



Institute of Pure and Applied Sciences

International Journal of Advances  
in Engineering and Pure Sciences

# MARMARA JEPS



**In the name of Rectorate of Marmara University, *Rector***

Prof. Dr. Mustafa KURT

**In the name of Directory of Institute of Pure and Applied Sciences, *Director***

Prof. Dr. Bülent EKİCİ

**Editor-in-Chief**

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

**Associate Editors**

Prof. Dr. Bülent EKİCİ, Prof. Dr. Bülent AKKOYUNLU

**Editorial Boards**

Dr. Aris Quantana NEDELCO,  
Materials Science

Asst. Prof. Dr. Berçem KIRAN YILDIRIM,  
Chemical Engineering

Asst. Prof. Dr. Beste TURANLI,  
Bioengineering

Prof. Dr. İsmail USTA,  
Textile Engineering

Prof. Dr. Kazım Yalçın ARĞA,  
Bioengineering, Bioinformatics

Prof. Dr. Kozet BAKIRCI,  
Environmental Engineering, Occupational Health  
and Safety

Asst. Prof. Dr. Merve ER,  
Industrial Engineering

Dr. Mohammad ALSUNAIID,  
Electrical and Electronics Engineering

Prof. Dr. Mustafa ATMACA,  
Mechanical Engineering-Energy

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR,  
Mechanical Engineering- System Dynamics and Mechanics

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Taylan ŞENGÜL,  
Mathematics

Assoc. Prof. Dr. Ömer KORÇAK,  
Computer Science and Engineering

Assoc. Prof. Dr. Pınar ÇAĞLAYAN,  
Biology

Asst. Prof. Dr. Rosa Maria FLORES,  
Environmental Engineering

Dr. Sergey V. DOROZHKIN,  
Bio-Materials (Ceramics)

Prof. Dr. Uğur YAHŞI,  
Physics

Prof. Dr. Yahya BOZKURT,  
Material Sciences

Assoc. Prof. Dr. Yeşim GÜRTUĞ,  
Architectural and Civil Engineering

Dr. Süleyman Enes HACİBEKTAŞOĞLU  
Occupational Safety

**Publishing Editor**

Dr. Süleyman Enes HACİBEKTAŞOĞLU

**Correspondance and Communication**

**Hayriye KORKMAZ**

Electrical and Electronics Engineering,  
Faculty of Technology, T4-211  
Maltepe /İSTANBUL

Tel: +90 216 777 3830

hkorkmaz@marmara.edu.tr

**Publisher**

Marmara University Press  
Göztepe Kampusu 34722  
Kadıkoy/İSTANBUL

Tel: +90 216 777 1408  
yaymevi@marmara.edu.tr

**Marmara Üniversitesi Rektörlüğü adına, *Rektör***  
Prof. Dr. Mustafa KURT

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü adına, *Müdür***  
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

**Editör**  
Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

**Yardımcı Editörler**  
Prof. Dr. Bülent EKİCİ, Prof. Dr. Bülent AKKOYUNLU

### Editörler Kurulu

Dr. Aris Quantana NEDELCOŞ,  
Malzeme Bilimleri

Dr. Öğretim Üyesi Berçem KIRAN YILDIRIM,  
Kimya Mühendisliği

Dr. Öğretim Üyesi Beste TURANLI,  
Biyomühendislik

Prof. Dr. İsmail USTA,  
Tekstil Mühendisliği

Prof. Dr. Kazım Yalçın ARĞA,  
Biyomühendislik, Biyoinformatik

Prof. Dr. Kozet BAKIRCI,  
Çevre Mühendisliği

Dr. Öğretim Üyesi Merve ER,  
Endüstri Mühendisliği

Dr. Mohammad ALSUNAIDI,  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Prof. Dr. Mustafa ATMACA,  
Makine Mühendisliği- Enerji

Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR,  
Makine Mühendisliği- Sistem Dinamiği ve Mekaniği

Doç. Dr. Mustafa Taylan ŞENGÜL,  
Matematik

Doç. Dr. Ömer KORÇAK,  
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği

Doç. Dr. Pınar ÇAĞLAYAN,  
Biyoloji

Dr. Öğretim Üyesi Rosa Maria FLORES,  
Çevre Mühendisliği

Dr. Sergey V. DOROZHKIN,  
Biyomalzemeler (Seramikler)

Prof. Dr. Uğur YAHŞI,  
Fizik

Prof. Dr. Yahya BOZKURT,  
Malzeme Bilimleri

Doç. Dr. Yeşim GÜRTUĞ,  
Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği

Dr. Süleyman Enes HACIBEKTAŞOĞLU  
İş Güvenliği

### Yayın Editörü

Dr. Süleyman Enes HACIBEKTAŞOĞLU

#### Yazışmalar ve İletişim

**Hayriye KORKMAZ**  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği,  
Teknoloji Fakültesi, T4-211  
Maltepe /İSTANBUL  
Tel: +90 216 777 3830  
hkorkmaz@marmara.edu.tr

#### Yayıncı

Marmara Üniversitesi Yayınevi  
Göztepe Kampusu 34722  
Kadıkoy/İSTANBUL  
Tel: +90 216 777 1408  
yayinevi@marmara.edu.tr

## İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

### Araştırma Makaleleri/ Research Articles

1. Üstelleştirilmiş Genelleştirilmiş Gamma Dağılımında Yeni Bir Uygulama  
**Ceren ÜNAL, Gamze ÖZEL**  
Sayfa/Page: 479-488
2. Çok Aşamalı Yer Seçim Modelleriyle En Uygun Satış Mağazası Yerinin Belirlenmesi: Konya Örneği  
**Beyzanur ÇAYIR ERVURAL**  
Sayfa/Page: 489-503
3. Entegre Edilmiş Bulanık SWARA ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Spor Okulu Seçimi  
**Eyüp Anıl DUMAN**  
Sayfa/ Page: 504-516
4. Kullanılmayan ve Atık İlaçların Tersine Lojistik Faaliyetleri ile Toplanmasına Tüketicinin Bakış Açısının Değerlendirilmesi  
**Saliha KARADAYI USTA**  
Sayfa/ Page: 517-532
5. Konya'da Ekstrem Sıcaklık İndislerinde Gözlemlenen Eğilim ve Değişimlerin İncelenmesi  
**Kübra AYDIN, Murat KARABULUT**  
Sayfa/ Page: 533-549
6. Öğretmenlerin İş Güvenliği Bilgi Düzeylerinin Değerlendirilmesi: İSTEK Okulları İstanbul Kampüslerinde Uygulama  
**Uğur KOYUNCU, Ömer Faruk ÖZTÜRK**  
Sayfa/ Page: 550-559
7. Al6061 T256 Alaşımının Mikro-Frezelenmesinde Üst Çapak Oluşumunun ve Temizlenmesinin Deneysel İncelenmesi  
**Ferah SUCULARLI**  
Sayfa/ Page: 560-568
8. Geri Dönüştürülmüş PP Bazlı Nano Grafen Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Mikromekanik Yöntemler ile Belirlenmesi  
**Alaeddin Burak İREZ, Ramazan KAYA**  
Sayfa/Page: 569-579

## İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

### Araştırma Makaleleri/ Research Articles

9. Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile E-Ticarette Strateji Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Araştırma

**Emine Elif NEBATİ**

Sayfa/Page: 580-602

10. Solar Power Plant Efficiency and Economically Analysis in Different Regional Climate for Selected Cities in Turkey

**Ahmet Talat İNAN, Anıl ŞİMŞEK**

Sayfa/Page: 603-610

11. Investigation of Rheological and Mechanical Properties of Polypropylene During Recycling Processes

**Ali İmran AYTEN, Gökçe KURT**

Sayfa/Page: 611-617

12. Alüminyum Profil Bükümünde Dolgu Takviyesinin Etkisinin İncelenmesi

**Esra ÇETİN, Yiğit GÜLLER, Eren BOYACI, Kübra BAŞARAN**

Sayfa/Page: 618-625

# Üstelleştirilmiş Genelleştirilmiş Gamma Dağılımında Yeni Bir Uygulama

## *A New Application in the Exponentiated Generalized Gamma Distribution*

Ceren ÜNAL<sup>1\*</sup> , Gamze ÖZEL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye.

### Öz

Dağılım sınıfları günümüzde uygulamalı bilimlerde sıkça kullanılmaktadır. Dağılım sınıflarının kendilerine özgü bazı özellikleri olduğundan her ailenin farklı kullanım alanları oluşmuştur. Örneğin dört parametrelili genelleştirilmiş gamma dağılımının bozulma oranı fonksiyonu monoton azalmayan ve modeli monoton olduğundan dağılım yaşam süresi verileri ve güvenilirlik analizinde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Söz konusu kullanım alanların sürekli olarak genişlemesi ve yeni ihtiyaçların ortaya çıkmasıyla ayrıca mevcut dağılım aileleriyle çalışmanın bazı durumlarda çalışmayı zorlaştırdığı ve bazı dezavantajlara sahip olduğu için fazla problemle karşılaşmaktadır. Bu nedenle literature sürekli olarak farklı istatistiksel özelliklere sahip yeni dağılım sınıfları kazandırılmaktadır. Bu çalışmada da literature kazandırılan yeni dağılım sınıfından biri olarak üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım ailesi üzerinde durulacaktır. Özel olarak üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının özelliklerinden, kullanım alanlarından, diğer dağılımlara göre avantajlarından bahsedilecektir. Son olarak gerçek bir veri seti ile çalışmada kullanılacak dağılım test edilip dağılımın parametreleri en çok olabilirlik yöntemi aracılığıyla tahmin edilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım, Hazard fonksiyonu, Dağılım fonksiyonu, En çok olabilirlik yöntemi

### Abstract

Distribution classes are frequently used in applied sciences today. Since distribution classes have some unique features, each family has different usage areas. For example, since the distortion rate function of the four-parameter generalized gamma distribution is not monotonously decreasing and the model is monotonous, the distribution is widely used in lifetime data and reliability analysis. With the continuous expansion of the said usage areas and the emergence of new needs, more problems are encountered because working with existing distribution families makes it difficult to work in some cases and has some disadvantages. For this reason, new distribution classes with different statistical properties are constantly being introduced to the literature. In this study, the exponentiated generalized distribution family, as one of the new distribution classes that are introduced to the literature, will be emphasized. In particular, the properties of the exponentiated generalized gamma distribution, its usage areas, and its advantages over other distributions are mentioned. Finally, the distribution is used in the study with a real data set is tested as well the parameters of the distribution are estimated using the maximum likelihood method.

