C, N ve O bileşenlerinin artış gösterdiği, akabinde yapılmış olan kimyasal yıkama sebebiyle de bu kirleticilerin giderildiği görülmektedir. Özellikle N ve O piklerinin kirli membranda yüksek oluşu kek içerisindeki bakteriler ve SMP'den kaynaklanmaktadır. ICP sonuçlarına göre de kek tabakasında oldukça yüksek Ca ve P konsantrasyonları gözlenmiş olup, SEM-EDX sonuçlarını doğrular niteliktedir.



**Şekil 7.** SoxMBR'ye ait SEM görüntüleri ve SEM-EDS analiz sonuçları (a) kirli membran, (b) kimyasal yıkamış membran

### 3.5. SoxMBR çamurunun filtrelenebilirlik ve reolojik özellikleri

Çamurun reolojik yapısı membran tıkanmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle SoxMBR'de de SFD, SF, KES ve viskozite analizleri yapılmış ve birbirleriyle ilişkileri değerlendirilmiştir.

Farklı zamanlarda alınan numunelerde Bingham modeline göre yapılan analizlerde elde edilen ortalama plastik viskozite değeri ( $\eta$ )  $6,6 \pm 1,6$  cP olup, beklenenden daha yüksek olan bu değer, sülfürün önemli bir kısmının sülfata oksitlenmesine rağmen kalan elementel kükürtün reaktör içerisinde birikmekte olduğunu göstermektedir. Ayrıca AKM konsantrasyonu ile çamurdaki bakteri türleri de viskoziteyi etkilemektedir. Özellikle yüksek sülfür konsantrasyonlarında işletilen aerobik bir reaktörde ipliksi bakteri oluşumu beklendiği bir durumdur. Jin vd. [36] tarafından yapılan çalışmada flok özelliklerinin çökebilirlik üzerine etkileri incelenmiş olup, yapılan çalışmada flokları oluşturan bakteri karakteristiğinin viskoziteyi etkileyeceği rapor edilmiştir. Yüksek miktarlarda filamentli mikroorganizma içeren çamurun viskozitesinin 4,5 mPa.s ile 5,5 mPa.s arasında olduğu belirtilmiştir. Yapılan bu çalışma ile kıyaslandığında SoxMBR'den elde edilen viskozitenin literatürle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

KES de viskozite gibi filtre edilebilirliği etkileyen önemli parametrelerden biri olup, çamurun özellikleri nedeniyle viskoziteye benzer şekilde değişmektedir. Yüksek KES değerleri zayıf filtrelenebilirlik anlamına gelmekte olup [29], aynı zamanda yüksek KES, biyokütle filtrelemesini zorlaştıracak yüksek miktarda bağlı suyun göstergesidir [37]. SoxMBR'de ortalama KES ve spesifik KES değerleri, sırasıyla,  $30,8 \pm 6,6$  sn ve

7,15±1,84 sn.L/g AKM olarak belirlenmiştir. Yüksek sülfür konsantrasyonu ile beslenmesinden dolayı hem mikrobiyal kominite hem de flok özellikleri oldukça değişmektedir. Önceki bir çalışmada aerobik MBR'de KES ve spesifik KES değerleri sırasıyla 25±0,8 sn ve 3,7±0.1 L.sn/g AKM olarak belirlenmiştir [31].

SF değeri, çamur üst fazında bulunan kolloidler gibi ince partiküllerin tıkanma üzerine etkisi hakkında önemli bilgi sağlamaktadır. SFD ise MBR'lerde membran yüzeyinde gelişen kek tabakasının filtrasyona karşı gösterdiği direncin belirlenmesi için önemli bir göstergedir. SoxMBR'de farklı zamanlarda alınan numuneler üzerinde ölçülen ortalama SFD ve SF değerleri sırasıyla,  $1\pm 0,3.10^{12}$  m/kg ve 36,2 mL/dk olmuştur. Dolayısıyla spesifik KES değerine benzer şekilde, SF ve SFD değerleri de SoxMBR'de filtrelenebilirliği iyi olduğunu göstermektedir.

#### 4. Sonuç

Atıksu içerisinde çözünmüş olarak bulunan hidrojen sülfürün gerek canlılar için toksik etkisi gerekse sebep olduğu kötü koku itibarıyla uygun arıtım metotlarıyla giderilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada aerobik sülfür oksitleyen membran biyoreaktör ile uygulanan arıtım metodu sayesinde yüksek KOİ giderim performansı (%89) ile birlikte, atıksudaki sülfürün sülfata oksidasyonu başarı ile gerçekleştirilerek, çıkış suyunda sülfür konsantrasyonu 1 mg/L'nin altında ölçülmüştür. SoxMBR ile oldukça yüksek filtrasyon performansı elde edilerek 15 LMH gibi yüksek akılarda dahi TMP'nin 200 mbar altında tutulabildiği gözlenmiştir. Membran tıkanma özellikleri incelendiğinde kek tabakasının oldukça sınırlı olduğu ve kimyasal yıkama ile kirleticilerin etkin bir şekilde giderilebildiği görülmüştür. Sonuç olarak SoxMBR'nin yüksek sülfür içeriğine sahip atıksuların arıtımını amacıyla başarıyla kullanılabileceği belirlenmiş olup, ileride gerçek ölçekli sistemlerin kullanılmasında yol gösterici sonuçlar elde edilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma 116Y124 No.lu TÜBİTAK bilimsel araştırma projesi tarafından desteklenmiş olup, TÜBİTAK'a finansal desteğinden ötürü teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- [1] X. Xu, C. Chen, D.J. Lee, A. Wang, W. Guo, X. Zhou, et al., Sulfate-reduction, sulfide-oxidation and elemental sulfur bioreduction process: Modeling and experimental validation, *Bioresour. Technol.* 147 (2013) 202–211. doi:10.1016/j.biortech.2013.07.113.
- [2] A.P. Annachatre, S. Suktrakoolvatt, Biological sulfide oxidation in a fluidized bed reactor, *Env. Technol.* 22 (2001) 661–672. doi:10.1080/09593332208618238.
- [3] J. Lohwacharin, A.P. Annachatre, Biological sulfide oxidation in an airlift bioreactor, *Bioresour. Technol.* 101 (2010) 2114–2120. doi:10.1016/j.biortech.2009.10.093.
- [4] P. Le Clech, B. Jefferson, I.S. Chang, S.J. Judd, Critical flux determination by the flux-step method in a submerged membrane bioreactor, *J. Memb. Sci.* 227 (2003) 81–93. doi:10.1016/j.memsci.2003.07.021.
- [5] F. Meng, S.R. Chae, A. Drews, M. Kraume, H.S. Shin, F. Yang, Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material, *Water Res.* 43 (2009) 1489–1512. doi:10.1016/j.watres.2008.12.044.
- [6] A.H. Kaksonen, J. a. Puhakka, Sulfate reduction based bioprocesses for the treatment of acid mine drainage and the recovery of metals, *Eng. Life Sci.* 7 (2007) 541–564. doi:10.1002/elsc.200720216.
- [7] E. Sahinkaya, M. Gungor, Bioresource Technology Comparison of sulfidogenic up-flow and down-flow fluidized-bed reactors for the biotreatment of acidic metal-containing wastewater, *Bioresour. Technol.* 101 (2010) 9508–9514. doi:10.1016/j.biortech.2010.07.113.
- [8] E. Sahinkaya, H. Hasar, A.H. Kaksonen, B.E. Rittmann, Performance of a sulfide-oxidizing, sulfur-producing membrane biofilm reactor treating sulfide-containing bioreactor effluent, *Environ. Sci. Technol.* 45 (2011) 4080–4087. doi:10.1021/es200140c.
- [9] B. Krishnakumar, S. Majumdar, V.B. Manilal, A. Haridas, Treatment of sulphide containing wastewater with sulphur recovery in a novel reverse fluidized loop reactor (RFLR), *Water Res.* 39 (2005) 639–647. doi:10.1016/j.watres.2004.11.015.
- [10] L.B. Celis-García, E. Razo-Flores, O. Monroy, Performance of a down-flow fluidized bed reactor under sulfate reduction conditions using volatile fatty acids as electron donors., *Biotechnol. Bioeng.* 97 (2007) 771–779. doi:10.1002/bit.21288.
- [11] K. Tang, S. An, M. Nemati, Evaluation of autotrophic and heterotrophic processes in biofilm

- reactors used for removal of sulphide, nitrate and COD, *Bioresour. Technol.* 101 (2010) 8109–8118. doi:10.1016/j.biortech.2010.06.037.
- [12] R.K. Dereli, A. Grelot, B. Heffernan, F.P. van der Zee, J.B. van Lier, Implications of changes in solids retention time on long term evolution of sludge filterability in anaerobic membrane bioreactors treating high strength industrial wastewater., *Water Res.* 59C (2014) 11–22. doi:10.1016/j.watres.2014.03.073.
- [13] H. Hasar, C. Kinaci, A. Ünlü, H. Toç, U. Ipek, H. Toğrul, et al., Rheological properties of activated sludge in a sMBR, *Biochem. Eng. J.* 20 (2004) 1–6. doi:10.1016/j.bej.2004.02.011.
- [14] Z. Wang, Z. Wu, G. Yu, J. Liu, Z. Zhou, Relationship between sludge characteristics and membrane flux determination in submerged membrane bioreactors, *J. Memb. Sci.* 284 (2006) 87–94. doi:10.1016/j.memsci.2006.07.006.
- [15] Z. Wu, Z. Wang, Z. Zhou, G. Yu, G. Gu, Sludge rheological and physiological characteristics in a pilot-scale submerged membrane bioreactor, *Desalination.* 212 (2007) 152–164. doi:10.1016/j.desal.2006.11.005.
- [16] E. Sahinkaya, A. Yurtsever, E. Isler, I. Coban, Ö. Aktaş, Sulfate reduction and filtration performances of an anaerobic membrane bioreactor (AnMBR), *Chem. Eng. J.* 349 (2018) 47–55. doi:10.1016/j.cej.2018.05.001.
- [17] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington DC, USA, 2005.
- [18] M. Dubois, K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, F. Smith, Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Anal. Chem.* 28 (1956) 350–356. doi:10.1021/ac60111a017.
- [19] R.J.R. O.H. Lowry, N.J. Rosebrough, A.L. Farr, Protein measurement with the Folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.* 193 (1951) 265–275.
- [20] W.P. Barber, D.C. Stuckey, The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A review, *Water Res.* 33 (1999) 1559–1578. doi:10.1016/S0043-1354(98)00371-6.
- [21] A.Y. Hu, D.C. Stuckey, Treatment of Dilute Wastewaters Using a Novel Submerged Anaerobic Membrane Bioreactor, *J. Environ. Eng.* 132 (2006) 190–198. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(2006)132:2(190).
- [22] A. Akram, D.C. Stuckey, Flux and performance improvement in a submerged anaerobic membrane bioreactor (SAMBR) using powdered activated carbon (PAC), *Process Biochem.* 43 (2008) 93–102. doi:10.1016/j.procbio.2007.10.020.
- [23] H. Lin, B. Liao, J. Chen, W. Gao, L. Wang, F. Wang, et al., Bioresource Technology New insights into membrane fouling in a submerged anaerobic membrane bioreactor based on characterization of cake sludge and bulk sludge, *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 2373–2379. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.103.
- [24] S.M. Hocaoglu, D. Orhon, Fate of soluble residual organics in membrane bioreactor, *J. Memb. Sci.* 364 (2010) 65–74. doi:10.1016/j.memsci.2010.07.050.
- [25] X.J. Xu, C. Chen, A.J. Wang, N. Fang, Y. Yuan, N.Q. Ren, et al., Enhanced elementary sulfur recovery in integrated sulfate-reducing, sulfur-producing reactor under micro-aerobic condition, *Bioresour. Technol.* 116 (2012) 517–521. doi:10.1016/j.biortech.2012.03.095.
- [26] A. Drews, Membrane fouling in membrane bioreactors—Characterisation, contradictions, cause and cures, *J. Memb. Sci.* 363 (2010) 1–28. doi:10.1016/j.memsci.2010.06.046.
- [27] N. Ren, Z. Chen, X. Wang, D. Hu, A. Wang, Optimized operational parameters of a pilot scale membrane bioreactor for high-strength organic wastewater treatment, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 56 (2005) 216–223. doi:10.1016/j.ibiod.2005.08.003.
- [28] B.J. Ni, B.E. Rittmann, H.Q. Yu, Soluble microbial products and their implications in mixed culture biotechnology, *Trends Biotechnol.* 29 (2011) 454–463. doi:10.1016/j.tibtech.2011.04.006.
- [29] Q. Wang, Z. Wang, Z. Wu, J. Ma, Z. Jiang, Insights into membrane fouling of submerged membrane bioreactors by characterizing different fouling layers formed on membrane surfaces, *Chem. Eng. J.* 179 (2012) 169–177. doi:10.1016/j.cej.2011.10.074.
- [30] A.A. Moreau, N. Ratkovich, I. Nopens, J.H.J.M. Van Der Graaf, The ( ) significance of apparent viscosity in full-scale municipal membrane bioreactors, 340 (2009) 249–256. doi:10.1016/j.memsci.2009.05.049.
- [31] A. Yurtsever, Ö. Çınar, E. Sahinkaya, Treatment of textile wastewater using sequential sulfate-reducing anaerobic and sulfide-oxidizing aerobic membrane bioreactors, *J. Memb. Sci.* 511 (2016) 228–237. doi:10.1016/j.memsci.2016.03.044.
- [32] M. Lousada-ferreira, J.B. Van Lier, J.H.J.M. Van Der Graaf, Impact of suspended solids concentration on sludge filterability in full-scale membrane bioreactors, *J. Memb. Sci.* 476 (2015) 68–75. doi:10.1016/j.memsci.2014.11.012.

- [33] P. Le-Clech, V. Chen, T. a G. Fane, Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment, *J. Memb. Sci.* 284 (2006) 17–53. doi:10.1016/j.memsci.2006.08.019.
- [34] A. Yurtsever, E. Sahinkaya, Ö. Aktaş, D. Uçar, Ö. Çınar, Z. Wang, Performances of anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of synthetic textile wastewater, *Bioresour. Technol.* 192 (2015) 564–573. doi:10.1016/j.biortech.2015.06.024.
- [35] I. Vyrides, D.C. Stuckey, Saline sewage treatment using a submerged anaerobic membrane reactor (SAMBR): Effects of activated carbon addition and biogas-sparging time, *Water Res.* 43 (2009) 933–942. doi:10.1016/j.watres.2008.11.054.
- [36] B. Jin, B.M. Wilén, P. Lant, A comprehensive insight into floc characteristics and their impact on compressibility and settleability of activated sludge, *Chem. Eng. J.* 95 (2003) 221–234. doi:10.1016/S1385-8947(03)00108-6.
- [37] H.Y. Ng, T.W. Tan, S.L. Ong, Membrane fouling of submerged membrane bioreactors: Impact of mean cell residence time and the contributing factors, *Environ. Sci. Technol.* 40 (2006) 2706–2713. doi:10.1021/es0516155.

## Assessment of Livestock Drinking Water Quality: A Case Study in a Special Environmental Protection Area

\*Gökşen Çapar<sup>1</sup>, Çiğdem Coşkun Dilcan<sup>1</sup>, Şebnem Arslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ankara University, Water Management Institute, ANKARA

<sup>2</sup> Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, ANKARA

(Alınış / Received: 26.12.2019, Kabul / Accepted: 09.01.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Keywords

Agriculture,  
Golbasi,  
Livestock,  
Nitrate,  
Water quality

**Abstract:** The livestock drinking water quality was evaluated for Gölbaşı Special Environmental Protection Area (SEPA) of Ankara city, which is subject to severe water quality and quantity problems as a result of urbanization and agricultural activities. Samples collected from 32 groundwater resources were analyzed and their conformity with international livestock drinking water quality standards was assessed. At least half of the samples were acceptable for parameters such as sulfate, sodium, chloride and boron. On the other hand, 34% of the samples were considered unsafe due to high nitrate levels. These results show that groundwater resources in Golbasi SEPA are adversely affected by agricultural practices. This study recalls the urgent need for a national regulation on livestock drinking water quality in Turkey.

## Hayvancılıkta Kullanılan İçme Sularının Kalite Değerlendirmesi: Bir Özel Çevre Koruma Bölgesi Örnek Çalışması

### Anahtar Kelimeler

Tarım,  
Gölbaşı,  
Hayvancılık,  
Nitrat,  
Su kalitesi

**Öz:** Kentleşme ve tarımsal faaliyetlerden etkilenen Ankara'nın Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi'nde, hayvancılıkta kullanılan yer altı sularının kalitesi değerlendirilmiştir. 32 adet su kaynağından alınan örnekler analiz edilmiş ve uluslararası hayvancılık içme suyu kalitesi standartlarına uygunluğu değerlendirilmiştir. Örneklerin en az yarısı sülfat, sodyum, klorür ve bor gibi parametreler açısından uygun bulunmuştur. Öte yandan, örneklerin %34'ü, yüksek nitrat seviyeleri nedeniyle güvenilir bulunmamıştır. Bulgular, Gölbaşı bölgesindeki su kaynaklarının tarımsal faaliyetlerden olumsuz etkilendiğini göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye'de hayvancılıkta kullanılan içme suyu kalitesine ilişkin bir yönetmeliğe ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

### 1. Introduction

Livestock production is a big industry in modern agriculture, extending to downstream industry such as milk processors, upstream industry such as feed producers and relevant services such as veterinarians [1]. Having a global value as high as almost 900 billion dollars [2] on one hand, livestock production is one of the most significant causes of most serious environmental problems, with a share of 18% greenhouse gas emissions, on the other hand [3]. Along with problems such as deforestation, land degradation, climate change and air pollution, water shortage, quality and pollution are the water related issues of livestock industry, and the focus of this study.

Turkey is one of the leading countries in the field of agriculture with a growing food and agriculture industry, which corresponds to 9% of the overall gross value-added (GVA) and 25% of the employment levels in the country [4]. The share of livestock production in agriculture is about 35% in Turkey and 44% in European Union (EU) [5]. The number of cattle and sheep are given as 14.899.000 and 32.186.000, respectively [6]. Agriculture is the highest water consuming sector in Turkey, with a ratio of more than 70% of the total available water



potential. Therefore, existence of water with adequate quality and quantity is very important for sustainable crop production and livestock production.

Turkey, having a semi-arid climate, is under the risk of becoming a water-poor country by 2030 due to population increase and expected adverse impacts of climate change.

As a candidate country to the EU, Turkey has to adopt the environmental policy of EU and transpose the related legislation such as the Water Framework Directive (WFD) (2000/EC/60). The WFD promotes integrated management of water resources to reduce problems associated with excessive water abstraction, pollution, floods and droughts [7]. Turkey has to use her water resources wisely to minimize water stress in the future. The average precipitation is 643 mm per year in the country; however some regions suffer from water scarcity due to lower precipitation levels. Golbasi district, located at a distance of 20 km south of Ankara city, is one of these regions. It gets an average of 400 mm precipitation per year and has a terrestrial climate. The weather is cold and rainy in winters, whereas it is hot and arid in summers. These conditions result in water scarcity in the region. Ankara city has only a number of wetlands, two of which are in Golbasi district. These natural wetlands are named as Mogan and Eymir Lakes and these lakes are widely used for recreational purposes. Most of the creeks feeding Mogan and Eymir Lakes dry in summer.

Contamination of water resources occur naturally with elements such as boron in the region and pollution due to anthropogenic activities such as livestock production is common. Indeed, the share of Ankara in Turkey's livestock production is only 4% (cattle, sheep, goat and poultry) [8]. However, the region is of high importance since Golbasi is one of the fifteen special environmental protection areas (SEPA) of Turkey. Unfortunately, it has been under pressure resulting from urbanization and agricultural activities since 1990s. These activities adversely affect the quality of surface waters and groundwaters, and there is an urgent need to assess the quality of water resources used for livestock production in Golbasi district.

Water quality is very important for livestock production since it can affect both the health of the livestock and its total water consumption [9]. Besides various environmental factors, the animal's age, physiological condition and diet influence livestock water consumption. The water consumption might reduce if the odor and taste is objectionable and this might, in turn, reduce livestock feed intake and eventually affect weight gain [10]. Therefore, livestock water quality should be known in order to maintain productivity. Evaluation of water quality requirements for livestock drinking water is complicated due to the interactions of the previously mentioned factors and the recommendations should be used with expert judgment [11].

The water quality for livestock can be evaluated by several parameters including electrical conductivity (EC) and nitrate concentrations. According to some studies cattle select water based on flavor, sulfate [12], [13] and organic solid contents [14]. National Academy of Sciences (NAS) [11] and [15], emphasized that water salinity, measured by EC, should be less than 5000  $\mu\text{Scm}^{-1}$  in order to prevent physiological disturbance (Table 1). Salinity up to 8000  $\mu\text{Scm}^{-1}$  may be satisfactory for livestock; however this water may be refused by animals because of its taste or even if accepted, might cause diarrhea [15]. Sodium, calcium, magnesium, chloride, sulfate and bicarbonate are the ions which are not very toxic by themselves, yet concentrations should be monitored, since they might cause an increase in salinity. Sulfate salts are more harmful than chloride salts or carbonate salts since they are more likely to cause health problems [10]. For example, sulfate content higher than 2500  $\text{mg l}^{-1}$  might cause diarrhea in livestock and might also cause reduction in copper availability in ruminants [16]. Moreover, Weeth and Hunter [17] reported reduced feed intake and weight loss in cattle when concentrations of 3493 ppm  $\text{SO}_4$  were applied to the drinking water of animals. [9] recommended maximum sulfate levels of less than 1000  $\text{mg l}^{-1}$  for adult livestock and less than 500  $\text{mg l}^{-1}$  for calves.

Although sodium itself poses little risk to livestock, its involvement with sulfate might be risky. It has been reported by [18] that water with 10000  $\text{mg l}^{-1}$  sodium sulfate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) caused severe reduction in water intake, diarrhea and weight loss in beef heifers compared with heifers provided water containing 4000  $\text{mg l}^{-1}$  sodium sulfate. Water with 800  $\text{mg l}^{-1}$  sodium can cause diarrhea and a drop in milk production in dairy cows [10].

Nitrate comes from nitrogen, which is a plant nutrient supplied by inorganic fertilizer and animal manure. Nitrate can contaminate groundwaters and persist there for long times, accumulating to high levels as more nitrogen is applied to the land surface every year [11]. High concentrations of nitrates in drinking water of livestock might be poisonous, however its intake from all sources should be considered while evaluating the threat solely from drinking water. For livestock waters, nitrates tend to accumulate as nitrites in the rumen when they are present in excessive levels. Nitrites absorbed into the bloodstream interfere with respiration since they first interfere with hemoglobin. Acute nitrate poisoning can cause labored breathing and rapid pulse. Chronic nitrate poisoning signs include reduced weight gain, decreased appetite and lower milk production [19].

**Table 1.** Guide to using saline waters for livestock [11] [15]

EC ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Comments
Less than 1500	These waters have a relatively low level of salinity and should present no serious burden.
1500 – 4999	These waters should be satisfactory however might cause temporary and mild diarrhea in livestock unaccustomed to them. They should not affect their health or performance.
5000 – 7999	These waters should be satisfactory however might cause temporary diarrhea or be refused by animals not accustomed to them.
8000 – 10999	These waters can be used with reasonable safety however should be avoided using for pregnant or lactating animals.
11000 – 15999	Considerable risk may exist in using for pregnant or lactating livestock or for the young species. In general, use should be avoided although older livestock may subsist on them under certain conditions.
More than 16000	These highly saline waters can not be recommended for use under any conditions because the risks are so great.

According to the guidelines,  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations of 0-10  $\text{mg l}^{-1}$  are safe for livestock, 10-20  $\text{mg l}^{-1}$  of  $\text{NO}_3\text{-N}$  would still be safe if used with diet low in nitrates. On the other hand, 20-40  $\text{mg l}^{-1}$  of  $\text{NO}_3\text{-N}$  could be potentially harmful if continuously consumed, and 40-100  $\text{mg l}^{-1}$  of  $\text{NO}_3\text{-N}$  is actually toxic to cattles. These levels may eventually affect production and fertility. Concentrations of  $\text{NO}_3\text{-N}$  higher than 100  $\text{mg l}^{-1}$  are not recommended for use and unsafe for livestock consumption [9], [10], [11], [20] and [21]

For human consumption, special care must be given to nitrate. Ingestion of nitrate in drinking water by infants can cause low oxygen levels in the blood, which is a potentially fatal condition. For this reason, the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) has established a drinking water standard of 10  $\text{mg l}^{-1}$  nitrate as nitrogen [22]. The corresponding limit in Turkish drinking water standards is 25  $\text{mg l}^{-1}$  [23].

Besides the aforementioned substances, there are other toxic elements and ions which should be monitored in livestock drinking water. These elements might occur either naturally or as a result of anthropogenic activities. The maximum allowable concentration limits [11] for such elements like arsenic, lead and mercury should not be exceeded in livestock water (Table 2).

Golbasi SEPA is located very close to Ankara, the capital city of Turkey, where livestock production and agriculture are still practiced. There are a total of 6.471 cattle, 11.241 sheep and 210.000 poultry in Golbasi SEPA. The annual water requirement of the livestock in the region is estimated to be 118.096  $\text{m}^3$  for cattle, 61.544  $\text{m}^3$  for sheep and 22.995  $\text{m}^3$  for poultry, making a total of 202.635  $\text{m}^3$  per year. This amount of water is obtained mostly from groundwater via dug wells, drilled wells, fountains (public taps at certain points of the villages), springs, etc. Irrigated agriculture is performed in 34 da of the study area, where a total of 30.458 da is used in whole Golbasi for agriculture. These figures show that area of irrigated agriculture accounts for less than 1% of the total agriculture area. However groundwaters are still polluted as a result of fertilizer application, which in turn are used for livestock production and even for human consumption in some cases. The uncontrolled use of these waters for long term may adversely affect the health of animals.

In Turkey, there is still no legislation in force to control the livestock drinking water quality. Farmers are either unaware or they do not pay attention to the quality of water they use, so there is a need to figure out the existing situation. To this end, the aim of this study is to determine the quality of water resources used for livestock production in Golbasi SEPA and to assess the suitability of these waters as livestock drinking water. Water quality of samples were evaluated in terms of parameters such as EC, pH, boron, nitrate, calcium, sodium, chloride, sulfate, and some heavy metals.

**Table 2.** Livestock water quality guidelines for selected parameters

Substance	Safe upper limits ( $\text{mg l}^{-1}$ )	
	NAS (1974) [11]	Others ([9] [10] [20] [21] [24])
Less than 1500	0.2	
Arsenic	0.01	
Cadmium	100	
Calcium	100	
Chloride	1	
Chromium	1	
Cobalt	0.2	

Copper	No limit		
Iron	0.05		
Lead	0.05		
Manganese	0.01		
Mercury	25		
Zinc	0.2		
Nitrate (NO <sub>3</sub> -N)	100	0 - 10	Safe for all.
		10 - 20	Safe with low nitrate feeds for livestock and cattle. Safe for poultry.
		20 - 40	Harmful for livestock and cattle with long periods of exposure.
		40 - 100	Risk of death for cattle.
		100 - 200	Not reliable, high risk of death.
		> 200	Can not be used.
Sodium	50	< 50	No risk for livestock and cattle. Low risk for poultry.
		50 - 100	Diuretic effects for poultry. Affects performance with high sulfates and chlorides in the water for poultry. Detrimental to broiler gains.
		100 - 800	Health risk for livestock when high sulfates are present in the water. Diarrhea and drop in milk production for cattle.
Sulfate	50	< 50	Safe for all.
		< 250	Safe, may have laxative effect for cattle, may reduce performance for poultry.
		< 1500	No harmful effect for cattle, may reduce performance for poultry.
		1500 - 2500	No harmful effect for cattle, may reduce copper availability in ruminants, temporary diarrhea, may reduce performance for poultry.
		2500 -3500	Very laxative, substantial reduction in copper availability for cattle, not recommended for poultry.

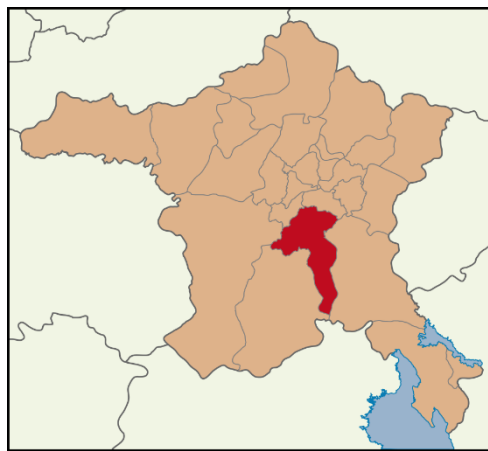
## 2. Material and Method

### 2.1. Sampling

The map of the study area is shown in Figure 1. In Golbasi SEPA, 7 villages (Ballikpınar-BP, Gokcehoyuk-GH, Hacıhasan-HH, Karaoglan-KO, Ogulbey-OB, Yaglipınar-YP, Yurtbeyi-YB) were visited during the irrigation season (May-June) in 2012. The population and area of Golbasi SEPA are 40803 and 274 km<sup>2</sup>. These figures are almost one-third of the population and area of the whole Golbasi district that is 115924 and 738 km<sup>2</sup>, respectively. In Golbasi SEPA, the water resources used for livestock production were identified with the help of Golbasi Governorate District Directorate of Food, Agriculture and Livestock. A total of 32 samples were collected from several resources such as wells, lagoons and fountains. Samples were collected in 1 l polyethylene bottles and immediately sent to the laboratory for analysis. In most villages, the class of livestock was cattle and sheep. Poultry was the class of livestock only in one village, namely Ogulbey (a private company), the total number of poultry was much higher than cattle and sheep (Table 3).



(a)



(b)

**Figure 1.** Map of (a) Turkey showing Ankara city (b) Golbasi SEPA with a population of 40803 and area of 274 km<sup>2</sup> [1]

## 2.2. Water Quality Analyses

Samples were analyzed for EC, pH, boron, nitrate, calcium, magnesium, sodium, chloride, sulfate, and heavy metals such as arsenic, cadmium, mercury, chromium, copper, iron, manganese, lead and zinc. Analyses were carried out at the Irrigation Water Quality Analysis Laboratory of Soil Fertilizer and Water Resources Central Research Institute Turkish Republic of Ministry of Agriculture and Forestry.

EC was measured with a Jenway model electrical conductivity meter with temperature correction according to method TS 9748 EN 27888. Sodium was measured by a flame photometer. The color of the flame was measured at a wavelength of 589 nm following the procedures of the method TS 4530/T1. Calcium was measured by titration with EDTA according to method TS 8196. Boron was measured by the Karmin method using a spectrophotometer following the method TS 3661. Chloride was measured by Mohr method via titration with silver nitrate (method TS 4164 ISO 9227). Sulfate was measured according to barium chloride turbidimetric method. Heavy metals were analyzed by a Varian model ICP instrument.

**Table 3.** Characteristics of the study area in terms of water resource and the class of livestock

Village	Sample	Water resource	Livestock	
			Class	Number
Ballikpınar	BP-1	Fountain	Sheep	150
	BP-2	Dug well (12 m depth)	Cattle	10
Gökcehöyük	GH-1	Fountain 1	Sheep	350
	GH-2	Fountain 2	Sheep	350
Hacıhasan	HH-1	Dug well (10 m depth)	Cattle	100
	HH-2	Drilling well (80 m)	Cattle	650
Karaoglan	KO-1	Drilling well (110 m)	-	
	KO-2	Fountain	Sheep	60
	KO-3	Drilling well (130 m)	Cattle and sheep	120
	KO-4	Drilling well (125 m)	Cattle and sheep	100
	KO-5	Fountain	Sheep	120
	KO-6	Drilling well (110 m)	Cattle	25
	KO-7	Drilling well	Cattle	80
	KO-8	Drilling well	Cattle	80
	KO-9	Lagoon	Cattle	2500
Oğulbey	OB-1	Drilling well (125 m)	Cattle	125
	OB-2	Drilling well (45 m)	-	
	OB-3	Drilling well (170 m)	-	
	OB-4	Old network	-	
	OB-5	Drilling well (110 m)	-	
	OB-6	Drilling well (120 m)	-	
	OB-7	Fountain	Sheep	300
	OB-8	Drilling well (75 m)	Poultry	210000
Yağlıpınar	YP-1	Drilling well (72 m)	Sheep	800
	YP-2	Old network	Sheep	400
	YP-3	Creek	Sheep	400
	YP-4	Fountain 1	Sheep	200
	YP-5	Fountain 2	Sheep	400
Yurtbeyi	YB-1	Drilling well (50 m)	Cattle	100
	YB-2	Fountain 1	Cattle	600
	YB-3	Old network	Sheep	1000
	YB-4	Fountain 2	Sheep	1000

### 3. Results

The results of the water quality analyses are presented in Figures 2-10 and Table 3. As seen from Figure 2, EC values are within the desirable range (Table 1) since the highest value is  $3850 \mu\text{S cm}^{-1}$ . EC contents of 28 samples are less than  $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$ , which corresponds to 88% of all samples. According to the guidelines given in Table 1, these waters can be used safely for all classes of livestock and poultry. The remaining four samples have EC contents between  $1500\text{-}5000 \mu\text{S cm}^{-1}$ , which means salinity is not a significant problem for these waters (Table 1). Samples BP-2, OB-2, OB-6 and YP-3 should be used with attention since these waters might cause temporary and mild diarrhea in livestock, especially in those unaccustomed to them. For OB-8, which is used to feed chicken, EC is slightly less than  $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$ , so it is acceptable.

The pH values vary between 7.1 and 8.4 (Figure 3), and they are suitable for livestock water. There are only few studies linking water pH with livestock health or performance issues and pH should fall between 5.0 and 9.0 [9], [25].

Nitrate concentrations are depicted in Figure 4. As seen,  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations in water samples from the study area range between  $2\text{-}205 \text{ mg l}^{-1}$ . Half of the samples have  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations lower than  $10 \text{ mg l}^{-1}$  and these samples are safe for consumption for all classes of livestock. Only 16% of the samples contain  $10\text{-}20 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$ , which can be considered as safe for all classes with low nitrate feeds and a balanced diet. Similarly, 19% of samples (BP-1, GH-2, OB-1, OB-5, YP-1, YB-2) contain  $20\text{-}40 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$ , which can be harmful for livestock and cattle if consumed for long periods. Although the ratio of samples having  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations between  $40\text{-}100 \text{ mg l}^{-1}$  is as low as 6% (HH-1, OB-7), it is quite dangerous as it indicates risk of death. Similarly, about 9% of samples have  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations higher than  $100 \text{ mg l}^{-1}$ , which are totally unsafe for livestock consumption. These samples were collected from Ballikpınar (BP-2) and Oğulbey villages (OB-2, OB-6). The government local authorities should take the necessary precautions to avoid consumption of these waters by the livestock and the villagers.

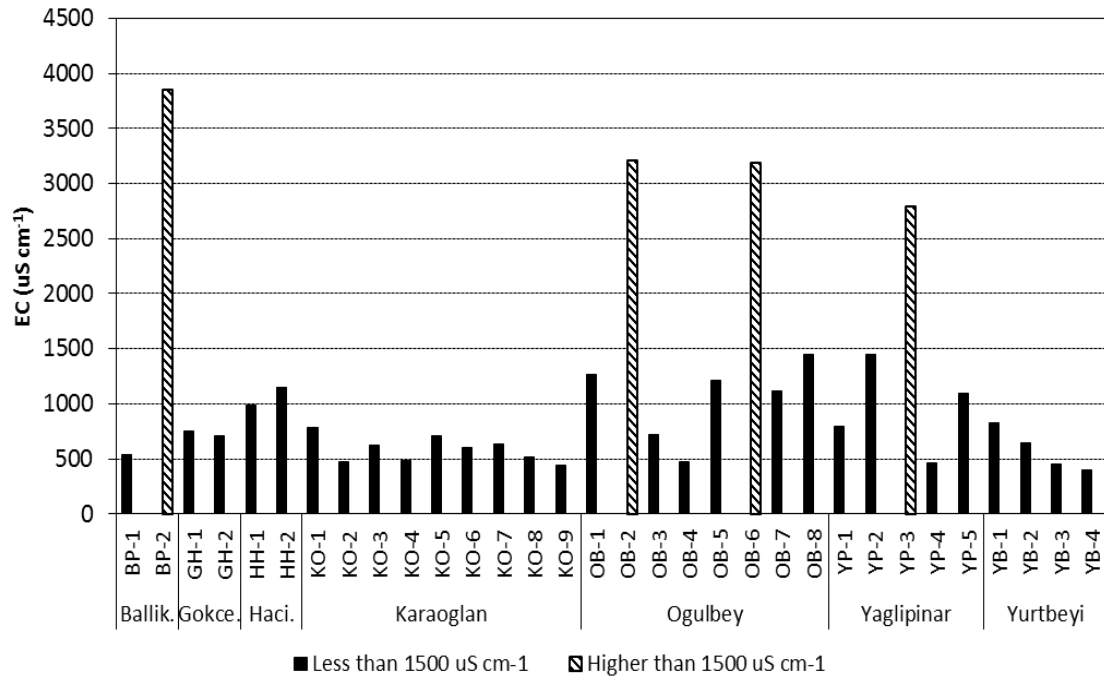


Figure 2. EC contents of samples

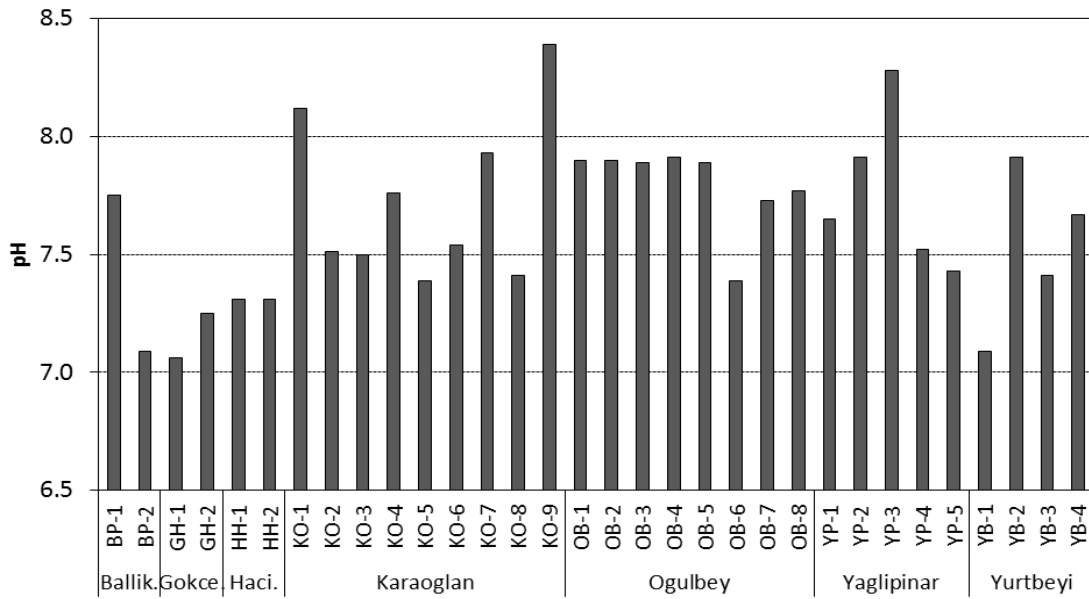
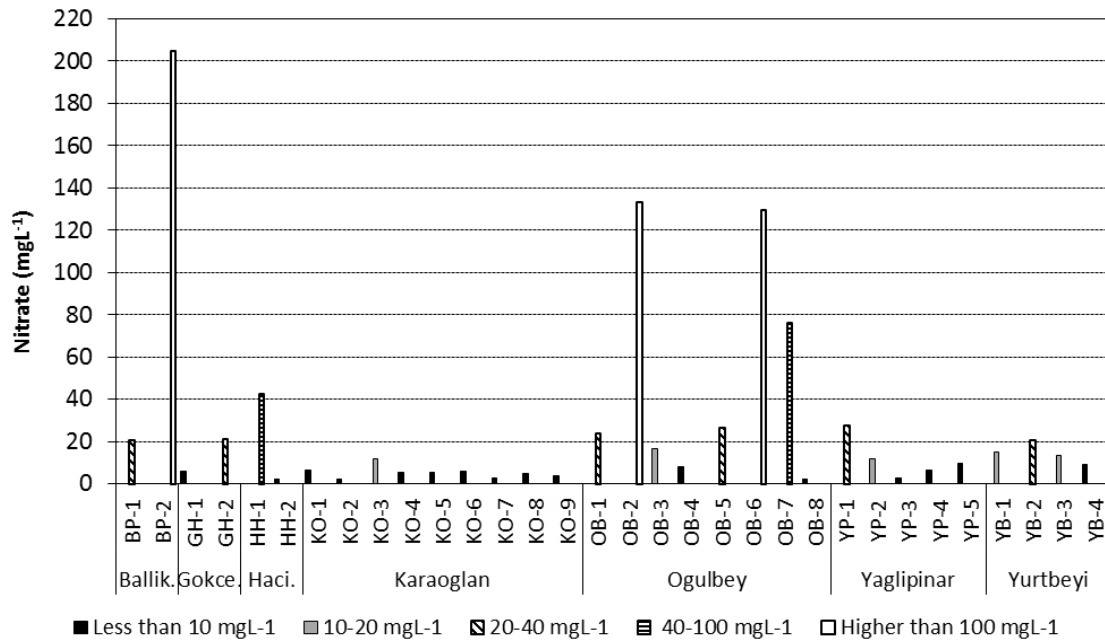


Figure 3. pH values of the samples



**Figure 4.** Nitrate concentrations of the samples

The distribution of nitrate concentrations in the study area is also depicted in Figure 5, which shows that Karaoglan village had the best water quality in terms of nitrate levels. These figures clearly show how diffused pollution can adversely affect the water resources. Nitrate concentrations resulting from agricultural activities (plant production) carried out in a relatively small area, i.e., 30.5 km<sup>2</sup>, plus the livestock production activities performed mostly by the villagers in scattered locations indicate that the whole water resources of Golbasi SEPA (a total area of 274 km<sup>2</sup>) were polluted to some extent. A study conducted in Slovenia has shown that in regions with high intensity of livestock production, the net nitrogen balance surplus is much higher as compared to mineral fertilizer input [26]. So, nitrate pollution is a serious problem, and should be handled urgently.

As Turkey is a candidate country to the EU, there are several obligations we need to comply such as the WFD [7] and the Nitrate Directive [27]. The national regulation about nitrate control (Regulation no 29779) aims to avoid or reduce the nitrate pollution due to agriculture, and requires preparation of a code of good agricultural practice (COGAP), which should be used by the farmers voluntarily. Determination of nitrate sensitive zones is also required, which needs to be followed by the preparation of action programmes. These programmes should enable the control of fertilizer application areas. According to Nitrates Directive, surface waters and groundwaters containing or that could contain nitrate concentrations above 50 mgL<sup>-1</sup> are identified as water polluted or water at risk of pollution. Hence, our results show that nitrate levels in four samples, namely BP-2, OB-2, OB-6 and OB-7 exceed 50 mgL<sup>-1</sup>, and therefore they should be identified as polluted waters. Furthermore, the areas of land which drain into these waters may be identified as nitrate vulnerable zones. As these results rely on limited sampling period, there is a need to perform long term monitoring. In this regard, there is a long way to go in Golbasi district of Ankara in order to fully comply with the Nitrate Directive and other relevant legislation.

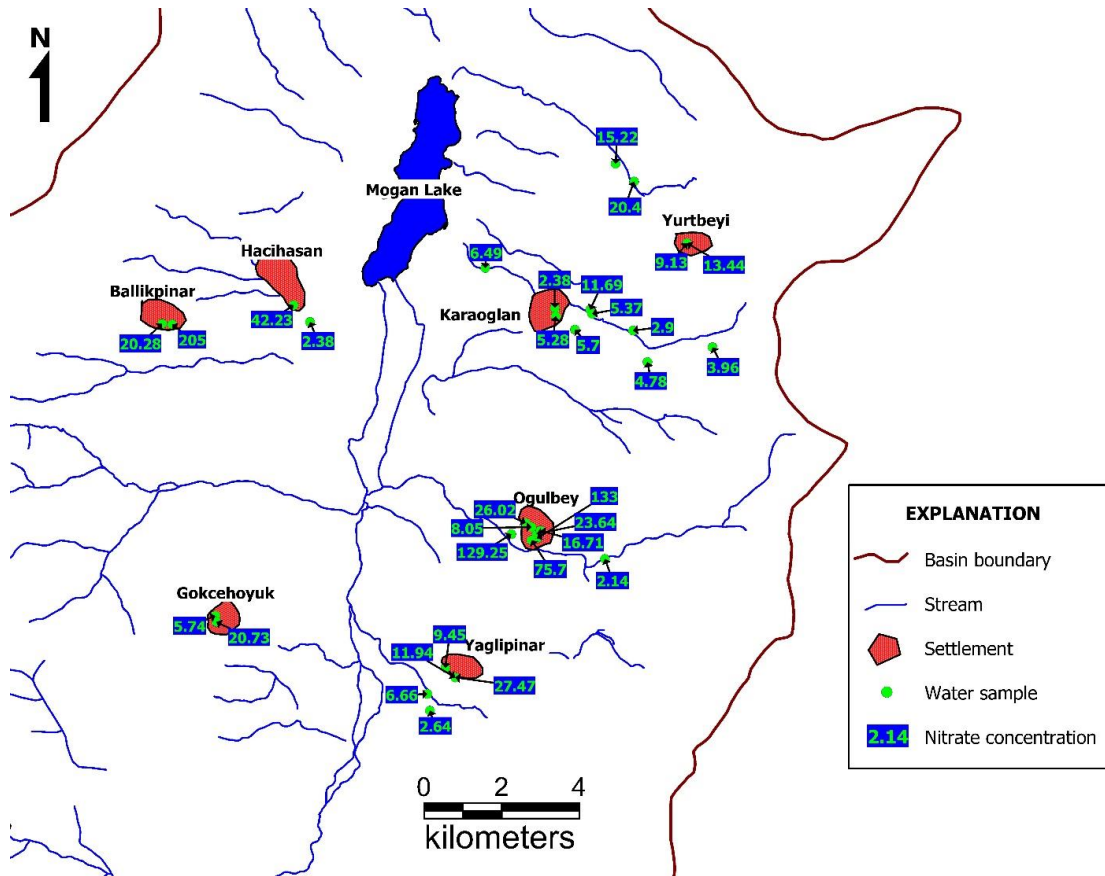


Figure 5. Distribution of nitrate in the study area

Boron (B) is an element known to be essential for plants for a long time [28]. It was thought to be an element not required by animals however there have been recent studies putting forward the importance of B supplementation in animal feeding systems [29], [30]. Besides, it was revealed that B eases fluoride toxicity in buffalo calves [31] and B supplementation prevents metabolic disorders during pregnancy in dairy cattle [32]. There is no evidence that it accumulates in livestock, however there are some studies reporting accidental ingestion resulting in death and intake of boron by fertilizer resulting in poisoned livestock [33]. Puls et al. [34] also reported that there were toxic signs in livestock which were started in 30 days after consuming 150-300  $\text{mg l}^{-1}$  of B in drinking water.