**Keywords:** The exponential generalized distribution, Hazard function, Distribution function, The maximum likelihood method

## I. GİRİŞ

Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım ailesi ilk olarak Gupta ve Kundu [1] tarafından üstelleştirilmiş üstel dağılım olarak adlandırılan ve dağılım fonksiyonu,

$$F(x) = (1 - e^{-\lambda x})^\alpha, x > 0, \lambda > 0, \quad \alpha > 0$$

olan standart üstel dağılımın bir genellemesi biçiminde literature kazandırılmıştır. Bu aile günümüzde biyoloji ve mühendislik alanlarında sıkça kullanılmaktadır. Üstelleştirilmiş üstel dağılımın dağılım fonksiyonu aslında standart kümülatif üstel dağılımın  $\alpha$ . kuvvetidir. Söz konusu dağılım literature kazandırıldıktan sonra Gupta ve Kundu [2] tarafından bazı matematiksel özellikleri araştırılmıştır. Benzer şekilde Nadarajah ve Kotz [3] üstelleştirilmiş gamma, üstelleştirilmiş Fréchet ve üstelleştirilmiş Gumbel dağılımlarını literature kazandırmıştır. Bu çalışmada üstelleştirilmiş dağılımların bir genellemesi olan yani üstelleştirilmiş biçimdeki dağılımların bir genişlemesi ve bazı yapısal özellikleri üzerinde durulacaktır. Çalışmanın temelini oluşturan söz konusu dağılım sınıfının genel formu aşağıdaki gibidir.

$G(x)$  sürekli bir dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu olmak üzere üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım sınıfının kümülatif dağılım fonksiyonu,

$$F(x) = [1 - \{1 - G(x)\}^\alpha]^\beta, \beta > 0, \alpha > 0 \quad (1)$$

biçimindedir. Burada  $\beta$  ve  $\alpha$  ilave şekil parametreleridir. Fonksiyonda yer alan iki parametreye rağmen beta genelleştirilmiş dağılım ailesi Eugene vd., [4] aksine karmaşık yapıda bir fonksiyon değildir. Fakat Eşitlik (1) tamamlanmamış beta fonksiyonu içerir. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılımın bu avantajına ek olarak (1) eşitliğinin işlem yapılabilirlik özelliğinden özellikle de simülasyon için dağılımdan sayı üretmede çalışmanın ikinci bölümünde verilecek olan kantil fonksiyonunun basit yapısından dolayı oldukça kullanışlıdır [11, 12]. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x) = \alpha\beta\{1 - G(x)\}^{\alpha-1} [1 - \{1 - G(x)\}^\alpha]^{\beta-1} g(x), \quad (2)$$

biçimindedir. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş ailenin yoğunluğu (2) kuyrukların daha da esnek olmasına olanak sağlar.

Literatürde bulunan dağılımlar yukarıda bahsedildiği üzere bazı kısıtlara sahip olduğundan bu kısıtları mümkün olduğunca ortadan kaldırarak daha esnek hesaplamalar ve analizler yapılması sebebiyle böyle bir dağılım sınıfına odaklanılmıştır. Bu çalışmada üstelleştirilmiş türdeki dağılımları genişleterek elde edilen üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım sınıfından bahsedilecektir. Daha sonra bu dağılım ailesinin temel dağılımının gamma olması durumunda bazı istatistiksel ve matematiksel özellikleri üzerinde durulacaktır. Çalışmanın üçüncü bölümünde elde edilen dağılım için en çok olabilirlik yöntemi yardımıyla parametre tahmini üzerinde durulacaktır. Dördüncü bölümde elde edilen dağılımın uygulanabilir olduğu gerçek bir veri seti ile sınanacak ve literatürde yer alan bazı dağılımlar ile karşılaştırma yapılacaktır. Son bölümde ise, çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılacaktır.

## II. ÜSTELLEŞTİRİLMİŞ GENELLEŞTİRİLMİŞ GAMMA DAĞILIMININ ÖZELLİKLERİ

Literatürde üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı ilk olarak Cordeiro vd. [5, 6, 7] tarafından önerilmiştir. Bu dağılımın literatürde yer alan diğer dağılımlardan bazı avantajları bulunmaktadır. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının avantajları çeşitli yaşam süresi verilerinin modellenmesi problemlerinde hazard fonksiyonunun her formuyla uyumlu olmasıdır [9, 10]. Diğer avantajı ise özel olarak seçilen parametre değerlerinde Weibull, üstelleştirilmiş üstel, uyarlanmış Weibull ve genelleştirilmiş Rayleigh dağılımları gibi alt dağılımları içermesidir. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı aynı zamanda kuvvet tipi bozulma

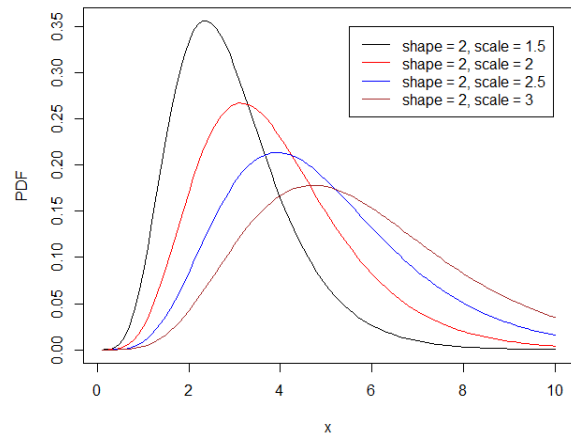
oranlarını modellemede uyumlu olmasının yanı sıra üstelleştirilmiş Weibull ve uyarlanmış Weibull dağılımları gibi özel alt dağılımlarla uyum iyiliği testi için uygundur [14]. Bu bölümde ilk olarak söz konusu dağılımın olasılık yoğunluğu verilecek ve farklı parametre değerlerine göre fonksiyonun grafikleri çizilerek dağılımın modu ve simetrisi hakkında yorumlar yapılacaktır. Ayrıca dağılımın özellikle simülasyon çalışmalarında sayı üretmede kullanılan kantil fonksiyonu, dağılımın momentleri, moment çıkaran fonksiyonu ve sıralı istatistikleri verilecektir. Sıralı istatistiklere ilişkin olarak dağılımın birinci, sonuncu ve herhangi bir sıralı istatistiğinin dağılım ve olasılık yoğunluk fonksiyonları verilecektir. Devamında ise, dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak yaşam fonksiyonu ve hazard fonksiyonu verilecektir. Hazard fonksiyonunun dağılımın farklı parametre değerlerine göre grafikleri çizilerek yorumlama yapılacaktır.

### 2.1. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

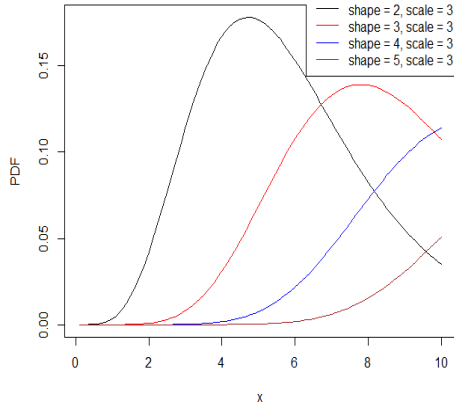
Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında temel dağılımın parametreleri  $G \sim \text{Gamma}(a, b)$  ve dağılım fonksiyonu  $G(x) = \frac{\gamma(a, bx)}{\Gamma(a)}$   $x > 0, a > 0$  ölçek parametresi ve  $b > 0$  şekil parametresi olmak üzere olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x) = \frac{\alpha\beta b^\alpha x^{\alpha-1} e^{-bx}}{\Gamma(a)} \times \left\{1 - \frac{\gamma(a, bx)}{\Gamma(a)}\right\}^{\alpha-1} \times \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a, bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^{\beta-1}, \quad (3)$$

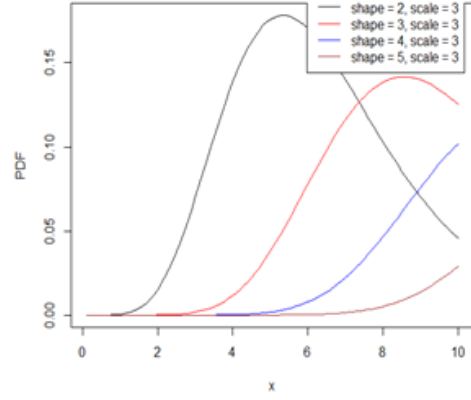
$x > 0$  şeklindedir. Burada  $\gamma(a, x) = \int_0^x y^{a-1} e^{-y} dy$  tamamlanmamış gamma fonksiyonu ve  $\Gamma(a) = \int_0^\infty y^{a-1} e^{-y} dy$  ifadesi ise gamma fonksiyonudur. Dağılımın farklı parametre değerleri için grafikleri sırasıyla Şekil 1 – Şekil 12 arasında yer almaktadır.



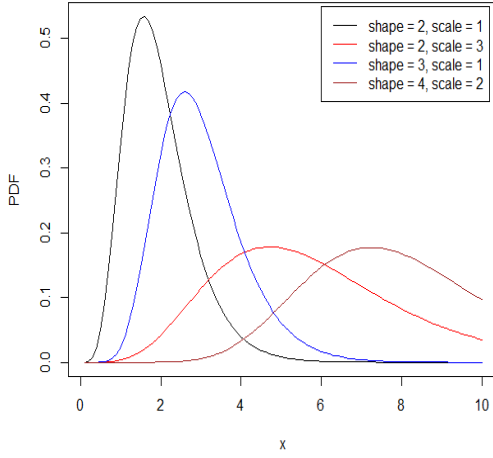
Şekil 1. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 2, \beta = 3$ ) durumunda olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



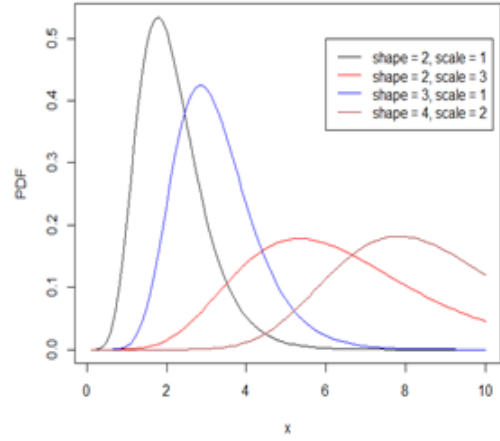
**Şekil 2.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 2, \beta = 3$ ) durumda olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



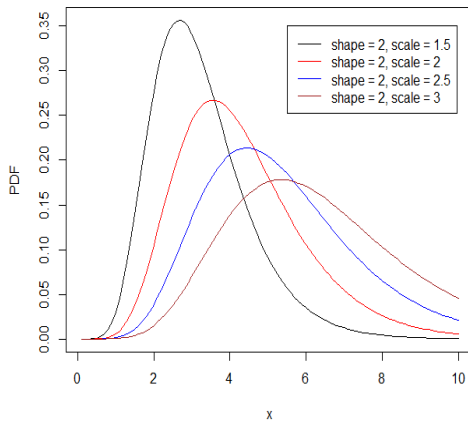
**Şekil 5.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 2, \beta = 4$ ) durumda olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