According to the literature [11], the upper limit of boron in livestock waters is 5  $\text{mg l}^{-1}$  (Table 2). If this concentration is exceeded, then the total boron content of the livestock diets should be investigated. According to Figure 6, 26 samples (81%) had boron concentrations less than 0.5  $\text{mg l}^{-1}$ . The boron concentrations of three samples (BP-1, KO-7, OB-1) were close to 1  $\text{mg l}^{-1}$ , and the highest concentrations were observed in two samples, i.e., BP-2 and KO-1, with 1.9-2.0  $\text{mg l}^{-1}$  of boron. These are lower than the suggested upper limit, therefore all of the samples from the study area can be considered suitable for livestock. These figures do not necessarily mean that there is no boron problem in the region. As Turkey lands are rich in boron, it is quite probable to have high boron concentrations in water resources. The reason for having acceptable boron concentrations in the study area is most likely the fact that sampling was performed mostly in existing water wells, which are thought to be drilled to the depth of safe boron limits.



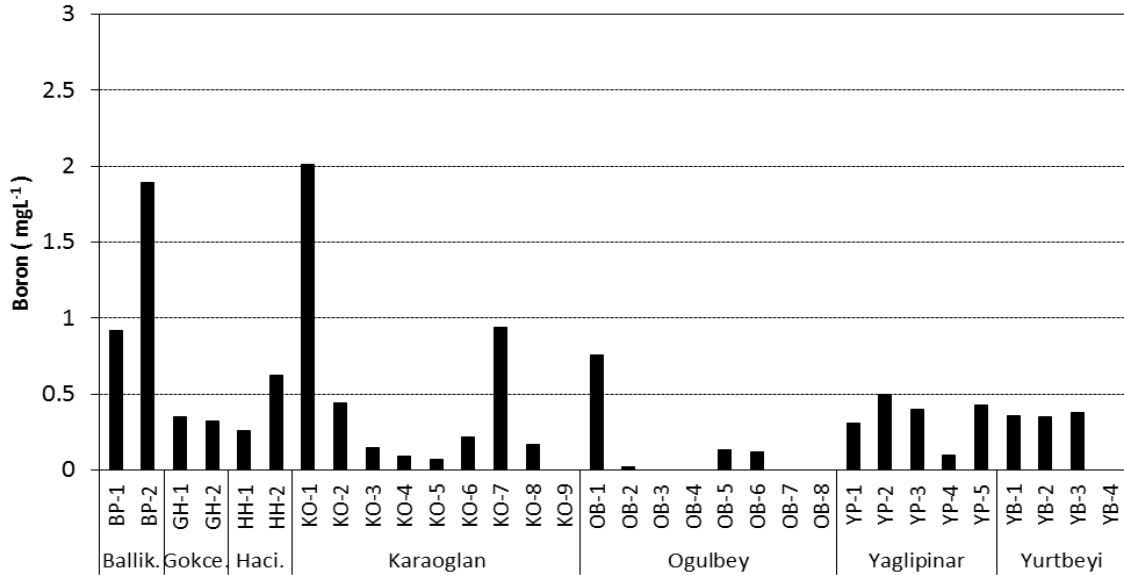


Figure 6. Boron concentrations of the samples

Regarding sulfate concentrations, it is clear from Figure 7 that 50% of samples had sulfate concentrations less than 50 mgL<sup>-1</sup>, which is the safe level for cattle and poultry (Table 2). Sulfate concentrations of 10 samples were between 50-250 mgL<sup>-1</sup>. These waters may have laxative effect for cattle, and they may reduce the performance of poultry. It can be stated that all samples are in general suitable for cattle since the highest sulfate concentration was 850 mgL<sup>-1</sup>, which is below the limit of 1500 mgL<sup>-1</sup> (Figure 7, Table 2). However, sulfate levels at 150 mgL<sup>-1</sup> may potentially cause a drop in water consumption for livestock due to taste. As poultry production was performed by a company in Ogulbey, special attention should be given to the sulfate concentration of the sample OB-8. As seen from Figure 7, this value is as high as 131 mgL<sup>-1</sup>, which may reduce the performance of chicken. The highest sulfate levels (680-850 mgL<sup>-1</sup>) were observed in four samples, namely BP-2, OB-2, OB-6 and YP-3.

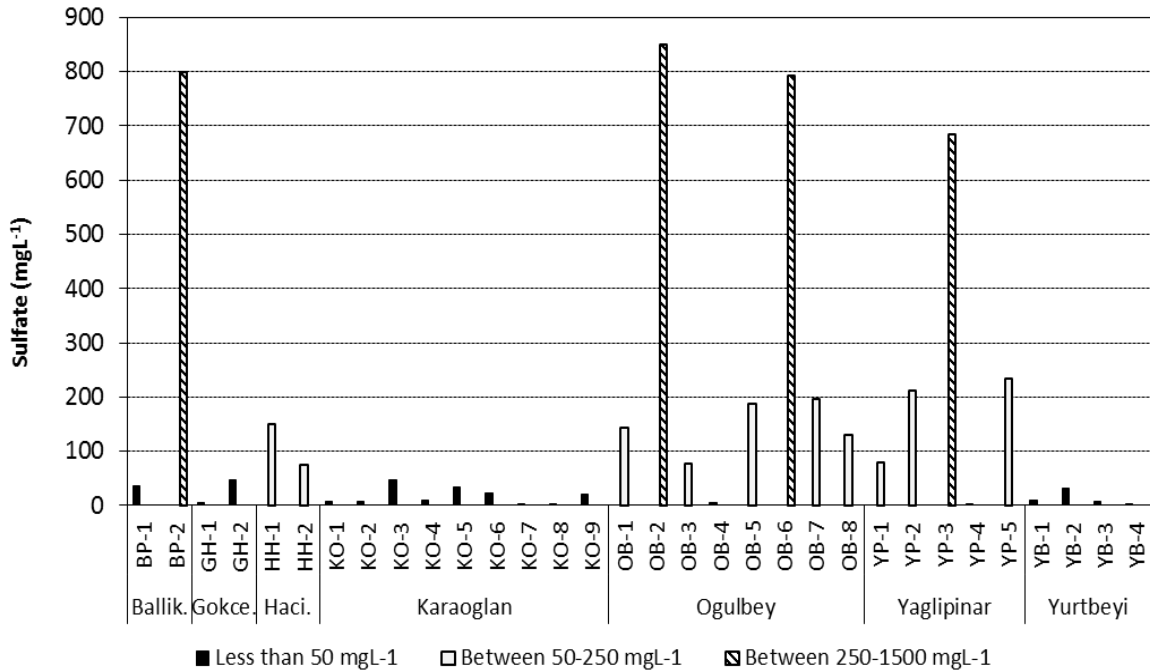


Figure 7. Sulfate concentrations of the samples

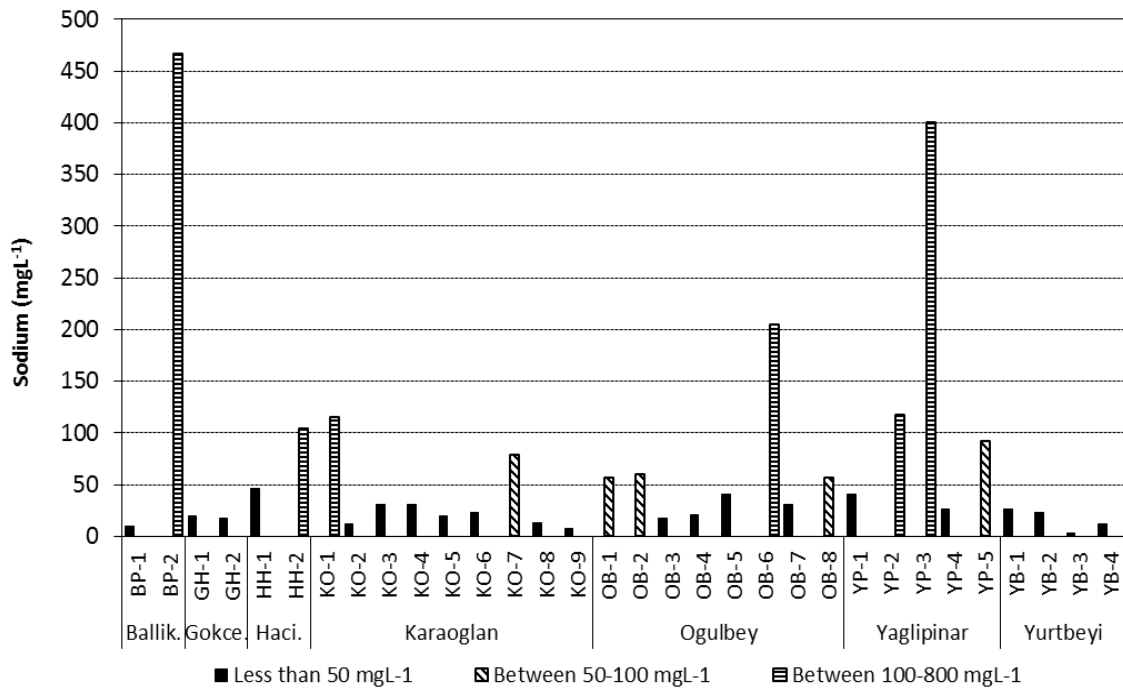


Figure 8. Sodium concentrations of samples

Sodium concentrations are given in Figure 8. As seen, sodium concentrations were less than 50 mgL<sup>-1</sup> for 21 samples (66%), which indicates no risk for livestock and cattle, but low risk for poultry (Table 2). For five samples (KO-7, OB-1, OB-2, OB-8, YP-5), sodium was between 50-100 mgL<sup>-1</sup>, which means these waters may have diuretic effects for poultry. These waters may affect performance of poultry if they contain high sulfates and chlorides in the water. For six samples (BP-2, HH-2, KO-1, OB-6, YP-2, YP-3), sodium was very high, i.e., 100-800 mgL<sup>-1</sup>. These levels indicate health risk for cattle, especially when high sulfates are present in water. When sodium concentrations are considered together with sulfate concentrations, it can be stated that samples BP-2, OB-6 and YP-3 have the highest health risk for livestock, so these waters either need proper treatment to meet the relevant standards or be avoided from consumption.

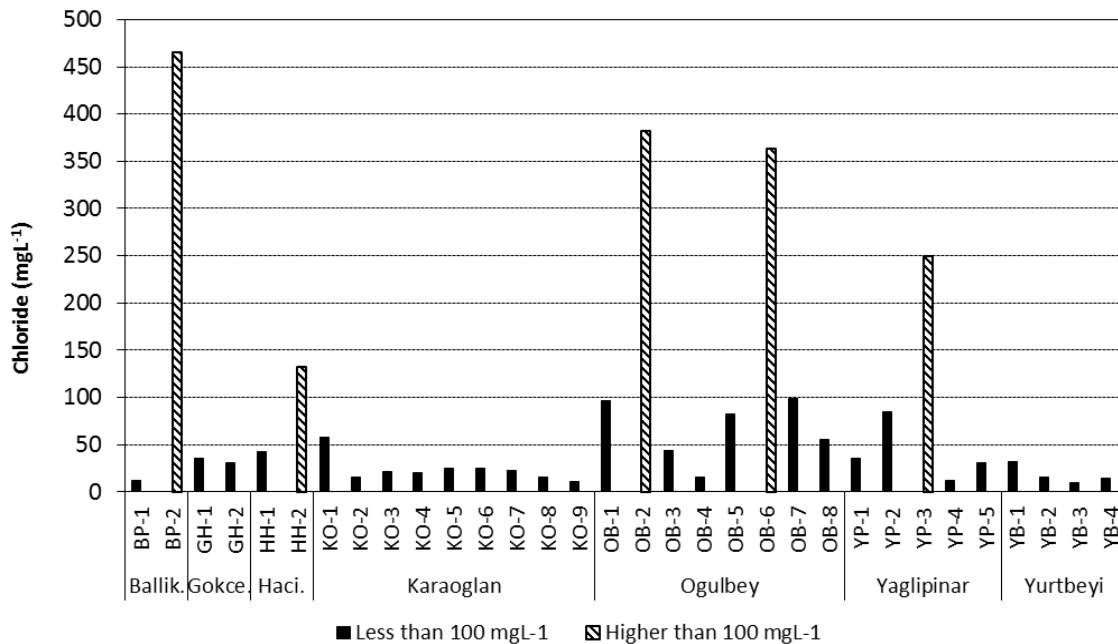
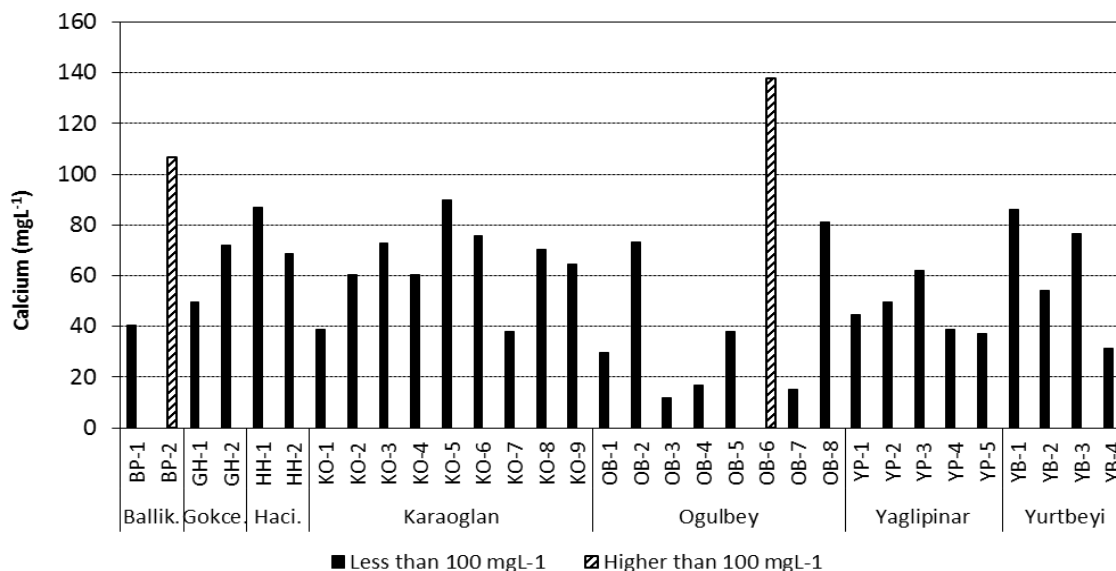


Figure 9. Chloride concentrations of samples

Chloride concentrations were also measured (Figure 9). As seen, 27 samples (84%) had chloride less than 100 mgL<sup>-1</sup>. Only five samples (BP-2, HH-2, OB-2, OB-6, YP-3) exceed this level. So, combined with high sulfate and high sodium levels, these samples with high chloride levels are expected to cause health risks for livestock.

Although there is no criteria for hardness in livestock drinking water, calcium concentrations were also measured (Figure 10). As seen, only two samples, BP-2 and OB-6 have calcium levels higher than the limit of 100 mgL<sup>-1</sup> (Table 2). So, it can be concluded that all waters are acceptable regarding calcium contents.



**Figure 10.** Calcium concentrations of samples

Heavy metal contents of selected samples are given in Table 4. Arsenic is a toxic element known to be poisonous for a long time. Its toxicity depends on its chemical form, inorganic oxides are considerably more toxic than organic forms. This element usually occurs in water as inorganic oxides [11]. The upper limit of arsenic in livestock drinking water is recommended to be 0.2 mgL<sup>-1</sup> by [11] (Table 2). It should be noted herein that, after recent studies documented arsenic is a human carcinogen, WHO decreased the standard in human drinking water from 0.05 mgL<sup>-1</sup> to 0.01 mgL<sup>-1</sup> [35]. But there seems to be no attempt to reevaluate the standard of arsenic in livestock drinking water. According to Table 4, As concentrations in the samples are below the recommended value.

**Table 4.** Heavy metal contents of selected samples

Sample	AS	Cd	Co	Hg	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)
BP-1	< 0.01	< 0.01	0.0012	0.04	3.45	< 5.00	2.15	< 2.00	< 3.00	45.32
GH-1	< 0.01	< 0.01	0.0012	0.04	3.54	< 5.00	2.99	57.24	< 3.00	11.22
HH-2	< 0.01	< 0.01	< 0.001	0.054	3.4	< 5.00	7.24	< 2.00	3.47	10.10
KO-3	0.0018	< 0.01	< 0.001	0.22	5.76	< 5.00	2.87	< 2.00	< 3.00	< 2.00
KO-5	0.011	< 0.01	< 0.001	0.084	4.45	5.56	4.12	6.27	< 3.00	132.85
OB-1	0.015	< 0.01	< 0.001	0.027	5.03	< 5.00	1.65	< 2.00	6.07	2.59
OB-7	0.01	< 0.01	0.0024	0.021	5.14	< 5.00	1.91	< 2.00	3.10	< 2.00
YP-1	0.015	< 0.01	0.0014	0.047	2.46	< 5.00	3.44	< 2.00	< 3.00	9.16
YB-1	0.024	< 0.01	0.0017	0.015	4.85	< 5.00	21.28	< 2.00	3.42	2.52

Cadmium is another toxic element and it is not an essential one. NAS [11] suggested that the upper limit of Cd in livestock drinking waters should be below 0.01 mgL<sup>-1</sup>. According to Table 4, Cd is not detected in our samples. Cobalt is part of the vitamin B12 molecule and it is an essential nutrient. NAS [11] suggested an upper limit of 1 mgL<sup>-1</sup> of cobalt in livestock waters in view of its toxicity and the maximum value is only 0.0024 mgL<sup>-1</sup> in our samples. Copper is another essential trace element and it does not accumulate at excessive levels in muscle tissues. NAS [11] recommendation is 0.2 mgL<sup>-1</sup> as an upper limit for copper in livestock waters (Table 2). This element was detected in one sample, KO-5 as 5.56 ppb (Table 4) and it is below the safe limits. Lead is a toxic element and animals don't need this element in their nutritions. NAS suggested an upper limit of 0.05 mgL<sup>-1</sup> lead

in livestock waters. The lead concentration in selected samples was 3-6 ppb, which is below the limit. Mercury is another toxic element and it tends to affect brain, liver and kidney in animals. The maximum allowable limit for mercury in livestock waters was set to  $0.01 \text{ mg l}^{-1}$  so that humans would not be exposed to as much as  $0.5 \text{ mg l}^{-1}$  of mercury through the consumption of animal tissue [11]. The highest mercury concentration was detected as 0.22 ppb for KO-3, which is also below the upper limit.

Zinc is relatively nontoxic to animals but still an upper limit of  $25 \text{ mg l}^{-1}$  is recommended by NAS [11] in livestock waters. The highest lead concentration was 133 ppb for KO-5, and all samples were below the upper limit. Chromium in drinking water is not absorbed by animals even in its soluble forms. Most of chromium in animal body is excreted in the feces and it does not seem to concentrate in animal tissue. Cr concentration of  $1 \text{ mg l}^{-1}$  in the drinking water of livestock is the upper limit according to NAS [11], and as seen from Table 4, the results are below the suggested limit.

According to the water quality data presented in this paper, it can be said that groundwater resources sampled in Golbasi (SEPA) were not affected from heavy metal contamination to a significant extent. Therefore, none of the heavy metal concentrations exceed the upper limits suggested by NAS [11]. On the other hand, agricultural activities were found to adversely affect the livestock drinking water sources in Golbasi SEPA district, as mostly evidenced from the nitrate levels of samples.

#### 4. Discussion and Conclusion

This study puts forward the existing situation in terms of water quality used for livestock production in Golbasi Special Environmental Protection Area of Turkey. The analysis of samples taken from 32 points revealed that only half of the samples are suitable for livestock production. The most problematic parameter, whose presence makes some of the samples unsafe for livestock consumption, is nitrate nitrogen. Actually, excessive levels of nitrates ( $> 40 \text{ mg l}^{-1}$ ) are present in 15% of the samples. Considering all the parameters studied, it can be concluded that the most polluted water resources are BP-2, HH-2, OB-2, OB-6 and YP-3. These waters should not be consumed directly by the livestock. Continuous/routine monitoring of these water resources should be performed in order to them safely.

Golbasi Special Environmental Area is suffering from water scarcity and water quality problems. In recent years, there has been an increasing demand for groundwater resources especially for agricultural activities. Indeed, drilling new wells is not allowed anymore in an attempt to protect the groundwater resources in the region. In near future water quality and quantity may adversely affect the agricultural activities in terms of finding suitable water resources for livestock production. Therefore, these resources should be protected and a regulation about drinking water quality for livestock should urgently be put in force in Turkey.

#### Acknowledgment

This study is funded by the British Council within the framework of "UK-Turkey Higher Education and Industry Partnership" Programme (2012-2015). The authors would like to express their gratefulness to Prof. Dr. Kang LI (Imperial College, London) and Prof. Dr. John GOWING (Newcastle University) for participating in this project. The authors also express their thanks to Prof. Dr. Süleyman KODAL, Prof. Dr. Mehmet ÇELİK and Dr. Cenk AKŞİT (Ankara University). The authors also thank to Prof. Dr. Ülkü YETİŞ and Prof. Dr. Levent YILMAZ (Middle East Technical University) for their Support during the project activities. Lastly, Mr. Güven ALPSOY (Ministry of Agriculture and Forestry Golbasi District Directorate) is gratefully acknowledged for organizing the site visits.

#### References

- [1] Wikipedia, <https://www.wikizeroo.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTG12ZXN0b2Nr> (Retrieved 25.12.2019)
- [2] Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Statistical database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://faostat3.fao.org/>. (Retrieved 20.12.2019)
- [3] Livestock's Long Shadow, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2006, <http://www.fao.org/3/a0701e/a0701e.pdf> (Retrieved 25.12.2019)
- [4] The Republic of Turkey Prime Ministry, Agrofood, <https://www.invest.gov.tr/en/sectors/pages/agrofood.aspx> (Retrieved 25.12.2019)
- [5] Akman, N., Yener, S. M., Cedden, F., Sen, A. O. 2015. The Status, Changes and Approaches in Cattle Production in Turkey (in Turkish), VIII. Technical Congress, 12-16 January 2007, Ankara, Turkey.

- [6] TUIK, Turkish Statistical Institute, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) (Retrieved 25.12.2019)
- [7] European Community (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060> (Retrieved 25.12.2019)
- [8] Ankara and Agriculture 2012. Ankara Development Agency, <http://www.ankaraka.org.tr/archive/files/yayinlar/ankara-ve-tarim-2012.pdf> (Retrieved 25.12.2019)
- [9] Higgins, S., Agouridis, C., Gumbert, A. 2008. Drinking Water Quality Guidelines for Cattle. <http://www2.ca.uky.edu/agc/pubs/id/id170/id170.pdf> (Retrieved 25.12.2019)
- [10] German, D., Thiex, N., Wright, C. 2008. Interpretation of Water Analysis for Livestock Suitability, <https://erams.com/static/wqtool/PDFs/Interpretation%20of%20Water%20Analysis%20for%20Livestock%20Suitability.pdf> (Retrieved 25.12.2019)
- [11] National Academy of Sciences 1974. Nutrients and toxic substances in water for livestock and poultry. Washington DC. 93 p.
- [12] Weeth, H. J., Capps, D. L. 1972. Tolerance of growing cattle for sulfate water. *Journal of Animal Science*, 34(2011), 256-260.
- [13] Grout, A. S., Veira, D. M., Weary, D. M., vonKeyserlingk, M. A. G., Fraser, D. 2006. Differential effects of sodium and magnesium sulfate on water consumption by beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84 (2006), 1252-1258.
- [14] Dohi, H., Ogura, S., Kosaka, T., Hayashi, Y., Yamada, A., Shioya, S. 1999. Separation of deterrents to ingestive behavior of cattle from cattle feces. *Journal of Animal Science*, 77(1999), 756-761.
- [15] National Academy of Sciences and National Academy of Engineering 1972. Water quality criteria. United States Environmental Protection Agency, Washington DC. Report No. EPA-R373-033.
- [16] Wright, C. L. 2007. Management of water quality for beef cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23(2007), 91-103.
- [17] Weeth, H. J., Hunter, J. E. 1971. Drinking of sulfate water by cattle. *Journal of Animal Science*, 32 (1971), 277-281.
- [18] Embry, L. B.; Hoelscher, M. A.; Wahlstrom, R. C.; and Carlson, C. W. 1959. Salinity and Livestock Water Quality, *Bulletins*. Paper 481
- [19] A National Look at Nitrate Contamination of Ground Water, 1998, United States Geological Survey, [http://water.usgs.gov/nawqa/nutrients/pubs/wcp\\_v39\\_no12/](http://water.usgs.gov/nawqa/nutrients/pubs/wcp_v39_no12/) (Retrieved 25.12.2019)
- [20] Faries, F. C., Sweeten, J. M., Reagor, J. C. 1998. Water quality: its relationship to livestock. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University. [http://publications.tamu.edu/WATER/PUB\\_water\\_Water%20Quality%20Relative%20to%20Livestock.pdf](http://publications.tamu.edu/WATER/PUB_water_Water%20Quality%20Relative%20to%20Livestock.pdf) (Retrieved 25.12.2019)
- [21] Raisbeck, M.F., Riker, S.L., Tate, C.M., Jackson, R., Smith, M.A., Reddy, K.J., Zygmunt, J.R. 2008. A review of the literature pertaining to health effects of inorganic contaminants. *Water Quality for Wyoming Livestock & Wildlife*. B-1183. University of Wyoming
- [22] Basic information about nitrate in drinking water, 1995. United States Environmental Protection Agency, <http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/nitrate.cfm> (Retrieved 25.12.2019)
- [23] TS 266, 2010. Turkish drinking water standards, US Salinity Lab Classification, 1954. *Salt Problems in Irrigation Soils*. USDA Agr. Inf. Bull. 190
- [24] Blake, J. P., Hess, B. J. 2001. Sodium bisulfate (PLT) as a litter treatment. Alabama A&M, Normal, and Auburn University, AL.
- [25] Adams, R. S., & Sharpe, W. E. 1995. Water intake and quality for dairy cattle. Pennsylvania State University.
- [26] Maticic, B. 1999. The impact of agriculture on ground water quality in Slovenia: standards and strategy. *Agricultural Water Management*, 40 (1999), 235-247.
- [27] The Implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the Protection of Waters against Pollution caused by Nitrates from Agricultural Sources. <http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/report.html> (Retrieved 25.12.2019)

- [28] Warrington K (1923). The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann Bot* 27 (1923),629-673.
- [29] Mizrak, C., Yenice, E., Can, M., Yildirim, U., Atik, Z. 2010. Effects of dietary boron on performance, egg production, egg quality and some bone parameters in layer hens. *South African Journal of Animal Sciences*, 40 (2010), 257-264.
- [30] Bozkurt, M., Kucukyilmaz, K., Catl, A. U., Cinar, M., Cabuk, M., Bintas, E. 2012. Effects of boron supplementation to diets deficient in calcium and phosphorus on performance with some serum, bone and fecal characteristics of broiler chickens. *Asian Australian Journal of Animal Sciences*, 25 (2012), 248-255.
- [31] Bharti, V. K., Gupta, M., Lall, D. 2008. Ameliorative effects of boron on serum profile in buffalo (*Bubalis bubalis*) fed high fluoride ration. *Tropical Animal Health Production*, 40 (2008), 111-116.
- [32] Kabu, M., Birdane, F. M., Civelek, T., Uyarlar, C. 2013. Effects of boron administration on serum Ca, Mg and P for peripartum cows. *Archives Animal Breeding*, 73 (2013), 733-741.
- [33] Brockman, R. P., Audette, R. J., Gray, M. 1985. Borax toxicity. *Canadian Veterinary Journal*, 26, 147.
- [34] Puls, R., 1994. *Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data*. (2nd ed.) Sherpa International, Clearbrook, BC.
- [35] World Health Organisation, 1993. *Guidelines for Drinking-water Quality, Volume 1: Recommendations* (2nd edition), Geneva: WHO Press.

## Biberde Tuz Stresine Karşı Melatonin Uygulamasının Bazı Fide Özellikleri Üzerine Etkisi

Gökçen YAKUPOĞLU<sup>ID\*</sup>

\*1 Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, YOZGAT

(Alınış / Received: 09.10.2019, Kabul / Accepted: 26.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

Biber,  
Melatonin,  
Tuz stresi,  
Stoma iletkenliği,  
Bitki boyu

**Öz:** Bu çalışmada tuzlu koşullarda biberin bazı fide özellikleri üzerine melatonin (MEL) uygulamasının etkisi incelenmiştir. Deneme 1:1 torf perlit ortamında viyollerde yürütülmüştür. Fidelere 4 gerçek yapraklı aşamada 0, 5 ve 10  $\mu\text{M}$  MEL uygulanmış ve uygulamadan 2 gün sonra tuz stresi grubunda olan fideler 75  $\mu\text{M}$  tuzlu su ile kontrol ortamındaki fideler su ile sulanmaya başlanmıştır. İki hafta süren denemede, tuz stresi üzerine MEL uygulamalarının etkisini incelemek amacıyla bitki boyu, yaş ağırlık, stoma iletkenliği, EC, antosiyanin, klorofil ve karotenoid miktarları belirlenmiştir. Bitki boyu ve yaş ağırlık değerleri incelendiğinde en iyi sonuç 5  $\mu\text{M}$  MEL kontrol (sırasıyla 20.6 cm ve 36.31 g) uygulamasında, en düşük ise 0  $\mu\text{M}$  MEL (sırasıyla 14.5 cm ve 18.89 g) tuz stresi uygulamasında tespit edilmiştir. Stoma iletkenliği bakımından 10  $\mu\text{M}$  MEL kontrol uygulaması  $124.9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ile en iyi sonucu verirken, 0  $\mu\text{M}$  MEL tuz stresi uygulamasında  $41.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ile en düşük ölçülmüştür. EC açısından 10  $\mu\text{M}$  MEL kontrol uygulaması %0.23 ile en az bozulma 0  $\mu\text{M}$  MEL tuz stresi uygulaması %0.36 ile en fazla bozulma ile sonuçlanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre biber fidelerine MEL uygulamasının tuz stresine karşı toleransı arttırmada kullanılabileceği ve en uygun dozun 5  $\mu\text{M}$  MEL olduğu belirlenmiştir.

## The Effect of Melatonin Applications on Pepper Seedlings Exposed to Salt Stress

### Keywords

Pepper,  
Melatonin,  
Salt stress,  
Stoma conductivity,  
Plant height

**Abstract:** The aim of this study is to determine the effects of melatonin (MEL) applications on seedling properties of the pepper seedlings exposed to salt stress. The experiment was carried out in pots filled with 1: 1 peat perlite medium. Possibilities of improving salt stress tolerance of pepper (4-true leaf stages) seedlings through MEL application as soil drench in various concentrations (0, 5 and 10  $\mu\text{M}$ ) were also explored. Salt-stressed seedlings were watered with 75  $\mu\text{M}$  NaCl for 2 weeks while seedlings in the control treatment were watered with tap water. In order to investigate the effect of MEL application on salt stress, the amount of plant height, fresh weight, stoma conductivity, EC, anthocyanin, chlorophyll and carotenoid were determined. When plant height and fresh weight were examined, the best results were found in 5  $\mu\text{M}$  MEL control (20.6 cm and 36.31 g respectively) application and the lowest in 0  $\mu\text{M}$  MEL (14.5 cm-18.89 g respectively) salt stress application. In terms of stoma conductivity, 10  $\mu\text{M}$  MEL control gave the best results with  $124.9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , and 0  $\mu\text{M}$  MEL salt stress treatment had the lowest conductivity with  $41.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . In terms of EC, 10  $\mu\text{M}$  MEL control application resulted in the least degradation of tissues with 0.23% and 0  $\mu\text{M}$  MEL salt stress application resulted in the highest tissue deterioration with 0.36%. According to the results we obtained, it was determined that MEL application to pepper seedlings could be used to increase tolerance against salt stress and the most suitable MEL concentration was determined as 5  $\mu\text{M}$ .

### 1. Giriş

Tuzluluk, kuraklık, ekstrem sıcaklıklar, su baskını, kirletici maddeler, radyasyon, rüzgâ, toprağın besin maddelerinden yoksun olması gibi abiyotik stres faktörleri ve patojenler, hayvanlarve parazit bitkiler gibi

biyotik stres faktörleri bitki büyümesini ve gelişmesini olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte bitkilerin stres faktörlerine karşı adaptasyonuna yönelik çalışmalar ve farklı yöntemlerin kullanılabilirliğinin araştırılması önem kazanmıştır. Tarım alanlarında tuzluluğun artması ile toprak yapısında bozulma, bitki verimliliği ile birlikte ürün kalitesi de sınırlanmaktadır. Tuz stresi, morfolojik, fizyolojik, hücresel ve moleküler düzeyde pek çok olumsuzluğa neden olmaktadır. Olumsuz çevre koşullarına karşı mücadele yöntemlerinden birisi de strese karşı tolerans sağlayan bitki büyüme düzenleyicilerinin kullanılmasıdır [1, 2].

Sığır beyin üstü bezinden 1958 yılında izole edilen bir indolamin olan melatonin (MEL) bu moleküller arasında sayılabilir [3]. İlk olarak omurgalı hayvanlarda bulunan MEL yıllarca sadece hayvanlara özgü bir hormon veya düzenleyici olarak kabul edilmiştir [4]. Bitkilerde ise 1995 yılında birbirinden habersiz iki ayrı araştırmacı grubun yaptığı çalışmalarla (özellikle tahıllarda, meyvelerde ve sebzelerde) keşfedilmiştir [5, 6]. Artan çalışmalarla MEL'in bitkilerde strese karşı güçlü bir antioksidan olduğu ve stres altındaki bitkilerde glutasyon reduktaz, katalaz (CAT), peroksidaz (POX) ve süperoksid dismutaz (SOD) gibi enzim aktivitelerini teşvik ettiği ve düzenlediği bulunmuştur [7-16].

Tuz stresi kurak ve yarı kurak bölgelerde bitki gelişimi ve ürün verimliliğini kısıtlayan önemli stres faktörlerinden biridir. Tuz stresini olumsuz etkileri tuz çeşidine, stres süresi ve düzeyine, bitkinin genotipi ve gelişim aşamasına bağlı olarak farklılık gösterebilir ayrıca strese maruz kalan bitkilerde bazı metabolik olaylar ve fotosentetik aktivitenin azalması bitkinin hayatta kalmasını etkileyebilmektedir [17]. Bitkiler melatonin sentezler ve tuz stresi altında bitkilerin melatonin içeriği yükselir. Reaktif oksijen türleri (ROS) temizlenmesi fotosentetik verimin ve metabolit içeriğinin artmasında MEL önemli rol oynar. Dışarıdan MEL uygulaması bitkinin tuz stresine karşı direnç göstermesinde ve hayatta kalma şansını arttırmada etkili olabilmektedir [18].

Bu çalışmada, tuz stresine karşı hassas bir bitki olan biber fidelerinde MEL'in tuz stresine karşı büyüme düzenleyici ve antioksidan etkisinden faydalanılarak uygun MEL dozunun tespit edilmesi hedeflenmiştir. Denemede tuz stresi için uygun MEL dozunu belirlemek amacıyla bitki boyu, yaş ağırlık, stoma iletkenliği, EC, antosiyanin, klorofil ve karotenoid miktarları ölçülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Denemede Balıkesir tohumculuğun "Yalova Yağlık" biber çeşidine ait fideler kullanılmıştır. Fideler özel bir şirketten alınarak 1:1 torf perlit ortamında viyollere dikilmiştir. Fidelere 4 gerçek yapraklı aşamada topraktan (her bir bitkiye 100ml) 0, 5 ve 10  $\mu\text{M}$  MEL uygulanmış ve uygulamadan 2 gün sonra tuz stresi grubunda olan fideler 75  $\mu\text{M}$  tuzlu su ile kontrol ortamındaki fideler su ile sulanmaya başlanmıştır. Sulama haftada 3 kez olacak şekilde 2 hafta devam etmiştir ve sonrasında deneme sonlandırılmıştır.

Biber yapraklarında MEL tayini Arnao ve Hernandez-Ruiz [19]'de belirtilen ekstraksiyon ve analiz yöntemleri baz alınarak belirlenmiştir. Ekstraksiyon dahil tüm işlemler MEL'in ışığa hassasiyeti dolayısıyla suni loş ışık altında yapılmıştır. Analizde floresan dedektörlü Shimadzu marka (Prominace UFLC model) HPLC cihazı ve Inertsil ODS2 (GL Sciences, 5  $\mu\text{M}$ , 150 x 4.6 mm) kolonu kullanılmıştır. Analiz için 280 nM, emisyon dalga boyu olarak da 350 nM kullanılmıştır. Mobil faz olarak 40:60 oranında metanol ve 0,1 mM sodyum fosfat tamponundan (pH:4,5) oluşan karışım kullanılmıştır. Okumalarda 20  $\mu\text{L}$  örnek kullanılmış, kolon fırın sıcaklığı 35  $^{\circ}\text{C}$  olarak ayarlanmış ve akış hızı 0,4 mL dk<sup>-1</sup> olmuştur. Elde edilen pikler, standart MEL çözeltilerinden elde edilen piklerle karşılaştırılarak MEL içeriği (ng g<sup>-1</sup> TA) belirlenmiştir.

Bitkilerde klorofil içeriği tesadüfen alınan 0,5 g yaprak örneği %80'lik aseton ile ekstrakt edildikten sonra filtre edilmiş ekstrakt solüsyonunun absorbanlarının spektrofotometrede 645 nM ve 663 nM'de okunmasından sonra Güneş vd., [20]'de belirtilen formüllere göre hesaplanmıştır. Antosiyanin içeriği (Opti Science ACM-200 Plus Anthocyanin Meter) belirlenmiştir. Stoma iletkenliği yaprak porometresi (Decagon) ile saat 13.00-14.00 arasında ölçülmüştür.

Fideler kök boğazından kesilmiş ve toprak üstü kısım yaş ağırlık (mg bitki<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. Bitkiler arasında tesadüfen seçilen 2 bitkiden (her uygulamanın her bir tekrerründen) yaprak diskleri alınmış elektriki iletkenliği Korkmaz vd., [21]'de belirtilen metoda göre ölçülmüştür. Toplam fenolik miktarı, Folin Ciocalteu kolorimetrik yöntem kullanılarak Singleton ve Rossi'ye [22] göre belirlenmiş ve sonuçlar, gallik asit cinsinden (mg/g) verilmiştir. Her bir tekrerründen tesadüfen alınan 0,5 g yaprak örneği %80'lik



aseton ile ekstrakt edilmiş 480 nM, 645 nM ve 663 nM okumalarından sonra karotenoid miktarları hesaplanmıştır [23].

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrür ve her tekerrürde 9 bitki olarak kurulmuş elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesi SPSS 20.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Duncan Multiple Range Test (Duncan çoklu karşılaştırma testi) uygulanmıştır. Sonuçların istatistiksel değerlendirilmesinde farklar arasındaki önemlilik düzeyi 0.05 olarak tespit edilmiştir.

### 3. Bulgular

Tuz stresi altındaki biber fidelerinde MEL içeriği, stoma iletkenliği, bitki boyu ve yaş ağırlık verileri incelendiğinde MEL uygulaması ile birlikte melatonin içeriğinin arttığı bununla beraber strese maruz kalan bitkilerde kalmayanlara oranla MEL seviyelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. MEL uygulanmamış biber fidelerinde MEL içeriği 31.23 ng g<sup>-1</sup> TA olarak bulunurken tuz stresine maruz kalmış ve MEL uygulanmamış fidelerde 49.83 ng g<sup>-1</sup> TA olarak tespit edilmiştir. En yüksek MEL içeriği 86.20 ng g<sup>-1</sup> TA ile tuz stresine maruz kalmış 10 µM MEL uygulamasında tespit edilmiştir.

Tuz stresine maruz kalmış bitkilerde stoma iletkenliği azalma göstermiştir. En düşük stoma iletkenliği tuz stresinin altında 0 µM MEL uygulamasında (41.5 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) en yüksek ise 124.9 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ile 10 µM MEL kontrol uygulamasında ölçülmüştür. Bitki boyu ve yaş ağırlık açısından en yüksek değerler (sırasıyla 20.6 cm ve 36.3 g bitki<sup>-1</sup>) 5 µM MEL kontrol uygulamasında en düşük değerler (sırasıyla 14.5cm ve 18.9 bitki<sup>-1</sup>) ise tuz stresi altındaki 0 µM MEL uygulamasından elde edilmiştir. **Bknz Tablo 1.**

**Tablo 1.** Melatonin uygulamalarının melatonin, stoma iletkenliği, bitki boyu ve yaş ağırlık üzerine etkisi..

	Uygulamalar	MEL ng g <sup>-1</sup> TA	Stoma İletkenliği (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Bitki Boyu cm	Yaş Ağırlık g bitki <sup>-1</sup>
Kontrol	0 µM MEL	31.23 e	110.9 a	18.6 ab	35.6 a
	5 µM MEL	47.70 d	105.3 a	<b>20.6 a</b>	<b>36.3 a</b>
	10 µM MEL	72.23 b	<b>124.9 a</b>	20.3 a	35.3 a
Tuz stresi	0 µM MEL	49.83 d	41.5 b	14.5 c	18.9 b
	5 µM MEL	63.23 c	83.2 ab	16.7 bc	22.3 b
	10 µM MEL	<b>86.20 a</b>	55.3 b	16.1 bc	20.9 b

Tuz stresi altındaki biber fidelerinde MEL uygulamasının klorofil ve elektriki iletkenlik üzerine etkileri incelendiğinde en yüksek toplam klorofil değeri 248.2 mg<sup>-1</sup> TA ile kontrol ortamında 10 µM MEL uygulamasında bulunmuştur. Tablo incelendiğinde tuz stresi ile birlikte elektriki iletkenlik değerlerinin arttığı ve en fazla dokusal bozulmanın %36 ile tuz stresi altındaki 0 µM MEL uygulamasında olduğu görülmektedir. **Bknz Tablo 2.**

**Tablo 2.** Melatonin uygulamalarının klorofil içeriği, elektriki iletkenlik üzerine etkisi

	Uygulamalar	Klorofil içeriği mg <sup>-1</sup> TA	Elektriki iletkenlik (%)
Kontrol	0 µM MEL	211.3 bc	24 b
	5 µM MEL	201.6 c	24 b
	10 µM MEL	<b>248.2 a</b>	23 b
Tuz stresi	0 µM MEL	209.6 bc	<b>36 a</b>
	5 µM MEL	224.0 abc	34 a
	10 µM MEL	241.6 ab	35 a

Stres altındaki biber fidelerinde MEL uygulamasının toplam fenolik, karotenoid ve antosiyanin üzerine etkileri incelendiğinde tuz stresi ve MEL ilavesiyle birlikte toplam fenolik madde miktarının arttığı görülmektedir. En yüksek toplam fenolik ve karotenoid değeri (sırasıyla 0.77- 7.7 mg/g) tuz stresi altındaki 10 µM MEL uygulamasında, en düşük miktarlar ise (sırasıyla 0.44-6.6 mg/g) 0 µM MEL kontrol ortamında bulunmuştur. Tuz stresiyile antosiyanin miktarında görülen artış MEL ilavesiyle birlikte bir miktar düşüşe neden olmuştur. En yüksek antosiyanin miktarı 6.8 ile tuz stresi altındaki 0 µM MEL ortamında belirlenmiştir. **Bknz Tablo3.**

**Tablo 3.** Melatonin uygulamalarının toplam fenolik, karotenoid ve antosiyanin içeriğine etkisi

	Uygulamalar	Toplam fenolik GAE mg/g	Karotenoid mg/g	Antosiyanin (ACI)
Kontrol	0 µM MEL	0.44 c	6.6 b	4.8 bc
	5 µM MEL	0.45 c	7.3 ab	4.9 bc
	10 µM MEL	0.59 b	7.3 ab	4.3 c
Tuz stresi	0 µM MEL	0.63 b	7.1 ab	<b>6.8 a</b>
	5 µM MEL	0.71 a	7.0 ab	6.6 a
	10 µM MEL	<b>0.77 a</b>	<b>7.7 a</b>	5.8 ab

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada tuz stresi ve MEL ilavesi ile birlikte MEL miktarlarında artış gözlenmiştir. MEL uygulanmamış biber fidelerinde MEL içeriği 31.23 ng g<sup>-1</sup> TA olarak bulunurken tuz stresine maruz kalmış ve MEL uygulanmamış fidelerde 49.83 ng g<sup>-1</sup> TA olarak tespit edilmiştir. Li vd. [18] 'de tuz stresinin içsel MEL içeriğinde artışlara sebep olduğunu bildirmiştir. Yine çalışmamıza benzer şekilde tuz, düşük sıcaklık, çinko ve kuraklık gibi farklı stres faktörleri altındaki acı bakla ve arpa bitkilerinde içsel MEL seviyelerinde stres faktörünün yoğunluğu ve uygulama zamanına göre artışlar görülmüştür [24, 25].