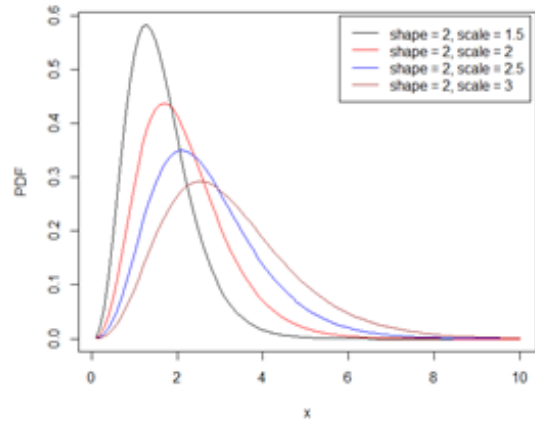
**Şekil 3.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 2, \beta = 3$ ) durumda olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



**Şekil 6.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 2, \beta = 4$ ) durumda olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

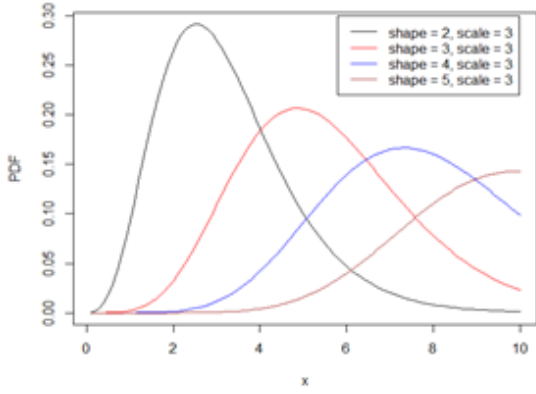


**Şekil 4.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 2, \beta = 4$ ) durumda olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

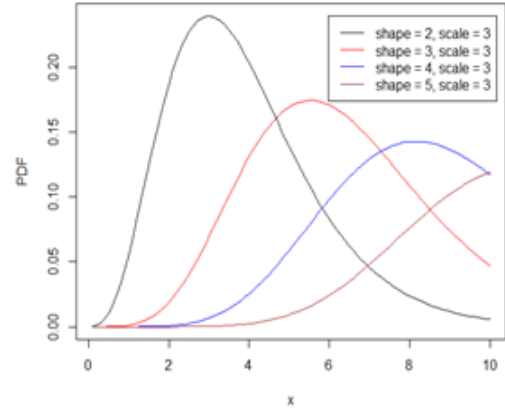


**Şekil 7.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 3, \beta = 2$ ) durumda olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

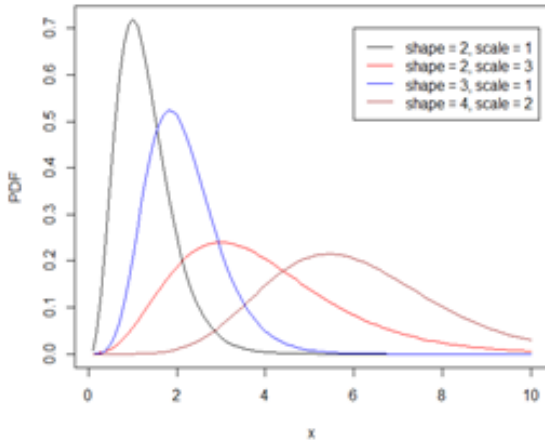




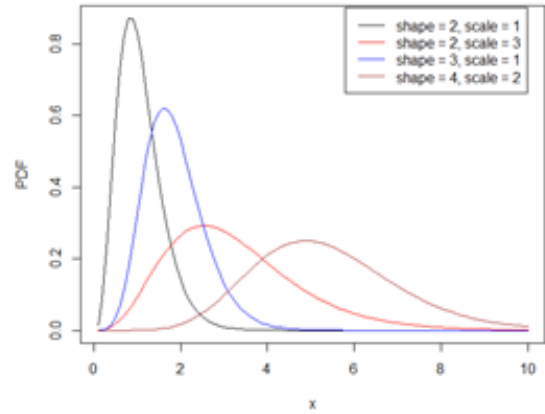
**Şekil 8.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 3, \beta = 2$ ) durumdaki olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



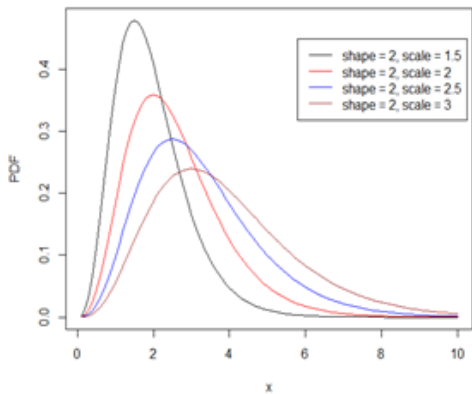
**Şekil 11.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 4, \beta = 2$ ) durumdaki olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



**Şekil 9.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 3, \beta = 2$ ) durumdaki olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



**Şekil 12.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 4, \beta = 2$ ) durumdaki olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



**Şekil 10.** Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımında ( $\alpha = 4, \beta = 2$ ) durumdaki olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

Grafiklerden görüldüğü üzere dağılımın tek modlu olduğu ve simetrik bir dağılım olmadığı, sağa çarpık bir dağılım olduğu açıktır. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılımın  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleri dağılımın; yalnızca  $\beta$  parametresinin değişmesi durumunda dağılımın az da olsa konumunun değiştiği ve  $\alpha$  parametresinin değişmesi durumunda ise dağılımın basıklığının az da olsa değiştiği görülmektedir. Kısaca üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılımın  $\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin değişmesi durumunda dağılımın sağdan çarpık olduğu ve sadece  $\alpha$  parametresinin değişmesi durumunda ise basıklığının az miktarda değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca temel dağılımın yani gamma dağılımının şekil ve ölçek parametreleri değiştiğinde ise şekil parametresine bağlı olarak dağılımın şeklinin, ölçek parametresine bağlı olarak dağılımın basıklığının değiştiği görülmektedir.

**2.2. Kantil Fonksiyonu**

Kantil fonksiyonu simülasyon çalışmalarında ilgilenilen dağılımdan sayı üretme konusunda oldukça önemlidir. Bu sebeple çalışmada araştırılan dağılımın kantil fonksiyonu,

$$x = Q_G \left( \left[ 1 - \left( 1 - u^{\frac{1}{\beta}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right] \right) \tag{4}$$

biçimindedir. Eşitlikte yer alan  $Q_G(u)$ , gamma dağılımının kantil fonksiyonu ve  $u \sim U(0,1)$  dağılımından üretilen rasgele bir sayıdır. Yukarıda yer alan  $x$  eşitliği kullanılarak herhangi bir paket program yardımıyla üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımından rasgele sayı üretilebilir.

**2.3. Dağılımın k. Momenti**

İlk olarak üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım sınıfına göre  $(k, j)$  inci  $X$  'in ağırlıklandırılmış momenti,

$$\tau_{k,j} = E[X^k G(X)^j] = \int_{-\infty}^{\infty} x^k G(x)^j g(x) dx \tag{5}$$

biçiminde tanımlanır. Eşitlik (5) kullanılarak  $k$  inci orjine göre momente şu şekilde geçilebilir.

$$E(X^k) = \alpha \beta \sum_{j=0}^{\infty} t_j \tau_{k,j} \tag{6}$$

ve  $t_j = t_j(\alpha, \beta)$  katsayıları,

$$t_j = \frac{(-1)^j \Gamma(\beta)}{j!} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \Gamma((k+1)\alpha)}{\Gamma(\beta-k)\Gamma((k+1)\alpha-j)k!}$$

biçiminde ifade edilir.  $X$  'in ağırlıklandırılmış momentinin ağırlıklarının toplamı sonsuz olabilir. Bu yüzden integralin hesaplanmasında problem çıkmaktadır. Bu problemi aşmak için ikinci bir formül verilir.

$Q_G(x) = G^{-1}(x)$  ve  $G(x) = u$  olmak üzere,

$$\tau_{k,j} = \int_0^1 Q_G(u)^k u^j du \tag{7}$$

biçimindedir. Burada integral (0,1) aralığı üzerinden rahatlıkla hesaplanabilir.

Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının  $k$  inci momenti tamamlanmamış gamma fonksiyonunun güç serisi açılımı,

$$G_{a,b}(x) = \frac{(ba)^a}{\Gamma(a)} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-bx)^m}{(a+m)m!},$$

dır. Buradan aşağıdaki seri açılımı,

$$f(x) = \frac{\alpha \beta b^a x^{a-1} e^{-bx}}{\Gamma(a)} \sum_{j=0}^{\infty} t_j \frac{(bx)^{aj}}{\Gamma(a)^j}$$

$$\sum_{m_1=0}^{\infty} \dots \sum_{m_j=0}^{\infty} \frac{(-bx)^{m_1+m_2+\dots+m_j}}{(a+m_1)\dots(a+m_j)m_1!\dots m_j!}$$

biçiminde elde edilir. Gerekli işlemler Cordeiro vd. (2011) tarafından yapılmış olup,

$$\tau_{k,j} = \frac{\Gamma(k+a(j+1))}{a^j b^k \Gamma(a)^{j+1}} F_A^{(j)}(r+a(j+1); a, \dots, a; a+1, \dots, a+1, -1, \dots, -1),$$

biçiminde elde edilir. Burada  $F_A^{(j)}$  Lauricella fonksiyonu olarak adlandırılır.

**2.4. Moment Çıkaran Fonksiyonu**

Çalışmada üzerinde durulan üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının üyesi olduğu sınıfın moment çıkarar fonksiyonunun üç farklı gösterimi vardır. Bu gösterimler sırasıyla aşağıda ifade edildiği gibidir. Çalışmada araştırılan dağılımın moment çıkarar fonksiyonuna ulaşmak için birinci gösterimi kullanmak yeterlidir. Birinci gösterim,

$$M(s) = E(e^{sX}) = \sum_{r=0}^{\infty} \frac{\mu_r'}{r!} s^r \tag{8}$$

biçimindedir. Burada  $\mu_r' = E(X^r)$  Eşitlik (6) aracılığıyla elde edilir.

İkinci gösterim ise,

$$f(x) = \sum_{j=0}^{\infty} t_j^* h_{j+1}(x), t_j^* = \frac{\alpha \beta t_j}{(k+1)} \text{ ve } h_{j+1}(x) = (j+1)g(x)G(x)^j \text{ ile } \text{Exp}^{j+1}(G) \text{ dağılımı olduğu Cordeiro vd. (2011) tarafından gösterilmiştir. Buradan,}$$

$$M(s) = E(e^{sX}) = \sum_{j=0}^{\infty} t_j^* M_{j+1}(s) \tag{9}$$

elde edilir. Bu eşitlikte  $M_{j+1}(s)$ ,  $\text{Exp}^{j+1}(G)$  dağılımının moment çıkarar fonksiyonudur. Bu nedenle  $M(s)$ , Exp-G dağılımının moment çıkarar fonksiyonu yardımıyla da belirlenebilir.