Bitki boyu ve yaş ağırlık açısından en yüksek değerler 5 µM MEL kontrol ortamında belirlenmiştir. MEL ilavesinin patlıcan fidelerinde üşüme stresine toleransı arttırdığı gövde yaş ve kuru ağırlıklarında daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [26]. Fidelere yapılan MEL uygulamalarının stoma iletkenliğini olumlu etkilediği görülmektedir. Tuz stresinde 5 µM MEL uygulaması stoma iletkenliğini yaklaşık iki katı arttırmıştır. Klorofil içeriği de benzer şekilde MEL uygulaması ile birlikte artış göstermektedir. Bu sonuçlar, MEL uygulanmış bitkilerde fotosentetik kapasitenin tuz stresinden daha az etkilendiğini göstermiştir. MEL klorofil yaşlanmasını önlemede koruyucu bir rol oynamakta ve fotosentez verimliliğini arttırmaktadır. Kuraklık stresi nedeniyle fotosentezdeki azalmayı önleyerek bitki büyümesini teşvik etmektedir [27]. Tuz stresine maruz kalmış mısırdaki MEL uygulaması fotosentezi %19 arttırmıştır [28]. Yine mısırdaki kuraklık stresine karşı 100 mM yapraktan MEL uygulanmış ve fotosentetik aktivite ve stoma iletkenliğini arttırmıştır [29].

Toplam fenolik ve karotenoid miktarları MEL ilavesi ile birlikte artış göstermiştir. Tütün bitkisinde tuz ve kuraklık stresine karşı MEL uygulanmış bizim çalışmalarımıza benzer olarak MEL uygulamalarının karotenoid miktarını arttırdığı bulunmuştur [30].

Sonuç olarak, tuz stresine karşı biber fidelerine dışarıdan MEL uygulamasının strese karşı toleransın artırılmasında kullanılabileceği görülmektedir. Strese maruz kalmış bitkiler açısından incelediğimizde stoma iletkenliği, bitki boyu, yaş ağırlık, elektrikli iletkenlik miktarları açısından 5 µM MEL uygulaması, MEL miktarı, klorofil içeriği, toplam fenolik ve karotenoid miktarı bakımından 10 µM MEL uygulamaları en iyi sonucu vermiştir. Denemede elde edilen sonuçlar, MEL'in bitki tuz toleransını arttırmak için bir bitki büyüme düzenleyici olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmamız neticesinde tuz stresine karşı biber fidelerine 5 µM MEL uygulamasını stres toleransını azaltmada ve zararlanmayı engellemede önerebiliriz.

#### Teşekkür

Laboratuvar çalışmalarında yardımlarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Gülden Balcı ve Doktora Öğrencisi Şebnem Köklü'ye teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- [1] Ashraf, M., Foolad., M.R., 2007. Roles of Glycine Betaine and Proline in Improving Plant Abiotic Stress Resistance. *Environmental Experimental Botany*, 59 (2007), 206–216.
- [2] Yılmaz, E., Tuna, A. L., Bürün, B., 2011. Bitkilerin Tuz Stresi Etkilerine Karşı Geliştirdikleri Tolerans Stratejileri. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi ISSN 1305-1385 C.B.U. Journal of Science*. 47–66 7.1 (2011), 47–66.

- [3] Lerner, A. B., Case, J. D., Takahashi, Y., Lee, T. H., Mori, W. 1958. Isolation of Melatonin, the Pineal Factor that Lightness Melanocytes. *Journal of American Chemical Society*, 80(1958), 2587-2592.
- [4] Reiter, R. J. 1991. Pineal Melatonin: Cell Biology of its Physiological Interactions. *Endocrine Reviews*, 12(1991), 151-181.
- [5] Dubbels, R., Reiter, R.J., Klenke, E., Goebel, A., Schnakenberg, E., Ehlers, C., 1995. Melatonin in Edible Plants Identified by Radioimmunoassay and by High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Pineal Research*, 18: 28-31.
- [6] Hattori, A, Migitaka, H., Masayaki, I., Itoh, M., Yamamoto, K., Ohtani-Kaneko, R., Hara, M., Suzuki, T., Reiter, R.J., 1995. Identification of Melatonin in Plant Seed its Effects on Plasma Melatonin Levels and Binding to Melatonin Receptors in Vertebrates. *International Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 35(1995), 627-634.
- [7] Cardinali, D. P., Pevet, P. 1998. Basic Aspects of Melatonin Action. *Sleep Medicine Reviews*, 2(1998) 175-190.
- [8] Manchester, L. C., Tan, D. X., Reiter, R. J., Park, W., Monis, K., Qi, W. B., 2000. High Levels of Melatonin in the Seeds of Edible Plants: Possible Function in Germ Tissue Protection. *Life Sciences*, 67:25(2000), 3023-3029.
- [9] Terron, M. P., Marchena, J. M., Shadi, F., Harvey, S., Lea, R. W., Rodríguez, A. B. 2001. Melatonin: an antioxidant at physiological concentrations. *Journal of Pineal Research*, 31(2001), 95-96.
- [10] Reiter, R. J., Tan, D. X. 2002. Melatonin: an Antioxidant in Edible Plants. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 957(2002), 341-344.
- [11] Allegra, M., Reiter R. J., Tan D. X., Gentile, C., Tesoriere, L., Livrea, M. A. 2003. The Chemistry of Melatonin's Interaction with Reactive Species. *Journal of Pineal Research*, 34 (1)( 2003), 1-10.
- [12] Teixeira, A., Morfim, M. P., De Cordova, C. A. S., Charão, C. C. T., De Lima, V. R., Creczynski-Pasa, T. B. 2003. Melatonin Protects Against Prooxidant Enzymes and Reduces Lipid Peroxidation in Distinct Membranes Induced by the Hydroxyl and Asorbyl Radicals and by Peroxynitrite. *Journal of Pineal Research*, 35 (4)(2003), 262-268.
- [13] Rodriguez, C., Mayo, J. C., Sainz, R. M., Antolin, I., Herrera, F., Martin, V., Reiter, R. J. 2004. Regulation of Antioxidant Enzymes: A Significant Role for Melatonin. *Journal of Pineal Research*, 36 (1)(2004), 1-9.
- [14] Reiter, R. J. Manchester, L. C., Tan, D. X. 2005. Melatonin in Walnuts: Influence on Levels of Melatonin and Total Antioxidant Capacity of Blood. *Nutrition*, 21(2005), 920-924.
- [15] Maldonado, M. D., Murillo-Cabezas, F., Terron, M.P., Tan D. X., Manchester, L. C., Reiter R. J. 2007. The Potential of Melatonin in Reducing Morbidity-Mortality after Craniocerebral Trauma. *Journal of Pineal Research*, 42 (1)(2007), 1-11.
- [16] Reiter, R.J., Tan, D.X., Manchester, L.C., Simopoulos, A.P., Maldonado, M.D., Flores, L.J., Terron. M.P. 2007. Melatonin in edible plants (phytomelatonin); identification, concentrations, bioavailability and proposed functions. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 97(2007), 211-230.
- [17] Çulha, Ş., Çakırlar, H. 2011. Tuzluluğun Bitkiler Üzerine Etkileri ve Tuz Tolerans Mekanizmaları AKÜ FEBİD AKU J. Sci. 11 (2011) 021002 (11-34).
- [18] Li, J., Liu, J., Zhu, T., Zhao, C., Li, L., Chen, M. 2019. The Role of Melatonin in Salt Stress Responses. *Int J Mol Sci.* (2019) Apr 8;20(7). pii: E1735. doi: 10.3390/ijms20071735.
- [19] Arnao, M. B., Hernandez-Ruiz, J., 2009. Assessment of Different Sample Processing Procedures Applied to the Determination of Melatonin in Plants. *Phytochemical Analysis*, 20(2009), 14-18.
- [20] Güneş, A., İnal, A., Bağcı, E. G., Pilbeam, D. J. 2007. Silicon-Mediated Changes of Some Physiological and Enzymatic Parameters Symptomatic for Oxidative Stress in Spinach and Tomato Grown in Sodic-B Toxic Soil. *Plant Soil*, 290(2007), 103-114.
- [21] Korkmaz, A., Uzunlu, M., Demirkıran, A. R., 2007. Treatment with Acetyl Salicylic Acid Protects Muskmelon Seedlings Against Drought Stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(2007), 503-508.
- [22] Singleton, V. L., Rossi, J. R. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16(1965), 144-158.

- [23] Witham, F. H., Blaydes D. F., Devlin, R. M. 1971. Experiments of plant physiology. Von Nostrand Reinhold Co., New York, (1971), pp. 55-58.
- [24] Arnao, M. B., Hernández-Ruiz J. 2009b. Protective effect of melatonin against chlorophyll degradation during the senescence of barley leaves. *Journal of Pineal Research*, 46 (1)(2009), 58-63.
- [25] Arnao, M. B., Hernandez-Ruiz, J. 2013. Growth conditions determine different melatonin levels in *Lupinus albus* L. *Journal of Pineal Research*, 55(2013), 149–155. 136.
- [26] Yakupoğlu, G. 2016. Patlıcan (*Solanum melongena* L.)’da Melatonin İçeriğinin ve Üşüme Stresine Karşı Etkisinin Belirlenmesi. KSÜ. Fen Bil. Ens., Bahçe Bitkileri Bölümü, Doktora Tezi, 103s, Kahramanmaraş.
- [27] Wang, P., Sun, X., Li, C., Wei, Z., Liang, D., Ma, F. 2013. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. *Journal of Pineal Research*, 54(2013), 292–302.
- [28] Jiang, C., Cui, Q., Feng, K., Xu, D., Li, C., Zheng, Q. 2016. Melatonin improves antioxidant capacity and ion homeostasis and enhances salt tolerance in maize seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38: 82
- [29] Ye, J., Wang, S., Deng, X., Yin, L., Xiong, B., Wang, X. 2016. Melatonin increased maize (*Zea mays* L.) seedling drought tolerance by alleviating drought-induced photosynthetic inhibition and oxidative damage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(2016), 48.
- [30] Kaya, A, İnan, M. 2018. Kuraklık ve Tuz Streslerine Maruz Kalan Tütün (*Nicotiana tabacum* L. ) Bitkisinde Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Melatoninin Etkileri. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 21(4) (2018), 559-564.

## A Note On Simplicial Groupoids

\*Ali Aytekin<sup>1</sup> 

\*<sup>1</sup> Pamukkale University, Faculty of Science and Literature, Department of Mathematics, DENİZLİ

(Alınış / Received: 12.02.2020, Kabul / Accepted: 26.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Keywords

Groupoid,  
Simplicial Object,  
Crossed Module

**Abstract:** Showing the equivalence of the two categories is very important in terms of investigating the properties. This equivalence shows that the properties existing in the category exist in the other category without the need to examination. From this point of view, since the category of groupoids is a category better known than the category of simplicial groupoids, thanks to equivalence, all the properties in the category of groupoids are valid for the category of simplicial groupoids. Main objective of this paper is to give simplicial object in category of groupoids and to prove the equivalence between the category of simplicial groupoids and the category of crossed modules of groupoids.

## Simplisel Grupoidler Üzerine Bir Not

### Anahtar Kelimeler

Grupoid,  
Simplisel Obje,  
Çaprazlanmış Modül

**Öz:** İki kategorinin denliğini göstermek özelliklerin incelenmesi bakımında oldukça önemlidir. Bu denklik, kategoride var olan özelliklerin, incelemeye gerek kalmadan diğer kategoride de var olduğunu gösterir. Bu açıdan bakıldığında grupoidler kategorisi, simplisel grupoidler kategorisine göre daha iyi bilinen bir kategori olduğundan denklik sayesinde grupoidler kategorisindeki özelliklerin tamamı simplisel grupoidler kategorisi için geçerlidir. Bu makalenin temel amacı grupoidler kategorisinde simplisel objeyi vermek ve simplisel grupoidler kategorisiyle grupoidler üzerinde çaprazlanmış modüller kategorisinin denliğini göstermektir.

### 1. Introduction

Crossed modules over groups originally were defined by Whitehead [20]. He mentioned crossed modules in this study on which algebraic structures of relative homotopy groups. Since then, notion of crossed module has taken an important place in other areas. Some of studies are [4,5,10,13,14,15] about this topic. Simplicial groups were initially introduced by Kan [17]. After that, different authors defined concept of simplicial such as simplicial Lie algebras, simplicial Leibniz algebras and equivalences in related categories were given in some of the studies [1,2,6,14].

Groupoids were defined by Brandt [7] after a long working process. Afterwards, many studies have been done by researchers. According to Brown [8] groupoids can be considered as the generalization of groups. In this context, it seems possible to transfer the work done on groups to groupoids. See [3,9,18,19] for details about groupoids.

### 2. Material and Method

#### 2.1. Groupoids and Crossed Modules

We recall some definitions from [9].

A groupoid is a small category in which every morphism is an isomorphism, i.e invertible.

That is, there exists morphism  $\alpha^{-1}$  for any morphism  $\alpha$  such that

$$\alpha \circ \alpha^{-1} = e_{t(\alpha)} \text{ and } \alpha^{-1} \circ \alpha = e_{s(\alpha)},$$

where  $e: C_0 \rightarrow C_1$  converts the identity morphism at an object and  $s, t: C_1 \rightarrow C_0$  are group morphisms.

We write a groupoid as  $C = (C_0, C_1)$ , where  $C_0$  is the set of objects and  $C_1$  is the set of morphisms. A groupoid  $C$  is called totally disconnected, if  $C_1(x, y)$  is empty, for all  $x, y \in C_0$  with  $x \neq y$ , i.e  $s = t$ . There exists a morphism of groupoids

$$f = (f_0, f_1): (C_0, C_1) \rightarrow (C'_0, C'_1)$$

such that the diagram

$$\begin{array}{ccc} C_1 & \xrightarrow{f_1} & C'_1 \\ \downarrow s_1 & & \downarrow s'_1 \\ & & \downarrow t'_1 \\ C_0 & \xrightarrow{f_0} & C'_0 \end{array}$$

is commutative. Thus, it can be formed category of groupoids denoted by **Gpd**.

**Examples:**

- i. Every group can be considered as a groupoid with single object.
- ii. A category whose objects are all sets and morphisms are bijective functions is a groupoid.
- iii. A category whose objects are topological spaces and morphisms are homeomorphisms is a groupoid.
- iv. Let  $X$  be a set and  $(x, y)$  be a morphism from  $x$  to  $y$ , for all  $x, y \in X$ . If the composition is defined as

$$(y, z) \circ (x, y) = (x, z)$$

for all  $x, y, z \in X$ , then  $(X, X \times X)$  becomes a groupoid.

- v. Let  $X$  be a set,  $G$  be a group and triple  $(x, g, y)$  be a morphism from  $x$  to  $y$ , for all  $x, y \in X$  and  $g \in G$ . If the composition is defined as

$$(y, h, z) \circ (x, g, y) = (x, hg, z),$$

for all  $g, h \in G$ , then  $(X, X \times G \times X)$  is a groupoid which is called trivial groupoid.

**Remark 2.1.** Let  $f = (f_0, f_1): C \rightarrow C'$  be a morphism of groupoids. Kernel of the morphism is the set  $\ker f = \{a \in C: \text{there exists an } x \in C_0 \text{ such that } f(a) = e_x\}$ .

**Definition 2.2.** Let  $G$  and  $C$  be groupoids over same object set and  $C$  be totally disconnected. Then an action of  $G$  on  $C$  is defined by a function

$$\begin{aligned} G_s \times_t C &\rightarrow C \\ (g, c) &\mapsto {}^g c \end{aligned}$$

which satisfies

- a)  ${}^g c$  is defined if and only if  $t(c) = s(g)$  and then  $t({}^g c) = t(g)$ ,
- b)  ${}^g(c_1 \circ c_2) = {}^g c_1 \circ {}^g c_2$ ,
- c)  ${}^{g \circ h} c_1 = {}^g({}^h c_1)$  and  $e_x c_1 = c_1$ ,

for all  $c_1, c_2 \in C(x, x)$  and  $g \in G(x, y)$ ,  $h \in G(y, z)$ .

**Definition 2.3.** Let  $G$  and  $C$  be groupoids providing the above conditions. If the morphism  $\partial: C \rightarrow G$  which satisfies

**CM1)**  $\partial({}^g c) = g^{-1} \circ \partial(c) \circ g$

**CM2)**  $\partial(c_1) \circ c = c_1^{-1} \circ c \circ c_1$

for all  $c_1, c \in C(x, x)$ ,  $g \in G(x, y)$ , and  $x, y \in C_0$  then triple  $(C, G, \partial)$  is called a crossed module of groupoids.

A morphism of crossed modules of groupoids from  $(C, G, \partial)$  to  $(C', G', \partial')$  is a pair of groupoids morphisms

$$\alpha: C \rightarrow C' \text{ and } \beta: G \rightarrow G'$$

such that the diagrams

$$\begin{array}{ccc} C & \xrightarrow{\partial} & G \\ \alpha \downarrow & & \downarrow \beta \\ C' & \xrightarrow{\partial'} & G' \end{array} \quad \begin{array}{ccc} G \times C & \longrightarrow & C \\ (\beta, \alpha) \downarrow & & \downarrow \alpha \\ G' \times C' & \longrightarrow & C' \end{array}$$

are commutative. Thus, it can be get category of crossed modules of groupoids denoted by **XMod(Gpd)**.

### 3. Results

We recall some definitions from [12,16].

Let  $\Delta$  be the category of finite ordinals. A simplicial object  $C$  in **Gpd**, or briefly a simp. gpd, is the functor

$$C: \Delta^{op} \rightarrow \mathbf{Gpd}.$$

In other words, let  $C = \{C_0, C_1, \dots, C_n, \dots\}$  be a family of groupoids and

$$d_i^n: C_n \rightarrow C_{n-1} \text{ and } s_i^n: C_n \rightarrow C_{n+1}$$

groupoid morphisms for  $0 \leq i \leq n$ . The triple  $(C, d_i, s_j)$  is called simplicial groupoid if  $d_i$  and  $s_j$  satisfy the following axioms which called simplicial identities

$$\begin{aligned} d_i d_j &= d_{j-1} d_i && \text{for } i < j \\ d_i s_j &= \begin{cases} s_{j-1} d_i & \text{for } i < j \\ id & \text{for } i = j \text{ or } i = j + 1 \\ s_j d_{i-1} & \text{for } i > j + 1 \end{cases} \\ s_i s_j &= s_{j+1} s_i && \text{for } i \leq j, \end{aligned}$$

for  $0 \leq i \leq n$ , where  $d_i$  and  $s_j$  is called face and degeneracy map respectively. Note that face and dejeneracy morphisms of  $C$  are identity on objects. Simplicial groupoids can be pictured as follows;

$$\begin{array}{ccccccc} & & \xrightarrow{\quad} & & \xrightarrow{\quad} & & \xrightarrow{\quad} \\ & & \vdots & & \xrightarrow{d_0, d_1, d_2} & & \xrightarrow{d_0, d_1} \\ C: \dots C_k & \xrightarrow{\quad} & C_{k-1} \dots C_2 & \xrightarrow{\quad} & C_1 & \xrightarrow{\quad} & C_0 \\ & & \xleftarrow{\quad} & & \xleftarrow{s_0, s_1} & & \xleftarrow{s_0} \\ & & \vdots & & & & \\ & & \xleftarrow{\quad} & & & & \end{array}$$

A simplicial groupoid morphism  $f: C \rightarrow C'$  with  $d_i$  and  $s_j$  maps is a family of groupoid homomorphisms  $f_n: C_n \rightarrow C'_n$  such that

$$d_i f_n = f_{n-1} d_i \text{ and } f_n s_i = s_i f_{n-1}$$

for all  $i$  and  $n$ . So, it can be obtained the category of simplicial groupoids denoted by **Simp(Gpd)**.

#### 3.1. The Moore Complex and Truncated Objects

The Moore complex  $NC$  of a simplicial object  $C$  in **Simp(Gpd)** is the sequence

$$NC: \dots \rightarrow NC_n \xrightarrow{\partial_n} NC_{n-1} \xrightarrow{\partial_{n-1}} \dots \xrightarrow{\partial_2} NC_1 \xrightarrow{\partial_1} NC_0$$

where  $NC_0 = C_0$ ,  $NC_n = \bigcap_{i=0}^{n-1} \ker d_i$  and  $\partial_n$  is the restriction of  $d_n$  to  $NC_n$ . It is called that  $NC$  is Moore

complex of simplicial groupoid  $C$  and is of length  $k$  if  $NC_n = 0$ , for all  $n \geq k+1$ . Thus, one can define a category whose objects are simplicial groupoids with Moore complex of length  $k$  and the morphisms are families of homomorphisms compatible with face and degeneracy maps. We denote that category by **Simp** <sub>$\leq k$</sub>  **(Gpd)**.

The following terminology for groupoid case is adapted from [11]. Let  $C_i$  be a groupoid for  $0 \leq i \leq k$ . A simplicial groupoid defined by

$$\begin{array}{ccccccc} \dots & \longrightarrow & 0 & \longrightarrow & C_k & \begin{array}{c} \xrightarrow{\quad} \\ \vdots \\ \xrightarrow{\quad} \end{array} & C_{k-1} \dots C_2 & \begin{array}{c} \xrightarrow{d_0, d_1, d_2} \\ \xrightarrow{\quad} \\ \xrightarrow{s_0, s_1} \end{array} & C_1 & \begin{array}{c} \xrightarrow{d_0, d_1} \\ \xrightarrow{\quad} \\ \xrightarrow{s_0} \end{array} & C_0 \end{array}$$

is called  $k$ -truncated simplicial groupoid and denoted by **Tr<sub>k</sub>Simp(Gpd)**. This structure has truncated functor

$$tr_k : \mathbf{Simp}(\mathbf{Gpd}) \rightarrow \mathbf{Tr}_k \mathbf{Simp}(\mathbf{Gpd})$$

has left adjoint  $st_k$  called  $k$ -skeleton and right adjoint  $cost_k$  called  $k$ -coskeleton. These can be shown as follows;

$$\mathbf{Tr}_k \mathbf{Simp}(\mathbf{Gpd}) \begin{array}{c} \xleftarrow{cost_k} \\ \xrightarrow{tr_k} \end{array} \mathbf{Simp}(\mathbf{Gpd}) \begin{array}{c} \xleftarrow{st_k} \\ \xrightarrow{tr_k} \end{array} \mathbf{Tr}_k \mathbf{Simp}(\mathbf{Gpd}).$$

See [11] for details.

**Theorem 3.1** The category **XMod(Gpd)** is naturally equivalent to the category **Simp** <sub>$\leq 1$</sub>  **(Gpd)**.

**Proof:** Let  $C$  be a simplicial groupoid with Moore complex of length 1 and  $C_0, C_1$  be two groupoids. Take  $G = \ker d_0$  and  $\partial$  is the restriction of  $d_1$  to  $G$ . Define the action of  $C_0$  on  $G$  by

$$\begin{aligned} C_0 \times G &\rightarrow G \\ (c, g) &\mapsto {}^c g = s_0(c)^{-1} \circ g \circ s_0(c) \end{aligned}$$

for all  $c \in C_0$  and  $g \in G$ . By using the action given above  $\partial : G \rightarrow C_0$  becomes a crossed module. Because

**CM1)**

$$\begin{aligned} \partial({}^c g) &= \partial(s_0(c)^{-1} \circ g \circ s_0(c)) \\ &= \partial s_0(c)^{-1} \circ \partial(g) \circ \partial s_0(c) \\ &= d_1 s_0(c)^{-1} \circ \partial(g) \circ d_1 s_0(c) \\ &= c^{-1} \circ \partial(g) \circ c \end{aligned}$$

**CM2)**

$$\begin{aligned} \partial({}^{g'} g) &= s_0 \partial(g)^{-1} \circ g' \circ s_0 \partial(g) \\ &= s_0 d_1(g)^{-1} \circ g' \circ s_0 d_1(g) \\ &= s_0 d_1(g)^{-1} \circ g' \circ s_0 d_1(g) \circ \left[ (g^{-1} \circ (g')^{-1} \circ g) \circ (g^{-1} \circ (g') \circ g) \right] \\ &= s_0 d_1(g)^{-1} \circ g' \circ s_0 d_1(g) \circ (g^{-1} \circ (g')^{-1} \circ g) \circ (g^{-1} \circ (g') \circ g) \\ &= d_2 s_0(g)^{-1} \circ d_2 s_1(g') \circ d_2 s_0(g) \circ d_2 s_1(g^{-1}) \circ d_2 s_1(g')^{-1} \circ d_2 s_1(g) \circ (g^{-1} \circ (g') \circ g) \\ &= d_2 (s_0(g)^{-1} \circ s_1(g') \circ s_0(g)) \circ d_2 (s_1(g^{-1}) \circ s_1(g')^{-1} \circ s_1(g)) \circ (g^{-1} \circ (g') \circ g) \\ &= (g^{-1} \circ (g') \circ g) \end{aligned}$$

for all  $c \in C_0$  and  $g, g' \in G$ . So we obtain the functor



$$U : \mathbf{Simp}_{\leq 1}(\mathbf{Gpd}) \longrightarrow \mathbf{XMod}(\mathbf{Gpd}).$$

On the other hand, let  $\partial : G \rightarrow C_0$  be a crossed module. With the action of  $C_0$  on  $G$  one can obtain the semi-direct product

$$G \tilde{\rtimes} C_0 = \{(g, c) : g \in G \text{ and } c \in C_0\}$$

where multiplication of elements is

$$(g_1, c_1)(g_2, c_2) = (g_1 \circ {}^{c_1}g_2, c_1 \circ c_2)$$

for all  $(g_1, c_1), (g_2, c_2) \in G \tilde{\rtimes} C_0$ . Also, we have the morphism

$$d_0 : G \tilde{\rtimes} C_0 \rightarrow C_0 \\ (g, c) \mapsto c$$

$$d_1 : G \tilde{\rtimes} C_0 \rightarrow C_0 \\ (g, c) \mapsto \partial(g) \circ c$$

$$s_0 : C_0 \rightarrow G \tilde{\rtimes} C_0 \\ c \mapsto (0, c)$$

which satisfy the simplicial identities. Consequently,

$$C_1 \begin{array}{c} \xleftarrow{d_0, d_1} \\ \xrightarrow{s_0} \end{array} C_0$$

is a 1-truncated simplicial groupoid. As a result, we obtain the functor

$$V : \mathbf{XMod}(\mathbf{Gpd}) \longrightarrow \mathbf{Simp}_{\leq 1}(\mathbf{Gpd}).$$

Thus, these functors can be showed as

$$\mathbf{Simp}_{\leq 1}(\mathbf{Gpd}) \begin{array}{c} \xrightarrow{U} \\ \xleftarrow{V} \end{array} \mathbf{XMod}(\mathbf{Gpd}).$$

#### 4. Discussion and Conclusions

In this study, notion of simplicial object was given in the category of groupoids and it was shown that the category of simplicial groupoids is equivalent to the category of crossed modules of groupoids. Thanks to this equivalence, it was understood that these two categories have common properties.

#### References

- [1] Arvasi, Z., Porter, T. 1997. Higher dimensional peiffer elements in simplicial commutative algebras. *Theory and Applications of Categories*, 3(1)(1997), 1-23.
- [2] Ataseven, Ç. 2016. Relations Among Higher Order Crossed Modules over Groupoids. *Konuralp Journal of Mathematics*, 4(1)(2016), 282-290.
- [3] Atik, M., Aytekin, A., Uslu, E. Ö. 2017. Representability of actions in the category of (Pre)crossed modules in Leibniz algebras. *Communications in Algebra*, 45(5)(2017), 1825-1841.
- [4] Aytekin, A., Casas, J.M., Uslu, E. Ö. 2012. Semi-Complete Crossed Modules of Lie Algebras. *Journal of Algebra and Its Applications*, 11(5)(2012), 1-24.
- [5] Boyacı, Y., Avcıoğlu, O. 2014. Some Relations Between Crossed Modules and Simplicial Objects in Categories of Interest. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 7(4)(2014), 412-418.
- [6] Brandt, H. 1927. Über eine Verallgemeinerung des Gruppenbegriffes. *Mathematische Annalen*, 96(1)(1927), 360-366.
- [7] Brown, R. 1987. From Groups to Groupoids : a Brief Survey. *Bulletin of the London Mathematical Society*, 19 (2)(1987), 113-134.
- [8] Brown, R., Higgins, P.J., Sivera, R. 2011. *Nonabelian Algebraic Topology: Filtered Spaces, Crossed Complexes, Cubical Homotopy Groupoids*. Zürich, Switzerland: European Mathematical Society Tracts in Mathematics.
- [9] Casas, J.M., Khmaladze, E., Ladra, M. 2008. Crossed Modules for Leibniz n-algebras. *Forum Mathematicum*, 20 (5) 2008, 841-858.

- [10] Curtis, E.B. 1971. Simplicial Homotopy Theory. *Advances in Mathematics*, 6(2)(1971), 107-209.
- [11] Dwyer, W.G., Kan, D.M. 1984. Homotopy Theory and Simplicial Groupoids. *Indagationes Mathematicae*, 46(1984), 379-385.
- [12] Ellis, G.J. 1988. Higher dimensional crossed modules of algebras. *Journal of Pure and Applied Algebra*, 52(3) (1988), 277-282.
- [13] Ellis, G.J. 1993. Homotopical aspects of Lie algebras. *Journal of The Australian Mathematical Society*, 54(3) (1993), 393-419.
- [14] Emir, K., Akay, H.G. 2019. Pullback crossed modules in the category of racks. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 48(1)(2019), 140-149.
- [15] Garzon, A. R., Miranda, J.G., Osoriok, R. 2000. A Simplicial Description of The Homotopy Category of Simplicial Groupoids. *Theory and Applications of Categories*, 7(14)(2000), 263-283.
- [16] Kan, D.M. 1958. A Combinatorial Definition of Homotopy Groups. *Annals of Mathematics*, 67(2)(1958), 288-312.
- [17] Mucuk, O., Demir, S. 2018. Normality and quotient in crossed modules over groupoids and double groupoids. *Turkish Journal of Mathematics*, 42(5)(2018), 2336-2347.
- [18] Mucuk, O., Kılıcarlan, B., Şahan, T., Alemdar, N. 2011. Group-groupoids and monodromy groupoids. *Topology and its Applications*, 158(2011), 2034-2042.

## Classification of Factors Affecting Renal Failure by Machine Learning Methods

Burçin Şeyda ÇORBA ZORLU<sup>1</sup>, \*Pelin KASAP<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science and Letters, Department of Statistics, SAMSUN

(Alınış / Received: 28.10.2019, Kabul / Accepted: 24.01.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Keywords

Machine Learning,  
Classification,  
Decision Trees,  
Renal Failure

**Abstract:** Machine learning methods are widely used for data analysis in health research. The aim of this study is to classify the factors that affect renal failure by using various machine learning methods such as Artificial Neural Networks (Multilayer Perceptron), Support Vector Machines, Naive Bayes, Decision Trees, Random Forests, K-Nearest Neighborhood algorithms. In this study, 237 patients who have been in emergency unit in Hospital of Numune in Ankara and were older than 18 years and have upper gastrointestinal bleeding symptoms have been selected. Here, 34 variables such as age, gender, blood values, other diseases etc. which affect renal failure have been used to make classification with machine learning methods. When machine learning methods are compared according to the accuracy rates, F-measure, sensitivity, specificity and Kappa values, it has been found that decision trees algorithm performs well.

## Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Böbrek Yetmezliği Hastalığını Etkileyen Faktörlerin Sınıflandırılması

### Anahtar Kelimeler

Makine Öğrenmesi,  
Sınıflandırma,  
Karar Ağaçları,  
Böbrek Yetmezliği

**Öz:** Makine öğrenmesi yöntemleri, sağlık araştırmalarında veri analizi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Yapay Sinir Ağları (Çok Katmanlı Algılayıcı), Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes, Karar Ağaçları, Rastgele Orman Algoritması, K-En Yakın Komşu Algoritması gibi çeşitli makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak böbrek yetmezliğini etkileyen faktörleri sınıflandırmaktır. Bu çalışmada, Ankara Numune Hastanesi'nde acil servise gelen, 18 yaşından büyük ve üst gastrointestinal kanama belirtileri bulunan 237 hasta seçilmiştir. Burada makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma yapmak için böbrek yetmezliğini etkileyen yaş, cinsiyet, kan değerleri, diğer hastalıklar vb. gibi 34 değişken kullanılmıştır. Makine öğrenmesi yöntemleri doğruluk oranları, F-ölçütü, duyarlılık, özgüllük ve Kappa değerlerine göre karşılaştırıldığında, karar ağaçları algoritmasının iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

### 1. Introduction

Machine learning methods are widely used in many other fields such as health, industry, agriculture, aviation, quality control, insurance etc [1;2;3;4;5;6].

In addition, these methods have attracted great interest in different branches of health such as psychiatry, gastroenterology, diabetes, renal diseases, cancer prediction etc [7;8; 9;10;11;12;13].

There are many machine learning methods widely used in the literature. Some of these methods are Multilayer Perceptron-Artificial Neural Networks (MLP-ANNs), Support Vector Machines (SVM), Naive Bayes, Decision Trees, Random Forests (RF), K-Nearest Neighborhood (K-NN) algorithms. There are many studies in the field of health using these methods.

Greco et al [10] have applied to a transplant population classification trees to build predictive models of graft failure, evaluating the interactions between body mass index and other risk factors.

Lofaro et al [9] have shown two classification trees to predict chronic allograft nephropathy, through an evaluation of routine blood and urine tests.

Tangri et al [14] purpose to compare the factors that predict peritoneal dialysis technique survival using ANNs and logistic and Cox regression methods.

Kumari and Godara [15] study data mining classification methods such as RIPPER classifier, Decision Tree, ANNs and SVM. They compare the performance of these methods on cardiovascular disease dataset.

Gupta et al [16] present an overview of the current research being carried out using the data mining methods to enhance the breast cancer diagnosis and prognosis. They aim to summarize various review and technical articles on diagnosis and prognosis of breast cancer.

Krishnaiah et al [17] examine the use of classification based data mining methods such as Rule based, Decision tree, Naïve Bayes and ANNs on lung cancer data. They aim to propose a model for early detection and correct diagnosis of the disease.

Martínez-Martínez et al [11] aim to predict the hemoglobin value using a database of European hemodialysis patients provided by Fresenius Medical Care for improving the treatment of this kind of patients. They use classification methods such as Linear Models, ANNs, SVM and Regression Trees.

Kunwar et al [18] aim to predict chronic kidney disease using classification methods such as Naive Bayes and ANNs.

Aziz and Rehman [19] introduce the application of decision tree classification method for the detection of heart disease.

Davazdahemami and Delen [20] investigate using data mining approach the general confounding role of the common diabetes medications in developing acute renal failure in a large group of patients with diabetes mellitus.

Mezzatesta et al [12] aim at predicting death and cardiovascular diseases in dialysis patients using machine learning methods.

Renal failure is disease condition in which kidney fails to function properly resulting in elevation of serum Creatinine because of decrease in glomerular filtration rate [21]. Patients with acute renal failure are often more prone to as gastrointestinal complications such as bleeding. Increased bleeding sensitivity in patients may be due to different reasons such as other critical diseases, inflammation, hemodialysis use, etc [22; 23]. A review about renal diseases is given Table 1.

In this study, 237 patients older than 18 years with symptoms of upper gastrointestinal bleeding who were admitted to the emergency department of Ankara Numune Hospital were selected. Here, 34 different variables such as age, gender, blood values, other diseases, etc, that affect renal failure, are investigated in order to classify with machine learning methods. The aim of this study is to compare the six machine learning methods such as Support Vector Machines, Naive Bayes, Decision Trees, Random Forests, K-Nearest Neighborhood algorithms used for classification on renal failure data set. Thus, as a result of the comparison of the methods, the factors that affect renal failure are classified using the method that best meets the criteria such as accuracy rate, F-measure, sensitivity, specificity, Kappa value.

The organization of the paper is as follows: In Section 2, we briefly introduce machine learning methods such as SVM, Naive Bayes, Decision Trees, RF, K-NN algorithms. In Section 3, we give attributes of renal failure data set and results of classification methods. Finally, we interpret the obtained results in Section 4.

**Table 1.** A Review about renal diseases

Authors	Publication year	Topic	Algorithms
Vijayarani et al [24]	2015	Kidney disease	SVM, ANNs
Vijayarani and Dhayanand [25]	2015	Kidney disease	SVM, Naive Bayes
Subasi et al [26]	2017	Chronic Kidney Disease	RF, ANNs, SVM, K-NN, C4.5 Decision Tree.
Kunwar et al [18]	2016	Chronic Kidney Disease	Naive Bayes, ANNs
Ani et al [27]	2016	Chronic renal failure	Back propagation ANNs, Naive Bayes, LDA classifier, K-NN, Random subspace classification.
Sinha and Sinha [28]	2015	Chronic Kidney Disease	K-NN, SVM
Al-Hyari et al [29]	2014	Chronic renal failure	ANNs, Decision tree, Naive Bayes, SVM, Logistic regression.
Polat et al [30]	2017	Chronic Kidney Disease	SVM
Khitan et al [31]	2017	Chronic Kidney Disease	SVM Generalized linear model, Decision tree, ANNs, RF.
Barbieri et al [32]	2015	Renal disease	ANNs
Dimitrov et al [33]	2003	Renal disease	Decision tree models, Bayesian approach.

## 2. Material and Method

There are various machine learning methods used in the field of health. Each of these methods has advantages and disadvantages. Classification is one of the most important tasks in machine learning. There are different machine learning methods used for classification. In this section, these methods are briefly introduced.

### 2.1. Decision Trees

Decision trees are one of the most widely used data mining classification methods. Decision trees are a tree structure consisting of roots, branches and leaves [16]. Each node in a decision tree represents the property of the sample to be classified and each branch represents the value in the node. The decision trees start with the root and move through the branches to the leaves at the bottom by sorting their attribute values [34].

Many algorithms such as ID3, C4.5, C5, Sliq, Sprint, Classification and Regression Tree (CART), Chi-squared Automatic Interaction Detection (CHAID), Logistic Model Tree can be used in decision trees. The most commonly used mathematical algorithms for splitting in decision tree are Entropy, Chi-squared test and Gini index. In ID3, C4.5 and C5 algorithms are used Entropy based information gain; in CART algorithm is used Gini index and in CHAID algorithm is used Chi-squared test [15]. Entropy formula to be used to calculate information gain is given in Equation (1), when data set consists of several classes such as  $C_1, C_2, \dots, C_n$  and  $T$  represents class values, the probability of a class is  $p_i = C_i/|T|$  and Entropy formula

$$\text{Entropy } (T) = - \sum_{i=1}^n (p_i * \log_2(p_i)). \quad (1)$$

Gini index formula is given in Equation (2), when  $p_i$  is the probability of an object being classified to a particular class [35]

$$\text{Gini} = 1 - \sum_{i=1}^n (p_i^2). \quad (2)$$

After the data is referred to one of these decision trees algorithms, the data is processed in the algorithm and the decision tree is created. This created decision tree class is applied on unknown data to determine the classes of this data is provided [36].

For the basic algorithm in decision trees, firstly a learning set is created. The attribute that best distinguishes the samples in this learning set is determined. With the selected attribute, the node of the tree is created and subnodes and leaves are created. The instances in the data set on these child nodes are identified. For each subset of data that is created, the process is terminated if all instances belong to the same class or there are no attributes left to divide the instances, or there are no instances containing the value of the remaining attributes. Otherwise, the best distinguishing attribute is determined and operations are continued [37]. One of important issue in decision trees formation is the pruning of the formed trees structure. Decision trees algorithm divides training data into subsets containing only one class, so a complex tree structure emerges. Therefore, it may be possible to place a leaf in the decision tree instead of discarding a subtree. Pruning removes portions of the decision tree that do not affect or contribute to the classification accuracy [35;42;43].

## 2.2. Random Forest

Random forest (RF) algorithm, which can be defined as tree type classifiers, is one of the ensemble classification methods. RF separates each node into branches using the best of the randomly selected variables in each node [44]. After each data set is generated interchangeably from the original data set, trees are developed using random selection and has no pruning. This is the reason why random forest algorithm is faster and more accurate than other algorithms. RF is also resistant to excessive compliance and can be used with more trees [45].

RF uses the CART algorithm to produce trees and at each node, the branches are formed according to the criteria of the CART algorithm [46]. In order to create the tree structure in the algorithm, the samples to be used in each node and the number of trees to be created must be determined. The number of trees in the decision forest is determined by users. When a new object is to be classified, it is processed by the determined decision trees and the determination of the class is made by selecting the highest rate obtained from each tree [47].

“Gini index” is the test criterion of the selected variable for branching. If the training and test data are not predetermined, 2/3 and 1/3 of the entire data set are taken into training data and test data, respectively. For decision trees that will form the decision forest, the samples are created using the number of trees bootstrap technique and the test and training data are separated for each sample. All trees are calculated error rate with the test data and then the test error of the decision forest is calculated by averaging these error rates. A weight is given to all trees according to the test error rate and weight and test error rate are inversely proportional. That means Decision tree with the highest error rate has lowest weight, the lowest error rate has the highest weight. All trees are subjected to a voting process for the classification process according to the determined weights. The tree with the highest rating is determined as the class estimation [48;49].

## 2.3. Naive Bayes

The Naive Bayes Classifier, which is a simplified version of Bayes' theorem by the independence theorem, also known as the simple Bayes classification algorithm [50]. The Naive Bayes Classifier, one of the Machine Learning algorithms, represents a supervised learning algorithm as well as a statistical method for classification. Test data is classified according to these predefined classes. For each test data, the probability of entering the predefined sample classes is calculated and classified according to the highest probability value [51].

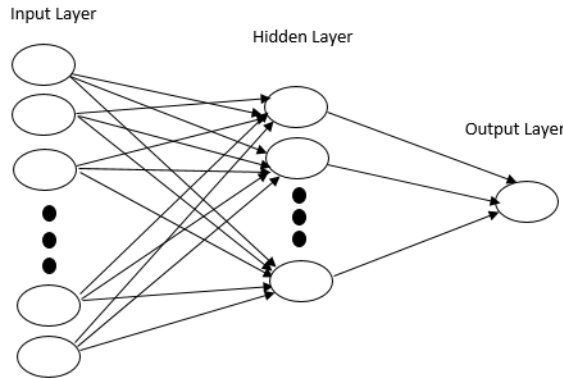
The most important difference between the Naive Bayes classifier and the Bayes Theorem is that the classifier focuses on finding the target class rather than the probability value. The value in the denominator in the Bayes Theorem is neglected in the Naive Bayes Classifier since it is common in the probability calculations of all target states [52]. When  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  be a set of  $n$  attributes,  $X$  is considered as evidence and  $H$  be some hypothesis means, the data of  $X$  belongs to specific class  $C$ , according to the Bayes theorem probability that the hypothesis  $H$  holds given evidence i.e. data sample  $X$ ,  $P(H|X)$ , is given as follows:

$$P(H|X) = P(X|H) * P(H)/P(X) \quad (3)$$

## 2.4. Artificial Neural Networks

Artificial neural networks (ANNs), inspired by the work of the human brain, are one of the research field of artificial intelligence brain [53]. Artificial neural network (ANN) has many superior features compared to other systems. They are capable of modelling not only linear, but also complex nonlinear functions. Also, they have ability to learn from examples, self-organization, ability to quickly calculate, ability to find complex relationships between input variables, no need for assumptions, and generalization [15;54]. One of most widely used ANN is called multi-layer perceptron ANN (MLP-ANN) is given in Figure 1.

The MLP-ANN model consists of an input, one or more hidden layers and an output layer, and such networks are referred to as feed-forward neural network models since the information flow is continuously forward and there is no feedback.



**Figure 1.** The structure of MLP-ANN

Back propagation algorithm is mostly used as learning algorithm in MLP-ANN. The training of the network is staged as the progression of information from the input layer to the output layer, the calculation of the error in the output units, and the backward propagation, changing the weights relative to the backward propagating error. This algorithm allows to find the weights to produce the most suitable solution for the given training set. Network training is provided by minimization of the error function in Equation (4).

$$E = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^S (t_s - o_s)^2 \quad (4)$$

Here  $t_s, o_s$  are given output and output values computed by the net, respectively,  $S$  is the number of experimental data points utilized for the training and the coefficient  $1/2$  is to facilitate the derivation of the function. The amount of change in weights is obtained by taking the derivative of this function [54;55].

## 2.5 Support Vector Machine

Support Vector Machines (SVM) was proposed by Vapnik[56] for solving of classification and regression type problem [56]. Support vector machines, one of the machine learning algorithms, are algorithms based on statistical learning theory. The aim of the support vector machines, which has a supervised learning algorithm, is to obtain the optimal separation to classify [56;57]. In other words, it is to maximize the distance between the support vectors of different classes [16].

The type of SVM used in classification applications is known as Support Vector Classification, and the type used in regression applications is known as Support Vector Regression [58]. SVM was initially used to

solve linear binary classification problems and then developed to solve non-linear or multi-class classification problems, so it is used in the solution of both linear and nonlinear problems.

SVM transforms to a linear high dimensional attribute space using kernel function to solve a nonlinear and multi-dimensional problem [59]. The data in the nonlinear input space is converted to linear high dimensional attribute space with this kernel function. It is known that the main task of the SVM approach based on the selection of these kernel functions. It can be produced different SVMs as selecting different kernel functions such as polynomial, linear, two layer neural networks etc [60].

## 2.6 K-Nearest Neighborhood (K-NN) algorithms

The closest neighbor algorithm proposed by Cover and Hart [61] is one of the best known, old, simple classification methods and is mostly used among machine learning algorithms [38].

Among the supervised learning methods, the K-NN algorithm uses the sample data shown earlier to determine the class of new data. Distances are calculated by processing the new data and sample data one by one [39]. These distances between the data can be calculated using various distance functions such as Manhattan Distance Function, Minkowski Distance Function, Euclidean Distance Function.  $k$  samples at the nearest distance to the new data are selected. In the set of selected samples, the new data belongs to that class if there are the most samples belonging to that class [34].

The use of different types of distances can affect the performance of the algorithm. In the literature, Euclidean distance, the most commonly used to calculate distances between samples, is given for  $n$ -dimensional distance between 2 points in Equation (5).

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (5)$$

Other parameters that are effective and important in the performance of the K-NN algorithm are neighbor number ( $k$ ) and weighting method. Again, the performance of the algorithm can be compared by changing the number of  $k$  and weighting methods [40].

## 3. Results

The data set consists of 237 records belongs to patients who have been in emergency unit in Hospital of Numune in Ankara and are larger than 18 years and have upper gastrointestinal bleeding symptoms. The dataset has 34 variables which are 6 continuous and 28 categorical in Table 2 [62].



**Table 2.** Attributes of renal failure data set

Number	Name	Description and values
1	Age	Age in years
2	Sex	0=male, 1=female
3	Steroid	Whether the patient uses steroid or not (0= not use, 1=use)
4	Diuretic	Whether the patient uses diuretic or not (0= not use, 1=use)
5	DM	Diabetes Mellitus (0= has not DM, 1= has DM)
6	HT	Hypertension (0= has not HT, 1= has HT)
7	CORD	Chronic obstructive respiratory disease (0= has not CORD, 1= has CORD)
8	HF	Heart failure disease (0= has not CORD, 1= has CORD)
9	CIRR	CIRRHOSIS (0= has not CIRR, 1= has CIRR)
10	MLN	Malignancy (0= has not MLN, 1= has MLN)
11	CAD	Coronary Artery Disease (0= has not CAS, 1= has CAD)
12	CVD	Cerebrovascular diseases (0= has not CVD, 1= has CVD)
13	CKD	Chronic Kidney Disease (0= has not CKD, 1= has CKD)
14	HMT	Hematemesis (0= has not HMT, 1= has HMT)
15	MEL	MELENA (0= has not MEL, 1= has MEL)
16	HMZ	Hematochezia (0= has not HMZ, 1= has HMZ)
17	GI	Gastrointestinal bloods (0= has not GI, 1= has GI)
18	Gastritis	(0= has not Gastritis, 1= has Gastritis)
19	Duodenit	(0= has not Duodenit, 1= has Duodenit)
20	VISSVESSEL	Visible Vessel (0= has not VISSVESSEL, 1= has VISSVESSEL)
21	HC	The hematin clot (0= has not HC, 1= has HC)
22	Gulcer	Gastric ulcer (0= has not Gulcer, 1= has Gulcer)
23	Dulcer	Duodenitis ulcer (0= has not Dulcer, 1= has Dulcer)
24	Pulcer	Peptic ulcer (0= has not Pulcer, 1= has Pulcer)
25	ESOP	Esophagitis (0= has not ESOP, 1= has ESOP)
26	EVAR	Esophageal varicose (0= has not EVAR, 1= has EVAR)
27	EGAST	Erosive gastritis (0= has not EGAST, 1= has EGAST)
28	MAL-A	Malignancy-A (0= has not MAL-A, 1= has MAL-A)
29	NA	Sodium (gr/dl)
30	ALB	Albumin (gr/dl)
31	HB	Hemoglobin (gr/dl)
32	WBC	White Blood Cells (k/ul)
33	CR	Creatine (mg/dl)
34	RF	Renal Failure (0= has not RF, 1= has RF)

The total records are divided into two datasets, one is used for training (60%, 70%, 75%, 80% of total records), another is used for testing (40%, 30%, 25%, 20% of total records). The 34th variable RF in Table 1 is predictable attribute and other 33 variables are input variables. Before classifying, 1th variable (age) and between numbers of 29-33 numerical variables have been standardized as [0,1], because the type of variables is an integer. Machine learning methods such as MLP-ANNs, Support Vector Machines (SVM), Naive Bayes, Decision Trees, Random Forests (RF), K-Nearest Neighborhood (K-NN) algorithms have been applied for classifying RF depending on input variables by using programs of Rapidminer Studio and Matlab 2015b.

A confusion matrix has been obtained to calculate accuracy rate, precision, F-measure, sensivity, specificity and Kappa values. This matrix that a matrix representation of the classification results, is given Table 3.

**Table 3.** Confusion matrix

		Actual Values	
		Positive (1= has RF)	Negative (0=has not RF)
Predicted Values	Positive (1= has RF)	TP	FP
	Negative (0=has not RF)	FN	TN

TP (True Positive): Observation is actually positive, and is predicted to be positive.

FN (False Negative): Observation is actually positive, but is predicted negative.

FP (False Positive): Observation is actually negative, but is predicted positive.

TN (True Negative): Observation is actually negative, and is predicted to be negative.

The calculation formulas of the criteria used to measure the performance of the classification methods are given in Equation (6)-(10):

$$Accuracy\ rate = (TP + TN)/Total \tag{6}$$

$$Precision = TP/(TP + FP) \tag{7}$$

$$Sensitivity = Recall = TP/(TP + FN) \tag{8}$$

$$Specificity = TN/(TN + FP) \tag{9}$$

$$F - measure = (2 * Recall * Precision)/(Recall + Precision) \tag{10}$$

Kappa score is also used as performance criteria. It is a measure of how well the classification method actually performs. In other words, if it has a high Kappa score, it can be said that there is a big difference between the accuracy rate and the null error rate [41].

The application details of different classification methods such as RF, MLP-ANN, SVM, K-NN, Naïve Bayes and Decision Trees used in the analysis are summarized as below:

Random Forest: In RF algorithm, Gini index has been used as criterion. Optimal values of number of trees and optimal values of maximal depth have been obtained 99, 83, 34, 35 and 4, 3, 6, 3 for training set 60%, 70%, 75%, 80%, respectively.

MLP-ANN: When number of iteration is 100 and activation function is sigmoid, optimal values of learning rate and momentum coefficient have been obtained 0.02, 0.04, 0.04, 0.01 and 0.6, 0.6, 0.5, 0.5 for training set 60%, 70%, 75%, 80%, respectively. The structure of MLP-ANN has been obtained (33-19-2) as numbers of input-hidden-output layers.

SVM: Kernel types linear polynomial and radial are applied all of cases, optimal kernel type is obtained as linear. Maximum iteration number and kernel cache are selected 100000 and 200, respectively.

K-NN: When measure type is selected mixed measure and distance measure is selected Euclidean, the optimal values of k values are obtained as 9, 9, 4, 15 for training set 60%, 70%, 75%, 80%, respectively.

Naïve Bayes: Laplace correction is used for all cases. The ratio of renal failure has not 0,595 and the ratio of renal failure has 0,405 with 33 variables.

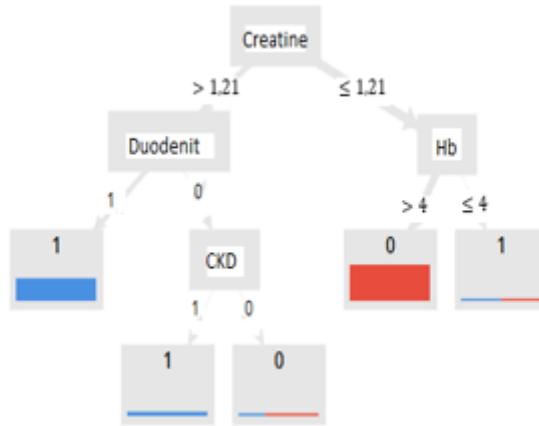
Decision Trees: CART and C4.5 algorithm have been applied. For CART algorithm, criteria, maximal depth, minimal leaf size, minimal gain, minimal size for split are selected Gini index, 10, 2, 0.01, 4, respectively. For C4.5 algorithm, when criteria is selected information gain, maximal dept (3, 6, 4, 3), significance level (0.1, 0.5, 0.5, 0.4), minimal gain (0.1, 0.1, 0.01, 0.05), minimal leaf size (1, 1, 1, 2) are obtained for training set 60%, 70%, 75%, 80%, respectively.

In order to evaluate the test set's performance of these different classification methods, the values of performance criteria, are shown in Table 4. According to Table 4, the results show that Decision Trees algorithm mostly outperforms than all other methods in all performance criteria such as sensitivity, specificity, F-measure, accuracy rate and Kappa. Additionally, RF method gives the same result as the decision trees method in terms of 80% training. Therefore, it can be said that Decision tree and Random Forest methods are effective in the classification of renal failure data. However, since Decision Trees algorithm gives better results than the RF algorithm in all training percentages, the renal failure data has been classified using the Decision trees algorithm. Therefore, final comments have been made using Decision Trees algorithm.

**Table 4.** The test set's performance of classification methods

Training%	Criteria	Random Forest	MLP-ANN	SVM	K-NN	Naive Bayes	Decision Trees
60%	Accuracy Rate (%)	95,74	85,11	75,53	63,83	92,55	<b>96,81</b>
	F-measure (%)	96,43	87,93	81,89	75,36	93,69	<b>97,30</b>
	Sensitivity (%)	<b>96,43</b>	91,07	92,86	92,86	92,86	<b>96,43</b>
	Specificity (%)	94,74	76,32	50,00	21,05	92,11	<b>97,37</b>
	Kappa	0,912	0,685	0,458	0,156	0,846	<b>0,934</b>
70%	Accuracy Rate (%)	94,37	88,73	80,28	64,79	90,14	<b>97,18</b>
	F-measure (%)	95,35	90,70	85,71	75,73	91,95	<b>97,62</b>
	Sensitivity (%)	97,62	92,86	<b>100,00</b>	92,86	95,24	97,62
	Specificity (%)	89,66	82,76	51,72	24,14	82,76	<b>96,55</b>
	Kappa	0,882	0,764	0,559	0,189	0,793	<b>0,942</b>
75%	Accuracy Rate (%)	94,92	89,83	81,36	59,32	89,83	<b>96,61</b>
	F-measure (%)	95,77	91,89	86,42	70,73	91,43	<b>97,14</b>
	Sensitivity (%)	97,14	97,14	<b>100,00</b>	82,86	91,43	97,14
	Specificity (%)	91,67	79,17	54,17	25,00	87,50	<b>95,83</b>
	Kappa	0,894	0,784	0,584	0,085	0,789	<b>0,930</b>
80%	Accuracy Rate (%)	<b>95,74</b>	91,49	78,72	72,34	93,62	<b>95,74</b>
	F-measure (%)	<b>96,43</b>	93,33	84,85	81,16	94,74	<b>96,43</b>
	Sensitivity (%)	96,43	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	96,43	96,43
	Specificity (%)	<b>94,74</b>	78,95	47,37	31,58	89,47	<b>94,74</b>
	Kappa	<b>0,912</b>	0,817	0,517	0,355	0,866	<b>0,912</b>

Firstly, the standardized values are converted to the original values for the evaluation of model. The structure of decision tree is given in Figure 2 and the cases showing the results of the classification are explained according to Figure 2.



**Figure 2.** The structure of decision trees

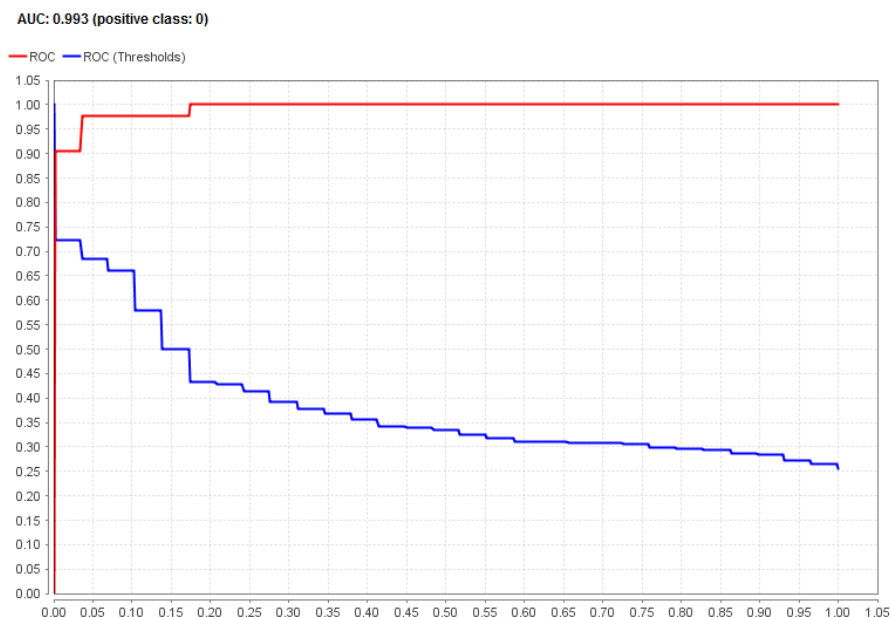
Case 1: Patients with creatinine level greater than 1.21 mg/dl and having duodenitis are included in the class of patients with renal failure.

Case 2: Patients with creatinine level greater than 1.21 mg/dl and having not duodenitis, but having Chronic Kidney disease, they are included in the class of patients with renal failure.

Case 3: Patients with creatinine level greater than 1.21 mg/dl, having not duodenitis and having not Chronic Kidney disease, they are included in the class of patients having not renal failure with more than ratio of 50%.

Case 4: Patients with creatinine level equal and less than 1.21, having Hb values greater than 4 gr/dl, they are included in the class of patients having not renal failure, else they have renal failure with almost %50 ratio.

Since the best classification results is Decision Trees algorithm with 70% training set, Roc Curve for this case is shown in Figure 3. It can be seen that the correct positive ratio is high and the area under the curve is high (AUC=0,993). Therefore, it can be seen whether the positives have successfully separated from the negatives.



**Figure 3.** Roc curve for decision trees algorithm with %70 training

#### 4. Discussion and Conclusion

In this study, the data set consists of 237 records of patients older than 18 years who have been in emergency department in Hospital of Numune in Ankara and have upper gastrointestinal bleeding symptoms. The data set has 34 variables which are 6 continuous and 28 categorical. By using these real dataset, it is aimed to compare six machine learning methods commonly used in the literature such as MLP-ANNs, SVM, Naive Bayes, Decision Trees, Random Forests, K-NN algorithms. Firstly, the best performing method is determined in terms of accuracy rate, F-measure, sensitivity, specificity and Kappa criteria for renal failure dataset. For this data set, the best method according to these criteria is found to be the decision trees method. Then, renal failure data is classified using decision trees method. Therefore, it can be said that patients with creatinine level above 1.21 mg/dl and with duodenitis are included in the class of patients with renal failure. Patients with creatinine level above 1.21 mg/dl and with non-duodenitis and having chronic renal failure disease are included in the class of patients with renal failure. Also, patients with creatinine level greater than 1.21 mg/dl, with non-duodenitis and having not Chronic Kidney disease, they are included in the class of patients having not renal failure with more than ratio of 50%. Patients with creatinine level equal and less than 1.21, having Hb values greater than 4 gr/dl, they are included in the class of patients having not renal failure, else they have renal failure with almost %50 ratio.

#### References

- [1] Schultz, M., Reitmann, S. 2019. Machine learning approach to predict aircraft boarding. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 98, 391-408.
- [2] Maheshwari, A., Davendralingam, N., DeLaurentis, D. A. 2018. A Comparative Study of Machine Learning Techniques for Aviation Applications. In *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference* p. 3980.
- [3] Gümüüşcü, A., Tenekeci, M. E., Bilgili, A. V. 2019. Estimation of wheat planting date using machine learning algorithms based on available climate data. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*.
- [4] Rehman, T. U., Mahmud, M. S., Chang, Y. K., Jin, J., Shin, J. 2019. Current and future applications of statistical machine learning algorithms for agricultural machine vision systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 585-605.
- [5] Burri, R. D., Burri, R., Bojja, R. R., Buruga, S. 2019. Insurance Claim Analysis using Machine Learning Algorithms. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 127(1), 147-155.
- [6] Ferreira, S., Sierra, B., Irigoien, I., Gorritxategi, E. 2011. Data mining for quality control: Burr detection in the drilling process. *Computers & Industrial Engineering*, 60(4), 801-810.
- [7] Adadi, A., Adadi, S., Berrada, M. 2019. Gastroenterology Meets Machine Learning: Status Quo and Quo Vadis. *Advances in Bioinformatics*.
- [8] Librenza-Garcia, D., Kotzian, B. J., Yang, J., Mwangi, B., Cao, B., Lima, L. N. P. Passos, I. C. 2017. The impact of machine learning techniques in the study of bipolar disorder: a systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 538-554.
- [9] Lofaro, D., Maestripietri, S., Greco, R., Papalia, T., Mancuso, D., Conforti, D., Bonofiglio, R. 2010. Prediction of chronic allograft nephropathy using classification trees. In *Transplantation proceedings*, Vol. 42, No. 4, pp. 1130-1133, Elsevier.
- [10] Greco, R., Papalia, T., Lofaro, D., Maestripietri, S., Mancuso, D., Bonofiglio, R. 2010. Decisional trees in renal transplant follow-up. In *Transplantation proceedings*, Vol. 42, No. 4, pp. 1134-1136, Elsevier.
- [11] Martínez-Martínez, J. M., Escandell-Montero, P., Barbieri, C., Soria-Olivas, E., Mari, F., Martínez-Sober, M. Stopper, A. 2014. Prediction of the hemoglobin level in hemodialysis patients using machine learning techniques. *Computer methods and programs in biomedicine*, 117(2), 208-217.
- [12] Mezzatesta, S., Torino, C., De Meo, P., Fiumara, G., Vilasi, A. 2019. A machine learning-based approach for predicting the outbreak of cardiovascular diseases in patients on dialysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 177, 9-15.

- [13] Cruz, J. A., Wishart, D. S. 2006. Applications of machine learning in cancer prediction and prognosis. *Cancer informatics*, 2, 117693510600200030.
- [14] Tangri, N., Ansell, D., Naimark, D. 2011. Determining factors that predict technique survival on peritoneal dialysis: application of regression and artificial neural network methods. *Nephron Clinical Practice*, 118(2), c93-c100.
- [15] Kumari, M., Godara, S. 2011. Comparative study of data mining classification methods in cardiovascular disease prediction 1, *International Journal of Computer Science and Technology*, Vol 2, Issue 2, 304-308.
- [16] Gupta, S., Kumar, D., Sharma, A. 2011. Data Mining Classification Techniques Applied for Breast Cancer Diagnosis and Prognosis. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 2 (2), 188-195.
- [17] Krishnaiah, V., Narsimha, D. G., Chandra, D.N.S. 2013. Diagnosis of lung cancer prediction system using data mining classification techniques. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 4(1), 39-45.
- [18] Kunwar, V., Chandel, K., Sabitha, A. S., Bansal, A. 2016. Chronic Kidney Disease analysis using data mining classification techniques. In *2016 6th International Conference-Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)*, pp. 300-305. IEEE.
- [19] Aziz, A., Rehman, A. U. 2017. Detection of Cardiac Disease using Data Mining Classification Techniques. *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(7).
- [20] Davazdahemami, B., Delen, D. 2019. The confounding role of common diabetes medications in developing acute renal failure: A data mining approach with emphasis on drug-drug interactions. *Expert Systems with Applications*, 123, 168-177.
- [21] Kumar, A., Kumar, A., Kumar, P., Kumar, P. 2014. U.S. Patent No. 8,668,938. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [22] Podestà, M. A., Galbusera, M., Remuzzi, G. 2019. Bleeding and Hemostasis in Acute Renal Failure. In *Critical Care Nephrology* (pp. 630-635). Content Repository Only!
- [23] Lew, S. Q., Ing, T. S. 2019. Gastrointestinal Problems in Acute Kidney Injury. In *Critical Care Nephrology* pp. 635-640, Content Repository Only!
- [24] Vijayarani, S., Dhayanand, S., & Phil, M. 2015. Kidney disease prediction using SVM and ANN algorithms. *International Journal of Computing and Business Research (IJCBR)*, 6(2).
- [25] Vijayarani, S., & Dhayanand, S. 2015. Data mining classification algorithms for kidney disease prediction. *International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*, 4(4), 13-25.
- [26] Subasi, A., Alickovic, E., & Kevric, J. 2017. Diagnosis of chronic kidney disease by using random forest. In *CMBEIH 2017* (pp. 589-594). Springer, Singapore.
- [27] Ani, R., Sasi, G., Sankar, U. R., & Deepa, O. S. 2016. Decision support system for diagnosis and prediction of chronic renal failure using random subspace classification. In *2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)* (pp. 1287-1292). IEEE.
- [28] Sinha, P., & Sinha, P. 2015. Comparative study of chronic kidney disease prediction using KNN and SVM. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(12), 608-12.
- [29] Al-Hyari, A. Y., Al-Tae, A. M., & Al-Tae, M. A. 2014. Diagnosis and classification of chronic renal failure utilising intelligent data mining classifiers. *International Journal of Information Technology and Web Engineering (IJITWE)*, 9(4), 1-12.
- [30] Polat, H., Mehr, H. D., & Cetin, A. 2017. Diagnosis of chronic kidney disease based on support vector machine by feature selection methods. *Journal of medical systems*, 41(4), 55.
- [31] Khitan, Z., Shapiro, A. P., Shah, P. T., Sanabria, J. R., Santhanam, P., Sodhi, K., ... & Shapiro, J. I. 2017. Predicting adverse outcomes in chronic kidney disease using machine learning methods: data from the modification of diet in renal disease. *Marshall Journal of Medicine*, 3(4), 67.
- [32] Barbieri, C., Mari, F., Stopper, A., Gatti, E., Escandell-Montero, P., Martínez-Martínez, J. M., & Martín-Guerrero, J. D. 2015. A new machine learning approach for predicting the response to anemia

- treatment in a large cohort of end stage renal disease patients undergoing dialysis. *Computers in biology and medicine*, 61, 56-61.
- [33] Dimitrov, B. D., Perna, A., Ruggenti, P., & Remuzzi, G. 2003. Predicting end-stage renal disease: Bayesian perspective of information transfer in the clinical decision-making process at the individual level. *Kidney international*, 63(5), 1924-1933.
- [34] Alpaydın, E. 2004. *Introduction to Machine Learning*, MIT Press.
- [35] Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., 2010. Karar Ağaçları ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği. *Electronic Journal of Map Technologies*, 2 (1), 36-45.
- [36] Aksu, M. Ç., Karaman, E. 2017. Karar Ağaçları ile Bir Web Sitesinde Link Analizi ve Tespiti. *Acta Infologica*, 1 (2), 84-91.
- [37] Phyu, N. T. 2009. Survey of Classification Techniques in Data Mining. *IMECS 2009*, March 18-20, Hong Kong.
- [38] Qiu, X.Y., Kang, K., Zhang, H.X. 2008. Selection of kernel parameters for K-NN, *IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 61-65.
- [39] Peterson, L. E. 2009. K-nearest neighbor. *Scholarpedia*, 4(2), 1883.
- [40] Islam, M. J., Wu, Q. J., Ahmadi, M., Sid-Ahmed, M. A. 2007. Investigating the performance of naive-bayes classifiers and k-nearest neighbor classifiers. November, 2007. 2007 International Conference on Convergence Information Technology (ICCIT 2007), 1541-1546. IEEE.
- [41] Dangare, C. S., Apte, S. S. 2012. Improved study of heart disease prediction system using data mining classification techniques. *International Journal of Computer Applications*, 47(10), 44-48.
- [42] Quinlan, J.,R., 1987. Simplifying decision trees, *International Journal of Man-Machine Studies*, 27, 221-234
- [43] Özkan, Y., 2008. *Veri Madenciliği Yöntemleri*. Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, 216.
- [44] Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5- 32. doi: 10.1023/A:1010933404324
- [45] Breiman, L., & Cutler, A. 2005. *Random Forests*. Berkeley.
- [46] Han, J., Pei, J., Kamber, M. 2011. *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier.
- [47] Pal, M. 2005. Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (1), 217-222.
- [48] Akman, M., Genç, Y., Ankaralı, H. 2011. Random Forests Methods and an Application in Health Science. *TürkiyeKlinikleri Journal of Biostatistics*, 3(1), 36-48.
- [49] Karakoyun, M., Hacıbeyoğlu, M. 2014. Biyomedikal Veri Kümeleri ile Makine Öğrenmesi Sınıflandırma Algoritmalarının İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 16 (48), 30-42.
- [50] Lewis, D. D. 1992. An evaluation of phrasal and clustered representations on a text categorization task. In *Proceedings of the 15th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, June, ACM, 37-50.
- [51] Dimitoğlu, G., Adams, J. A., Jim, C. M. 2012. Comparison of the C4.5 and a Naïve Bayes classifier for the prediction of lung cancer survivability. *arXiv preprint arXiv*, 1206.1121.
- [52] Orhan, U., Adem, K. 2012. Naive Bayes Yönteminde Olasılık Çarpanlarının Etkileri. *Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 723.
- [53] Haykin, S. 1999. *Neural networks: A comprehensive foundation*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [54] Öztemel, E. 2012. *Yapay Sinir Ağları, Üçüncü Basım*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- [55] Kartolopoulos, S. V. 1996. *Understanding neural network and fuzzy logic*, IEEE Press., New York.
- [56] Vapnik, V.N. 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag, New York.
- [57] Han, J., Kamber, M. 2006. *Data Mining Concepts and Techniques*. 2nd Edition, Morgan Kaufmann, San Francisco.

- [58] Güner, N., Çomak, E. 2011. Mühendislik Öğrencilerinin Matematik I Derslerindeki Başarısının Destek Vektör Makineleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (2), 87-96.
- [59] Huang, T. M., Kecman, V., Kopriva, I. 2006. Kernel Based Algorithms For Mining Huge Data Sets: Supervised, Semi-Supervised, and Unsupervised Learning. Studies in Computational Intelligence, Secaucus, NJ, Springer, USA.
- [60] Tan, Y., Wang, J. 2004. A support vector machine with a hybrid kernel and minimal Vapnik-Chervonenkis dimension. IEEE Transactions on knowledge and data engineering, 16(4), 385-395.
- [61] Cover, T., Hart, P., 1967. Nearest neighbor pattern classification. IEEE transactions on information theory, 13(1), 21-27.
- [62] Cakmak, U., Merhametsiz, O., GokOguz, E., Ercan, Z., Haspulat, A., Ozkan, S. K., ... & Deniz Aylı, M. 2016. Effects of acute kidney injury on clinical outcomes in patients with upper gastrointestinal bleeding. Renalfailure, 38(2), 176-184.



## Kentsel Dönüşümle Oluşan İnşaat Atıklarının Maliyet Analizi: “Kayseri Küçükali Mahallesi Örneği”

\*Şule YARIMÇAM<sup>1</sup> , Zübeyde Özlem PARLAK BİÇER<sup>2</sup> 

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, KAYSERİ

(Alınış / Received: 15.05.2018, Kabul / Accepted: 21.02.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

**Anahtar Kelimeler**  
İnşaat Atığı,  
Kentsel Dönüşüm,  
Kayseri Küçükali Mahallesi

**Öz:** Günümüzde, çarpık kentleşme ve kentsel dönüşüm çalışmaları sonucunda inşaat yapım ve yıkım atıkları meydana gelmektedir. İnşaat atıkları olarak ahşap, cam, plastik ve bunun yanında demir, çelik ve bakır gibi metallerin geri dönüştürülerek tekrar kullanılması ile doğal kaynakların tükenmesi önlenerek çevre kirliliği de azaltılmış olacaktır. Bu çalışmada, inşaat yapım ve yıkım atıklarının oluşum nedenleri araştırılmıştır. Son yıllarda kentlerde özellikle kentsel dönüşüm alanı olan konut bölgelerinde büyük yıkımlar olmaktadır. Bu yıkımların sonucunda meydana gelen atıkların ne yapılacağı konusunda çalışmalar yok ve/veya yetersizdir. Bu durum, Türkiye'nin büyük-küçük tüm kentleri için geçerlidir. Bu çalışmada; Kayseri Melikgazi ilçesi sınırlarında olan Küçükali Mahallesi'nde meydana gelmiş inşaat yapım ve yıkım atıklarının, geri dönüşümde kullanım alanları ve atıkların yönetilmesi için harcanan maliyetin ne olduğu saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca yerel yönetimlerin katı atık olarak geçen inşaat atıklarını nasıl geri dönüştürülebileceği ya da yok edebileceği araştırılmıştır. Atıkların geri dönüşümde kazanım yöntemleri ile kar zarar maliyeti konusu analiz edilmiştir. Çalışmanın yerel yönetimlere ve konu üzerinde çalışan kurum ve kişilerin yaptığı çabalara katkı sağlaması umut edilmektedir.

## Cost Analysis of Construction Waste from Urban Transformation: “Kayseri Küçükali Neighborhood Example ”

**Keywords**  
Construction Waste,  
Urban Transformation,  
Kayseri Küçükali District

**Abstract:** Today, as a result of warped urbanization and urban transformation works, construction and demolition wastes are produced. By recycling and re-using metals such as wood, glass, plastic as well as iron, steel and copper as construction wastes, environmental pollution will be reduced by preventing the depletion of natural resources. In this study, the reasons of construction and demolition wastes were investigated. In recent years, there have been major demolitions in urban areas, especially in residential areas which are urban transformation areas. There is no and / or insufficient studies on the waste to be generated as a result of these demolitions. This is true for all of Turkey's large and small cities. In this study; It has been tried to determine the construction and demolition wastes in the Küçükali neighborhood in Kayseri Melikgazi district, the usage areas in recycling and the cost spent for the management of the wastes. In addition, it has been investigated how local governments can recycle or eliminate construction wastes which are considered as solid wastes. The issue of profit and loss cost by recycling methods of waste is analyzed. It is hoped that the study will contribute to the efforts of local administrations and institutions and individuals working on the issue.

### 1. Giriş

Kentsel dönüşüm çalışmaları, bölgesel bir ihtiyaç olarak, kent merkezlerinde kalmış endüstri alanlarının taşınması, gecekondulaşmış kent bölgelerinin rehabilitasyonu, doğal ve insan kaynaklı afetler gibi

nedenlerle yapılmaktadır. Günümüzde, mevcut konut sayısının hızlı nüfus artışına cevap verememesi nedeniyle yeni arazilerde yapılaşmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Kentlerde, eski imar yönetmeliklerine göre inşa edilerek yapısal ömrünü tamamlayan yapılar, aynı zamanda yaşama kalitesi yüksek çevrelerin oluşumunu olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda özellikle kentsel dönüşüm faaliyetlerinin hızlanması ve rant gelirleri sebebi ile bölgesel ve kentsel ölçekteki dönüşüm çalışmaları cazip hale gelmiştir. Yapılan bu kentsel dönüşüm çalışmaları sonucunda konut alanlarında da büyük yıkımlar meydana gelirken, mevcutta olan inşaat atıklarının oranında ve hacminde artışlar olmaktadır. Kentsel yenileme ile yaşanabilir çevreler tasarlanırken, yıkımların oluşturduğu atıkların artışı ve atıkların yönetiminin sağlanması için gereken ekonomik kaynaklar ile bu atıkların ekolojik sistemdeki zararları ve oluşan bütün olumsuzluklar göz ardı edilmektedir. Bu durumun gelecek kentsel planlamalarda da görülmesi söz konusu olduğu için konu üzerinde yapılacak her alandaki çalışmalara ihtiyaç vardır.

Türkiye’de katı atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı gibi konularda yerel yönetim olan belediyeler önemli rol oynamaktadır. Kayseri ilindeki inşaat atıklarında ya düzenli depolama yapıldığı ya da dolgu ve rekreasyon çalışmalarında kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu duruma karşılık, inşaat alanında kullanılan beton, ahşap, demir, mermer, asfalt gibi malzemeler, en çok geri dönüştürülen malzemelerdir. Bu çalışma ile meydana gelen inşaat atıklarının nasıl değerlendirildiği ve bu atıkların geri dönüştürülerek ekonomide nasıl katkı sağlayacağı konuları araştırılmak istenmektedir [1].

Bu çalışmada; Türkiye’de karşılaşılan yıkım atıklarının durumu ve maliyeti Kayseri kenti özelinde verilmeye çalışılmıştır. Kayseri’de “Riskli Alan” ilan edilen ve “kentsel dönüşüm projesi” yapılacak örnek alan olan Küçükali Mahallesi’nde kentsel dönüşüm yapılmasının nedenleri, mahalle bireylerinin sosyo-kültürel durumları ve konut, ticaret yapı birimlerinin yapısal analizleri yapılmıştır. Bu veriler doğrultusunda yapısal ömrünü tamamlamış konut ve ticaret birimlerinin yıkımı, enkaz atıklarının yükleme-boşaltma ve nakliye giderleri hesaplanmıştır. Bu bölgede kentsel dönüşümü sonucu ortaya çıkan inşaat atıklarının durumu ve yerel yönetimin atıklara yaklaşımı araştırılmıştır. Bu çalışma ile Türkiye’de kentsel dönüşüm ile oluşan inşaat atıklarının ekonomik boyutuna dikkat çekmek, inşaat atıklarının yönetiminin önemini ve geri dönüşüm çalışmalarının faydaları hakkında bilgi vermek amaçlanmaktadır. Çalışmanın bundan sonraki konu üzerinde gerçekleştirilecek çalışmalar temel olması ve yerel yönetimlere yol göstermesi umulmaktadır.

## 2-Atık ve Kentsel Dönüşüm Kavramı

Türkiye’de yürürlükte olan Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde; atık kavramı “*üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyali*” olarak tanımlamıştır [2]. İnşaat yapım ve yıkım atığı yönetimi yapılırken atık sınıfları önemli rol oynamaktadır. Bu konudaki araştırmalara göre atık sınıfları üç grupta toplanmaktadır. Etkileri bakımından atıklar zararlı ve zararsız olarak belirlenmiştir. Yapıları bakımından atıklar; katı, sıvı ve gaz ve son olarak da kaynakları bakımından atıklar evsel, endüstriyel, ticari ve kurumsal, tarımsal, özel atıklar olarak sınıflandırılmıştır [3],[4]. Atık sınıfları ve yasal mevzuata göre inşaat ve yıkım atıkları yapıları bakımından katı atıktır. Etkileri bakımından inşaat ve yıkım atıkları ise tehlikeli, muhtemel tehlikeli, kesin tehlikeli olarak gruplandırılmaktadır. Kaynakları bakımından da özel inşaat ve yıkım atıkları olarak tanımlanmaktadır.

İnşaat yapımından önce arazide yapılan kazı ve tesviye çalışmaları sonucunda arazinin hazırlanması işlemlerinde meydana gelen toprağa; hafriyat toprağı denilmektedir. Konut, kamu yapıları, yol yapım çalışmaları gibi alt ve üst yapıların yapımı sırasında ortaya çıkan atıklar ise inşaat atıkları olarak adlandırılmaktadır. “*Konut, bina, köprü, yol ve benzeri alt ve üst yapıların tamirati, tadilatı, yenilenmesi, yıkımı veya doğal bir afet sonucunda ortaya çıkan atıklar*” da yıkım atıkları olarak tanımlanmaktadır [5].

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın araştırmasına göre; Türkiye’de her yıl 125 milyon (ton/yıl) hafriyat toprağı geri kazanımı hedeflenmektedir. İnşaat yapım ve yıkım atıklarının her yıl için 4-5 milyon ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Kanunu ile kentsel dönüşüm çalışmalarının artması kaçınılmaz olmuştur. Yapılan araştırmada; açığa çıkan inşaat yapım ve yıkım atıklarının “*ilk 3 yıl boyunca yıllık hedefin %40’ı esas alınarak 10 milyon ton/yıl ve geri kazanılacak malzeme miktarının 6 milyon ton /yıl civarında oluşacağı*” öngörülmektedir [6].

## 2.1. İnşaat Yapım ve Yıkım Atıklarının Oluşum Nedenleri

Hızlı nüfus artışı, iç ve dış göçler, sanayileşme gibi sebeplerden dolayı nitelikli veya nitelikli olmayan yapılaşmalar ortaya çıkmaktadır. Mimari tasarım sürecinin devamındaki yapım süreci, atık miktarının da belirlenmesinde ilk etken olmaktadır. Tasarımı ve bu süreci; bölgesel koşullar, ekonomik durum, sosyal ve kültürel nedenler etkilemektedir. Yeni yapılar, yıkım çalışmaları, restorasyon çalışmaları, peyzaj düzenlemelerinin kapsamı, ortaya çıkacak atığın miktarını belirlemede yardımcı olmaktadır. Bölgesel etkenler ve doğal afetler ile insan kaynaklı afetler de atık yönetiminde önemli faktördür. Başta deprem bölgelerindeki ve dere yataklarındaki düzensiz yapılaşmalar ile heyelanlar, su baskınları, erozyon, çığ gibi doğal afetlerin sonucunda, inşaat yapım ve yıkım atıklarıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre, inşaat atıkları ağırlıklı olarak inşaat yapım sürecinde üretilmektedir. Genellikle tuğla, kum, beton, metal, ahşap, kâğıt, cam, plastik vb. gibi yüksek seviyelerde malzeme birleşimlerinin olduğu atıklardır [7]. Yapılan araştırmalar doğrultusunda, heyelan, kentlerde ağır hasar meydana getiren doğal afetlerin başında gelmektedir. Demir vd.'nin (2008) çalışmasına göre son 50 yılda 13.746 adet heyelan gerçekleşmiştir ve 65.817 konut birimi hasar görmüştür [8]. Son olarak 2010 yılı Rize heyelanında ise 174 konutun taşınması ve 96 konutun onarılmasına ihtiyaç duyulmuştur [9]. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 1955-2007 yılları arasında meydana gelen su baskınları sonucunda Türkiye genelinde 61.000 konutun yıkıldığını veya kullanılamayacak durumda hasar gördüğünü tespit etmiştir [10]. 4 Temmuz 2012 ve 6 Ağustos 2012 tarihinde Samsun'da meydana gelen su taşkınlarından 1111 konut birimi, 1507 ticaret birimi, 327 depo, 36 kamu yapısı ile 23 ahır-samanlık birimi zarar görmüştür [11]. Enkaz olarak değerlendirilen bu atıkların, nasıl değerlendirildiği veya ne olduğu bilinmemektedir.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından yapılan araştırmada, Türkiye'de son 58 yıl içerisinde "400 binden fazla binanın yıkıldığı ya da ağır derecede hasar gördüğü" gözlemlenmiştir [12]. Türkiye'de 1990 yılından sonra meydana gelen büyük şiddetli depremler sonucunda oluşan maddi hasarın 15.360 milyon dolar olduğu tahmin edilmektedir [13]. Türkiye yüzölçümünün %42'si I. derece, %24'ü II. derece, %18'i III. derece, %12'si IV. derece ve %4'ü V. derece deprem bölgesindedir [14]. Türkiye'de, büyük şiddeti ile can ve mal kaybının fazlasıyla yaşandığı 17 Ağustos 1999 İzmit körfezi depremi, 12 Kasım 1999 Düzce depremi ve 23 Ekim 2011 Van depremleri son dönemde gerçekleşmiştir. Palabıyık'ın (2000) yaptığı çalışmada ise 17 Ağustos 1999 Yalova depreminde; 77.342 konut ve iş yerinin yıkıldığı veya ağır hasar gördüğü gözlemlenmiştir [15]. Depremlerin sonucunda hasarlı olan yapıların yıkımı ve yeniden yapımında meydana gelen inşaat atıklarının nasıl değerlendirildiği bilinmemektedir.

İmar planlarına aykırı, alt yapı çalışması olmadan gelişigüzel inşa edilmiş, genelinde izinsiz arsalarla yapılmış olan gecekondular; çarpık kentleşme olgusunu da beraberinde getirmiştir. Geçmişten günümüze gelen bu olgu, planlı kentleşmeye geçiş sürecinde, inşaat yıkım atığı sorunu yaratan bir diğer etken olmuştur. Gecekondulaşmanın önüne geçmek için çeşitli yasal düzenlemeler de yapılmıştır. 2014-2018 yılları arasında, "Afet yönetimi ve kentsel dönüşüm" programları üzerine hukuki çalışmalar yapılmıştır [16]. Onuncu kalkınma planında ilk defa "kentsel dönüşüm ve konut" ayrı bir başlık altında değerlendirilerek; "19 ilde 46 farklı alanda 97.300 adet yapıyı içeren ve yaklaşık 610.000 kişinin yaşadığı 3.876 hektar" bölge kentsel dönüşüm alanı olarak belirlenmiştir [16]. Geçmiş yıllarda gerçekleşen doğal afetlerin sonuçları, gecekondulaşma ve çarpık kentleşme ile ilgili verileri göz önüne alındığında, inşaat yapım ve yıkım atıklarının yönetimi konusunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

## 2.2. İnşaat Yapım ve Yıkım Atık Yönetimi

Palabıyık'a (1999) göre katı atık yönetiminde başarılı olabilmek için "entegre katı atık yönetim" sistemi kullanılmalıdır. Bu sistem, kompostlama, yakma, depolama gibi birden fazla teknolojinin birlikte kullanılmasıyla katı atık yönetiminin sağlanmaktadır [17]. Katı atık yönetimi stratejisinin hedefleri; "atık oluşumunu engellemek, atığın geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılmasını sağlamak ve atığın güvenli bertarafı ve çevreyi olumsuz etkileri önlemek" tir [18]. İsviçre'de atık yönetiminde yerel yönetimler, katı atıkları %50 oranında geri dönüştürerek ekonomiye katkı sağlarken kalan %50'lik kısmı ise yakarak enerji geri kazanımını ile sağlamaktadır [19]. Yapılan bir çalışmaya göre; inşaat atıklarının oluşumunun en aza indirilmesi için projelerin ilk tasarım evrelerinde malzeme yönetiminin planlanması gerekmektedir. Yapı şantiyelerinde yanlış tasarım sonucunda oluşan atıklara ek olarak kullanılacak yapı malzemelerinin depolama metraj hesaplarının doğruluğu, bu malzemelerin kullanım şekli ve şantiyedeki tüm imalat hataları da inşaat atığı meydana getirmektedir [20], [21]. Bu duruma çözüm olarak, inşaat yapımından önce yüklenici firmalara verilecek atık yönetim planı veya çevre yönetim planıyla yerinde atık yönetimi sağlanmış olacaktır [22].

Ekonomik ve teknolojik yetersizlikler gibi nedenlerle atık yönetimi ülkemizde tam anlamıyla sağlanamamıştır [23]. 2015 yılı Resmi Gazetede yayınlanan Atık Yönetim Yönetmeliği’nde “*atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanması*” amaçlanmıştır [2]. Türkiye’de katı atık yönetimi yasal olarak çeşitli kurum ve kuruluşlara görevler verilmiştir. Katı atık yönetiminden yerel belediyelerin sorumlulukları olduğu kadar, merkezi yönetimlerin de gerekli tesis inşası gibi görevleri bulunmaktadır [24]. Atık yönetimi ile ilgili görev ve yetkinin olduğu 14 kurum ve kuruluş bulunmaktadır [25]. Atıkların, gelişmiş ülkelerde %55-65’lik oranda geri dönüştürülerek ekonomiye katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmaya göre, Türkiye’de meydana gelen her çeşit atıkların %50’sinden fazlası geri dönüştürülebilir özellik taşımaktadır. Atık yönetimi konusundaki yetersizliklerin giderilmesi ve uygulama alanlarının artması yüksek maliyetleri de beraberinde getirmektedir [23].

İnşaat alanında kullanılan beton, ahşap, demir, mermer, asfalt gibi malzemeler de en çok geri dönüştürülen malzemelerdir. Amerika Birleşik Devletleri’nde %80 oranında asfalt malzemesi, %60 oranında alüminyum atıkları, %30 oranında cam şişe, %50-60 oranında gazete ve %30-40 oranında plastik şişe atıkları dönüştürülmektedir. Atık betonların kırılması ile elde edilen beton agregası, yapılacak olan yollarda dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Amerika Birleşik Devletleri’nde yaklaşık 1.199 ton atık beton her sene geri dönüştürülerek beton agregası olarak kullanılmaktadır. Mermer atıkları da beton ve asfalt yapımında ince agrega olarak kullanılabilir ve betonun basınç dayanımını artırıcı olarak etkilemektedir. Mermer tozu ve parça atıkları yol, baraj dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi dışında dekoratif sanatlarda değerlendirilebilmektedir. Kalıpcılıkta kullanılan ahşaplar, üzerlerindeki betondan arındırılarak kâğıt ve karton üretilebilmektedir [26]. İnşaat atığı kazanımında inorganik malzemelerden oluşan yüksek mukavemetli, aşınma, donma ve su direnci yüksek olan kırık tuğla, beton gibi atıklar kireç, kum, toprak, kil gibi atıklara göre daha iyi geri dönüşüm performansı göstermektedir [7].

İnşaat atıklarının geri dönüşümüyle elde edilen kum, agrega gibi malzemelerin önceden işlem görmesi sebebiyle su geçirgenliği yok denecek kadar az olmaktadır. Alt yapı, kanalizasyon, doğalgaz ve kablo döşemelerinde kullanılan geri dönüşümlü inşaat atıklarının kullanımı, %60 oranında su yalıtımını da sağlamaktadır [27]. Sonuç olarak inşaat yapımında ve genel yapım işlerinde kullanılan pek çok yapı malzemelerinin geri dönüşümünü sağlamak mümkün olmaktadır.

### 2.3. İnşaat Atıklarının Oluşmasına Neden Olarak Kentsel Dönüşüm Kavramı

Kentsel dönüşüm; gecekondulaşmış kent alanlarında, kent merkezlerinde kalmış endüstri alanlarının taşınması ile meydana gelen yıkım alanlarında ve doğal afetlerle oluşan yıkım alanlarında yapılan “*koruma, yenileme, iyileştirme, yenileşme, yeniden canlandırma ve soylulaştırma*” çalışmalarını kapsamaktadır [28]. Bu kavram; bulunduğu bölgenin sahip olduğu nüfus, coğrafi özellikleri, sosyo-kültürel yapısı, finansal kaynakların yeterliliği ve yasal düzenlemeleri de içermektedir. Özden’e (2006) göre kentsel dönüşümün uygulanabilirliğinde dört unsur önemli rol oynamaktadır. Bu unsurlar, “*sosyal boyut, ekonomik boyut, planlama ve tasarım boyutu ile yasal-yönetimsel boyut*” olarak belirlenmiştir [29]. Dünyada, nüfus artışları ve hızlı kentleşme sonucunda ihtiyaç duyulan yeni arazilerin yetersizliğine çözüm olarak mevcut kent alanlarında kentsel dönüşüm çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır [30]. Dünyada son 20 yılda kentsel dönüşüm kavramı konut, şehircilik, ekonomi gibi alanlardaki sorunların çözüm noktasını oluşturmaktadır [31].

Dünya ülkelerinde çeşitli nedenlerden dolayı kentsel dönüşüm projeleri uygulanmıştır. Sanayi/Endüstri alanlarının kent merkezlerinden taşınması, kent merkezlerinde yapılan çalışmalar, gecekonduların, doğal afetlerin sonucu yapılan dönüşüm çalışmaları en belirgin örnekleridir. Endüstri alanlarının taşınması sonucu yapılan kentsel dönüşüm uygulamalarına, Almanya’nın Kuzey Duisburg kentinde bulunan sanayi alanlarının dönüşümü gösterilmektedir [32]. İnsan kaynaklı afetler sonucunda da kentsel dönüşüm çalışmasına 1945 yılında Hiroşima şehrinde atom bombasının atılması sonucunda oluşan yıkımlar üzerine proje geliştirilmesi örnek gösterilmektedir [33]. İnsan kaynaklı afete bir diğer örnek; Postdam Meydanı Kentsel dönüşümü projesi olup Almanya’nın Berlin bölgesindeki duvarın yıkılmasından sonra planlanmıştır [34]. Brezilya’nın Rio kentinde 1994 yılında, kent merkezinde kalmış gecekonduların dönüşümü “*Rio Kenti Gecekonduların Sağlıklaştırma Projesi*” ile yapılmıştır [35].