Son olarak,

$$M(s) = \sum_{j=0}^{\infty} t_j \rho_j(s) \tag{10}$$

ve

$$\rho_j(s) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{sx} G(x)^j g(x) dx$$

dir. Temel dağılımın kantil fonksiyonunun  $Q_{G(u)} = G^{-1}(u)$  olduğunun bilinmesiyle

$$\rho_j(s) = \int_0^1 e^{sQ_G(u)} u^j du \tag{11}$$

olduğu açıktır. Buradan (10) ve (11) eşitliklerinden moment çıkarar fonksiyon direkt olarak elde edilebilir.

**2.5. Sıralı İstatistikler**

i.  $f_{i:n}(x), i = 1, 2, \dots, n$   $i$  . sıra istatistiğinin olasılık yoğunluk fonksiyonu ve  $X_1, X_2, \dots, X_n$  rasgele değişkenleri birbirinden bağımsız aynı dağılımlı olmak üzere,

$$f_{i:n}(x) = \frac{f(x)}{B(i, n-i+1)} F(x)^{i-1} \{1 - F(x)\}^{n-i}$$

dır. Burada,  $f(x)$  ve  $F(x)$  yerine üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılımın sırasıyla olasılık yoğunluk fonksiyonu ve dağılım fonksiyonu yerine yazılırsa;

$$f_{i:n}(x) = \frac{\alpha\beta}{B(i, n-i+1)} g(x) \{1 - G(x)\}^{\alpha-1} [1 - \{1 - G(x)\}^\alpha]^{\beta i-1} \times \{1 - [1 - \{1 - G(x)\}^\alpha]^\beta\}^{n-i}$$

olduğu açıktır. Eşitlikte binom açılımı kullanılarak  $f_{i:n}(x)$  daha açık hale getirilebilir.

$$f_{i:n}(x) = \frac{\alpha\beta}{B(i, n-i+1)} f(x) \sum_{k=0}^{n-i} \frac{(-1)^k}{(i+k)} \binom{n-i}{k} f_{a,b,\beta(i+k),\alpha}(x) \tag{12}$$

Eşitlik (12),  $i$  inci sıra istatistiğinin üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunu ifade eder. Eşitliğe ilişkin olarak dağılımın 1. ve n. sıra istatistiği sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$f_{1:n}(x) = \frac{\alpha\beta}{B(1,n)} f(x) \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(-1)^k}{(1+k)} \binom{n-1}{k} f_{a,b,\beta(1+k),\alpha}(x),$$

ve

$$f_{n:n}(x) = \frac{\alpha\beta}{nB(n,1)} f(x) f_{a,b,\beta(n),\alpha}(x),$$

biçimindedir. Burada,

$$f(x) = \frac{\alpha\beta b^\alpha x^{\alpha-1} e^{-bx}}{\Gamma(a)} \left\{1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right\}^{\alpha-1} \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^{\beta-1}$$

ve  $x > 0$  olarak tanımlıdır.

ii.  $F_{i:n}(x), i = 1, 2, \dots, n$   $i$  . sıra istatistiğinin dağılım fonksiyonu  $X_1, X_2, \dots, X_n$  rasgele değişkenleri birbirinden bağımsız aynı dağılımlı olmak üzere,

$$F_{i:n}(x) = \sum_{k=i}^n \binom{n}{k} [F(x)]^k [1 - F(x)]^{n-k} \tag{13}$$

Burada,  $F(x) = \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^\beta$  ve

$\gamma(a, x) = \int_0^x y^{\alpha-1} e^{-y} dy$  biçimindedir. Burada Eşitlik (13) yeniden düzenlenirse,

$$F_{i:n}(x) = \sum_{k=i}^n \binom{n}{k} \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^{\beta k} [1 - \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^\beta]^{n-k}$$

ile üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının  $i$  inci sıra istatistiğinin dağılım fonksiyonu elde edilir. Eşitliğe ilişkin olarak dağılımın 1. ve n. sıra istatistiği sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$F_{1:n}(x) = \sum_{k=1}^n \binom{n}{k} \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^{\beta k} [1 - \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^\beta]^{n-k}$$

ve

$$F_{n:n}(x) = \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^{\beta n}.$$

Ayrıca, söz konusu dağılımın sıra istatistiğinin  $k$  inci momenti

$$\begin{aligned} \mu'_{k(i:n)} &= \frac{\beta}{b^k B(i, n-i+1)} \\ &\times \sum_{l=0}^{n-i} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{m=0}^j \frac{(-1)^{l+j+m}}{\Gamma(a)^{\beta(i+l)}} \binom{n-i}{l} \binom{\beta(i+l)-1}{j} \binom{j}{m} I\left(a, \frac{k}{a}, m\right) \end{aligned}$$

biçimde elde edilir. Burada,

$$\begin{aligned} I\left(a, \frac{k}{a}, m\right) &= a^{-m} \Gamma\left(\frac{a}{\alpha} + a(m+1)\right) \\ &\times F_A^{(m)}(r + a(m+1); a, \dots, a; a+1, \dots, a+1, -1, \dots, -1) \end{aligned}$$

ile gösterilmektedir. Verilen bu denklem sistemleri herhangi bir paket programı yardımıyla çözümlenerek üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının sıralı istatistiğinin  $k$  inci momentine ulaşılmış olur.

**2.6. Yaşam ve Hazard Fonksiyonları**

Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlı olduğu Eşitlik (3)'de verilmişti. Olasılık yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının yaşam fonksiyonu ve hazard fonksiyonu sırasıyla Eşitlik (14) – (15)'de verilmektedir.