Kentsel dönüşüm süreci Türkiye’de ise 1980’li yıllarında “*gecekondular ve çöküntü alanlarının*” dönüşümü konusunda ortaya çıkmıştır [36]. İlk kentsel dönüşüm çalışmalarına “*yıkıp yeniden yapmak*” olarak

başlanmıştır. Günümüzdeki yaklaşım ise mevcut dokunun korunarak fiziksel yenilemeler yapılması olarak görülebilmektedir [37]. Ataöv ve Osmay (2007) Türkiye'deki kentsel dönüşüm sürecine göre üç evrede değerlendirilen 1950 ile 1980 yılları arasındaki "hızlı kentleşme ve gecekondudan apartman", 1980 ile 2000 yılları arasındaki "kent içi ruhsatlı ve ruhsatsız yapılaşma" ve 2000 yılından itibaren "kentsel dönüşüm yasallaşiyor" olarak gruplandırılmaktadır [37]. Özden'e (2006) göre de ülkemizde kentsel dönüşümün sebebini, "göç, yasadışı yapılanma, kent merkezlerinin ve eski kent parçalarının sorunları ile afetler" olarak belirlemiştir [29].

Türkiye'deki sanayi alanlarının dönüşümü, gecekonduların bölgeleştirmesi, doğal afet sonucunda oluşan yıkımlar, kaçak yapı ve sağlıksız barınma koşulları olan yapılaşmaların ıslahı, afet risklerini azaltmak için planlanan yeni yapılaşma gibi nedenlerle kentsel dönüşüm çalışmaları yapılmıştır. Kocaeli kentinde 1930'lu yıllarda 1.210.965 m<sup>2</sup>'lik bir alanda konumlanan Kâğıt fabrikası Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'ne devredilmesiyle "Sekapark Projesi" geliştirilerek, endüstri alanı değerlendirilip kente kazandırılmıştır [32]. Ankara'da uygulanan "Dikmen Vadisi Konut ve Çevre Geliştirme Projesi" kapsamında; bu vadinin 150 hektarlık kısmında; 103 hektarı yeşil alan, 23 hektarı konut alanı, 12 hektarlık alanında ticari yapılar, kültür ve sosyal birimler, yol ve altyapı tesisleri yapılması planlanmıştır [38]. Türkiye'de bir diğer gecekondular dönüşüm projesine, Ankara Altındağ kentsel dönüşüm projesi örnek gösterilmektedir. Altındağ ilçesi Ankara'da ilk gecekonduların olduğu alan olup mevcut yapıların %85'i gecekondulardan oluşmaktadır [39]. Günümüzde bu bölgede 40 bin civarında gecekondular ve kaçak yapı yıkımı gerçekleştirilmiştir [40],[41]. Türkiye'de doğal afetler sonucunda da yapı yıkımları meydana gelmiştir. 2011 yılında Van ilinde meydana gelen depremlerden hemen sonra 15.323 adet konut yapım işi için yer seçimi yapılarak inşaatlara başlanmıştır [12].

#### 2.4. Yapı Sektöründe İnşaat Yıkım Atıklarına Yönelik Uygulamalar

Doğal kaynakların hızlı tüketilmesi, ekolojik dengenin bozulması, küresel ısınma gibi çevre sorunları göz önüne aldığımızda, inşaat malzemelerinin sürdürülebilir olması, büyük önem taşımaktadır. Öcal ve İnce'ye (2012) göre sürdürülebilir malzemelerin kullanımı ve sürdürülebilir nitelikteki binalar kentsel dönüşüm sonucundaki yeni oluşumda kullanılabilir [42].

Avrupa Birliği ülkelerinde başta Hollanda, Belçika ve Danimarka'daki atıkların tamamına yakın bölümünün geri dönüştürüldüğü görülmektedir. İnşaat atıklarının ise 1980'li yıllardan itibaren farklı bölgelerde kurulan tesislerde geri dönüşümü gerçekleştirilmektedir. Geri dönüşüm yapılmayan İspanya, İrlanda, Yunanistan gibi ülkelerde ise atıkların depolandığı ve/veya yakıldığı söylenmektedir. Almanya, Hollanda, Avusturya, İsveç, Macaristan gibi Avrupa ülkelerinde, 1980'li yıllardan itibaren inşaat atıklarının geri kazanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve Avrupa Birliği'nde atık kavramı ile direktifler yayınlanmıştır [43]. 1999 yılında Avrupa Birliği komisyonunun hazırladığı raporun verileri doğrultusunda, inşaat yapım ve yıkım atıklarının ortalama %28'inin geri dönüştürüldüğü ve %72 oranındaki atığın da depolandığı sonucuna varılmıştır [44]. Avrupa ülkelerinde yeni hazırlanan 2008/98/EC sayılı AB Atık Direktifi ile de 2020 yılına kadar tehlikeli olmayan inşaat yapım ve yıkım atıklarının %70'inin geri dönüştürülmesi planlanmaktadır [45]. Avrupa ülkelerinde %70 oranında inşaat atıklarının yeniden kullanılması hedeflenmiştir. Böylece, daha az depolama alanlarına ihtiyaç duyulurken çevresel, ekonomik ve sosyal anlamda olumlu etkiler sağlayacağı planlanmaktadır [46]. İnşaat yıkım atıklarının geri dönüşüm çalışmaları Avrupa ülkelerinde A.B.D.'ne göre daha çok ivme kazandığı gözlemlenmiştir. Diğer dünya ülkeleri de Avrupa ve ABD ülkelerindeki inşaat atığı geri dönüşüm çalışmalarını örnek alarak yeni programlar üretmişlerdir [47].

Dünyadaki uygulamalarda, inşaat atıklarının depolandığı ve geri dönüşümünün sağlanmasına yönelik olarak çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Türkiye'de ise katı atık yönetimi, şehirlerde işletilen 59 tesis, işletmeye açılacak 39 tesis, plan ve proje aşamasında olan 41 tesis ile sağlanmaktadır. Türkiye'deki atık yönetimi ile ilgili yasal mevzuatlar, AB Direktifleri ile paralel olarak düzenlenmiştir [6],[48]. Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkım atıklarının geri kazanım tesisleri İstanbul, Ankara, Kocaeli ve İzmir'de bulunmaktadır [49]. 2012 yılından sonra ilgili resmi kurumların konuya yönelik bir çalışması bulunmamaktadır. Günümüzde ise özel firmalar ve hurdacı olarak isimlendirilen şahıslar, metal inşaat atıklarının geri dönüşümü için çalışmalar yapmaktadır. Ülkemizde, 2013 yılında inşaat yapım işlerinde kullanılan çimento malzemesi geri dönüştürülmüştür. Çimento sektörünün enerji ihtiyacını AB ülkelerinde yaklaşık %30 oranında atıkların geri dönüşümünden sağlansa da ülkemizde bu oran ortalama %3 değerindedir [6]. Bu çalışmada, İstanbul, Ankara, İzmir, Hatay ve Kayseri illerindeki katı atık ve inşaat

atıklarının durumu ve atık yönetimi incelenmiştir. İnşaat atığı oluşmasına neden olan kentsel dönüşüm çalışmaları, sayısal veriler ile incelenmiştir.

İstanbul'da Anadolu yakasında "Kömürçüoda II: Sınıf Düzenli Depolama Tesisi", Avrupa yakasında "Odayeri II: Sınıf Düzenli Depolama Tesisi" vardır [50]. Kentsel dönüşüm ve inşaat yapım çalışmalarının artması nedeniyle her ay ortalama 5.000.000 ton hafriyat atığı olduğu tespit edilmiştir [51]. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSTAÇ)'nin yaptığı araştırmaya göre; İstanbul'da yıllık 40.000.000 ton hafriyat toprağı depolanmakta ve "eski maden ve taş ocağı gibi alanlar döküm sahası" olarak kullanılmaktadır [52]. Ankara'da hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkım atıklarının "fiili döküm" yapıldığı yerler ise Bağlum Beldesi Güneybatı Mevkii eski taşocağı, Yakacık-Memlik arası, Alacaatlı taş ocağı (dökülmüş atıkları kapatma amacı ile), Sincan Fatih Mahallesi Belören Mevkii taş ocakları, Mamak Çöplüğü ve Yakupabdal Köyü arasındaki belirlenmiş bölge olmaktadır. Bu alanlardan farklı olarak atıklar, altyapı çalışmalarında kullanıldığı gibi geri kazanım için Mamak Katı Atık Depolama sahasına da gönderilmektedir [53]. İzmir ilinde inşaat atıklarıyla ilgili de 5 adet ruhsatlı alan (eski taş ocağı alanı) kullanılmaktadır. İşletmesi İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne ait Kırıklar ve Yelki bölgelerindeki alanlarda, yılda yaklaşık 1.000.000 ton hafriyat toprağı ve inşaat/yıkım atığı değerlendirilmektedir [54]. Hatay ilinde ise Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkım atıkları ise Antakya ilçesinde bulunan Karayolları 53. Bölge Şefliği'nin sahip olduğu yolun iki tarafında bulunan kum ocakları ile Karlısu Beldesi'nde ayrılmış alanlar kullanılmaktadır [55].

Kayseri'de hafriyat toprağı, inşaat ve yıkım atıklarına yönelik ise bir çalışma yapılmamıştır. Türkiye genelinde hızla artan kentsel dönüşüm uygulamaları, Kayseri'de de gerek mahalle gerek ada ölçeğinde uygulanmaktadır. Kent genelindeki kaçak ve ruhsatsız yapıların ıslahı, restorasyon çalışmaları ve hızla artan yapılaşma gibi nedenlerle evsel nitelikli atıklar, atık su ile inşaat yapım ve yıkım atıklarında ciddi bir artış olacağı tahmin edilmektedir.

### 3. Kayseri ili Kentsel Dönüşüm Çalışmaları

Kayseri 16 ilçeden oluşmaktadır. Kayseri ilindeki nüfus bakımından en fazla yoğunluğa sahip ve merkeze bağlı olan Büyükşehir Belediyesi, Melikgazi Belediyesi, Kocasinan Belediyesi ve Talas Belediyesi'nde gerçekleştirilen kentsel dönüşüm çalışmaları ile oluşan inşaat atıklarının durumu araştırılmıştır. Kayseri Büyükşehir Belediyesi 2015 yılında, Kocasinan ilçesindeki Sahabiye ve Fatih mahallelerinde kentsel dönüşüm çalışmalarını başlatmıştır [56]. Mahallelerdeki toplam binaların, yaklaşık %80 oranının eski ve riskli yapılardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Kentsel dönüşüm yapılacak olan mahallelerde yapılan araştırmada, toplamda 700 adet binanın %60'ı konut, %40'ı ticaret yapıları ve 12 adet tarihi yapının mevcut olduğu görülmüştür. Mahallelerde bulunan yeşil alan, otopark ve alt yapı sisteminin yetersiz görülmektedir [57]. Bu veriler ışığında 2015 yılında, Büyükşehir Belediyesi öncülüğünde Sahabiye ve Fatih mahallelerinde kentsel dönüşüm projeleri hazırlanmıştır.

Kayseri Kocasinan ilçesi hafriyat ve inşaat yıkım atıklarını Erkilet bölgesinde bulunan eski kum ocağına nakledilmektedir [58]. Kocasinan'da yer alan Ahievran Mahallesi 58,94 hektarlık alanı kapsamaktadır. Kentsel dönüşüm projelerinin sonucunda, yapılması planlanan toplam inşaat alanı 83.000 m<sup>2</sup>'dir [58]. Mahalledeki mevcut konutlarda yapılan araştırmada; 137 konut ruhsatsız yapı olarak tespit edilmiştir. Yapılan fizibilite çalışması sonucunda; 10 adet 4 katlı apartmanda 77 daire ve 4 adet ticari yapı bulunmaktadır [59]. Kentsel dönüşüm çalışmalarının yapıldığı Yunus Emre Mahallesi 12,53 hektar, Alsancak Mahallesi 6,90 hektar ve Seyrani Mahallesi 44,18 hektar alanlar kentsel dönüşüm ve gelişim proje alanı olarak belirlenmiştir [60]. Yunus Emre Mahallesi'nde yapılan fizibilite çalışması sonucuna göre; 222 adet konut, 5 adet ticari yapı olmak üzere 227 adet ruhsatsız yapı bulunduğu tespit edilmiştir [59].

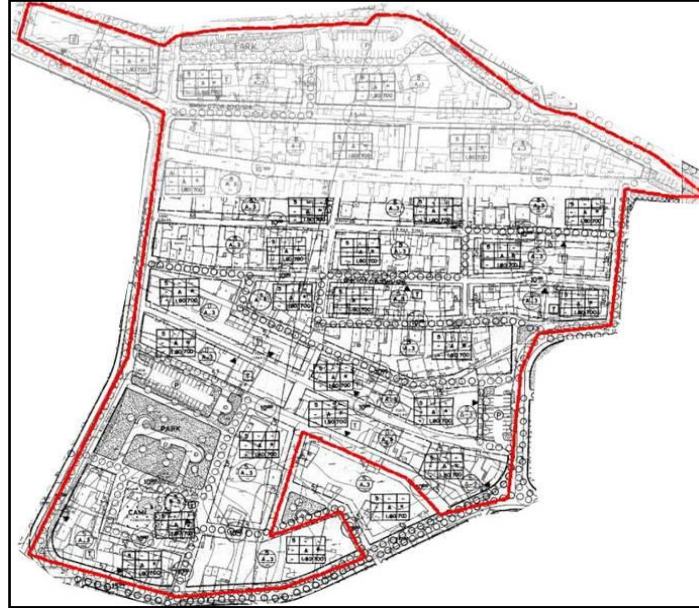
Talas ilçesinde ise günümüze kadar, Yenidoğan ve Bahçelievler mahallerinde (ada ölçeğinde) dönüşüm çalışmaları yapılmıştır. Yenidoğan Mahallesi'nde 8 bloktan oluşan "Erşan Sitesi" ile Bahçelievler Mahallesi'nde, "Yıldız Evler Sitesi" ve "Bora Sitesi"nde 5'er blok şeklinde inşa edilmiştir. Sitesi sakinlerinin, özel bir inşaat firması ile gerçekleştirdiği anlaşmalar neticesinde yıkımlar yapılmıştır. Talas ilçesindeki hafriyat ve inşaat yıkım atıkları, yol ve zemin alt dolgusu amacıyla Başakpınar bölgesinde kullanılmıştır. Kentsel dönüşüm çalışmaları sonucu meydana gelen atıklar ise özel inşaat firmaları tarafından yerel yönetimce belirlenen alana götürülmüştür.

Melikgazi ilçesinde ruhsatsız ve kaçak olarak belirlenen yapılar ise; 1991 yılında 369 yapı, 2004 yılında 1539 yapı, 2007 yılında 3430 yapı, 2010 yılında 5198 yapı ve 2014 yılında da 8215 yapı yıkılmıştır. Gecekondulaşma sorununa çözüm olarak yapılan imarlı sosyal konutların sayısı ise; 1996 yılında 80, 2004 yılında 775, 2008 yılında 1575, 2010 yılında 1895, 2014 yılında ise 3114 adettir. 2015 yılında ise Battal Gazi, Kazım Karabekir, Karacaoğlu, Selçuklu ve Anbar mahallerinde 711 kentsel dönüşüm konutu yapımı planlanmıştır. Küçükali Mahallesi'nde yapılan fizibilite çalışmaları sonucunda 378 yapı riskli olarak tespit edilmiştir [61]. Melikgazi ilçesinde 2011 yılında yapımı tamamlan Gesi Derindere viyadüğü Gesi, Turan, Bürüngüz, Gürpınar gibi mahallelerin şehir merkezine daha güvenli bir ulaşımının sağlanması amacıyla hafriyat ve inşaat atıklarının dolgu malzemesi olarak kullanılmasıyla yapılmıştır [62].

Kayseri'de mahalle ölçeğinde ilk kentsel dönüşüm çalışması örneği olan Küçükali Mahallesi alan çalışması olarak seçilmiştir. Küçükali Mahallesi sosyo-kültürel durum, yapılan fizibilite ve projelendirme çalışmalarının süreci gözlemlenmiştir. Etaplar halinde gerçekleştirilen yıkımlar ve meydana gelen atıkların durumu ile geri kazanım yöntemlerinin fayda zarar analizleri araştırılmıştır. Küçükali Mahallesi'nde yapılan incelemelerin sonucunda, inşaat yıkım atıklarının geri dönüşümüne çözüm önerisi getirilmesi hedeflenmektedir.

### 3.1. Alan Çalışması; "Küçükali Mahallesi"

3214 kullanıcının bulunduğu Küçükali Mahallesi'nde çalışmaya konu olarak belirlenen alanda 1518 kişinin yaşadığı bilinmektedir (Harita 1). Mahallede, 25 yıldan fazla bir süreç içerisinde ne kamu kuruluşlarından ne de kullanıcılar tarafından yapısal olarak yenilikçi bir gelişme gözlemlenmemiştir. Mahalledeki yapı birimlerinin, inşa edildiği dönemde hiçbir yönetmelik kurallarına uygun yapılmadığı gibi ekonomik ömürlerini tamamlayarak herhangi bir afet durumunda can ve mal kaybına neden olacak riskli yapılar haline dönüşmüştür. Barınma koşullarının da sağlıksız olduğu görülen bu yapı alanında, yerel yönetimin öncülüğünde yaşam standardını yükseltmek amacıyla kentsel dönüşümün gerekli olduğu sonucuna varılmıştır [61].



Harita 1. Küçükali Mahallesi Eski İmar Planı [61].

### 3.2. Küçükali Mahallesi Kentsel Dönüşüm Süreci ve İnşaat Yıkım Atıklarının Değerlendirilmesi

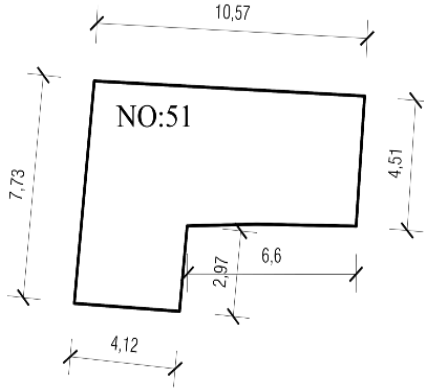
Kentsel dönüşüm yapılacak mahallede 435 adet hak sahibinin kullandığı 342 adet tek katlı ve 36 adet iki katlı olmak üzere toplam 378 yapı tespit edilmiştir. Bu yapıların statik açıdan beton örnekleri alınarak laboratuvar ortamında performans analizlerine tabii tutulmuştur. Bu riskli alanın yerinde tespit çalışmaları ve Bakanlar Kurulu kararı ile kentsel dönüşümü başlatılmıştır [61]. 2015 yılında mahalle riskli alan ilan edilmeden önceki imar planında 24 yapı adası bulunmaktadır. Bu yapı adalarında, sayısal ortamda yapılan inceleme sonucunda 343 adet tek katlı konut, 34 adet iki katlı konut, 7 adet bağımsız tek katlı ticaret yapı birimi, 2 adet iki katlı ticaret yapısı olduğu gözlemlenmiştir. Mahallede, bağımsız 386 yapı adedi bulunmaktadır.

Mahallede yıkım çalışmalarının, etaplar halinde yapılması planlanmıştır. Bu süreçte; malikler yapılarındaki pencere ve kapı doğramaları, pencere ve kapı camları, iç oda kapıları, dış kapı ve bahçe kapısı, balkon ve merdiven korkulukları, radyatörler, sac malzeme çatı örtüleri, kiremit ve ahşap çatı malzemeleri, mutfak, banyo ve tuvalet mekânlarının armatürleri, PVC duşa kabinler, seramik lavabo ve klozet gibi malzemeleri ayrıştırmıştır. Bu malzemeler belli bir ücret karşılığında, halk arasında "hurdacı" olarak nitelendirilen şahıslara satılmıştır. Kentsel dönüşüm çalışmaları sonucunda oluşan yıkım atıkları, aynı mahallede ve bu bölgeden yaklaşık 3 km uzaklıktaki belirlenen alana taşınmıştır. Kentsel dönüşüm atıkları, yaklaşık 2,5 hektar alanda zemin dolgusu olarak kullanılmıştır.

### 3.3. Küçükali Mahallesi'nde Meydana Gelen İnşaat Atıklarının Ekonomik Analizi

Mahallede meydana gelen atıkların ekonomik analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle her bina için ele alınan yapı elemanlarının metrajı hesaplanmıştır. İkinci olarak, bulunan metrajlar kullanılarak yıkım atıklarının hacmi hesaplanmıştır. Üçüncü olarak, mahalledeki yapıların yıkımı, oluşan atıkların kamyonlara yüklenmesi, dolgu yapılacak alana nakliyesi ve bu alana atıkların boşaltımının yapılması için gerekli harcamaların bedeli hesaplanmıştır. Son olarak da 2017 yılı Çevre Şehircilik Bakanlığı'na belirlenmiş poz numaraları ve birim fiyatları üzerinden Küçükali Mahallesi için yıkım işleri, inşaat atıklarının yükleme-boşaltma işleri ve atıkların nakliyesinin toplam maliyeti elde edilmiştir.

Mahallede yıkım çalışmaları aşamasında sadece yapıların döşemeleri, yapı iç-dış duvarları ve bahçe duvarları kalmıştır. Maliyet hesap yönteminde; yapıldığı dönem ve koşullar, yapıların durumları ve yapı sistemleri de göz önüne alınmıştır. Bu bağlamda; yerinde yıkım aşamasında yapılan incelemelerde, yapım sistemi yığma ve taşıyıcı dış duvar kalınlığı 0,2 m olarak tespit edilmiştir. Yığma kâgir yapıların gözlemlendiği Küçükali Mahallesi'nde en fazla bina yüksekliği, 3 m olarak alınmıştır (Şekil 1, Fotoğraf 1). Maliyet hesabı için bina ölçeğinde çıkarılan beton metrajında, yapı temelini yerine zemin döşemesi esas alınmış olup, yapı taban alanına eşit saçaksız çatı döşemesinin olduğu kabul edilmiştir.

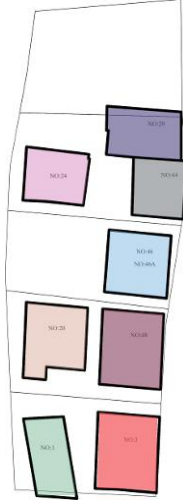


Şekil 1. 1710 Numaralı Ada Mevcut Bir Konut [63].

Fotoğraf 1. 1710 Numaralı Adada Şekil 5'de İmar Planı Verilen Mevcut Bir Konut Cephesi [63].

24 yapı adasında yer alan konut ve ticaret birimlerinin imar plan durumu, taban alanı (m<sup>2</sup>) ve yapı dış duvarlarının miktarı (m) hesaplanmıştır. Meydana gelen inşaat atıklarının analizi için yapı taban alanları ile yapı tavan döşemesi eşit kabul edilmiş ve taban alanı bir yapı için iki ile çarpılarak toplam döşeme metrajı bulunmuştur (Tablo 1). Burada taban döşemesinin grobeton, tavan döşemesinin ise betonarme plak olduğu ihmal edilip her ikisi de betonarme plak olarak kabul edilmiştir (Şekil 2, Fotoğraf 2).





Şekil 2. 1721 Ada'nın Bir Bölümünün İmar Durumu [63].



Fotoğraf 2. Küçükali Mahallesi 1721 Ada'nın Bir Bölümünün Şekil 4'de İmar Planı Verilen Konutların Hava Görüntüsü [63].

Duvar metraji, yapıların dış taşıyıcı duvarlarının toplamı (m) ile kabul edilen yapı yüksekliği (3,00 m) çarpılarak hesaplanması sonucu bulunmuştur (Tablo 1). İç taşıyıcı ve bölücü duvarlar, metraja kesin sayısal verilerle dâhil edilememiştir. Yapılardaki kapı ve pencere ölçülerine de ulaşılmadığından hesaplamalarda bu elemanlar için gerekli olan duvar boşlukları ihmal edilmiştir. Burada da döşemeler için geçerli olan sebeplerle birlikte her yapının farklı bir plan şemasına da sahip olmasının zorlukları eklenmiştir. İç duvarların yıkım, yükleme-boşaltma, taşıma maliyetlerini etkileyeceği açıktır.

Bu doğrultuda, mahallede ortalama bir konutun alanı hesaplanmıştır. Burada,  $X=a/b$  denklemi kullanılmıştır. Mahallede toplam yapı taban alanının, toplam yapı sayısı olan 386'ya bölünmesiyle bir yapı biriminin ortalama taban alanı  $86,00 \text{ m}^2$  bulunmuştur.

$$X=a/b$$

$$86,29=33.310,64/386$$

**X:** Mahallede Bir Yapının Taban Alanı ( $\text{m}^2$ )

**a:** Toplam Yapı Taban Alan ( $\text{m}^2$ )

**b:** Toplam Yapı Birimi

Yığma kâgir yapıların özelliklerine uygun olarak tuğla duvar kalınlığı 20 cm ve iç-dış sıva kalınlıkları toplamı 5 cm kabul edilerek, atık hesabında kullanılan sıvalı duvar eni 25 cm olarak alınmıştır. Yığma kâgir yapılarda temel hatıl kalınlığı 50 cm ve hatıl yüksekliği 30 cm'dir. Tavan döşeme kalınlığı 20 cm ve yapı zemin döşeme kalınlığı 12 cm'dir. Küçükali Mahallesi'nde taban-tavan döşeme kalınlıkları ortalama 15 cm olarak kabul edilmiş ve yığma yapı standartlarına uygun olarak beton yoğunluk ( $\text{ton}/\text{m}^3$ ) değeri 2,5 olarak alınmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda; toplam döşeme metraji  $66.650,59 \text{ m}^2$  ve duvar metraji  $48.211,43 \text{ m}^2$  olarak bulunmuştur. Bu metrajlar doğrultusunda, Küçükali mahallesinde yapılan kentsel dönüşüm çalışmalarında oluşan duvar ve döşeme atıkları, toplam inşaat atığı kabul edilerek enkaz nakliye bedeli hesaplanmıştır. Bu bağlamda ilk olarak beton atığı hacmi hesaplanırken; taban ve tavan döşemelerinin toplamı ( $66.650,59 \text{ m}^2$ ), beton kalınlığı (0,15 m) çarpımıyla atığın hacmi ( $9.997,59 \text{ ton}/\text{m}^3$ ) bulunmuştur. Beton yoğunluk değerleri  $\rho_b$  ( $2,5 \text{ ton}/\text{m}^3$ ) olarak alınmıştır.

$$Y=c \times h_f$$

$$9.997,59=66.650,59 \times 0,15$$

**Y=** Mahalle Meydana Gelen Beton İnşaat Atık Hacmi ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

**c:** Yapı Zemin ve Üst Döşeme Toplam Metraji ( $\text{m}^2$ )

**$h_f$ :** Döşeme Kalınlığı (m)

İkinci olarak yapı dış taşıyıcı duvar atığı hesabı yapılmıştır. Duvarların toplam çevresi (16.070,48 m) ve yüksekliği (3,00 m) çarpımıyla elde edilen duvar metrajını (48.211,43 m<sup>2</sup>), duvar kalınlığı (0,25 m) verileri çarpımıyla atık hacmi (12.052,86 ton/m<sup>3</sup>) bulunmuştur (Fotoğraf 3). Mahalledeki yapıların, yığma yapım sistemi ile yapıldığı düşünülerek duvar yoğunluk değeri  $\rho_d$  1,00 (ton/m<sup>3</sup>) alınmıştır.



Fotoğraf 3. Küçükali'de 2. Etap Yıkım Çalışmaları [64].

$$Z = e \times d$$
$$12.052,86 = 48.211,43 \times 0,25$$

- Z**= Mahalle Meydana Gelen Duvar İnşaat Atık Ağırlığı (ton/m<sup>3</sup>)  
**e**: Mahallede Yapı Dış Taşıyıcı Duvar Metrajı (m<sup>2</sup>)  
**d**: Duvar ve iç-dış sıva (0,2+0,05=0,25 m) toplam kalınlığı (m)

Son olarak, 386 adet yapının kadastro sınırlarının çevresi (m) kendi parsel sınırları olarak düşünülerek bahçe duvarı hesabı yapılmıştır. Mevcut imar yönetmeliği temel alınarak, bahçe duvar yüksekliği ortalaması 90 cm alınmıştır (Fotoğraf 4). Bahçe duvarlarının da yığma yapım sistemi olduğu düşünülerek yoğunluk değeri  $\rho_d$  1,00 (ton/m<sup>3</sup>) alınmıştır. Toplam bahçe duvarlarının metrajı (11.837,12 m), bahçe duvarı yüksekliği (90 cm) ve eni (20 cm) çarpılarak toplam bahçe duvarları atığı hacmi (2.367,42 ton/m<sup>3</sup>) hesaplanmıştır (Tablo 1). Bahçe duvarlarının sıva kalınlığı ihmal edilmiştir.



Fotoğraf 4. Küçükali'de 2. Etap Yıkım Çalışmaları [64].

$$Q=f \times i$$

$$2.367,42=11.837,12 \times 0,20$$

**Q=** Mahalle Meydana Gelen Bahçe Duvarı İnşaat Atık Hacmi (ton/m<sup>3</sup>)

**f:** Mahallede Bahçe Duvar Metrajı (m<sup>2</sup>)

**i:** Duvar (0,20 m) toplam kalınlığı (m)

Küçükali'de yıkımlar sonucunda meydana gelen atıklar; beton, dış taşıyıcı duvarlar ve bahçe duvarı atıklarıdır. Bu atıkların ekonomik analizi üç aşamada yapılmıştır. İlk olarak yapıların yıkım bedeli, ikinci olarak da beton atıklarının yükleme-boşaltım ve nakliye giderleri hesaplanmıştır. Üçüncü olarak, dış taşıyıcı duvarların yükleme-boşaltım ve nakliye bedeli bulunmuştur. Son olarak ise bahçe duvarlarının yükleme-boşaltım ve nakliye maliyeti hesaplanmıştır.

Bir yapının yıkım masrafları hesaplanırken 1 m<sup>3</sup> birim değeri esas alınmaktadır. Bu durumdan dolayı, mahallede yıkılacak 386 konutun toplam hacmi bulunmuştur (Tablo 1). Maliyet hesabı yapılırken ise 2017 yılı Çevre Şehircilik Bakanlığı'nın (Ç.Ş.B.) 185.185/1 poz numarası ve birim fiyatı 79,33 TL kullanılmıştır [65]. Patlayıcı madde kullanılmadan makine yardımıyla demirli-demirsiz beton inşaatın yıkılmasında gerekli olan traktör ripperi ile kompresör'ün bir saat ücreti, işçilerin bir saatlik ücreti ve enkaz atıklarının inşaat sahasında her türlü yükleme-boşaltma ve yatay-düşey taşıma işçilikleri de dâhil edilmiştir (Tablo 1). Yüklenici firmanın kâr payı (maliyetin %25 oranı) birim fiyata eklenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu 386 yapının yıkım bedeli **7.927.599,21 TL** olarak bulunmuştur. Küçükali Mahallesi'nden daha büyük alanlarda yapılacak kentsel dönüşüm sonucunda çıkacak yıkım bedellerinin çok daha fazla olacağı düşünülmektedir. Ç.Ş.B.'nin 2017 birim fiyatında, inşaat yıkım ve atık yükleme-boşaltma fiyatları aynı poz numarasında olduğu için ayrı bir yükleme-boşaltma hesabı yapılmamıştır.

Mahallede, ikinci olarak atıkların nakliye giderlerinin hesabında, 2017 yılı Ç.Ş.B. 07.005 poz numarası ile atıkların taşınması ve yüklenici firmanın kâr payı (maliyetin %25 oranı) fiyatı hesaplanmıştır. Bu poz numarasına göre, 1 ton atığın 1 m taşıma mesafesinde nakliye edilmesinin birim fiyatı 0,05 TL'dir. Mahalledeki atıkların 3 km (3000 m) uzaklığa taşınma birim fiyatı 8,91 TL olarak bulunmuştur. Nakliye bedeli hesabında, beton atıkların ağırlığı (ton) beton yoğunluk ( $\rho_b=2,5$  ton/m<sup>3</sup>) değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Mahalledeki beton atıklarının (24.993 ton) 3 km uzaktaki alana (Tablo 1) nakliye bedeli **222.687,63 TL** olarak bulunmuştur. Gidilen mesafe ve sefer sayıları arttıkça nakliye maliyetinin de artacağı açıktır.

$$F= A \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times G$$

$$0,04= 1 \times 0,00017 \times 245 \times 1 \times 1$$

$$0,05= 0,04+ (0,04 \times 0,25 \text{ yüklenici kârı})$$

$$7,13= 1,25 \times 0,00017 \times 245 \times \sqrt{3000} \times 2,5$$

$$8,91= 7,13 + (7,13 \times 0,25)$$

Mahallede, üçüncü olarak duvar atıklarının nakliye maliyeti hesaplanmıştır. İç duvar ölçümlerini, yerinde yapmak mümkün olamamıştır. Yapı ve maliyet analizlerinde iç bölücü duvarlar ve iç taşıyıcı duvarlar hesaba katılmamıştır. Dış duvar atıkların nakliye giderlerinin hesabı için, 2017 yılı Ç.Ş.B.'nin 07.005 poz numarası ile 3 km mesafedeki alana nakliyesi ve yüklenici firmanın kâr payı (maliyetin %25 oranı) fiyatı bulunmuştur. Duvar atıklarının (12.052,86 m<sup>3</sup>) nakliye maliyeti **42.908,17 TL** hesaplanmıştır (Tablo 1). Küçükali'de ise duvar atığının nakliye birim fiyatı değeri; 2,85 TL ve 0,25 oranında yüklenici kârı ile toplamı 3,56 TL olarak bulunmuştur [66].

$$F= A \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M} \times G$$

$$2,85= 1,25 \times 0,00017 \times 245 \times \sqrt{3000} \times 1$$

$$3,56= 2,85 + (2,85 \times 0,25)$$

Son olarak, bahçe duvarı yükleme-boşaltma ve nakliye bedeli hesaplanmıştır. Duvarın eni 20 cm, yoğunluk değeri 1 ve yüksekliği 90 cm alınmıştır. 2017 yılı Ç.Ş.B.'nin 185.185/1 pozunda yer alan yükleme-boşaltma bedeli (11,93 + 11,93 x 0,25) ve nakliye için 07.005 poz numarası birim fiyatları kullanılmıştır (Tablo 1).

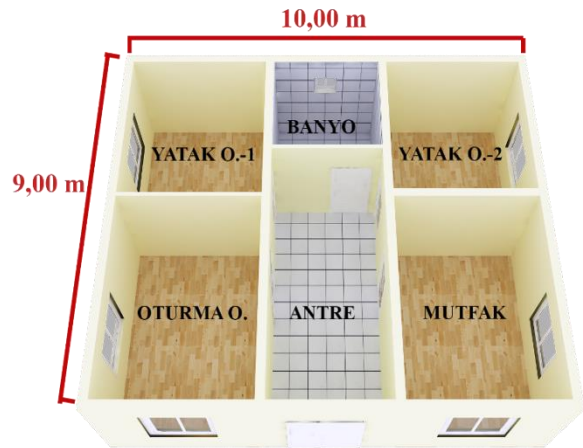
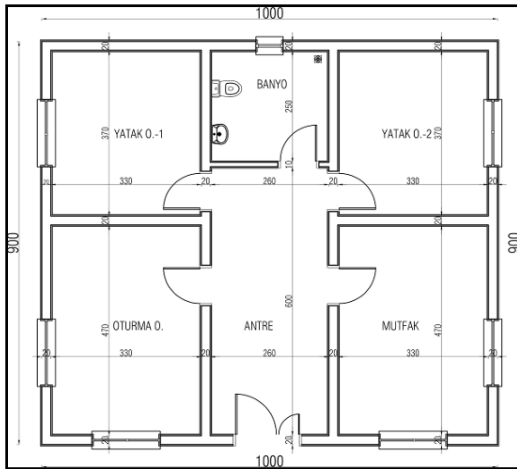
Küçükali Mahallesi'nin kentsel dönüşüm çalışması kapsamında, binaların yıkılması, oluşan atıkların araçlara yüklenip yaklaşık 3 km mesafede bulunan alana dökülmesinin maliyeti **8.236.919,76 TL** olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Çevre Şehircilik Bakanlığı'nın 2017 yılı birim fiyatları esas değer alınmıştır. Mahalledeki tek bir yapının inşaat atık yönetiminin bedeli toplam maliyetin **8.236.919,76 TL**, toplam yapı sayısına (386) bölünmesiyle **21.339,00 TL** bulunmuştur. Sonuç olarak, iç taşıyıcı duvarları dâhil edilerek tek bir yığma yapının yıkılıp, araçlara yüklenip 3 km uzaklıktaki alana taşınarak boşaltım işlerinin bedeli ortalama **21.339,00 TL** olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Küçükali Mahallesi Atık Yönetimi Maliyet Hesabı

Küçükali Mahallesi Bedel Hesabı	Formül	2017 Ç.Ş.B. birim fiyatı (TL) [65].	Toplam Bedel (TL)
386 Yapının Yıkım Bedeli Hesabı	Yapı tavan/tabana alanı x Yapı yüksekliği $33.310,64 \times 3,00 = 99.931,92$	<b>79,33</b>	<b>7.927.599,21</b>
Beton Atıklarının Nakliye Bedeli (3km)	$Y = c \times h_f \times \rho_b$ $66.650,59 \times 0,15 \times 2,5 \times 24.993$	<b>8,91</b>	<b>222.687,63</b>
Dış Duvar Atık Nakliye Bedeli (3km)	$Z = e \times d \times \rho_d$ $48.211,43 \times 0,25 \times 1,00 \times 12.052,86$	<b>3,56</b>	<b>42.908,17</b>
Bahçe Duvar Atıklarının Yükleme ve Boşaltma Bedeli (3km)	$Q = f \times i$ $11.837,12 \times 0,20 = 2.367,42$	<b>14,91</b>	<b>35.298,23</b>
Bahçe Duvar Atıklarının Nakliye Bedeli	$Q = f \times i \times \rho_d$ $11.837,12 \times 0,20 \times 1,00$	<b>3,56</b>	<b>8.426,52</b>
<b>Genel Toplam</b>			<b>8.236.919,76</b>

İç duvarların nakliye ve yükleme-boşaltma bedellerine etkisinin analizi için yığma bir yapının olabilecek en uygun ve sık kullanımı olduğu düşünülen bir plan şeması üzerinden, iç duvarlar için de genel maliyet çıkarılmaya çalışılmıştır. Küçükali Mahallesi'ndeki bir konutun taban alanı (X) esas alınarak, günümüz yığma yapı yönetmeliğine göre 90,00 m<sup>2</sup> (9,00 m x 10,00 m) bir konut planı tasarlanmıştır. Yapılan hesaplamada, kapı ve pencere boşlukları ihmal edilmiş olup iç ve dış taşıyıcı duvarların yüksekliği 3,00 m alınmıştır. Son olarak, iç duvarların toplam maliyeti, %71 oranında artıracığı hesaplanmış ve sonuç toplama eklenmiştir. Hazırlanan örnek plana göre; dış taşıyıcı duvarlar 37,2 m, iç taşıyıcı duvarlar 23,8 m ve iç bölücü duvarlar da 2,6 m'dir (Tablo 2). Yapıdaki toplam duvarlar 63,6 m ve toplam iç duvarlar 26,4 olarak hesaplanmıştır. Bu yapıdaki iç duvarların yapının toplam duvarlarına oranı %71 olup, oluşacak duvar atıklarının yükleme-boşaltma ve nakliye giderlerini de bu oranda etkilemesi muhtemeldir. Küçükali'de yıkılan yığma konutların iç duvarlarının nakliye maliyetlerini 222.687,63 (TL) x %71=158.108,21 TL kadar artıracığı tahmin edilmektedir.

**Tablo 2.** 90,00 m<sup>2</sup> Yığma Taşıyıcı Sistemli Konut Planı ve Görseli



#### 4. Tartışma ve Sonuç

İnşaat atığı; yeni alt ve üst yapıların inşaatı, restorasyon çalışmaları, gerekli yıkım işleri sonucunda oluşmaktadır. Ülkelerin jeolojik ve jeomorfolojik yapısı nedeniyle; deprem, heyelan, kaya düşmesi afetleri, sel, çığ gibi doğal afetler her dönemde meydana gelmektedir. İnsan kaynaklı afetlerden nükleer ve kimyasal kazalar, terör saldırıları, savaşların sonucunda binalarda oluşturduğu hasarlar ve yıkımlar inşaat atıkları oluşturmaktadır. Bununla birlikte mevsime göre yapılan iç göçler ve coğrafik konum ülkeler arası politik ilişkiler gibi pek çok sebep ile dış göçler gerçekleşmektedir. Bu durum kentlerde, düzensiz nüfus yoğunluğu oluştururken göç edilen bölgelerde de sosyolojik sorunlar da görülmektedir. Afetler ile çeşitli nedenlerle sağlıksız barınma şartlarının olduğu alanlarda; yeni yapı inşaatı planlama sürecine ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde farklı nedenlerle kentsel dönüşüm projeleri gerçekleştirilmektedir. Dönüşüm gerçekleşen alanlarda uygulanan veya uygulanması düşünülen projelerin çevreye uyumu, işlevi, rant geliri, toplam işin gerekliliği vb. konular tartışmaya açıktır. Kentsel/bölgesel dönüşüm olarak nitelendirilen projelerin kapsamında, konut alanlarında büyük yıkımlar olmaktadır. Bu yıkımlarla oluşan atıkların ne yapılacağı konusunda çalışmalar yok ve/veya yetersizdir. Bu durum, Türkiye'deki tüm coğrafi bölgeleri kapsamaktadır.

Türkiye'de tüm atıklar büyük ölçüde geri dönüştürülebilir özellikte olmasına rağmen atık yönetimi yetersizdir. Türkiye'deki illerin genelinde katı atık depolama tesisleri bulunmakta veya tesis kurulum aşamasındadır. Mevcuttaki atık depolama alanları ise kent merkezlerinde kalmıştır. Bu bölgelerin tahliye ve ıslah edilmesi zorunluluğu vardır. Bununla birlikte hızlı nüfus artışı ile artan konut yapım ve yıkım atıkları, yeni geniş depolama alanlarının inşasına neden olmaktadır. Düzenli depolama sahalarının sayısının azaltılması ve düzensiz depolama alanlarının da önüne geçilebilmesi için Türkiye'de katı atık geri kazanım tesislerinin sayısını artırılması bu soruna çözüm olacaktır. İnşaat atıklarının yönetimi için stratejiler belirlenerek atık üreticileri, kendi sorumlulukları konusunda bilgilendirilmelidir. Ayrıca görsel medya aracılığı ile kamu spotları oluşturularak toplumun bu konuda bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır.

Yerel yönetimlerin, yasal görev ve yetkileri olmasına rağmen, uygulamada kentsel dönüşüm sonucu meydana gelen inşaat atıklarının ne yapılacağı bilinmemektedir. Oysaki ayrıştırılarak temizlenen ve parçalanmış inşaat atıkları yeniden yapım malzemeleri haline getirilerek sürdürülebilir inşaat malzeme kaynağına dönüştürülebilmektedir. Bu açıdan inşaat atık yönetimi stratejisinin belirlenmesi ve geri dönüşüm tesislerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu konuda yerel yönetimin ve özel firmaların çabaları yeterli olmamaktadır. Katı atık olan inşaat yapım ve yıkım atıkları ve hafriyat atıklarının dönüşüm stratejileri belirlenerek geri kazanım tesislerinin kurulması teşvik edilmelidir. Genel olarak, zemin dolgusu olarak kullanılan bu atıklar, çevre kirliliği ve gelecek nesiller için de tehlike oluşturmaktadır. Çevre kirliliği kapsamında açık hava ile temas eden atıklar hava kirliliğine, zemin dolgusu olarak toprak ile temas eden inşaat atıkları fermantasyona ve yağmur sularıyla da birleşerek yeraltı sularına karışmaktadır. İnşaat atıklarının yönetiminin geliştirilmesiyle doğal çevre üzerindeki olumsuz etkiler önlenecektir.

Küçükali Mahallesi'nde yığma kâgir yapım sistemiyle inşa edilen yapıların atık yönetimi, ilk olarak, yapı sahipleri tarafından yapılmıştır. Tahliye edilen yapılarda grobeton, betonarme döşemeler, iç ve dış taşıyıcı duvarlar, bölücü duvarlar ile bahçe duvarları kalmıştır. Alanda kentsel dönüşüm çalışmaları etaplar halinde yapılmış ve meydana gelen inşaat yıkım atıklarının ekonomik analizi üç grupta hesaplanmıştır. Beton atıklar, iç-dış taşıyıcı duvarlar ve bahçe duvarlarının yıkım, nakliye ve yükleme-boşaltma giderleri Çevre Şehircilik Bakanlığı'nın birim fiyatları kullanılarak bulunmuştur. İç duvarlar ortalama değerler alınarak hesaplanmıştır. Beton, dış taşıyıcı duvar ve bahçe duvarları atıklarının yıkım, nakliye, yükleme ve boşaltım giderlerinin bedeli (8.236.919,76 TL) Çevre Şehircilik Bakanlığı'nın 2017 yılına ait birim fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda, mahalledeki 386 konutun ve bahçe duvarlarının yıkımı, atıkların yükleme-boşaltma ve nakliye bedeli **8.236.919,76 TL** ve tek bir yığma konut maliyeti **21.339,00 TL** olarak bulunmuştur. İç taşıyıcı duvarların, tek yapı ölçeğinde maliyete eklenmesiyle toplam maliyetin **21.748,00 TL** olduğu hesaplanmıştır.

Örnek alan çalışması verileri Kayseri'de yapılan parsel veya ada bazındaki kentsel dönüşüm çalışmalarının maliyetinin yüksekliğinin bir göstergesidir. Oluşan maliyet ya yerel yönetimlere ya da yüklenici firmalara ek maliyet olarak yansımaktadır. Özel firmalara arazi veya konutunu veren mülk sahipleri de bu durumdan dolayı olarak etkilenmektedirler. Mülk sahiplerine kentsel dönüşüm sonucu verilecek olan yapılardaki paylarının düşmesi ya da edinilecek olan yeni yapı biriminin alım bedelinin yükselmesi olarak

yansımaktadır. Bu durum, Türkiye genelindeki kentsel dönüşümle oluşacak inşaat atıklarının asgari ölçekte ekonomik durumuna yönelik bilgi vermektedir.

Küçükali mahallesi gibi Türkiye'deki kentsel dönüşüm çalışmalarıyla elde edilecek beton ve duvar atıklarının geri dönüştürülmesiyle, ihtiyaç duyulacak agrega malzemesi de karşılanabilecektir. Küçükali'de beton (24,993 ton), duvar (12,052 ton) ve bahçe duvarı (2,367 ton) atığı miktarı 39,412 ton ve atık yönetim maliyeti 8.236.919,76 TL olarak hesaplanmıştır. Burada 1 ton atığın yönetim maliyeti **208.995,00 TL**'dir. 2017 yılı Çevre Şehircilik Bakanlığı'nın birim fiyatlarıyla hesaplanan bu bedelin, her yıl güncellenmesi gerekmektedir. İnşaat atığı geri kazanım tesisinde, bu atığın %90'ı geri dönüştürülerek elde edilen kum ve agreganın kalitesine göre farklı oranlarda kâr elde edilerek, atık yönetim maliyeti en aza indirilmelidir. Bu hesaplamalar, atık yönetiminin ve geri dönüşüm tesislerinin önemini göstermektedir.

2001-2005 yılları arasında yapılan araştırmalara göre; ülkemizde gecekondulu ve kaçak yapı sayısı yaklaşık 1.240.000 adet olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de gerçekleştirilmesi muhtemel kentsel dönüşüm sonucu ortaya çıkacak olan atıkların yıkım, nakliye ve yükleme boşaltma maliyetlerinin de ne kadar olacağı hesaplanmaya çalışılmıştır. Tek yapı ölçeğinde; yığma yapım sistemiyle inşa edilmiş bir yapının yıkım, yükleme-boşaltma ve nakliye bedelleri **21.748,00 TL** ile ülke çapında gecekondularda atık oluşturacak olan yapıların toplam atık maliyeti **26.967.520.000,00 TL** olacağı tahmin edilmektedir. Bu durumun ülke ekonomisine olumsuz etkileriyle birlikte, Türkiye'deki nüfus artışıyla orantılı olarak yeni inşaat ve yeni yolların yapımındaki artışla beraber agrega hammaddesine ihtiyaç duyulacağı ve geri dönüşümle elde edilen agregaların bu talebi karşılayabileceği ön görülmüştür.

Yapılan bir çalışmaya göre, inşaat yapım ve yıkım atığı geri kazanım tesisi kurmak için ilk etapta gerekli olan arazinin satın alınması, tesis tasarımı ve projelendirilmesi, tesisin kurulum ve işletme bedelleri ile tesis makinelerinin bakım ve tüm işçilik giderleri için finans kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük ölçekte yatırım isteyen geri kazanım tesisi, geri dönüştürülen malzemelerin satışı ile tesisin gelir ihtiyaçları karşılanabilmektedir. İnşaat yapım ve yıkım atıklarının geri kazanım tesislerinin amacına ulaşması için atık malzemelerin istikrarlı olarak tesise nakliye edilmesi ve bu malzemelerin işlenmesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir [67]. Bu bakımdan, inşaat atık malzemelerinin depolanmasının önüne geçilerek tesis kurulumunun yapılması ve atıkların bu tesislere taşınıp dönüştürülmesi önemlidir. Tesis kurulumu için ise kamu kuruluşları ve özel sektörün konu üzerinde çalışmalar yapmaları yönünde ivmelendirilmeleri gereklidir.

Günümüzde kentsel dönüşüm sonucu yapılan yıkımlarda beton, briket, tuğla, ahşap, PVC, demir donatı gibi malzemelerinin inşaat atıklarının içerisindeki oranını analizini yapmak mümkün olamamaktadır. Bölgesel faktörler ile bölgesel malzeme kullanım etkileri, inşaat atığındaki malzeme kullanım oranını doğrudan etkilemektedir. Bu duruma, Karadeniz bölgesinde inşaat yapımında ahşap kullanımının tercih edilmesi ve inşaat atıklarında ahşap oranının yüksek olması örnek gösterilebilmektedir. İnşaat atık kompozisyonundaki atık oranları, geri dönüşümde kâr oranını da doğrudan etkilemektedir. Türkiye'de yapılması önerilen inşaat yapım ve yıkım atıklarının geri kazanım tesisleri kapasitesiyle de doğru orantılı olarak kurulduğu bölgelerde farklı kâr oranlarına sahip olacağı öngörülmektedir. Atık miktarlarının belirlenmesinde, yerel yönetimler ve özel sektördeki inşaat firmaları inşaat yapım, yıkım ve yenileme aşamalarında üretilen atıkların niteliksel özelliklerini raporlaması ile sağlanacaktır. Son olarak da üniversitelerde yapılan akademik çalışma ve bu çalışmaları gerçekleştiren akademik kişilerden destek alınarak geri dönüşüm yöntemler geliştirilmelidir. Bu durumun geliştirilmesi ve düzeltilmesi için sorunun ortaya koyulması önemlidir. Bu çalışmada bulunan maliyetin yön gösterici olacak şekilde kullanılması ve azaltılabilesi için gerekli çalışmaların yapılmasına ışık tutması beklenmektedir.

## Kaynakça

- [1] Yarımçam, Ş. 2017. İnşaat Yapım Ve Yıkım Atıklarının Geri Dönüşümünün Kentsel Ölçekteki Durumunun Kayseri Kentinde Örnek Alan Çalışması Üzerinden İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 182s, Kayseri
- [2] Resmi Gazete, 2015. Atık Yönetimi Yönetmeliği, Sayı Numarası: 29314, Resmi Gazete Tarihi: 02.04.2015.

- [3] Tenikler, G. 2007. Türkiye’de Tehlikeli Atık Yönetimi ve Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Bir Analiz, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 491s, İzmir.
- [4] Bayram, S., Öcal, M.E., Laptalı Oral, E. 2011. İnşaat atıkları kavramının yasal düzenlemesi ve hazır beton tesislerinde örnek uygulama. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-27 Kasım 2011, Bursa, 460-471.
- [5] Resmi Gazete, 2004. Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Sayı Numarası: :25406, Resmi Gazete Tarihi: 18.03.2004.
- [6] T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014-2017. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017.
- [7] Fu, Q., Teng, J. 2014. Analysis of the constuction cost management based on the perspective of the construction waste recycling. International Conference on Management Science and Management Innovation MSMI 2014. 701-706.
- [8] Demir, A., Gökçe, O., Özden, Ş., Işık, A., Çiftçi A. 2008. Trabzon heyelanlarına genel bakış. 5. Dünya su forumu Türkiye bölgesel hazırlık toplantıları. Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı. 7-8 Ağustos 2008, Trabzon, 219-227.
- [9] Yılmaz, S. 2012. 26 Ağustos 2010 Rize Bölgesel Heyelan ve Sel Afeti Müdahale ve İyileştirme Çalışmaları. AFAD T.C. Rize Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 22s, Rize.
- [10] DSİGM, 2008. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü XXII. Bölge Müdürlüğü, 5. Dünya Su Forumu Türkiye Bölgesel Hazırlık Toplantıları, Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı, 7-8 Ağustos 2008, Trabzon, 228s.
- [11] Bahadır, M. 2014. Samsun’da Meydana Gelen 4 Temmuz Ve 6 Ağustos 2012 Taşkınlarının Klimatik Analizi. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi. 29:28-50.
- [12] AFAD, (T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) 2014. Müdahale, İyileştirme ve Sosyoekonomik Açından 2011 Van Depremi Raporu. 104s, Ankara.
- [13] Ergünay, O. 2007. Türkiye’nin Afet Profili. TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 5-7 Aralık 2007. İMO Kongre ve Kültür Merkezi, 200s, Ankara.
- [14] Özmen, B. 2000. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi’nin Hasar Durumu. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, 98s, Ankara,
- [15] Palabıyık, H. 2000. Marmara Depremi Ve Düşündürdükleri: Afet Yıkıntı Ve Atıkları Yönetimi. Çağdaş Yerel Yönetimler, 9(1):88-95.
- [16] T.C. Başbakanlık, Devlet Planlama Teşkilatı, 2013. Onuncu Kalkınma Planı, 2014-2018. 212s, Ankara.
- [17] Palabıyık, H. 1999. Kentsel Katı Atıkların Yönetimi, Geri Kazanım Ve Sürdürülebilirlik Konusunda Perspektifler. Türk İdare Dergisi, 420:67-91.
- [18] Karakaya, İ. 2008. İstanbul İçin Stratejik Kentsel Katı Atık Yönetimi Yaklaşımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 176s, İstanbul.
- [19] Haupt, M., Vadenbo, C., Hellweg, S. 2016. Do We Have The Right Performance İndicators Fort He Circular Economy? Insight İnto The Swiss Waste Management System. Journal Of Industrial Ecology, 26 Oct 2016.
- [20] Ajayi, S.O., Oyedele, L.O., Akinade, O.O, Bilal, M., Alaka, H.A., Owolabi, H.A. 2016. Optimising Material Procurement For Construction Waste Minimization: An Exploration Of Success Factors. Sustainable Materials And Technologies, 11:38-46.
- [21] Al-Haji, A., Hamani, K. 2011. Material Waste İn The UAE Construction İndustry: Main Causes And Minimization Practices. Architectural Engineering And Management, 7:221-2345.
- [22] Yuan, H., Lu, W., Jianli Hao, J. 2013. The Evolution Of Construction Waste Sorting On-Site. Renewable and Sustainable Energy. 20:483-490.
- [23] T.C. Sayıştay Başkanlığı, 2007. Türkiye’de Atık Yönetimi, Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Performans Denetim Raporu. 82s, Ankara.
- [24] Akdoğan, A., Güleç, S., 2005. Belediyelerde Katı Atık Yönetimi Ve İl Belediyelerinde Gerçekleştirilen Ampirik Bir Araştırma. Çağdaş Yerel Yönetimler, 14(4):51-78.

- [25] Armağan, B., Demir, İ., Demir, Ö., Gök, N., 2006. Katı Atıkların Ekonomide Değerlendirilmesi. İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 2006-23.
- [26] Gürer, C., Akbulut, H. ve Kürklü, G., 2004. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm Ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, 28-36.
- [27] Alkış, E. 2013. Katı Atık Geri Dönüşüm Tesisi Fizibilite Raporu (Yayımlanmamış Rapor), İcon Medya Tanıtım Organizasyon ve Tarım Tic. LTD. ŞTİ. İstanbul
- [28] Demirkıran, S. 2008. Türkiye’de Kentsel Dönüşüm Uygulamalarında Yerel Yönetimlerin Rolü: Bursa Büyükşehir Belediyesi Örneği. Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 139s, Edirne.
- [29] Özden, P.P., 2006. Türkiye’de Kentsel Dönüşümün Uygulanabilirliği Üzerine Düşünceler. İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 35:215-233.
- [30] Peng, Y., Lai, Y., Li, X., Zhang, X., 2015. An Alternative Model For Measuring The Sustainability Of Urban Regeneration: The way forward. Journal of Cleaner Production. 109:76-83.
- [31] T.C. Kalkınma Bakanlığı.10. Kalkınma Planı Yaşanabilir Kentler Ve Kentsel Dönüşüm Özel İhtisas Komisyonu Ön Raporu. [https://mutlukent.files.wordpress.com/2012/10/kalkc4b1nmabakanlc4b1c49fc4b1\\_yac59fanabilir-kentler-ve-kentseldc3b6nc3bcc59fc3bcm.pdf](https://mutlukent.files.wordpress.com/2012/10/kalkc4b1nmabakanlc4b1c49fc4b1_yac59fanabilir-kentler-ve-kentseldc3b6nc3bcc59fc3bcm.pdf), (Erişim Tarihi: 01.03. 2017)
- [32] Oğuz, D., Saygı, H. ve Akpınar, N., 2010. Kent İçi Endüstri Alanlarının Dönüşümüne Bir Model: İzmit/Sekapark. Coğrafi Bilimler Dergisi CBD 8 (2), 157-167.
- [33] The World Habitat Awards, 1985-1989. The Reconstruction Of Hiroshima And The Danbra Redevelopment Project. World Habitat Award Winner, 1989.
- [34] Şişman, A., Kibaroglu, D., 2009. Dünyada ve Türkiye’de Kentsel Dönüşüm Uygulamaları. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11-15 Mayıs 2009, 9s, Ankara.
- [35] Karadağ, A. ve Miroğlu, G., 2012. Bayraklı Kentsel Dönüşüm Projesi Üzerine Coğrafi Değerlendirmeler. Türk Coğrafya Dergisi, 57:21-32.
- [36] Mutlu, S., 2007. Türkiye’de Yaşanan Gecekondulaşma Süreci Ve Çözüm Arayışları: Ankara Örneği. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 159s, Ankara.
- [37] Ataöv, A., Osmay, S., 2007. Türkiye’de Kentsel Dönüşüme Yöntemsel Bir Yaklaşım. Metu JFA 24(2):57-82
- [38] İnternet, 2016. <http://www.kentselyenileme.org/dosyalar/dikmen.pdf>, (Erişim Tarihi: 01.03.2016)
- [39] Gümüşboğa, B., 2009. Katılım Ekseninde Kentsel Dönüşüm; Altındağ Aktaş Mahallesi Örneği, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 132s, Ankara.
- [40] İnternet, 2016. [www.altindag.bel.tr](http://www.altindag.bel.tr), (Erişim Tarihi: 01.03.2016)
- [41] İnternet, 2016. <http://emlakkulisi.com/>, (Erişim Tarihi: 01.03.2016)
- [42] Öcal, C. ve İnce, H.H., 2012. Sürdürülebilir Yapı Tasarımı İle Değişen İhtiyaçlar. International Construction Congress 2012. ICONC2012-SDÜ
- [43] Erdin, E., Alten, A., & Tunalı, T., 2004. İnşaat atıklarının değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 2004, İzmir. 387-393.
- [44] Ölmez, E. ve Yıldız, Ş., 2008. İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları’08 Sempozyumu. 02-06 Kasım 2008. İstanbul.
- [45] Tojo, N. ve Fischer, C., 2011. Europe As A Recycling Society: European Recycling Policies İn Relation To The Actual Recycling Achieved. European Topic Centre On Sustainable Consumption And Production, ETC/SCP Working Paper 2/2011.
- [46] European Commission, 2010. Report From The Commission To The European Parliament, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions on the Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste, Brussels, 19.1.2011.



- [47] Fırat, F.K., Akbaş, F., 2015. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm Çalışmalarının Geliştirilmesi Ve Ekonomi Üzerine Etkileri. Session 4d: Çevre ve Enerji. International Conference on Eurasian Economies. 637-644.
- [48] Çevre ve Orman Bakanlığı, 2007. İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi, 284s, Ankara.
- [49] Altındağ, S., 2011. İstanbul'da Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Tersine Lojistik Yöntemiyle Alternatif Yönetim Planı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, İstanbul.
- [50] Çevre Şehircilik Bakanlığı, 2013. İl Çevre Durum Raporu. İstanbul İl Çevre Ve Şehircilik Müdürlüğü Çevresel Etki Değerlendirmesi Şube Müdürlüğü, 266s, Ankara.
- [51] İnternet, 2016. <http://www.istac.istanbul/tr/hizmetlerimiz/hafriyat-inaaat-ve-yikinti-atiklari>, (Erişim Tarihi: 01.03.2016)
- [52] İSTAÇ 2013-2017. Stratejik Plan 2013-2017. İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 80s, İstanbul.
- [53] Ankara Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2014. 2014 Yılı Ankara İl Çevre Durum Raporu. 218s, Ankara.
- [54] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014. İzmir İli 2012 Yılı Çevre Durum Raporu. İzmir- 2014. 249s, Ankara.
- [55] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014. 2013 Yılı Hatay İl Çevre Durum Raporu. Hatay-2013.163s, Ankara.
- [56] Resmi Gazete, 2015. Bakanlar Kurulu Kararı, Sayı Numarası:29412, Resmi Gazete Tarihi: 10.07.2015, Karar Sayısı:2015/7812.
- [57] İnternet,2016. <http://www.milliyet.com.tr>, (Erişim Tarihi: 01.02. 2016)
- [58] İnternet, 2015. <http://www.kocasinan.bel.tr/>, (Erişim Tarihi: 01.11.2015)
- [59] Kocasinan Belediyesi, 2015. Kentsel Dönüşüm Servisi, Kayseri.
- [60] Resmi gazete, 2015. Bakanlar Kurulu Kararı, Sayı Numarası: 29411, Resmi Gazete Tarihi:09.07.2015, Karar sayısı: 2015/7859.
- [61] Melikgazi Belediyesi, 2015. Kentsel Dönüşüm ve Plan Etüd Proje Müdürlükleri, Kayseri.
- [62] İnternet, 2015. <http://www.melikgazi.bel.tr/>, (Erişim Tarihi: 01.12.2015)
- [63] Melikgazi Belediyesi, 2016. Kentsel Dönüşüm, Ulaşım ve Basın Yayın Müdürlükleri, Kayseri.
- [64] Yarımçam, Ş., 2016. Küçükali Mahallesi Yıkım Çalışmaları Ve Kişisel Arşiv, Kayseri.
- [65] Kayseri Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2017. Proje Müdürlüğü, Kayseri.
- [66] Yurtseven, M.A., 2017. İnşaat Mühendisi, Kayseri.
- [67] Coelho, A., Brito, J., 2013. Economic Viability Analysis Of A Construction And Demolition Waste Recycling Plantin Portugal- Part I: Location, Materials, Technology And Economic Analysis. Journal of Cleaner Production 39:338-352.

## GPU Programlama ile Yüksek Boyutlu Yoğun Matrislerin Kronecker Çarpımlarının Hesaplanması

\*Ahmet Duran<sup>1</sup> , Mehmet Tunçel<sup>1,2</sup> , Hayati Ünsal Özer<sup>1,3</sup> 

\*<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Mühendisliği, İSTANBUL  
E-posta: aduran@itu.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik, İSTANBUL

<sup>3</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Matematik Mühendisliği, İSTANBUL

(Alınış / Received: 22.06.2019, Kabul / Accepted: 24.10.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

**Anahtar Kelimeler**  
Kronecker Çarpımı,  
GPU Programlama,  
Paralel Programlama,  
Sayısal Lineer Cebir,  
Yoğun Matris İşlemleri

**Öz:** Sayısal lineer cebir içinde yer alan ve birçok bilimsel hesaplama yöntemi içinde kullanılan önemli matris işlemlerinden biri Kronecker (tensör) çarpımıdır. Bu tip çarpımda işleme giren yoğun matris boyutu arttıkça hafıza ve zaman maliyeti çözülmesi gereken önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmamızda GPU üzerinde paralel programlama uygulaması yaparak seri programlamada karşılaşılan zaman maliyetini azaltmaya çalışıyoruz. Bunun için GPU paralelleştirme algoritması tasarlıyoruz. Rasgele sayı üreten fonksiyon ile değerleri ondalık sayılar olan gerekli büyük yoğun (dense) matrisler üretiyoruz ve CUDA iş parçacıklarıyla uygulama yapıyoruz. CPU ile GPU paralel programlama uygulamasını karşılaştırıyoruz. GPU programlama teknolojisinin bu uygulama için avantaj ve sınırlamalarını tartışıyoruz.

## Computation of Kronecker Product for Large Dense Matrices Using GPU Programming

**Keywords**  
Kronecker Product,  
GPU Programming,  
Parallel Programming,  
Numerical Linear Algebra,  
Dense Matrix Operations

**Abstract:** Kronecker (tensor) product is one of the important matrix operations in numerical linear algebra and used in many scientific computational methods. As the size of dense input matrix increases, memory and computation cost become a challenging issue in this type of operation. In this work, we use GPU parallel programming in order to diminish the long wall clock time consumed by serial programming. We design a new algorithm for GPU parallel programming. We generate the necessary large dense matrices using pseudo-random number generator and implement the algorithm via CUDA threads. Moreover, we compare the performance of CPU and GPU parallel programming implementations. We discuss the advantages and limitations of GPU programming technology in this particular application.

### 1.Giriş

Yeni yüksek başarılı hesaplama teknolojilerinin sayısal lineer cebir içinde yer alan algoritmalar için kullanımını, avantajlarını ve sınırlamalarını analiz etmek önemlidir.

Sayısal lineer cebir içinde yer alan önemli matris işlemlerden biri de Kronecker çarpımıdır. Bu çarpım ismini 19. yy'da yaşamış, sayı teorisi, cebir ve mantık alanında önemli çalışmaları olan Leopold Kronecker adındaki Alman matematikçiden almıştır. Kronecker çarpımının tarihsel süreci için Henderson ve arkadaşlarının makalesi incelenebilir [1].

Son yıllarda bilimsel hesaplama yöntemleri içinde Kronecker çarpımının kullanımı giderek artmaktadır. Görüntü işlemede oluşturulan modellerde [2], görüntü eşleştirme için oluşturulan modüllerde [3] ve ayrıca görüntü şifreleme yönteminde güvenliği arttırmada, şifreleme ve şifre çözme anahtarı oluşturma [4,5] gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Ağ teorisindeki çalışmalarda [6] ve modellemelerde [7] kullanıldığı görülmektedir. Tıp alanında toplanan verileri sınıflandırabilmek için tensör bazlı yöntemle oluşturulan denklemler kullanılır. Kronecker çarpımının bu denklemlerin oluşturulmasında kullanılması öneriliyor [8].

Yine son yıllarda sinyal işleme [9], çok parametrelili özdeğer problemleri için çözüm elde etme [10], Fonksiyonel teori [11], olasılık modeli oluşturulması [12] gibi birçok alanda yapılmış olan çalışmalarda Kronecker çarpımının kullanıldığı görülmektedir.

Ayrıca, hızlı Fourier dönüşümü, quantum hesaplama, operatör teori, sistem teori, stokastik modeller ve fotogrametri [13] gibi alanlarda Kronecker çarpımının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Kronecker çarpımları için uygulamalar arasında lineer matris denklem sistemlerinin çözümü yer almaktadır. Örneğin,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  verilen matrisler,  $X$  bilinmeyen matris değişkeni olmak üzere, Lyapunov denklemi,  $AX + XA^T = C$  ve Sylvester denklemi,  $AX + XB = C$  vardır (detaylar için bkz. [23]).

Matris Kronecker (tensor) çarpımını tanımlamak için  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  ve  $B \in \mathbb{R}^{p \times q}$  matrislerini ele alalım. Böyle iki matris için çarpım aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{11}B & \cdots & \mathbf{a}_{1n}B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{a}_{m1}B & \cdots & \mathbf{a}_{mn}B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dolayısıyla,  $A \otimes B \in \mathbb{R}^{mp \times nq}$  olur. Kronecker çarpımın önemli özelliklerinden dikkat çeken bir tanesi; çarpım sonucu elde edilen matrisin, çarpıma giren matrislerin sahip olduğu yapısal özellikleri gösterebilmesidir. Örneğin;

$$\text{Eğer } A \text{ ve } B \text{ matrisleri } \left\{ \begin{array}{l} \text{pozitif tanımlı} \\ \text{negatif olmayan} \\ \text{simetrik} \\ \text{ortogonal (dik)} \\ \text{stokastik} \\ \text{şeritli} \end{array} \right\} \text{ ise } A \otimes B \text{ ile oluşan matris de } \left\{ \begin{array}{l} \text{pozitif tanımlı} \\ \text{negatif olmayan} \\ \text{simetrik} \\ \text{ortogonal (dik)} \\ \text{stokastik} \\ \text{şeritli} \end{array} \right\} \text{ olur.}$$

Bu özelliklerin ispat ve detayı için [14]'e bakılabilir.

Bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişim göstermesi Kronecker çarpımında yüksek boyutlu matrisleri elde etme imkânı sunuyor. GPU (Grafik İşlem Birimi) üzerinde paralel programlama uygulamaları, işlem bağımlılığı yüksek olmayan metotlar için işlerin aynı anda çalıştırılmasıyla elde edilen zaman maliyet kazanımı açısından meşhur bir hızlandırıcı olarak birçok alanda kullanılmaktadır (bkz. [18], [19] ve içindeki referanslar).

Kronecker çarpımında işleme giren matris boyutu arttıkça hafıza ve zaman maliyeti karşımıza çıkıyor. Bu çalışmamızda GPU üzerinde paralel programlama uygulaması yaparak seri programlamada karşımıza çıkan zaman maliyetini azaltmaya çalıştık. Böylelikle, yüksek boyutlu yoğun matrislerin Kronecker çarpımlarının hesaplanmasında paralel programlama kullanmanın verimi, koşulları, avantaj ve dezavantajları hakkında bir netice elde etmeye çalıştık.

Makale aşağıdaki şekilde organize edilmiştir. 2. bölümde tasarladığımız GPU paralelleştirme algoritmamız ve CUDA iş parçacıklarıyla uygulamamız anlatılmaktadır. 3. bölümde seri ve paralel testlerin yapıldığı makinaların özellikleri yer almaktadır. 4. bölümde seri algoritma hesaplama maliyeti teorik ve yaklaşık değerlerle karşılaştırılmıştır. 5. bölümde paralel algoritmanın performansı incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar 6. bölümde özetlenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Kronecker çarpım uygulaması için iki kare matrisi ele aldık. Bu iki kare matrisi yoğun (dense) matrisler olarak seçtik ve rasgele sayı üreten fonksiyon ile matrislerin değerleri ondalık sayılar olarak atandı.

Yoğun matrislerle yapılan işlemlerde önemli miktarda hafızaya (RAM) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma için yüksek başarımlı hesaplama yapabilen bilgisayar sistemi kullanıldı (UHeM). Kullandığımız bilgisayar sisteminin sahip olduğu hafıza (RAM) miktarının 128 GB ile sınırlı olmasından ötürü Kronecker çarpımında en fazla 129600×129600 boyutlu matris üretebildik.

Kronecker çarpımı yapılırken karşılaşılan sıkıntılardan bir tanesi hesaplanan matristeki ciddi ölçüdeki boyut artışıdır. Örneğin; A ve B  $n \times n$  boyutlu matrisleriyle hesaplanmak istenen Kronecker çarpımında elde edilecek matrisin boyutu  $n^2 \times n^2$  olacaktır. Kronecker çarpımı ile yüksek boyutlarda elde edilebilecek matris boyutu ve hesaplamada gerekebilecek hafıza miktarı için birkaç sayısal örneğe aşağıdaki Tablo-1'de bakılabilir. Gereken yaklaşık hafıza (RAM) miktarının hesaplanmasında çarpım yapılan matrislerdeki değerlerin çift değerli (double: 8 byte) değişken tipinde olduğu varsayılmıştır.

**Tablo 1.** Yüksek boyutlu Kronecker çarpımı.

Girilen Matrislerin Boyutu ( $n$ )	Hesaplanan Kronecker Matris Boyutu ( $n^2$ )	Gereken Yaklaşık Hafıza (RAM-GB)
100	10000	0.745
120	14400	1.545
140	19600	2.862
160	25600	4.883
180	32400	7.821
200	40000	11.921
220	48400	17.453
240	57600	24.719
260	67600	34.047
280	78400	45.795
300	90000	60.350
320	102400	78.125
340	115600	99.565
360	129600	125.141

İlk önce Kronecker çarpımı için seri algoritma oluşturuldu ve belirlenen boyutlar için çalıştırılarak ölçümler yapıldı. Sonrasında seri algoritma GPU için paralelleştirildi ve aynı boyutlar üzerinden tekrar ölçüm yapıldı.

### 2.1. GPU'da paralelleştirme

Kronecker çarpımı GPU fonksiyonumuzda sonuç matrisinin bloklarının belli bir sıra halinde hesaplanmasıyla gerçekleşmektedir.  $n \times n$ 'lik iki matrisin işlem görmesinde hesaplanan sonuç matris blokları bir satır boyunca tamamlandığında  $n$  satır ve  $n^2$  sütunluk sonuç CPU'daki değişkene kopyalanmaktadır. Bu işlem sırasıyla tüm matris boyunca yapılmaktadır.

GPU kartlarının bellekleri ihtiyaç duyulan belleğe kıyasla oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla GPU da çalıştırılacak algoritmada sonuç matrisini parçalı şekilde hesaplayıp sonuçları CPU (Merkezi İşlem Birimi) belleğine her ara hesaplamada göndererek bellek ihtiyacını optimize etmeyi planladık.

Algoritmamızda  $n \times n$  boyutlu iki matrisin çarpımının sonucu olan  $n^2 \times n^2$  boyutlu matrisi GPU belleğinde tutmak yerine sonuç matrisindeki  $n \times n$  boyutlu bloklarda işlem yapan GPU fonksiyonumuzu iç içe iki *for* döngüsü içinde çağırılacak şekilde tasarladık. Ve ikinci *for* döngüsü her tamamlandığında  $n \times n^2$  boyutlu toplam blok matrisini CPU belleğine taşıdık. Dolayısıyla  $n \times n$  boyutlu iki matrisin Kronecker çarpımı için  $n \times n$  kere GPU fonksiyonunu çağırılmış ve  $n$  kere  $n \times n^2$  boyutlu matris veri transferi yapılmaktadır.

CUDA fonksiyonlarında iş parçacıkları warp olarak isimlendirilen aynı işlemi yapan 32'lik gruplar olarak işleme sokulur. GPU fonksiyonumuzda CUDA warp sayısı 32'nin katının iş parçacığı sayısında kullanılması performans için önemli. Dolayısıyla 32'nin katı olan  $32 \times 32$  boyutlu CUDA iş parçacığı bloklarını

kullandık. Bu blokların sayısını  $n \times n$  boyutlu sonuç matris bloğunu örtecek şekilde iki boyutlu olarak ayarlayarak CUDA grid boyutumuzu belirledik. Böylece her iş parçacığının kendisi sonuç matrisinin ilgili satır ve sütununda çarpım işlemini aynı anda yapabilmektedir.

CUDA fonksiyonumuzun (kernel) genel yapısı Algoritma 1’de; bu fonksiyonu çağıran GPU algoritmamızın genel tasarım yapısı da Algoritma 2’de gösterilmiştir. Matris değişkenleri tek boyutlu dizi ve satır bazlı (row-wise) sıralama formuyla üretilmiştir. CPU’da kullanılan değişken ve fonksiyonların sonu “\_cpu” ile GPU’da kullanılan fonksiyon ve değişkenlerin sonu “\_gpu” ile bitmektedir. CUDA’nın iç tanımı gereği “.x” ilgili blok veya grid yapılarının x eksenindeki değerini; ‘.y’ de y eksenindeki değerini vermektedir.

```

__global__ void blokKroneckerCarpimi_gpu(C_gpu,i,j) {

    long int satirC = blockIdx.y*blockDim.y+threadIdx.y;
    long int sutunC = blockIdx.x*blockDim.x+threadIdx.x;

    double A_degeri = A_gpu[i*N + j];
    long int adim = j*N;
    if (satirC < N && sutunC < N) {
        C_gpu[adim + satirC * N*N + sutunC] = A_degeri * B_gpu[satirC * N + sutunC];
    }
}

```

**Algoritma 1.** CUDA fonksiyonumuzun (kernel) genel yapısı.

```

matrisUretDoldur_cpu(A_cpu, N, N)
matrisUretDoldur_cpu(B_cpu, N, N)
matrisUretDoldur_cpu(C_cpu, N*N, N*N)

matrisUret_cpu(A_gpu, N, N)
matrisUret_cpu(B_gpu, N, N)
matrisUret_cpu(C_gpu, N, N*N)

matrisKopyala_cpu(A_cpu,A_gpu)
matrisKopyala_cpu(B_cpu,B_gpu)

isParcacigiBlogu.x = 32;
isParcacigiBlogu.y = 32;

blokGridi.x = tavanDegeri(double(N)/double(isParcacigiBlogu.x));
blokGridi.y = tavanDegeri(double(N)/double(isParcacigiBlogu.y));

for i=1:N
    for j=1:N
        blokKroneckerCarpimi_gpu<<<blokGridi, isParcacigiBlogu>>>(C_gpu, i, j)
        blokMatrisKopyala(C_gpu, C_cpu[i*N*N*N])
    end
end

```

**Algoritma 2.** GPU algoritmamızın genel yapısı.

GPU paralelleştirilmesinde performansı olumsuz etkileyen bir nokta CPU-GPU arası veri transferidir. GPU kartlarının yaygın kullanımında veri transferi PCI Express x16 üzerinden yapılmaktadır. Bu teknoloji ile 5.754 GB/s veri akışı elde etmekteyiz. Yalnız GPU’ların saniyede 1 trilyondan fazla işlem kapasitesine [18] ulaştığı günümüzde bu veri hızı dahi yavaş kalmaktadır.

### 3. Test Ortamı

Seri ve paralel testlerin yapıldığı makinaların özellikleri Tablo-2’te gösterilmiştir. Uygulamamızın yüksek bellek ihtiyacı için UHeM sisteminin hesap kaynakları kullanılmıştır.

**Tablo 2.** GPU test makinalarının özellikleri

CPU işlemci tipi	2 x Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2680 v4 @ 2.40GHz
CPU çekirdek sayısı	16
Bellek	128 GB
GPGPU tipi	NVIDIA Tesla K20m
GPU Bellek	5 GB
GPU çekirdek sayısı	2496

### 4. Seri Algoritma Hesaplama Maliyeti

Kronecker çarpımına giren  $n \times n$  boyutlu iki matrisin çarpımı sonucu  $n^2 \times n^2$  boyutlu matris oluşmakta ve sonuç matrisindeki her eleman tek tek hesaplanmaktadır. Seri algoritmamızı oluştururken belleği (RAM’i) daha verimli ve etkin kullanabilmek adına tüm matrisleri tek boyutlu dizi ve satır bazlı (row-wise) sıralama formuyla bellekte kullandık/depoladık. Algoritma 3 aşağıdaki gibi iç içe 4 for döngüsü ve en içteki döngüde çarpma işlemi içeriyor olduğundan algoritmanın işlem sayısı  $n^4$  flops (floating point operations) eder (algoritma işlem sayıları hakkında bkz [22]). Böylece seri algoritma hesaplama maliyeti (algoritma karmaşıklığı) teorik olarak  $O(n^4)$  olarak gösterilir (gösterim hakkında bkz [21]). Buna aynı zamanda hesaplama maliyeti için asimptotik üst sınır da denilmektedir (bkz [21]).

```

for(i = 0; i < n2; i = i + n)
  for(k = 0; k < n2; k = k + n)
    for(j = 0; j < n; j++)
      for(l = 0; l < n; l++)
        Kron_Mat[i * n2 + (j + k) * n + l] = Mat1[i + j] * Mat2[k + l]

```

**Algoritma 3.** Seri algoritmamızın genel yapısı

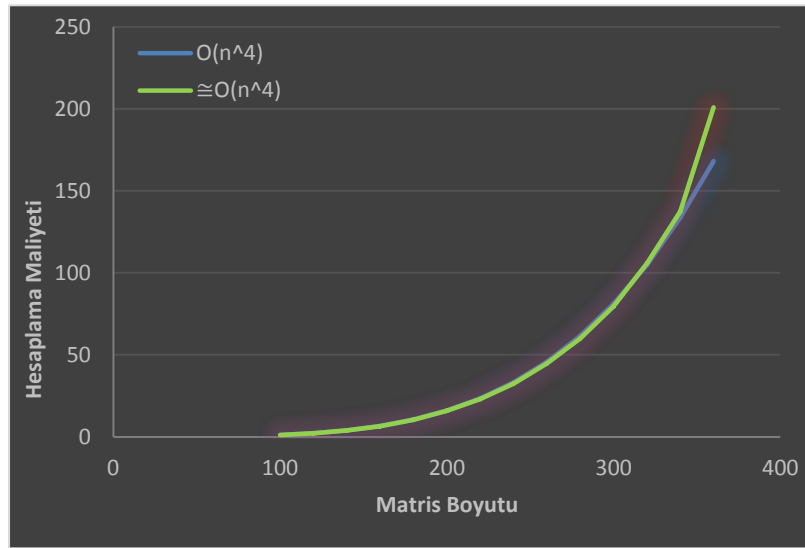
Algoritmanın uygulamadaki hesaplama maliyeti için aşağıdaki Tablo-3’e bakılabilir. Tabloda matris boyutundaki artışın hesaplama süresine olan etkisi ve bunun algoritma karmaşıklığı ile olan ilişkisi incelendi. Bunun için öncelikle Kronecker çarpımı yapılacak matrislerin çeşitli boyutlarına karşılık seri algoritmanın hesaplama süreleri ölçüldü. Süreler hesap süresi sütununda gösterilmektedir. Daha sonra, matris boyutlarına karşı gelen süre ile ilk matris boyutuna karşı gelen süre arasındaki büyüme oranı hesaplanarak yaklaşık bir algoritma karmaşıklığı elde edildi. Bu sonuçlarda  $\cong O(n^4)$  sütunun altında belirtildi. Örneğin matris boyutunun 100’den 200 çıktığı durumda seri algoritmada hesaplama süresi yaklaşık olarak 15,66 olarak artmaktadır. Bu durum boyutun 2 kat arttığı durumda hızın teorik olarak  $O(n^4) = O(2^4) = 16$  kat artması ile uygunluk göstermektedir

Tablo-3 ve grafik-1 incelendiğinde çarpıma giren matris boyutunun 300’e kadar olduğu durumda yaklaşık algoritma karmaşıklığı  $\cong O(n^4)$  için teorik karmaşıklığın  $O(n^4)$  altında ve ona yakın sonuçlar elde edilirken, 300’den sonraki boyutlarda  $O(n^4)$  ‘den daha büyük ve giderek artan değerler elde edildiği görülmektedir. Bu durum bize seri algoritmanın yüksek boyutlarda daha düşük performans göstereceği izlemine vermektedir. Buna sebep olarak yüksek boyutlarda ihtiyaç duyulan ciddi miktardaki hafıza maliyeti gösterilebilir.

Hesap süresine karşılık teorik  $O(n^4)$  ve yaklaşık  $\cong O(n^4)$  için doğrusal regresyon yapıldığında  $T(n) = kO(n^4) + c$  denklemiindeki  $k$  kat sayısı değeri  $O(n^4)$  için  $\cong 0,573$  ve  $\cong O(n^4)$  için  $\cong 0,522$  olarak elde edildi.  $R^2$  için  $\cong 0,9917$  değeri ve ayarlı (adjusted)  $R^2$  için  $\cong 0,9910$  değeri hesaplandı. ( $R^2$ : Regresyon denkleminin başarısını ölçmede kullanılan belirleme katsayısı. Ayarlı (adjusted)  $R^2$ :  $R^2$  ‘nin örnek büyüklüğü dikkate alınarak hesaplanmış hali.)

**Tablo 3.** Seri algoritma hesaplama maliyeti

Matris Boyutu ( $n$ )	CPU (Seri) Hesap Süresi (sn)	$O(n^4)$	$\cong O(n^4)$
100	0,518	1	1
120	1,056	2,073	2,039
140	1,957	3,842	3,777
160	3,327	6,554	6,423
180	5,320	10,498	10,270
200	8,105	16	15,647
220	11,845	23,426	22,867
240	16,760	33,178	32,356
260	23,070	45,698	44,537
280	31,012	61,466	59,869
300	41,142	81	79,424
320	54,786	104,858	105,765
340	71,176	133,634	137,405
360	104,043	167,962	200,855

**Grafik 1.** Seri algoritma hesaplama maliyeti

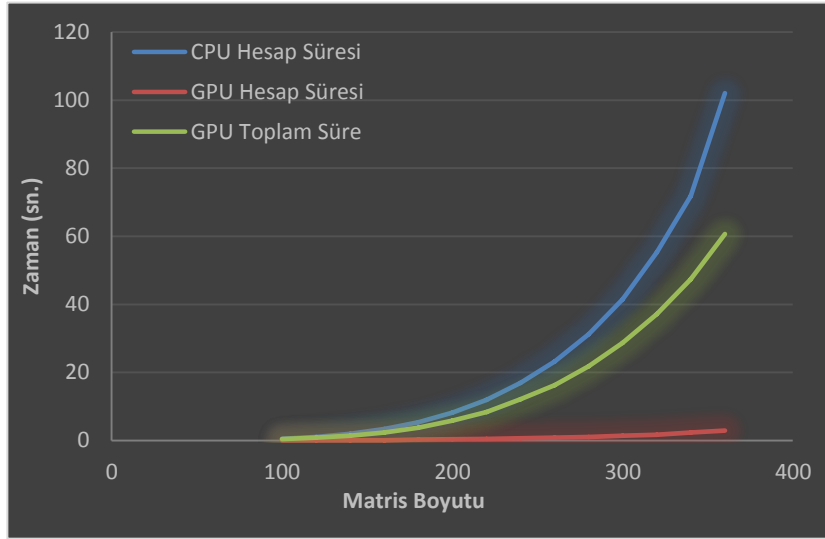
## 5. Paralel Algoritma Performansı

Paralel algoritmanın ise seri algoritmaya göre her zaman daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Paralel algoritmanın seri algoritmaya göre performansı için aşağıdaki Tablo-4 incelenebilir. Performans analizi için sadece GPU'deki hesap süresini dikkate aldık. Diğer bir deyişle veri kopyalama süresi analize dâhil edilmedi. Aşağıdaki tablo; Kronecker çarpımı yapılacak matrislerin çeşitli boyutlarına karşılık seri ve paralel algoritmaların hesaplama sürelerini ve tablonun son sütununda ise her boyut için bu sürelerin oranını içermektedir.

Tablo-4 ve Grafik-2 incelendiğinde çarpıma giren matris boyutu arttıkça seri algoritma hesap süresinin paralel algoritma hesap süresine oranı artmaktadır. Yani boyut arttıkça paralel algoritmanın seri algoritmaya göre daha fazla hızlandığını görebilmekteyiz. Böylece sistemin daha verimli çalışmasıyla paralel algoritmanın yüksek boyutlara çıktıkça performansının daha da arttığını söyleyebiliriz.

**Tablo 4.** Paralel algoritma performansı

Matris Boyutu (n)	CPU (Seri) Hesap Süresi (sn)	GPU (Par.) Hesap Süresi (sn)	GPU Veri Kopy. Süresi (sn)	GPU Toplam Süre (sn)	$\frac{CPU\ seri\ H.S.}{GPU\ Par.\ H.S.}$
100	0,522	0,069	0,356	0,425	7,608
120	1,065	0,102	0,712	0,814	10,418
140	1,975	0,147	1,302	1,449	13,432
160	3,356	0,201	2,202	2,403	16,671
180	5,366	0,283	3,505	3,788	18,962
200	8,176	0,410	5,388	5,797	19,961
220	11,946	0,509	7,851	8,360	23,454
240	16,910	0,660	11,500	12,161	25,606
260	23,272	0,900	15,410	16,311	25,853
280	31,276	1,084	20,721	21,805	28,842
300	41,528	1,411	27,315	28,726	29,431
320	55,296	1,727	35,422	37,149	32,024
340	71,837	2,345	45,056	47,401	30,629
360	102,061	2,903	57,750	60,653	35,160

**Grafik 2.** Seri ve paralel algoritma performanslarının karşılaştırılması

## 6. Tartışma ve Sonuç

Kronecker çarpımı ile yüksek boyutlardaki yoğun matrisleri elde etme çalışmamızda, seri algoritmanın GPU algoritmamız ile paralelleştirilmesiyle hesaplamamızın daha hızlı yapılabileceğini gözlemledik.

GPU kullanımının CPU'ya kıyasla avantajını hesaplama yükü olarak görmekteyiz. Seri algoritmamıza göre yaklaşık 35 kata varan daha iyi bir performans elde edebildik. Yalnız toplam süre olarak baktığımızda GPU'larda bir kısıtlama olarak karşımıza çıkan veri transferinin ekstra yükünden dolayı seri algoritmadan daha iyi olmakla beraber daha önce tamamen CPU'da yaptığımız paralel algoritma uygulamasına [15] kıyasla daha yavaş sonuç elde etmekteyiz. Yeni çıkan yüksek bellekli GPU kartları ve hızlanan yeni veri transfer yolları ile bu kısıtlama gittikçe azalmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan hesaplama kaynakları Ulusal Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi (UHeM), 4006072019 numaralı desteğiyle sağlanmıştır.



**Kaynakça**

- [1] Henderson, H.V., Pukelsheim, F., Searl, S.R. 1983. On the history of the Kronecker product. *Linear Multilinear Algebra*. Taylor&Francis, 14(1983), 113-120.
- [2] Liu, J., Psarakis, E.Z., Feng, Y., Stamos, I. 2018. A Kronecker Product Model for Repeated Pattern Detection on 2D Urban Images. *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE.
- [3] Shen, Y., Xiao, T., Li, H., Yi, S., Wang, X. 2018. End-to-End Deep Kronecker-Product Matching for Person Re-Identification. *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 6886-6895.
- [4] Kumar, R., Bhaduri, B. 2017. Optical image encryption using Kronecker product and hybrid phase masks. *Optics & Laser Technology*. Elsevier 95(2017), 51-55.
- [5] Maan, P., Singh, H., Kumar, A .C. 2019. Optical Asymmetric Cryptosystem Based on Kronecker Product, Hybrid Phase Mask and Optical Vortex Phase Masks in the Phase Truncated Hybrid Transform Domain. *3D Reseach*. Springer(2019), 10:18.
- [6] Syed Ali, M., Yogambiagi, J. 2016. Synchronization of complex dynamical networks with hybrid coupling delays on time scales by handling multitude Kronecker product terms. *Applied Mathematics and Computation*. Elsevier, 291(2016), 244-258.
- [7] Moreno, S., Neville, J., Kirshner, S. 2018. Tied Kronecker Product Graph Models to Capture Variance in Network Populations. *Transaction on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*. ACM, Vol. 12, Is. 3, No. 35.
- [8] Boussé, M., Goovaerts, G., Vervliet, N., Debals, O., Van Huffel, S., De Lathauwer, L., 2017. Irregular hearthbeat classification using Kronecker Product Equations. *39th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Seogwipo, South Korea, 438-441.
- [9] Roth, I., Flinth, A., Kueng, R., Eisert, J., Wunder, G. 2018. Hierarchical restricted isometry property for Kronecker product measurement. *56th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)* IEEE, Moticello, IL, USA.
- [10] Hochstanbasch, M. E., Meerbergen, K., Mengi, E., Plestenjak, B., 2019. Subspace Methods for Three-Parameter Eigenvalue Problems. *Numer. Linear Algebra Appl.* 26(4):e2240
- [11] Sharma, A., Suryanarayana, P. 2018. On real-space Density Functional Theory for non-orthogonal crystal systems: Kronecker product formulation of the kinetic energy operator. *Chemical Physics Letters*, Elsevier, 700(2018), 156-162.
- [12] Montúfar, G., Morton, J. 2017. Dimensions of Marginals of Kronecker Product Models. *Journal on Applied Algebra and Geometry*, SIAM, 1(2017), 126-151.
- [13] Van Loan, C. 2000. The ubiquitous Kronecker product. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Elsevier, 123(2000), 85-100.
- [14] Van Loan, C., Pitsianis, C. F. 1993. Approximation with Kronecker Product. In: Moonen M.S., Golub G.H., De Moor B.L.R., (eds), *Linear Algebra for Large Scale and real-Time Applications*. NATO ASI Series, Springer, 232(1993), 293-314.
- [15] Duran, A., Özer, H. Ü., Tunçel, M. 2019. Yüksek Boyutlu Kronecker Çarpımı için İş Parçacığı Tabanlı Paralel Programlama Uygulaması. *2. Uluslararası İstatistik, Matematik ve Analitik Yöntemler Kongresi*, 28 Mart İstanbul, 256-262.
- [16] UHeM, Ulusal Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi, <http://www.uhem.itu.edu.tr/>

- [17] Zarges, N. M. 2019. Evaluation of On-Node GPU Interconnects for Training Deep Neural Networks. Technical University of Munich, Department of Informatics, B.S. Thesis, 97s, München.
- [18] NVIDIA TESLA K-Series, 2013, Datasheet, [https://computing.llnl.gov/tutorials/linux\\_clusters/gpu/Tesla-K10K40-datasheet.pdf](https://computing.llnl.gov/tutorials/linux_clusters/gpu/Tesla-K10K40-datasheet.pdf) (Erişim Tarihi: 01.03.2019)
- [19] Duran, A., Piskin, S., Tuncel, M., 2016. Evaluating the maturity of OpenFOAM simulations on GPGPU for bio-fluid applications. Proceedings of the Emerging Technology (EMiT) Conference, Supercomputing Center, 2-3 June, Barcelona, Spain, 11-14.
- [20] Li, F., Ye, Y., Tian, Z., Zhang, X. 2018. CPU versus GPU: which can perform matrix computation faster—performance comparison for basic linear algebra subprograms. Neural Computing and Applications, 1-13.
- [21] Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. 2009. Introduction to Algorithms, The MIT Press, London, England.
- [22] Trefethen, L. N., Bau, D. 1997. Numerical Linear Algebra, SIAM, Philadelphia, USA.
- [23] Horn, R. A., Johnson, C. R. 1991. Topics in Matrix Analysis, Cambridge University Press.

## Fonksiyonel Derecelendirilmiş Fleyk- $Al_3Ti$ /Al Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması

\*Ömer SAVAŞ<sup>1</sup> , Muhammed Soner BAŞER<sup>2</sup> 

\*<sup>1</sup> Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE  
<sup>2</sup> Ambarlı Liman Başkanlığı, İstanbul, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 23.11.2019, Kabul / Accepted: 16.12.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

Metal Matris Kompozit,  
 $Al_3Ti$ ,  
Alüminyum

**Öz:** Yapılan bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş fleyk- $Al_3Ti$  takviyeli kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Ticari Al-Ti master alaşımları kullanılarak Fleyk  $Al_3Ti$  yapıları in-situ tekniği ile sıvı alüminyum içerisinde kendiliğinden oluşturulmuştur. Kompozitlerin fonksiyonel olarak derecelendirilmesi ve nihai şekillerin verilmesi için savurma döküm tekniğinden faydalanılmıştır. Sonuçlar üretilen kompozitlerin  $Al_3Ti$  partikülleri ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş iki farklı bölgeye sahip olduğu göstermiştir. Güçlendirilmiş bölgelerde takviye oranı yaklaşık ağırlıkça %19 iken, güçlenilmemiş bölgelerde neredeyse sıfır olduğu tespit edilmiştir. Matris içerisine ilave edilen  $Al_3Ti$  fazı ile kompozitlerin sertlik değerlerinde önemli bir artış gözlemlenmiştir.

## Fabrication and Properties of functionally Rated Flake- $Al_3Ti$ /Al Composites

### Keywords

Metal Matrix Composites,  
 $Al_3Ti$ ,  
Aluminum

**Abstract:** In this study, it was aimed to investigate the production and properties of functionally graded flake- $Al_3Ti$  reinforced composites. Using commercial Al-Ti master alloys, flake- $Al_3Ti$  structures were spontaneously formed in liquid aluminum by in-situ technique. Centrifugal casting technique was used for functional grading of composites and final shapes. The results showed that the composites produced had two different regions, which were the reinforced with  $Al_3Ti$ -particles and not-reinforced. While the reinforcement ratio in  $Al_3Ti$  -reinforced regions was about 19% by weight, it was found to be almost zero in the non-reinforced regions. A significant increase in the hardness values of the composites was observed with adding  $Al_3Ti$  phase into matrix.

## 1. Giriş

Kompozit malzemeler matriks ve takviye olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Kompozit malzemeler her iki bileşeninde üstün özelliklerini üzerlerinde taşırlar [1]. Kompozitler matris bileşenine göre üç kategoride sınıflandırılmaktadır: Polimer, Metal ve Seramik matriks kompozitler şeklinde.

Takviye malzemesine göre sınıflandırıldığında ise: fiber takviyeli kompozitler, partikül takviyeli ve yapısal kompozitler şeklinde isimlendirilmektedir [2-5]. Bununla birlikte kompozit ifade edilirken hem matris hem takviye içeriği ile sınıflandırma yapılabilmektedir. Örneğin: Al matrisi  $Al_3Ti$  Takviyeli Kompozitler ( $Al_3Ti/Al$ ) gibi.

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM) seramik ve metal karışımından veya farklı metallerin karışımından elde edilen yeni nesil kompozitlerdir. FDM'lerin, kompozisyon ve yapısının dereceli (fonksiyonel) şekilde değişim gösterir ve buna bağlı olarak özelliklerin belirli bir yönde farklılık gösterir [6-8]. FDM'ler mikroskobik olarak heterojendirler ve malzemenin mekanik ve diğer özellikleri yüzeyden yüzeye sürekli olarak değişmektedir. FDM'ler, son 20 yıl boyunca, havacılık, makine, elektronik, optik, kimyasal, biyomedikal, nükleer ve inşaat endüstrilerinde başlıca uygulama malzemesi olmuşlardır. Örnek

verilecek olursa: Motorlarda sıcak bölgelerde çalışan malzemeler için soğutma gereksinimini azaltmak için, dizel motorlarda ısı kaybını engellemek için ısı bariyeri olarak, savunma sanayiinde zırh, insansız hava aracı ve nükleer kıyafetler gibi endüstrinin birçok farklı alanlarında kullanılmaktadır [9,10].

Yapılan çalışmalar savurma döküm yöntemi fonksiyonel derecelendirilmiş kompozitlerin üretiminde etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir [6,11].

Önceki çalışmalar Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin yoğunluklarının düşük olması (3,4 g/cm<sup>3</sup>) ve oda sıcaklığında elastik modülünün yükselmesi nedeniyle alüminyum matrisli kompozitlerinin üretiminde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir [12,13]. Yapılan literatür çalışmalarında Al<sub>3</sub>Ti takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin 1000 °C'nin altında sıvı alüminyuma doğrudan Ti, TiO<sub>2</sub> partikülleri, K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> tuzlarının ilavesiyle veya ticari Al-Ti mastır alaşımlarının kullanılarak üretilebildiği görülmektedir. [14–16].

Wang [17] ve arkadaşları 950 °C ve 1050 °C'de 30 dakika ve 3 saat K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub> tuzlarının ilavesi ile Al<sub>3</sub>Ti takviyeli alüminyum matrisli kompozitler ürettiklerini rapor etmişlerdir. Çalışmada Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin boyutlarının ve morfolojisinin sıcaklık ve bekleme süresi ile değiştiğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin boyutlarının sıcaklık ve bekleme süresinin artması ile arttığı belirtilmiştir.

Chen Tijun ve diğ. [15], in-situ Al<sub>3</sub>Ti AMK'lerin üretimi ve aşınma davranışları üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, üretilen kompozitlerin sertlik ve aşınma direncinin Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin oranının artması ile arttığını belirtmişlerdir.

Shimaa El-Hadad [18,19] ve arkadaşları, alüminyum matrisli in-situ Al<sub>3</sub>Ti partikül takviyeli kompozitlerinin savurma döküm yöntemi ile üretimini ikiye kategoriye ayırmışlardır. Bu sınıflandırma savurma işleminin alaşımın liküdüs sıcaklığının altında ya da üstünden yapılmasına göredir. Alaşımın elementinin liküdüs sıcaklığının altında yapılan üretimde, Al<sub>3</sub>Ti partikülleri sıvı alüminyum içerisinde oluşturulduktan sonra savurma işlemi yapılmaktadır. Alaşımın liküdüs sıcaklığının üstünde yapılan üretim yönteminde ise, Al<sub>3</sub>Ti partikülleri savurma kuvveti altında alüminyum ve titanyumun ekzotermik reaksiyona girmesi sonucunda kendiliğinden oluşmaktadır.

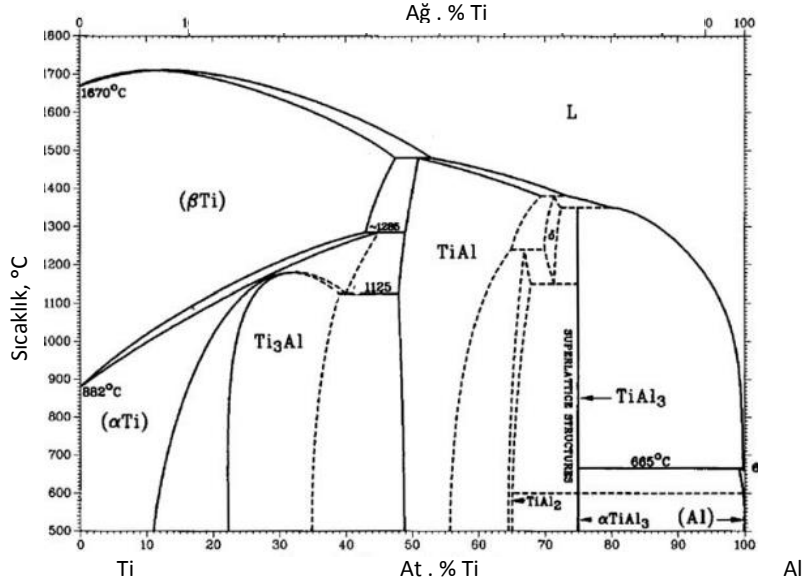
Yoshimi Watanabe [9] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 1000 ve 1200 °C'de Al-5Ti alımını ergittikleri çözeltileri 300 G ve 600 G savurma kuvveti altında katılaştırarak FGM'leri üretmişlerdir. 1000 °C'de 300 G savurma üretilen kompozitler, Al<sub>3</sub>Ti partiküllerin, yaklaşık 20 µm'e kalınlıkta fleyk şeklinde olduğu ve savurma yönünde yönlendiği rapor edilmiştir. Buna karşın, 1200 °C'de 300 G savurma kuvveti altında üretilen kompozitlerde Al<sub>3</sub>Ti partikülleri 100 µm'nin altında ince fleyk şeklinde olduğu ve rastgele bir dağılım sergilediği belirtilmiştir. Savurma kuvvetinin 600 G'ye yükseltildiğinde rastgele dağılım sergileyen Al<sub>3</sub>Ti fleykleri savurma yönünde yönlendiği görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada savurma döküm tekniği ile Al<sub>3</sub>Ti takviyeli kompozit üretimiyle ilgili çok az çalışma yapıldığı görülmektedir[9][18][19]. Bu nedenle bu çalışmada Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin in-situ tekniği ile oluşturulması ve savurma döküm tekniği kullanılarak fonksiyonel kompozit malzemelerin üretilmesi ve özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kompozitlerin üretimi

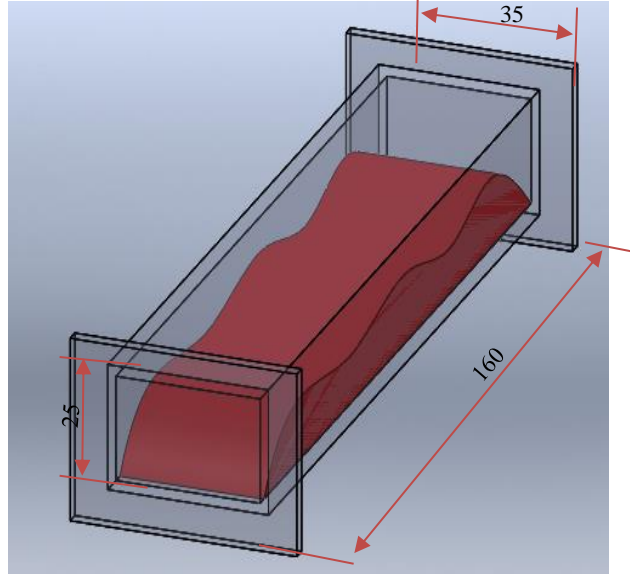
Yapılan önceki çalışmalarda yüksek sıcaklıkta hazırlanmış Al-Ti çözeltilerinin soğuma şartlarına bağlı olarak Al<sub>3</sub>Ti yapılarının morfolojisinin değiştiği rapor edilmiştir. Al-Ti çözeltilerinin katılma sırasında soğuma hızının artması Al<sub>3</sub>Ti yapılarının (110) yönünde büyümesine olanak sağlayarak yüksek aspekt oranlı (boy/kalınlık oranı) olmasına neden olmaktadır.



Şekil 1. Ti-Al faz diyagramı[20]

Ticari master alaşımları düşük sıcaklıklarda üretildiği için Al<sub>3</sub>Ti yapıları küresel formda olmaktadır. Şekil 1'de verilen Al-Ti faz diyagramına göre oda sıcaklığında Al-Ti alaşımı içerisindeki titanyumun neredeyse tamamı Al<sub>3</sub>Ti bileşiği şeklinde bulunmaktadır. Al<sub>3</sub>Ti yapılarının fleyk şeklinde sentezlenmesi için Al<sub>3</sub>Ti bileşiklerinin sıvı alüminyum tarafından yüksek sıcaklıkta çözülmesi ve çözeltinin hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada fleyk Al<sub>3</sub>Ti yapılarının oluşturulmasında ticari Al-10%Ti master alaşımı seçilmiştir. Şekil 1'de görülen Ti-Al faz diyagramına göre alüminyum 1200 °C'de ancak %3 oranında titanyum çözebilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada alaşım hazırlanırken 1200 °C'de ergitilmiş olan 175 gr ET1AL8E alaşımı içerisine alaşım elementi olarak 75 gr Al-10Ti alaşımı ilave edilmiştir (toplamda 250 gr). Ergitme işleminde elektrik direnç ergitme fırınında çelik pota içerisinde yapılmıştır. Al<sub>3</sub>Ti bileşiklerinin olması için çözelti bu sıcaklık pota ile birlikte savurma döküm mekanizmasına konulmuş ve sıcaklık 900 °C'ye geldiğinde havada katılaşmaya kadar 1200 rpm dönme hızında savrulmuştur. Al<sub>3</sub>Ti yapılarının fleyk formunda oluşması için hızlı soğumayı sağlamak için 1 mm kalınlığa sahip çelik pota kullanılmıştır. Potanın ergimiş alüminyum ile reaksiyona girmesini engellenmek için potanın iç yüzeyleri ısı iletkenliği daha yüksek olan bor nitrür boya ile kaplanmıştır. Ergitme işleminde kullanılan çelik potanın temsili görüntüsü Şekil 2'de görülmektedir. Kalıp ebatları 25 x 35 x 160 mm'dir. Ergitme işlemlerinde maksimum 1200 °C ergitme sıcaklığına sahip MAGMA THERM marka ısıl işlem fırını kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, Al<sub>3</sub>Ti/Al FDK'ler ilave olarak Al<sub>3</sub>Ti/Al-Cu FDK'lerin de üretimi amacıyla, üretim sırasında 1200 °C'de hazırlanan Al-Ti çözeltisi içerisine %99,99 safiyete sahip bakır çubuk ilave ederek %5 oranında bakırla alaşımlanmıştır.



Şekil 2. Savurma döküm işleminde kullanılan çelik pota temsili görüntüsü

## 2.2. Kompozitlerin karakterizasyon

Optik analizler için üretilen kompozitler üzerinden alınan numuneler sırası ile 180, 320, 800, 1200 ve 1500 gritlik SiC zımparalaminin işleminin ardından 0,2 µm'lık elmas pasta süspansiyonu ile 20 dakika parlatılmıştır. Mikro yapısal analiz ve % takviye oranlarını belirlemek için Clemex Vision görüntü analiz sistemi ile donatılmış bir Olympus optik mikroskop kullanılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) ile kompozitlerin incelenmesi amacıyla aynı bölgelerden birbirine eş değer birer numuneler daha alınmıştır. Oluşan bileşiklerin belirlenmesi amacıyla ve detaylı incelenmesi için X-Ray Difraktometre (XRD, D8 ADVANCE Da Vinci) cihazı için de her iki kompozitten numuneler hazırlanmış ve analiz edilmiştir.

Üretilen kompozitlerin yoğunluklarının ölçümünde Arşimet yöntemi kullanılmıştır. Yoğunluk testleri için kesilen numunelerin her tarafı 1200 gritlik zımpara ile zımparalanmıştır. Test numunelerin kuru ve yaş ağırlıkları ölçülmüş ve Denklem 1'de verilen formül yardımı ile yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.

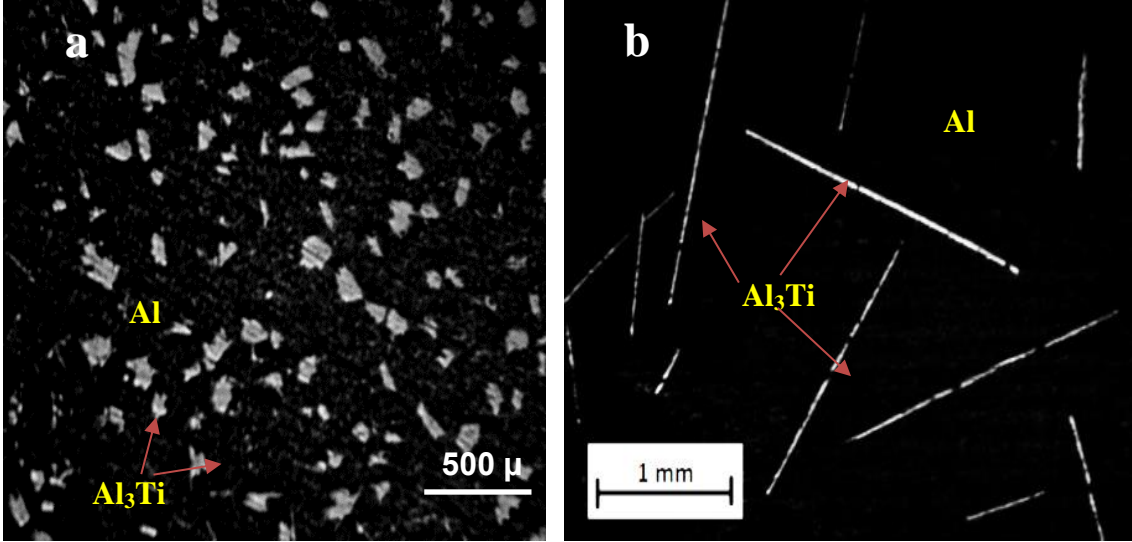
$$d(\text{numune}) = \frac{m(\text{kuru})}{m(\text{kuru}) - m(\text{yaş})} \times d(\text{su}) \quad (1)$$

Bu denklemde d; yoğunluk, g/cm<sup>3</sup>, mKuru; Kuru Ağırlık, mYaş; Yaş Ağırlık

Sertlik ölçümlerinde Brinell sertlik testi kullanılmıştır. Testler 62.5 kN'lık bir kuvvet ile 2.5 mm çaplı bir uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin sertlik değerleri, en dıştan içe doğru 2 mm aralıklarla ölçülmüştür. Testler en az üç kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

## 3. Bulgular

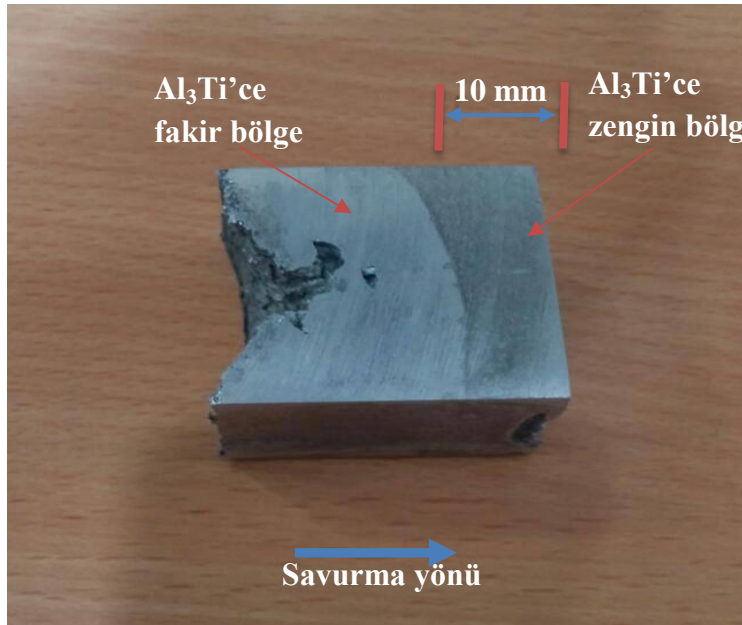
Şekil 3a-3b'de ergitme işlemine alınmadan ve 1200 °C ergitilerek havada soğutulan Al-Ti alaşımının mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. (a) Al-Ti alaşımlarının ısıtılma alınmadan önce, (b) 1200°C derecedeki Al-Ti çözeltisinin havada soğutulması sonucu Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin görünümü

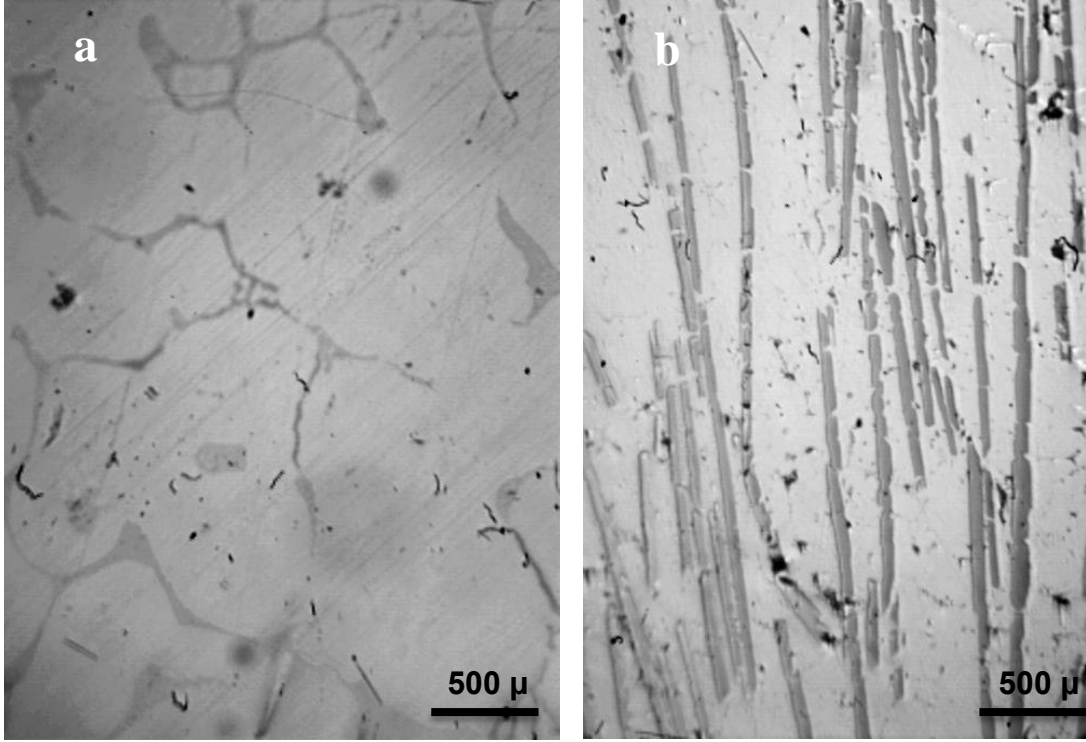
Al-Ti master alaşımlarının ergitme öncesindeki mikro yapı görüntüsü Şekil 3(a)'da verilmiştir. Şekilde ergitme işlemi öncesinden Al<sub>3</sub>Ti alaşımlarının ortalama 50 μm çapında ve eş eksenli olduğu görülmektedir. Şekil 3(b)'de ise Al-Ti alaşımlarının ergitilip havada soğutulduktan sonra Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin yaklaşık 1500 μm uzunluğunda ve 30 μm kalınlığında çubuk formuna dönüştüğü görülmektedir.

Şekil 4'de 900 °C'de "Al<sub>3</sub>Ti<sub>(k)</sub> + Al<sub>(s)</sub>" eriyiğinin savurma kuvveti altında katılaştırılarak üretilen fonksiyonel derecelendirilmiş kompozite ait makro yapı görüntüsü verilmiştir. Görüntüde, siyah ve beyaz renkte iki bölgenin mevcut olduğu ve siyah renkli bölgenin 10 mm civarından olduğu görülmektedir. Savurma kuvvetinin etkisi ile yoğunluğu sıvı alüminyuma (2,41 gr/cm<sup>3</sup>) göre daha yüksek olan Al<sub>3</sub>Ti (3,41 gr/cm<sup>3</sup>) partikülleri kompozitin dış bölgelerine doğru sürüklenmesi beklendiği için siyah renkteki bölgeler Al<sub>3</sub>Ti'ce zengin, beyaz renkli bölgeler Al<sub>3</sub>Ti'ce fakir bölgeler olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 4. Savurma işlemi sonrasında üretilen Al<sub>3</sub>Ti takviyeli Al matris kompozite ait makro yapı görüntüsü

Şekil 5(a)'da üretilen kompozitin Al<sub>3</sub>Ti'ce fakir bölgelerden ve Şekil 5(b) Al<sub>3</sub>Ti'ce zengin bölgelerden alınan mikro yapı görüntüsü verilmiştir.



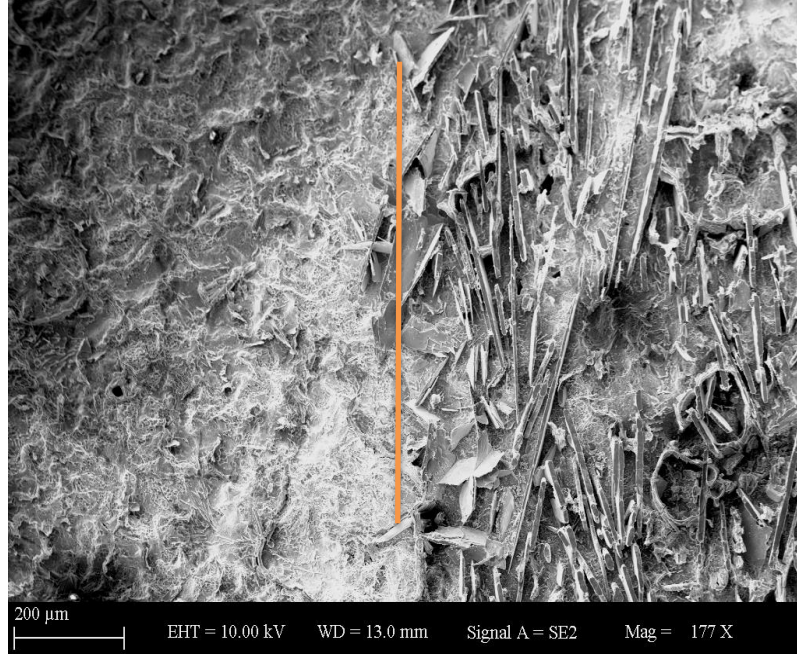
**Şekil 5. (a)** Üretilen kompozitin  $Al_3Ti$ 'ce fakir bölgesinden ve **(b)**  $Al_3Ti$ 'ze zengin bölgesinden alınan mikro yapı görüntüsü

Şekil 5(b)'de üretilen kompozitin  $Al_3Ti$ 'ce zengin bölgelerinde ince çubuk şeklinde  $Al_3Ti$  yapılarının bulunduğu görülmektedir. Şekilde ayrıca  $Al_3Ti$  yapılarının yaklaşık 1500  $\mu m$  uzunluğunda olduğu ve savurma yönünde istiflendiği dikkati çekmektedir. Buna karşın Şekil 5(a)'da kompozitlerin  $Al_3Ti$ 'ce fakir bölgelerinde  $Al_3Ti$  yapılarının hiç yer almadığı görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda zengin bölgede takviye oranında önemli bir değişim olmadığı ve her yerde aynı oranda olduğu tespit edilmiştir.

Tijun Chen [21] ve arkadaşları ve Yoshimi Watanabe [9,22] ve arkadaşları çalışmasında savurma döküm yöntemi ile  $Al_3Ti$  partikül takviyeli FGM üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitler üzerinde yaptıkları analizlerde kompozitin dış bölgelerinden iç bölgelerine doğru  $Al_3Ti$  partiküllerin konsantrasyon ve boyut gradyanlarının azaldığını rapor etmişlerdir. Bu sonuca benzer şekilde bu çalışmada fakir bölgelere yaklaştıkça  $Al_3Ti$  partikül konsantrasyonunun önemsiz derecede azaldığı ve fakir bölge de ise partiküllerin tamamen yok olduğu görülmüştür.

Şekil 6' de %10 HCl çözeltisi ile 30 saniye derin dağlanması sonrasında  $Al_3Ti$ 'ce zengin ve fakir ara bölgeye ait mikro yapı görüntüsü verilmiştir. Güçlendirilmiş bölgelerde partiküllerin çubuk şeklinde olmayıp fleyk şeklinde olduğu görülmektedir.  $Al_3Ti$ 'ce fakir bölgede mikro yapı görüntülerine benzer şekilde  $Al_3Ti$  takviye fazının yer almadığı görülmektedir. Bunun yanında %10 HCl çözeltisi içerisinde Al matris kolaylıkla çözünüş olduğu,  $Al_3Ti$  fleyklerinin ise hiç çözmediği görülmektedir. Şekil 6'da zengin ve fakir bölgeler arasında keskin bir geçiş bölgesinin olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni artan takviye oranı ile sıvı alüminyumun vizkozitesi artmış ve belirli bir değere ulaştıktan sonra uygulanan savurma kuvvetinin bu vizkoziteyi aşmadığından kaynaklandığı varsayılmaktadır.





Şekil 6. Al<sub>3</sub>Ti'ce zengin ve fakir bölgeye ait mikro yapı görüntüsü

Tijun Chen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada soğuma şekillerinin partikül boyutlarını etkilediğini rapor etmişlerdir [21]. Buna benzer şekilde yapılan bu çalışmada, mikro yapı ve SEM incelemelerinde Al-Ti mastır alaşımında 50 µ boyutunda küresel olan Al<sub>3</sub>Ti partikülleri, 1200 °C' de çözeltiye alınıp havada soğutulmaya bırakılması sonucunda Al<sub>3</sub>Ti fazının fleyk formunda kalmasına sebep olduğu görülmüştür.

**Tablo 1.** Deneysel çalışma sonrasında ölçülen Al<sub>3</sub>Ti/ Al-Cu ve Al<sub>3</sub>Ti/ Al kompozitlerinin özellikleri

	Al <sub>3</sub> Ti/ Al-Cu Kompozit		Al <sub>3</sub> Ti/ Al Kompozit	
	Al <sub>3</sub> Ti-zengin bölge	Al <sub>3</sub> Ti-fakir bölge	Al <sub>3</sub> Ti-zengin bölge	Al <sub>3</sub> Ti-zayıf bölge
Sertlik, HB	115.3	70.3	45	29
Hacimsel Takviye oranı, %	16.25	0,00	15.90	0,00
Ağırlıkça Takviye oranı, %	18.97	0,00	19.12	0,00
Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup>	2.93	2.82	2.85	2.72

Tablo 2'de üretilen kompozitlere ait zengin ve fakir bölgelerden alınan % takviye oranları, yoğunlukları ve ölçülen sertlik değerleri verilmiştir. Tabloda kompozitin Al<sub>3</sub>Ti'ce fakir olan bölgelerinde takviye oranının yaklaşık ağırlıkça %19 oranında olduğu, fakir bölgelerde %0 olduğu dikkati çekmektedir. Bunun muhtemele nedeni, yoğunluğu sıvı alüminyuma göre daha yüksek olan Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin tamamının savurma kuvveti yönünde sürüklenerek dökümün dış bölgelerinde birikmesinden kaynaklanmaktadır. Tabloda Al<sub>3</sub>Ti'ce zengin bölgelerin yoğunluğunun fakir bölgelere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Al<sub>3</sub>Ti'ce zengin bölgelerde yoğunluğun daha yüksek olmasının nedeni matris içerisindeki yoğunluğu daha yüksek olan %19 oranındaki Al<sub>3</sub>Ti partikülleridir. Tabloda Al-Cu matris içerisine ağırlıkça %18,97 Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin ilavesi yoğunluk değerinin 2,82 gr/cm<sup>3</sup>'den 2,93 gr/cm<sup>3</sup>'e yükselmiş olduğu görülmektedir. Buna karşın Saf Al içerisine ağırlıkça % 19,12 Al<sub>3</sub>Ti takviyesinin ilavesi ile de yoğunluk değeri 2,72 g/cm<sup>3</sup>'den 2.85 g/cm<sup>3</sup>'e kadar yükseldiği görülmektedir.

Al<sub>3</sub>Ti'ce zengin olan bölgelerin sertlik değerinin fakir bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni matris içerisindeki Al<sub>3</sub>Ti partikülleridir. Subhranshu Chatterjee ve diğ. [23] yaptıkları çalışmalarında alüminyum matrise hacimce %3,3 Al<sub>3</sub>Ti ilave edilmesi ile dislokasyon yoğunluğunun 5,1'den 94,2 (10<sup>13</sup>/ m<sup>2</sup>) 'ye yükseldiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde, Al<sub>3</sub>Ti ilavesi ile sertliğin artmasının nedeni, dislokasyon artışına neden olarak sertlik artışına neden olduğu düşünülmektedir [24][25]. Tabloda ayrıca sertlik değerlerinin Al matrisli kompozit için %19 Al<sub>3</sub>Ti ilavesi

ile 29'dan 45 HB'ye yükselmiş olduğu görülmektedir. Al-Cu matris kompozit için ise bu değer 70,3'den 115,3 HB'ye yükselmiştir. Tabloda Al-Cu matrisli kompozitlerin sertlik değerinin saf alüminyum matrisli kompozitlere göre daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Bunun muhtemel nedeni matris içerişe ilave edilen %5 oranındaki bakırın matrisin disloasyon yoğunluğunu artırması ve bunun sonucu olarak matrisin sertliğini artırmasıdır. Bu çalışmaya benzer şekilde, Tijun ve arkadaşları [21] yaptıkları çalışmada alüminyum matris içerisine ilave edilen Al<sub>3</sub>Ti partiküllerinin oranının artması ile arttığını rapor etmişlerdir. Çalışmada, sertlik değeri 28 HB olan saf alüminyum matrise %5,5 Al<sub>3</sub>Ti ilavesi ile 35 HB'ye, %8,2 Al<sub>3</sub>Ti ilavesi ile 45 HB'ye ve 9,7 Al<sub>3</sub>Ti ilavesi ile %52 HB'ye yükseldiği görülmüştür. Saf alüminyum matrisli kompozitlerin sertlik değeri ortalama 48 HB, Al-Si matrisli kompozitlerin 62HB ve Al-Cu matrisli kompozitlerin 85 HB olduğu rapor etmişlerdir. .

Buna benzer şekilde Ömer savaşı[26] yapmış olduğu bir diğer çalışmada, savurma döküm yöntemi ile Al<sub>3</sub>Ti/Al, Al<sub>3</sub>Ti/Al-Cu ve Al<sub>3</sub>Ti/Al-Cu fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemeleri savurma döküm yöntemi ile üretmiştir. Çalışmada artan takviye oranı ile kompozitin yoğunluk değerlerinin ve sertliklerinin arttığı ve alüminyum matrisli kompozitlere nazaran Al-Cu ve Al-Si matrisli kompozitlerin sertliğinin daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Çalışmada matris içerisine yaklaşık %40 oranında Al<sub>3</sub>Ti ilavesi ile saf alüminyum matris kompozit için sertlik değerlerinin 27 HB'den 77 HB'ye, Al-Si matrisli kompozit için 83 HB'dan 130 HB'ye, Al-Cu matrisli kompozit için ise 90HB'den 156 HB'ye yükseldiği görülmüştür. Bununla birlikte Bu sonuçlar Watanabe ve ark.[22] [9] yaptıkları çalışmaları ile de paralellik göstermektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Savurma döküm metodu ile Al ve Al-Cu matrisli In-Situ Al<sub>3</sub>Ti takviyeli fonksiyonel derecelendirilmiş Kompozit malzemelerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılmış bu çalışmada alınan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- 1- Al-Ti mastır alaşımı Saf Al ve Al-Cu içinde 1200°C' de çözeltiye alınmış ve sonra soğuma sırasında çözelti içerisindeki alüminyum ve titanyumun ekzotermik reaksiyon girerek Al<sub>3</sub>Ti yapıları matris içerinden kendiliğinden sentezlenmiştir. Oluşan Al<sub>3</sub>Ti fazının fleyk şeklinde olduğu, uzunluklarının ortalama 1500 µm, kalınlıklarının ise ortalama 20 µ olduğu tespit edilmiştir.
- 2- 900 °C'de hazırlanan "Al<sub>(s)</sub>+ Al<sub>3</sub>Ti<sub>(k)</sub>" eriyik 1200 d/d dönme hızında savrulularak hem alüminyum hemde Al-Cu matrisli fonksiyonel derecelendirilmiş kompozit malzemeler başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin takviye oranlarının iç bölgelerde %0, dış bölgelerinde yaklaşık %19 olduğu tespit edilmiştir.
- 3- Al matris kompozitinde % 19 Al<sub>3</sub>Ti takviyesinin ilavesi kompozitin yoğunluğun 2,72 gr/cm<sup>3</sup>'den 2.85 gr/cm<sup>3</sup>'e kadar yükseldiği görülmüştür. Al-Cu matris kompozitinde % 19 Al<sub>3</sub>Ti takviyesi ile yoğunluk değerinin 2.82 gr/cm<sup>3</sup>'den 2.93 gr/cm<sup>3</sup>'e yükseldiği.
- 4- Alüminyum matris içerisine ilave edilen % 19 Al<sub>3</sub>Ti partiküllerin ve % 5 bakır ilavesinin kompozitlerinin sertliğini artırdığı tespit edilmiştir. Saf alüminyum içerisine %5 bakır eklenmesiyle sertlik değeri 29'dan 70,3 HB'ye yükselmiştir. Saf alüminyum, % 19 oranında Al<sub>3</sub>Ti takviyesi ile de sertlik 45 HB'ye yükselmiştir olduğu rapor edilmiştir. % 5 cu ve %19 Al<sub>3</sub>Ti ilavesi ile sertliğin 115,3 HB değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

#### Kaynakça

- [1] Rosso, M. 2006. Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties. Journal of Materials Processing Technology, 175(1-3), 364-375.
- [2] Sharma, P., Khanduja, D., Sharma, S. 2014. Tribological and mechanical behavior of particulate aluminum matrix composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33(23),2192-2202.
- [3] Prasad, S. V., Asthana, R., 2004. Aluminum metal-matrix composites for automotive applications: Tribological considerations. Tribology Letters, 17(3),445-453.
- [4] Kale, V. C. 2015. Aluminum Based Metal Matrix Composites for Aerospace Application: A Literature Review. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 12(6), 2278-1684.

- [5] Toozandehjani, M. 2019. Conventional and Advanced Composites in Aerospace Industry: Technologies Revisited. *American Journal of Aerospace Engineering*, 5(1), 9.
- [6] Naebe, M., Shirvanimoghaddam, K. 2015. Functionally graded materials: A review of fabrication and properties. *Applied Materials Today*, 5, 223-245.
- [7] Singh, R., Bhavar, V., Kattire, P., Thakare, S., Patil, S., Singh, R. K. P. 2017. A Review on Functionally Graded Materials (FGMs) and Their Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 229(1), 0-9.
- [8] Rajan, T. P. D., Pai, B. C. 2011. Processing of Functionally Graded Aluminum Matrix Composites by Centrifugal Casting Technique. *Materials Science Forum*, 690, 157-161.
- [9] Watanabe, Y., Zhou, Q., Sato, H., Fujii, T., Inamura, T. 2017. Microstructures of Al-Al<sub>3</sub>Ti functionally graded materials fabricated by centrifugal solid-particle method and centrifugal in situ method. *Japanese Journal of Applied Physics*, 56(1), 0-11.
- [10] Niu, L. B., Zhang, J. M., Yang, X. L. 2012. In-situ synthesis of Al<sub>3</sub>Ti particles reinforced Al-based composite coating. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22(6), 1387-1392.
- [11] Radhika, N., Raghu, R. 2018. Effect of Centrifugal Speed in Abrasive Wear Behavior of Al-Si<sub>5</sub>Cu<sub>3</sub>/SiC Functionally Graded Composite Fabricated by Centrifugal Casting. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71(3), 715-726.
- [12] Wei, N., Han, X., Zhang, X., et al. 2016. Characterization and properties of intermetallic Al<sub>3</sub>Ti alloy synthesized by reactive foil sintering in vacuum. *Journal of Materials Research*. 31(17), 2706-2713.
- [13] Lu, Z., Wei, N., Li, P., Guo, C., Jiang, F. 2016. Microstructure and mechanical properties of intermetallic Al<sub>3</sub>Ti alloy with residual aluminum. *Materials and Design*, 110, 466-474.
- [14] Auradi, V., Kori, S. A. 2008. Influence of reaction temperature for the manufacturing of Al-3Ti and Al-3B master alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 453(1-2), 147-156.
- [15] Yamauchi, K., Kunimine, T., Sato, H., Watanabe, Y. 2014. Grain Refinement of Al<sub>3</sub>Ti Dispersed Aluminum Matrix Composites by Reaction Centrifugal Mixed-Powder Method. *Materials Transactions*, 56(1), 99-107.
- [16] Hosseinpouri, M., Mirmonsef, S.A., Soltanieh, M. 2014. Production of Al-Ti Master Alloy by Aluminothermic Reduction Technique. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 46(2), 139-143.
- [17] Wang, X., Jha, A., Brydson, R. 2004. In situ fabrication of Al<sub>3</sub>Ti particle reinforced aluminium alloy metal-matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 364(1-2), 339-345.
- [18] Hisashi, S. E, Eri, S., Watanabe, M. Y. 2011. Fabrication of Al / Al<sub>3</sub>Ti Functionally Graded Materials by Reaction Centrifugal Mixed-Powder Method, 0-7. doi:10.1143/JJAP.50.01A)02
- [19] El-Hadad, S., Sato, H., Miura-Fujiwara, E., Watanabe, Y. 2010. Fabrication of Al-Al<sub>3</sub>Ti/Ti<sub>3</sub>Al functionally graded materials under a centrifugal force. *Materials*. 3(9), 4639-4656.
- [20] Schuster, J. C., Palm, M. 2006. Reassessment of the Binary Aluminum-Titanium Phase Diagram, 27(3), 255-277.
- [21] Tijun, C., Jian, L., Yuan, H. 2009. Casting fabrication of in Al<sub>3</sub>Ti-Al composites and Their wear behaviors. *China Foundry*. 6(4), 319-327.
- [22] Watanabe, Y., Yamanaka, N., Fukui, Y. 1999. Wear Behavior of Al-Al<sub>3</sub>Ti Composite Manufactured by a Centrifugal Method. 30, 3253-3261.
- [23] Rzychoń, T., Dybowski, B. 2016. The Influence of Aluminum on the Microstructure and Hardness of Mg-5Si-7Sn Alloy. *Archives of Metallurgy and Materials*, 61(1), 425-432.
- [24] Richert, M. 2007. 2007. Aluminum alloy matrix - Al<sub>3</sub>Ti particles reinforced composite extruded in semi-solid state, 7, 224-227.
- [25] Savaş, Ö. 2019. The Production And Properties of Al<sub>3</sub>Ti Reinforced Functionally Graded Aluminum Matrix Composites Produced by The Centrifugal Casting Method. *Materials Research Express*, 6(12), 10-12.

## Ağırlıklı Uzaylarda $q$ –Szász-Kantorovich-Chlodowsky Operatörlerinin Yaklaşımlar

\*Reşat ASLAN<sup>1</sup> , Aydın İZGİ<sup>2</sup> ,

\*<sup>1</sup> Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, ŞANLIURFA

<sup>2</sup> Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, ŞANLIURFA

(Alınış / Received: 24.11.2019, Kabul / Accepted: 07.01.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

### Anahtar Kelimeler

Voronovskaja Tip Asimtotik Teorem,  
Süreklilik Modülü,  
 $q$ -Szász Mirakyan Operatörleri,  
Ağırlıklı Yaklaşım

**Öz:** Bu araştırmanın asıl amacı, son iki yüzyıla girildiğinde matematiğe önemli katkısı olan ve birçok uygulama alanına sahip olan yaklaşımlar teorisinde son yılların popüler bir çalışma alanlarından  $q$ -calculus'un bazı lineer pozitif operatörlere uygulanması ve bu operatörlerin yaklaşım özelliklerinin tahmin edilmesi üzerine olacaktır. Öncelikle  $q$ -calculus ile ilgili bazı tanım ve notasyonlar verilmiş ardından  $1, t, t^2, t^3, t^4$  test fonksiyonlarının  $q$ -Szász-Kantorovich-Chlodowsky operatörleri altındaki görüntüleri hesaplanmış ve  $q$ -Szász-Kantorovich-Chlodowsky operatörünün 4. mertebeye kadar olan merkezi momentleri verilmiştir. Ayrıca yukarıdaki operatörün ağırlıklı uzaylardaki düzgün yakınsaklığı ile ilgili teoremler ve bu operatörün yaklaşım derecesini elde etmek için Voronovskaja tip asimtotik teoremin ispatı verilmiştir. Son olarak süreklilik modülü yardımıyla ağırlıklı uzaylardaki yakınsaklık oranı hesaplanmıştır.

## Approximation By $q$ –Szász-Kantorovich-Chlodowsky Operators On Weighted Spaces

### Keywords

Voronovskaja Type Asymptotic Theorem,  
Modulus of Continuity,  
 $q$ -Szász Mirakyan Operators,  
Weighted Approximation

**Abstract:** The main purpose of this research is to apply  $q$ -calculus to some linear positive operators and to estimate the approximation properties of these operators, which is a popular area of study in recent years of the approximation theory which has a significant contribution to mathematics in the last two centuries and has many applications. Firstly some definitions and notations related to  $q$ -calculus are given, then the images of the test functions  $1, t, t^2, t^3, t^4$  under  $q$ -Szász-Kantorovich-Chlodowsky operators are calculated and the central moments of the  $q$ -Szász-Kantorovich-Chlodowsky operators up to 4-th order are given. In addition, theorems related to the uniform convergence of the above operator in the weighted spaces and to obtain the degree of approximation of this operator the proof of the Voronovskaja type asymptotic theorem are given. Finally, the rate of convergence in weighted spaces is calculated with the help of modulus of continuity.

### 1. Giriş

19. yüzyıldan günümüze birçok matematikçi, çalışılması zor olan bir fonksiyona, nitelikleri daha iyi bilinen yani çalışılması daha kolay olan, örneğin polinomlar gibi, daha basit yapıda olan fonksiyonlarla yaklaşabilir miyiz ve bu yaklaşımı en iyi nasıl sağlarız sorularına cevap aramışlardır. Bu düşünceden yola çıkarak 1885 yılında Alman Matematikçi Karl Theodor Wilhelm Weierstrass, sonlu bir aralıkta sürekli her fonksiyona aynı aralıkta yakınsayan bir polinom dizisinin varlığı ile ilgili teoremi iddia ve ispat etmiştir [1]. Karl Theodor Wilhelm Weierstrass'dan esinlenen ve halen kendi adları ile anılan Bernstein ve Szász gibi matematikçilerde çeşitli operatörler ve bu operatörlerin genellemelerini incelenmişlerdir [2-5].

[2]'deki çalışmadan hareketle yola çıkan başka bir matematikçi [6]'daki çalışmasında, toplam şeklindeki lineer pozitif operatör dizisinin  $[0,1]$  aralığında sürekli olan fonksiyona yaklaşması ile ilgili problemi incelemiş ve ardından Rus Matematikçi Pavel Korovkin tarafından 1953 yılında [6]'nın koşullarını genel halde de sağlayan genel bir teorem ispatlanmıştır [7]. Bu teorem, ciddi bir uygulama potansiyeline sahip olduğu için matematik ile ilgili araştırmalarda önemli bir role sahip olmuştur. [7]'de ki çalışmadan sonra pozitif ve doğrusal operatör dizileri tarafından verilen doğrusal yaklaşım yöntemlerinin incelenmesi, yaklaşım teorisinin köklü bir parçası haline gelmiştir.

Yaklaşımlar teorisinin son 30 yılında ki araştırmalarında ise  $q$ -calculus yani quantum calculus'ün lineer pozitif operatör dizilerine uygulanması ve bu  $q$ -operatörlerin yaklaşım özelliklerinin araştırılması yaklaşım teorisine ciddi anlamda katkısı olmuştur. Bu alanla ilgili ilk öncü çalışmalar 1987 yılında L. Lupaş ve A. Lupaş tarafından [8]'de ve 1996 yılında da G. M. Phillips [9]'da  $q$ -ya dayalı genelleştirilmiş Bernstein polinomlarının yaklaşım özelliklerinin araştırılması üzerine olmuş ve bu olağanüstü polinomların birçok özelliği  $q$ -analoglarına genişletilmiştir.  $q$ -calculusun yaklaşım teorisine uygulanması ile ilgili yukarıdaki çalışmalardan esinlenen bazı başka matematikçilerde  $q$ -ya dayalı çeşitli birçok lineer pozitif operatör dizilerinin genelleştirilmesi üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır. Örneğin; 2002 yılında H. Oruç ve N. Tuncer [10]'da  $q$ -Bernstein polinomlarının yakınsaklığı ve onların iterasyonu üzerine çalışmalar yapmış ardından 2005 yılında V. S. Videnskii [11]'de bazı  $q$ -parametrik pozitif lineer operatör sınıfları üzerine araştırma yapmıştır. A. Aral ve V. Gupta [12]'de ki çalışmalarında ise  $q$ -türev ve  $q$ -Szász Mirakyan operatörlerini  $0 < q < 1$ ,  $0 \leq x < \frac{b_n}{(1-q)[n]_q}$ ,  $f \in C(\mathbb{R}_0)$  ve  $(b_n)$  pozitif tamsayı için  $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \infty$  şartları altında aşağıdaki şekilde tanımlamış ve bu operatörün uygulamaları üzerine araştırmalar yapmışlardır.

$$\begin{aligned} A_n(f, q; x) &=: A_n^q(f; x) \\ &= E_q \left( -[n]_q \frac{x}{b_n} \right) \sum_{k=0}^{\infty} f \left( \frac{[k]_q b_n}{[n]_q} \right) \frac{([n]_q x)^k}{[k]_q! b_n^k} \end{aligned} \quad (1)$$

Ayrıca 2008 yılında da H. Karlı ve V. Gupta [13]'de  $q$ -Chlodowsky operatörleri tanımlamışlar ve bazı yaklaşım özelliklerini incelemişlerdir.

Yukarıdaki çalışmaların dışında literatür taranması sonucunda  $q$ -calculus'ün lineer pozitif operatörlere uygulanması üzerine bazı çalışmalara da buradan ulaşılabilir:[14-16].

Biz de yukarıdaki çalışmalardan yola çıkarak  $q$ -Szász-Kantorovich-Chlodowsky operatörlerini aşağıdaki şekilde tanımlayalım.

$$\begin{aligned} P_n(f, q; x) &= \frac{[n+1]_q^2}{[n]_q b_n} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \int_{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}^{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} f(t) d_q t \end{aligned} \quad (2)$$

(2) denkleminde  $S_{n,k}^q(x) = \frac{[n]_q^k x^k}{b_n^k [k]_q!} E_q \left( -[n]_q \frac{x}{b_n} \right)$ ,  $q \in (0,1)$ ,  $x \in (0, b_n]$ ,  $b_n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{[n+1]_q} \rightarrow 0$  şeklinde tanımlanmıştır.

Bundan sonraki bölümlerde sırasıyla  $q$ -calculus ile ilgili bazı temel kavramlar verilecek ve daha sonra sırasıyla  $1, t, t^2, t^3, t^4$  fonksiyonlarının (2) operatörü altındaki görüntüleri hesaplanacak ve (2) operatörünün 4. mertebeye kadar olan merkezi momentleri verilecektir. Ayrıca (2) operatörünün ağırlıklı uzaylardaki düzgün yakınsaklığı ile ilgili teoremler ve Voronovskaja tip asimtotik teoremin ispatı yapılacaktır. Son adımda ise ağırlıklı uzaylarda ki süreklilik modülü yardımıyla (2) operatörünün yakınsaklık oranı hesaplanacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Temel tanımlar

Bu bölüm içerisinde vereceğimiz lemma ve teorem ispatlarına geçmeden öncelikle quantum calculus'e bağlı bazı tanım ve notasyonları hatırlayalım.

$q > 0$  ve negatif olmayan bir  $n$  tamsayısı için  $n$ 'nin  $q$ 'ya bağlı ifadesi ( $q$  -tamsayısı) aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$[n]_q := \begin{cases} \frac{1 - q^n}{1 - q}, & q \neq 1 \\ 1, & q = 0 \end{cases}$$

$q$  –faktöriyel  $[n]_q!$  ifadesi ve  $q$  –binom katsayıları sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanırlar:

$$[n]_q! := \begin{cases} [n]_q [n-1]_q \dots [1]_q, & n \in \mathbb{N} \\ 1, & n = 0 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} n \\ k \end{bmatrix}_q = \frac{[n]_q!}{[k]_q! [n-k]_q!}.$$

$[0, b]$  aralığı üzerinde bir fonksiyonun integralinin  $q$  –analogu aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\int_0^b f(t) d_q t = (1 - q)b \sum_{j=0}^{\infty} f(q^j b) q^j, \quad 0 < q < 1$$

Son olarak (1) ve (2) denklemlerinde kullanılan eksponansiyel fonksiyon  $e^x$  'in  $q$  – analogunu aşağıdaki şekilde verilmıştır.

$$e_q(x) := \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{[n]_q!}, \quad |x| < \frac{1}{1 - q}$$

$$E_q(x) := \sum_{n=0}^{\infty} q^{\frac{n(n-1)}{2}} \frac{x^n}{[n]_q!}, \quad x \in \mathbb{R}$$

Yukarıdaki iki denklemden aşağıdaki eşitlik kolaylıkla elde edilebilir.

$$e_q(x)E_q(-x) = 1$$

### 2.1. Temel Sonuçlar

**Lemma 2.1.1** (2) operatöründe verilen  $\int_{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}^{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} f(t) d_q t$  ifadesi için sırasıyla aşağıdaki eşitlikler sağlanır.

$$a) \int_{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}^{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} 1 d_q t = \frac{q^k [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}$$

$$b) \frac{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} \int t d_q t = \frac{q^k [n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^2 [2]_q} ([2]_q [k]_q + 1)$$

$$c) \frac{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} \int t^2 d_q t = \frac{q^k [n]_q^3 b_n^3}{[n+1]_q^6 [3]_q} ([3]_q [k]_q^2 + (2q+1)[k]_q + 1)$$

$$d) \frac{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} \int t^3 d_q t = \frac{q^k [n]_q^4 b_n^4}{[n+1]_q^8 [4]_q} ([4]_q [k]_q^3 + (3q^2+2q+1)[k]_q^2 + (3q+1)[k]_q + 1)$$

$$e) \frac{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} \int t^4 d_q t = \frac{q^k [n]_q^5 b_n^5}{[n+1]_q^{10} [5]_q} ([5]_q [k]_q^4 + (4q^3+3q^2+2q+1)[k]_q^3 + (6q^2+3q+1)[k]_q^2 + (4q+1)[k]_q + 1)$$

**Lemma 2.1.2** (2) operatöründe verilen  $S_{n,k}^q(x) = \frac{[n]_q^k x^k}{b_n^k [k]_q!} E_q\left(-[n]_q \frac{x}{b_n}\right)$  için aşağıdaki eşitlikler sağlanır.

$$1) \sum_{k=0}^{\infty} S_{n,k}^q(x) = 1$$

$$2) \sum_{k=0}^{\infty} S_{n,k}^q(x) \frac{[k]_q}{[n]_q} = \frac{x}{b_n}$$

$$3) \sum_{k=0}^{\infty} S_{n,k}^q(x) \frac{[k]_q^2}{[n]_q^2} = \frac{qx^2}{b_n^2} + \frac{x}{[n]_q b_n}$$

$$4) \sum_{k=0}^{\infty} S_{n,k}^q(x) \frac{[k]_q^3}{[n]_q^3} = \frac{q^3 x^3}{b_n^3} + \frac{(q^2+2q)x^2}{[n]_q b_n^2} + \frac{x}{[n]_q^2 b_n}$$

$$5) \sum_{k=0}^{\infty} S_{n,k}^q(x) \frac{[k]_q^4}{[n]_q^4} = \frac{q^6 x^4}{b_n^4} + \frac{q^3(q^2+2q+3)x^3}{[n]_q b_n^3} + \frac{q(q^2+3q+3)x^2}{[n]_q^2 b_n^2} + \frac{x}{[n]_q^3 b_n}$$

**İspat 2.1.2** [17]'de elde edilen sonuçlardan yola çıkarak (2) denkleminde verilen

$S_{n,k}^q(x) = \frac{[n]_q^k x^k}{b_n^k [k]_q!} E_q\left(-[n]_q \frac{x}{b_n}\right)$  ifadesi yerine yazılır ve  $[n]_q = [j]_q + q^j [n-j]_q, 0 \leq j \leq n$  eşitliği 'de kullanılırsa yukarıdaki sonuçların elde edilmesi aşikârdır.

**Lemma 2.1.3** (2)'de tanımlanan operatör için aşağıdaki eşitlikler sağlanır.

$$i) P_n(1, q; x) = 1$$

$$ii) P_n(t, q; x) = \frac{[n]_q^2}{[n+1]_q^2} x + A_0 \frac{[n]_q b_n}{[n+1]_q^2}$$

$$iii) P_n(t^2, q; x) = \frac{q[n]_q^4}{[n+1]_q^4} x^2 + A_1 \frac{[n]_q^3 b_n}{[n+1]_q^4} x + A_2 \frac{[n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^4}$$

$$iv) P_n(t^3, q; x) = \frac{q^3[n]_q^6}{[n+1]_q^6} x^3 + A_3 \frac{[n]_q^5 b_n}{[n+1]_q^6} x^2 + A_4 \frac{[n]_q^4 b_n^2}{[n+1]_q^6} x + A_5 \frac{[n]_q^3 b_n^3}{[n+1]_q^6}$$

$$v) P_n(t^4, q; x) = \frac{q^8[n]_q^8}{[n+1]_q^8} x^4 + A_6 \frac{[n]_q^7 b_n}{[n+1]_q^8} x^3 + A_7 \frac{[n]_q^6 b_n^2}{[n+1]_q^8} x^2 + A_8 \frac{[n]_q^5 b_n^3}{[n+1]_q^8} x + A_9 \frac{[n]_q^4 b_n^4}{[n+1]_q^8}$$

yukarıdaki eşitliklerde  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9$  katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$A_0 = \frac{1}{q+1}, A_1 = \frac{q^2 + 3q + 1}{q^2 + q + 1}, A_2 = \frac{1}{q^2 + q + 1}, A_3 = \frac{q^5 + 3q^4 + 6q^3 + 5q^2 + 3q}{q^3 + q^2 + q + 1},$$

$$A_4 = \frac{q^3 + 4q^2 + 6q + 2}{q^3 + q^2 + q + 1}, A_5 = \frac{1}{q^3 + q^2 + q + 1}, A_6 = \frac{q^3(q^6 + 3q^5 + 6q^4 + 10q^3 + 9q^2 + 7q + 4)}{q^4 + q^3 + q^2 + q + 1},$$

$$A_7 = \frac{q(q^6 + 4q^5 + 11q^4 + 18q^3 + 15q^2 + 11q + 5)}{q^4 + q^3 + q^2 + q + 1}, A_8 = \frac{q^4 + 5q^3 + 10q^2 + 10q + 4}{q^4 + q^3 + q^2 + q + 1},$$

$$A_9 = \frac{1}{q^4 + q^3 + q^2 + q + 1}$$

**İspat 2.1.3** (2)'de verilen operatörün tanımı, Lemma 2.2.1 ve Lemma 2.2.2'de elde ettiğimiz sonuçlar ve  $[n]_q = [j]_q + q^j[n-j]_q$ ,  $0 \leq j \leq n$  eşitliğinden de faydalanarak yukarıdaki sonuçları sırasıyla elde etmeye çalışalım.

$$i) P_n(1, q; x) = \frac{[n+1]_q^2}{[n]_q b_n} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \int \frac{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} 1 d_q t = \frac{[n+1]_q^2}{[n]_q b_n} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \frac{q^k [n]_q b_n}{[n+1]_q^2} = 1$$

$$ii) P_n(t, q; x) = \frac{[n+1]_q^2}{[n]_q b_n} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \int \frac{\frac{[k+1]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}}{\frac{[k]_q [n]_q b_n}{[n+1]_q^2}} t d_q t$$

$$= \frac{[n+1]_q^2}{[n]_q b_n} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \frac{q^k [n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^2 [2]_q} ([2]_q [k]_q + 1)$$

$$= \frac{[n]_q^2 b_n}{[n+1]_q^2} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \frac{[k]_q}{[n]_q} + \frac{1}{[2]_q} \frac{[n]_q b_n}{[n+1]_q^2} = \frac{[n]_q^2 b_n}{[n+1]_q^2} \frac{x}{b_n} + \frac{1}{[2]_q} \frac{[n]_q b_n}{[n+1]_q^2}$$

$$= \frac{[n]_q^2}{[n+1]_q^2} x + \frac{1}{[2]_q} \frac{[n]_q b_n}{[n+1]_q^2} = \frac{[n]_q^2}{[n+1]_q^2} x + A_0 \frac{[n]_q b_n}{[n+1]_q^2}$$



$$\begin{aligned}
 \text{iii) } P_n(t^2, q; x) &= \frac{[n+1]_q^2}{[n]_q b_n} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \int \frac{t^{k+1} [n]_q b_n}{[n+1]_q^2} t^2 d_q t \\
 &= \frac{[n+1]_q^2}{[n]_q b_n} \sum_{k=0}^{\infty} q^{-k} S_{n,k}^q(x) \frac{q^k [n]_q^3 b_n^3}{[n+1]_q^2 [3]_q} ([3]_q [k]_q^2 + (2q+1)[k]_q + 1) \\
 &= \frac{[n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^4} \sum_{k=0}^{\infty} S_{n,k}^q(x) \frac{[k]_q^2}{[n]_q^2} + \frac{(2q+1)}{[3]_q} \frac{[n]_q^3 b_n^2}{[n+1]_q^4} \sum_{k=0}^{\infty} S_{n,k}^q(x) \frac{[k]_q}{[n]_q} + \frac{1}{[3]_q} \frac{[n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^4} \\
 &= \frac{[n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^4} \left( qx^2 + \frac{x}{[n]_q b_n} \right) + \frac{(2q+1)}{[3]_q} \frac{[n]_q^3 b_n^2}{[n+1]_q^4} \frac{x}{b_n} + \frac{1}{[3]_q} \frac{[n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^4} \\
 &= \frac{q[n]_q^4}{[n+1]_q^4} x^2 + \frac{q^2 + 3q + 1}{q^2 + q + 1} \frac{[n]_q^3 b_n}{[n+1]_q^4} x + \frac{1}{q^2 + q + 1} \frac{[n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^4} \\
 &= \frac{q[n]_q^4}{[n+1]_q^4} x^2 + A_1 \frac{[n]_q^3 b_n}{[n+1]_q^4} x + A_2 \frac{[n]_q^2 b_n^2}{[n+1]_q^4}
 \end{aligned}$$

benzer yol izlenerek,

$$\text{iv) } P_n(t^3, q; x) = \frac{q^3 [n]_q^6}{[n+1]_q^6} x^3 + A_3 \frac{[n]_q^5 b_n}{[n+1]_q^6} x^2 + A_4 \frac{[n]_q^4 b_n^2}{[n+1]_q^6} x + A_5 \frac{[n]_q^3 b_n^3}{[n+1]_q^6}$$

$$\text{v) } P_n(t^4, q; x) = \frac{q^8 [n]_q^8}{[n+1]_q^8} x^4 + A_6 \frac{[n]_q^7 b_n}{[n+1]_q^8} x^3 + A_7 \frac{[n]_q^6 b_n^2}{[n+1]_q^8} x^2 + A_8 \frac{[n]_q^5 b_n^3}{[n+1]_q^8} x + A_9 \frac{[n]_q^4 b_n^4}{[n+1]_q^8}$$

Eşitlikleri de kolaylıkla elde edilir ve ispatımız tamamlanmış olur.

## 2.2. Ağırlıklı Yaklaşım

Bu bölümde (2)'de tanımladığımız operatörün ağırlıklı uzaylarda ki düzgün yakınsaklığı ile ilgili teorem ve ispatları vermeden öncelikle bazı tanımlar verelim ve kabul edelim ki;  $S_{x^2}[0, \infty)$ ,  $[0, \infty)$  aralığında tanımlı ve  $|f(x)| \leq M_f(1+x^2)$  şartını sağlayan tüm  $f$  fonksiyonlarının uzayı, ayrıca  $C_{x^2}[0, \infty)$ 'da  $S_{x^2}[0, \infty)$  uzayına ait tüm sürekli fonksiyonların bir alt uzayı olsun. Ayrıca  $C_{x^2}^*[0, \infty)$  da  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{1+x^2} < \infty$  şartını sağlayan tüm  $f \in C_{x^2}[0, \infty)$  uzayının alt uzayı olarak verilsin.  $C_{x^2}^*[0, \infty)$  uzayında ki norm aşağıdaki şekilde tanımlıdır.

$$\|f(x)\|_{x^2} = \sup_{x \in [0, \infty)} \frac{|f(x)|}{1+x^2}$$

**Teorem 2.2.1** Kabul edelim ki sırasıyla  $0 < q_n \leq 1$  dizisi yeterince büyük  $n$  değeri için  $q_n \rightarrow 1$  ve  $b_n$  dizisi de  $b_n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \rightarrow 0$  şartlarını sağlasın.  $f \in C_{x^2}^*[0, \infty)$  fonksiyonu da  $[0, \infty)$  aralığında tanımlı monoton artan olsun. O halde (2) operatörü için aşağıda ki eşitlik sağlanır.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1+x^2} = 0 \tag{3}$$

**İspat 2.2.1** Öncelikle aşağıdaki operatörü tanımlayalım

$$* P_n(f, q_n; x) = \begin{cases} P_n(f, q_n; x) & \text{eğer } 0 \leq x \leq b_n, \\ f(x) & \text{eğer } x > b_n. \end{cases}$$

[1]'deki teoremin sonuçlarından yararlanarak  $* P_n(f, q_n; x)$  operatörünün sırasıyla  $r = 0,1,2$  için aşağıdaki üç şartı da sağlaması gerektiği göstermeliyiz.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|* P_n(t^r, q_n; x) - x^r\|_{x^2} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(t^r, q_n; x) - x^r|}{1+x^2}$$

$P_n(1, q_n; x) = 1$  olduğundan (3) denklemini  $r = 0$  için sağlar. Ayrıca Lemma 2.1.3'den sırasıyla  $r = 1,2$  için aşağıdaki sonuçlara da kolaylıkla ulaşabiliriz.

$$\begin{aligned} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(t, q_n; x) - x|}{1+x^2} &= \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{\left| \left( \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} - 1 \right) x + \frac{1}{q_n+1} \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n+1]_{q_n}^2} \right|}{1+x^2} \\ &\leq \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{x}{1+x^2} \frac{1}{q_n+1} \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n+1]_{q_n}^2} \end{aligned}$$

$q_n \rightarrow 1$  ve  $b_n$  dizisi de  $b_n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \rightarrow 0$  olduğundan

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{x}{1+x^2} \frac{1}{q_n+1} \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n+1]_{q_n}^2} = 0$$

elde edilir.

$$\begin{aligned} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(t^2, q_n; x) - x^2|}{1+x^2} &= \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{\left| \left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} - 1 \right) x^2 + \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n+1]_{q_n}^4} x + \frac{1}{q_n^2 + q_n + 2} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n+1]_{q_n}^4} \right|}{1+x^2} \\ &\leq \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{x^2}{1+x^2} \left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} - 1 \right) + \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{x}{1+x^2} \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n+1]_{q_n}^4} + \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{1}{q_n^2 + q_n + 2} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n+1]_{q_n}^4} \end{aligned}$$

dolayısıyla

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(t^2, q_n; x) - x^2|}{1+x^2} = 0$$

elde edilir ve böylece ispatımız tamamlanır. Fakat şunu biliyoruz ki  $f \in C_{x^2}[0, \infty)$  için Teorem 2.2.1 [1]'e göre doğru değildir. Bu durumu ortadan kaldırmak için şimdi  $P_n(f, q_n; x)$ 'nin başka bir özelliğini vererek aşağıdaki teoremi ispatlayalım.

**Teorem 2.2.2** Kabul edelim ki sırasıyla  $0 < q_n \leq 1$  dizisi yeterince büyük  $n$  değeri için  $q_n \rightarrow 1$  ve  $b_n$  dizisi de  $b_n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \rightarrow 0$  şartlarını sağlasın.  $f \in C_{x^2}[0, \infty)$  fonksiyonu da  $[0, \infty)$  aralığında tanımlı monoton artan olsun. O halde (2) operatörü için aşağıdaki eşitlik sağlanır.

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{b_n}} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1+x^2} \\ = 0 \end{aligned} \tag{4}$$

**İspat 2.2.2**  $f \in C_{x^2}[0, \infty)$  olduğundan, her  $\epsilon > 0$  için bir  $\delta_n > 0$  var öyle ki  $|t - x| < \delta_n$  koşulunu sağlayan her  $x \in [0, b_n]$  ve  $t \in [0, \infty)$  için  $|f(t) - f(x)| < \epsilon$ 'dur. [18]'de ağırlıklı uzaylardaki süreklilik modülü olarak tanımlanan  $\Omega(f; \delta_n)$ 'nin özelliğinden yararlanarak sırasıyla  $|t - x| < \delta_n$  ve  $|t - x| \geq \delta_n$  durumları için aşağıdaki eşitsizliği yazabiliriz.

$$|f(t) - f(x)| < \epsilon + \Omega(f; \delta_n)((t - x)^2 + (1 + x^2)|t - x|)$$

$x \in [0, b_n]$  ve  $t \in [0, \infty)$  için  $P_n(f, q_n; x)$  'nin lineerlik ve pozitiflik özelliğini kullanarak

$$|P_n(f, q_n; x) - f(x)| \leq \epsilon + \Omega(f; \delta_n)P_n((t - x)^2, q_n; x) + \Omega(f; \delta_n)(1 + x^2)P_n(|t - x|, q_n; x)$$

$$\leq \epsilon + \Omega(f; \delta_n)P_n((t - x)^2, q_n; x) + \Omega(f; \delta_n)(1 + x^2)\sqrt{P_n((t - x)^2, q_n; x)}$$

elde ederiz. Lemma 2.2.1'deki sonuçlardan

$$\begin{aligned} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1 + x^2} &\leq \frac{\epsilon}{1 + x^2} + \Omega(f; \delta_n) \left[ \frac{x^2}{1 + x^2} \left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n + 1]_{q_n}^4} - 2 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n + 1]_{q_n}^2} + 1 \right) \right. \\ &+ \frac{x}{1 + x^2} \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n + 1]_{q_n}^2} \frac{2}{q_n + 1} \right) + \frac{1}{1 + x^2} \left( \frac{1}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n + 1]_{q_n}^4} \right) \left. \right] \\ &+ \sqrt{\left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n + 1]_{q_n}^4} - 2 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n + 1]_{q_n}^2} + 1 \right) x^2 + \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n + 1]_{q_n}^2} \frac{2}{q_n + 1} \right) x + \frac{1}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n + 1]_{q_n}^4}} \end{aligned}$$

Elde edilir ve buradan her tarafın  $[0, b_n]$  aralığında supremumu alınırsa,

$$\begin{aligned} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1 + x^2} &\leq \epsilon \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{1}{1 + x^2} + \Omega(f; \delta_n) \left[ \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{x^2}{1 + x^2} \left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n + 1]_{q_n}^4} - 2 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n + 1]_{q_n}^2} + 1 \right) \right. \\ &+ \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{x}{1 + x^2} \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n + 1]_{q_n}^2} \frac{2}{q_n + 1} \right) + \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{1}{1 + x^2} \left( \frac{1}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n + 1]_{q_n}^4} \right) \left. \right] \\ &+ \sup_{x \in [0, b_n]} \sqrt{\left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n + 1]_{q_n}^4} - 2 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n + 1]_{q_n}^2} + 1 \right) x^2 + \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n + 1]_{q_n}^2} \frac{2}{q_n + 1} \right) x + \frac{1}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n + 1]_{q_n}^4}} \\ &\leq \epsilon + \Omega(f; \delta_n) \left[ 3 \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n + 1]_{q_n}^4} + \sqrt{3 \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n + 1]_{q_n}^4}} \right] \end{aligned}$$

Yukarıda ki eşitsizliği düzenlersek aşağıdaki sonuç elde edilir ve (4)'de verilen eşitliğinin ispatı tamamlanır.

$$\frac{1}{\sqrt{b_n}} \sup_{x \in [0, b_n]} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1 + x^2} \leq \frac{\epsilon}{\sqrt{b_n}} + \Omega(f; \delta_n) \left[ 3 \frac{[n]_{q_n}^3 \sqrt{b_n}}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^{\frac{3}{2}}}{[n + 1]_{q_n}^4} + \sqrt{3 \frac{[n]_{q_n}^3}{[n + 1]_{q_n}^4} + \frac{[n]_{q_n}^2 b_n}{[n + 1]_{q_n}^4}} \right]$$

### 2.3. Voronovskaja Tip Asimtotik Teorem

Bu bölümde  $P_n(f, q_n; x)$  operatörün için Voronovskaja tip asimtotik yaklaşımı ile ilgili teoremi vermeden ilk olarak bu teoremin ispatında da yararlanacağımız aşağıda ki Lemma'yı ispatı ile verelim.

**Lemma 2.3.3** Kabul edelim ki sırasıyla  $0 < q_n \leq 1$  dizisi yeterince büyük  $n$  değeri için  $q_n \rightarrow 1$  ve  $b_n$  dizisi de  $b_n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \rightarrow 0$  şartlarını sağlasın. O halde  $P_n(f, q_n; x)$  operatörü için aşağıdaki limitler sağlanır.

$$i) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n(t-x, q_n; x) = \frac{1}{2}$$

$$ii) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n((t-x)^2, q_n; x) = x$$

$$iii) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} P_n((t-x)^4, q_n; x) = 2x^2$$

**İspat 2.3.3** Lemma 2.1.3'deki sonuçlardan

$$i) P_n(t-x, q_n; x) = \left( \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} - 1 \right) x + \frac{1}{q_n+1} \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n+1]_{q_n}^2}$$

her tarafı  $\frac{[n+1]_{q_n}}{b_n}$  ile çarparsak,

$$\frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n(t-x, q_n; x) = \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} \left( \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} - 1 \right) x + \frac{1}{q_n+1} \frac{[n]_{q_n}}{[n+1]_{q_n}}$$

yukarıdaki eşitliğin her iki tarafına  $n \rightarrow \infty$  için limit uygulanırsa,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n(t-x, q_n; x) = \frac{1}{2}$$

elde edilir. Benzer şekilde

$$ii) P_n((t-x)^2, q_n; x) = \left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} - 2 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} + 1 \right) x^2 + \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n+1]_{q_n}^4} - \frac{2}{q_n+1} \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n+1]_{q_n}^2} \right) x$$

$$+ \frac{1}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n+1]_{q_n}^4}$$

Benzer şekilde her tarafı  $\frac{[n+1]_{q_n}}{b_n}$  ile çarparsak,

$$\frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n((t-x)^2, q_n; x) = \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} \left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} - 2 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} + 1 \right) x^2$$

$$+ \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3}{[n+1]_{q_n}^3} - \frac{2}{q_n+1} \frac{[n]_{q_n}}{[n+1]_{q_n}} \right) x + \frac{1}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n}{[n+1]_{q_n}^3}$$

ve yukarıdaki eşitliğin her iki tarafına  $n \rightarrow \infty$  için limit uygulanırsa,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n((t-x)^2, q_n; x) = x$$

elde edilir.

Buradan Lemma 2.1.3’de sonuçların yardımı ve  $P_n(f, q_n; x)$  operatörünün lineerlik özelliğini kullanarak aşağıda ki eşitliği

$$P_n((t-x)^4, q_n; x) = Z_{1,n}x^4 + Z_{2,n}x^3 + Z_{3,n}x^2 + Z_{4,n}x + Z_{5,n} \quad (5)$$

sırasıyla,

$$\begin{aligned} Z_{1,n} &= \frac{q_n^8 [n]_{q_n}^8}{[n+1]_{q_n}^8} - 4 \frac{q_n^3 [n]_{q_n}^6}{[n+1]_{q_n}^6} + 6 \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} - 4 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} + 1 \\ Z_{2,n} &= \left[ \frac{q_n^3 (q_n^6 + 3q_n^5 + 6q_n^4 + 10q_n^3 + 9q_n^2 + 7q_n + 4)}{q_n^4 + q_n^3 + q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^7}{[n+1]_{q_n}^7} \right. \\ &\quad \left. - 4 \left( \frac{q_n^4 + 3q_n^3 + 6q_n^2 + 5q_n + 3}{q_n^3 + q_n^2 + q_n + 1} \right) \frac{[n]_{q_n}^5}{[n+1]_{q_n}^5} + 6 \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \right) \frac{[n]_{q_n}^3}{[n+1]_{q_n}^3} \right] \frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \\ Z_{3,n} &= \left[ q_n \left( \frac{q_n^6 + 4q_n^5 + 11q_n^4 + 18q_n^3 + 15q_n^2 + 11q_n + 5}{q_n^4 + q_n^3 + q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^6}{[n+1]_{q_n}^6} - 4 \left( \frac{q_n^3 + 4q_n^2 + 6q_n + 2}{q_n^3 + q_n^2 + q_n + 1} \right) \frac{[n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{6}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} \right] \frac{b_n^2}{[n+1]_{q_n}^2} \\ Z_{4,n} &= \left[ \left( \frac{q_n^4 + 5q_n^3 + 10q_n^2 + 10q_n + 4}{q_n^4 + q_n^3 + q_n^2 + q_n + 1} \right) \frac{[n]_{q_n}^5}{[n+1]_{q_n}^5} - \left( \frac{4}{q_n^3 + q_n^2 + q_n + 1} \right) \frac{[n]_{q_n}^3}{[n+1]_{q_n}^3} \right] \frac{b_n^3}{[n+1]_{q_n}^3} \\ Z_{5,n} &= \left[ \left( \frac{1}{q_n^4 + q_n^3 + q_n^2 + q_n + 1} \right) \frac{[n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} \right] \frac{b_n^4}{[n+1]_{q_n}^4} \end{aligned}$$

elde ederiz.  $q_n \rightarrow 1$  ve  $b_n$  dizisi de  $b_n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \rightarrow 0$  özelliklerini kullanarak,

$$\left\{ \begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} \{Z_{1,n}\} &= 0, \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} \{Z_{2,n}\} = 0, \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} \{Z_{3,n}\} = 2, \\ \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} \{Z_{4,n}\} &= 0, \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} \{Z_{5,n}\} = 0 \end{aligned} \right. \quad (6)$$

(6)’de elde ettiğimiz sonuçları birleştirerek bizden istenen aşağıdaki sonuca ulaşır ve böylece ispatımız tamamlanır.

$$iii) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} P_n((t-x)^4, q_n; x) = 2x^2$$

**Teorem 2.3.4.**  $f, f', f'' \in C_{x^2}^*[0, \infty)$  ve  $q_n \rightarrow 1$  ve  $b_n$  dizisi de  $b_n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \rightarrow 0$  özelliklerini sağlasın o halde  $P_n(f, q_n; x)$  operatörü için aşağıdaki eşitlik sağlanır.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} (P_n(f, q_n; x) - f(x)) = \frac{1}{2} f'(x) + \frac{x}{2} f''(x)$$

**İspat 2.3.4.**  $f$  fonksiyonu için Taylor açılımından faydalanarak aşağıdaki eşitliği kolaylıkla yazabiliriz.

$$f(t) = f(x) + f'(x)(t-x) + \frac{1}{2} f''(x)(t-x)^2 + \varepsilon(t, x)(t-x)^2$$

burada  $t \rightarrow x$  iken  $\varepsilon(t, x) \rightarrow 0$  dır.  $P_n(f, q_n; x)$  operatörünün lineerlik özelliğinden

$$P_n(f, q_n; x) - f(x) = f'(x)P_n(t - x, q_n; x) + \frac{1}{2}f''(x)P_n((t - x)^2, q_n; x) + P_n(\varepsilon(t, x)(t - x)^2, q_n; x)$$

Lemma 2.1.3'den

$$P_n(f, q_n; x) - f(x) = f'(x) \left( \left( \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} - 1 \right) x + \frac{1}{q_n + 1} \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n+1]_{q_n}^2} \right) + \frac{1}{2} f''(x) \left[ \left( \frac{q_n [n]_{q_n}^4}{[n+1]_{q_n}^4} - 2 \frac{[n]_{q_n}^2}{[n+1]_{q_n}^2} + 1 \right) x^2 + \left( \frac{q_n^2 + 3q_n + 2}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^3 b_n}{[n+1]_{q_n}^4} - \frac{2}{q_n + 1} \frac{[n]_{q_n} b_n}{[n+1]_{q_n}^2} \right) x + \frac{1}{q_n^2 + q_n + 1} \frac{[n]_{q_n}^2 b_n^2}{[n+1]_{q_n}^4} \right] + P_n(\varepsilon(t, x)(t - x)^2, q_n; x)$$

Elde edilir ve yukarıda ki eşitliğin sağ tarafının son kısmına Cauchy-Schwarz eşitsizliğide uygulanırsa

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n(\varepsilon(t, x)(t - x)^2, q_n; x) \leq \sqrt{\lim_{n \rightarrow \infty} P_n(\varepsilon^2(t, x), q_n; x)} \sqrt{\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} P_n((t - x)^4, q_n; x)}$$

elde edilir.  $\lim_{n \rightarrow \infty} P_n(\varepsilon^2(t, x), q_n; x) = 0$  olduğu sürece ve bir önceki lemmadan hesapladığımız

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}^2}{b_n^2} P_n((t - x)^4, q_n; x) = 2x^2 \text{ ifadesi sonlu olduğundan}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} P_n(\varepsilon(t, x)(t - x)^2, q_n; x) = 0$$

elde edilir. Bu nedenden Lemma 2.3.3 deki sonuçlar yardımı ile aşağıdaki eşitlik sağlanır ve ispatımız tamamlanır.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[n+1]_{q_n}}{b_n} (P_n(f, q_n; x) - f(x)) = \frac{1}{2} f'(x) + \frac{x}{2} f''(x)$$

**Teorem.2.3.5.** Kabul edelim ki  $0 < q_n \leq 1$  ve  $b_n \rightarrow \infty$  birer dizi olsun öyle ki  $q_n \rightarrow 1$  ve  $\frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \rightarrow 0$

şartlarını sağlasın. O halde  $f \in C_{x,2}^*[0, \infty)$  için aşağıdaki eşitlik sağlanır.

$$\sup_{0 \leq x \leq b_n} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1 + x^2} \leq M \Omega \left( f; \frac{b_n}{[n+1]_{q_n}} \right)$$

burada  $M=408$ 'dir.

**İspat 2.3.5** Operatörün lineerlik ve monotonluk özelliğinden;

$$|P_n(f, q_n; x) - f(x)| \leq P_n(|f(t) - f(x)|, q_n; x) \text{ olur.}$$

[18]' de verilen (vii) deki özellikleri kullanarak;

$$|f(t) - f(x)| \leq 2(1 + \delta_n^2)(1 + x^2) \left( 1 + \frac{|t - x|}{\delta_n} \right) (1 + (t - x)^2) \Omega(f; \delta_n) |f(t) - f(x)| \leq 2(1 + \delta_n^2)(1 + x^2) \Omega(f; \delta_n) S_n(t, x)$$

$$S_n(t, x) = \left( 1 + \frac{|t - x|}{\delta_n} \right) (1 + (t - x)^2) \text{ dersek;}$$

buradan

$$S_n(t, x) \leq \begin{cases} 2(1 + \delta_n^2), & |t - x| < \delta_n \\ 2(1 + \delta_n^2) \frac{(t - x)^4}{\delta_n^4}, & |t - x| \geq \delta_n \end{cases}$$

ve böylece

$$S_n(t, x) \leq 2(1 + \delta_n^2) \left[ 1 + \frac{(t - x)^4}{\delta_n^4} \right]$$

elde edilir.

$$\begin{aligned} |P_n(f, q_n; x) - f(x)| &\leq P_n(|(f(t) - f(x))|, q_n; x) \leq 2(1 + \delta_n^2)(1 + x^2)\Omega(f; \delta_n)P_n(S_n(t, x), q_n; x) \\ &\leq 4(1 + \delta_n^2)\Omega(f; \delta_n)(1 + x^2) \left[ 1 + \frac{1}{\delta_n^4} P_n((t - x)^4, q_n; x) \right] \end{aligned}$$

Lemma 2.1.3 ‘deki sonuçlar yardımıyla (5)’deki eşitliğin  $[0, b_n]$  aralığında supremumu alınırsa aşağıdaki eşitsizliği kolaylıkla elde ederiz.

$$\begin{aligned} \sup_{x \in [0, b_n]} P_n((t - x)^4, q_n; x) &\leq 8 \frac{[n]_{q_n}^8 b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^8} + 20 \frac{[n]_{q_n}^7 b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^8} + 15 \frac{[n]_{q_n}^6 b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^8} + 6 \frac{[n]_{q_n}^5 b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^8} + \frac{1}{5} \frac{[n]_{q_n}^4 b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^8} \\ &\leq \frac{b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^4} \left( \frac{8[n]_{q_n}^8 + 20[n]_{q_n}^7 + 15[n]_{q_n}^6 + 6[n]_{q_n}^5 + \frac{1}{5}[n]_{q_n}^4}{[n + 1]_{q_n}^4} \right) \\ &\leq 50 \frac{b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^4} \frac{[n]_{q_n}^4}{[n + 1]_{q_n}^4} \leq 50 \frac{b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^4} \end{aligned}$$

Buradan

$$\sup_{0 \leq x \leq b_n} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1 + x^2} \leq 4(1 + \delta_n^2)\Omega(f; \delta_n) \left( 1 + \frac{50}{\delta_n^4} \frac{b_n^4}{[n + 1]_{q_n}^4} \right)$$

elde edilir. Yukarıda ki denklemden  $\delta_n = \frac{b_n}{[n + 1]_{q_n}}$

seçilirse  $\delta_n \rightarrow 0$  olduğundan belirli bir  $n$  değerinden sonra  $\delta_n < 1$  olacaktır. Dolayısıyla  $M=408$  olmak üzere

$$\sup_{0 \leq x \leq b_n} \frac{|P_n(f, q_n; x) - f(x)|}{1 + x^2} \leq M\Omega \left( f; \frac{b_n}{[n + 1]_{q_n}} \right)$$

bulunur ve ispatımız tamamlanır.

### 3. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada  $q$ -Szász-Kantorovich-Chlodowsky operatörü ile elde edilen yaklaşım sonuçlarından aşikârdır ki (2) denkleminde eğer  $q = 1$  alınırsa, [20]’de verilen ağırlıklı uzaylarda ki klasik Szász-Kantorovich-Chlodowsky operatörü elde edilir. Yukarıdaki çalışma neticesinde (2) operatörü ile elde edilen yaklaşım oranı, [20]’de elde edilen yaklaşım oranına göre daha iyidir diyebiliriz.

### Kaynakça

- [1] Pinkus, A. 2000. Weierstrass and Approximation Theory. J. Approx Theory, 107:1-66.
- [2] Bernstein, S. 1912. Démonstration du Théorémé de Weierstrass, Fondée Surla Calcul Des Probabilities. Commun. Soc. Math. Kharkow, 13(2): 1-2.
- [3] Kantorovich, L. V. 1930. Sur Certain Developpements Suivant les Polynomes de La Forme de S. Bernstein, I, II, C.R. Acad. URSS, 563-568, 595-600.

- [4] Chlodovsky, I. 1937. Sur le Developpement Des Fonctions Definies Dans Un Intervalle Infini en Series De Polynomes de M. S. Bernstein. *Compos Math*,4:380-393.
- [5] Szász, O. 1950. Generalization of S.Bernstein’s Polynomials to Infinite Interval, *J. Research Nat. Bur. Standarts*, 45, 239-245.
- [6] Bohman, H. 1952. On Approximation of Continuous and of Analytic Functions. *Arkiv för Matematik*, 2(1), 43-56.
- [7] Korovkin, P. P. 1953. On Convergence of Linear Positive Operators In The Space of Continuous Functions. *Dokl Akad Nauk SSSR*, 90:961-964.
- [8] Lupaş, L., Lupaş, A. 1987. Polynomials of Binomial Type and Approximation Operators. *Studia Univ. Babes-Bolyai, Mathematica*, 32(4), 61-69.
- [9] Phillips, G. M. 1997. Bernstein Polynomials based on the  $q$ -integers, *Ann. Numer. Math.* 4 , no. 1-4,511-518.
- [10] Oruç, H., Tuncer, N. 2002. On the Convergence and Iterates of  $q$ -Bernstein Polynomials. *Journal of Approximation Theory*, 117(2), 301-313.
- [11] Videnskii, V. S. 2005. On Some Classes of  $q$ -Parametric Positive Linear Operators. In *Selected Topics in Complex Analysis* (pp. 213-222). Birkhäuser Basel.
- [12] Aral, A., Gupta, V. 2006. The  $q$ -derivative and Applications to  $q$ -Szász Mirakyan Operators. *Calcolo* 43, no. 3, 151-170.
- [13] Karsli, H., Gupta, V. 2008. Some Approximation Properties of  $q$ -Chlodowsky Operators. *Applied Mathematics and Computation*, 195(1), 220-229.
- [14] Büyükyazıcı, İ. 2010. Approximation By Stancu–Chlodowsky Polynomials. *Computers & mathematics With Applications*, 59(1), 274-282.
- [15] Dalmanoglu, Ö., Dogru, O. 2010. On Statistical Approximation Properties of Kantorovich Type  $q$ -Bernstein operators. *Mathematical and Computer Modelling*, 52(5-6), 760-771.
- [16] Aral, A. 2008. A Generalization of Szász–Mirakyan Operators Based on  $q$ -integers. *Mathematical and Computer Modelling*, 47(9-10), 1052-1062.
- [17] Karaisa, A., Aral, A. 2016. Some Approximation Properties of Kantorovich Variant of Chlodowsky Operators Based on  $q$ -integer, 65,97-119 Ankara.
- [18] İspir, N. 2001. On Modified Baskakov Operators on Weighted Spaces. *Turk. J. Math.* 25:355-365.
- [19] Gadjiev, A. D. 1976. Theorems of the Type of P.P Korovkin’s Theorems. *Mat. Zametki*, 20(5), 781-786.
- [20] Aslan, R. 2014. Ağırlıklı Uzaylarda Kantorovich-Chlodowsky-Szász Tipi Operatörlerin Yaklaşımı ve Yaklaşım Hızı. *Harran Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 29s, Şanlıurfa.