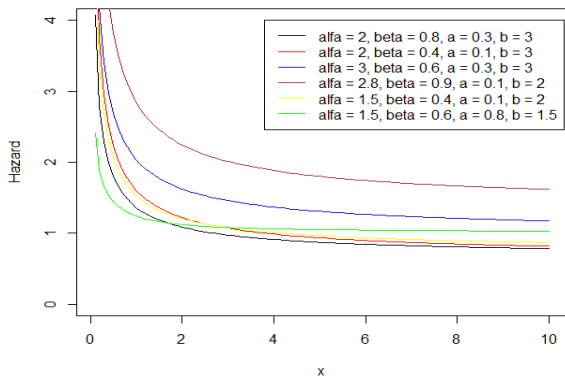
$$S(x) = 1 - F(x) = 1 - \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^\beta,$$

ve

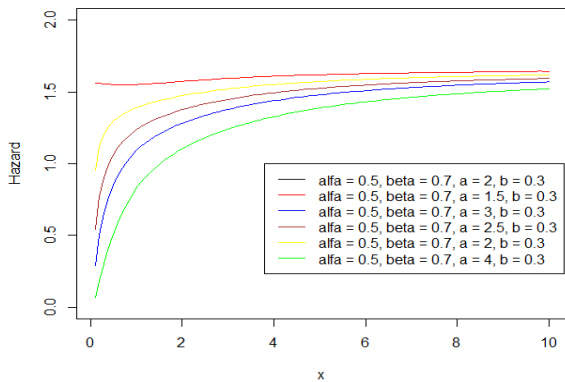
$h(x) = \frac{f(x)}{S(x)}$  formülünden yararlanılarak,

$$h(x) = \frac{\alpha\beta b^\alpha x^{\alpha-1} e^{-bx} \left\{1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right\}^{\alpha-1} \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^{\beta-1}}{1 - \left\{1 - \left(1 - \frac{\gamma(a,bx)}{\Gamma(a)}\right)^\alpha\right\}^\beta} \tag{15}$$

olarak elde edilir. Eşitlik (15)'de verilen hazard fonksiyonu R paket programı aracılığıyla kullanılarak dağılımın farklı parametre değerlerinde grafikleri Şekil 13 – 14'de elde edilmektedir.



Şekil 13. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı durumunda farklı parametre değerlerinde olasılık hazard fonksiyonu grafiği



Şekil 14. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı durumunda farklı parametre değerlerinde olasılık hazard fonksiyonu grafiği  
Grafikleri yorumlamadan önce üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının hazard fonksiyonunun Cordeiro vd. (2011) tarafından,

- i.  $\alpha a > 1, \beta > 1$  ve  $\forall x > 0, h(x)' > 0$  ise  $h(x)$  artan,
- ii.  $0 < \alpha a < 1, 0 < \beta < 1$  ve  $\forall x > 0, h(x)' < 0$  ise  $h(x)$  azalan,
- iii.  $\alpha < 1$  ve  $\alpha\beta \geq 1$  ise  $h(x)$  tek modlu,
- iv.  $\alpha > 1$  ve  $\alpha\beta < 1$  ise  $h(x)$  fonksiyonun grafiği küvet tipi şeklinde

özellikleri olduğunu elde etmişlerdir.

Bu bilgi altında Şekil 13 ve Şekil 14'de hazard fonksiyonunun grafik yorumlandığında Şekil 13'te parametrelerin (iv) önermede yer alan koşulları sağladığı yani grafiğin şeklinin küvet tipi biçiminde olduğu görülür. Şekil 14'te üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılımın parametreleri sabit tutulduğunda ve diğer parametrelerin (ii) koşulu altında değiştirildiği durumda grafiğin şeklinin azalan olduğu görülebilir.

### III. PARAMETRE TAHMİNİ

Çalışmanın bu bölümünde üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım sınıfına ilişkin olarak parametre tahmini üzerinde durulacaktır. Parametre tahminini elde etmek için en çok olabilirlik tahmin yöntemi kullanılacaktır.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  ÜGG( $\alpha, \beta, \lambda$ ) dağılımından alınan  $n$  tane örneklem olsun. Burada  $\lambda$  gamma dağılımına ( $G(x; \lambda)$ ) ilişkin parametre vektörüdür. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım sınıfının logaritmik olabilirlik fonksiyonu  $\theta = (\alpha, \beta, \lambda)$  parametre vektörü olmak üzere,

$$\begin{aligned} \ell(\theta) = & n \log(\alpha) + n \log(\beta) \\ & + \sum_{i=1}^n \log(g(x_i; \lambda)) \\ & + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \log(1 - G(x_i; \lambda)) \\ & + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \log[1 - (1 - G(x_i; \lambda))^\alpha] \end{aligned} \quad (16)$$

biçiminde elde edilir. Eşitlik (16), herhangi bir paket program kullanılarak çözülebilir.  $\theta$  parametre vektörüne ilişkin parametrelerin skor bileşenleri ise,

$$U_\alpha(\theta) = \frac{n}{\alpha} + \sum_{i=1}^n \log(1 - G(x_i; \gamma)) \left[ 1 - \frac{(\beta - 1)[1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha}{1 - (1 - G(x_i; \gamma))^\alpha} \right],$$

$$U_\beta(\theta) = \frac{n}{\beta} + \sum_{i=1}^n \log(1 - (1 - G(x_i; \gamma))^\alpha),$$

$$\begin{aligned} U_{\gamma_j}(\theta) = & \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{[g(x_i; \gamma)]_{\gamma_j}}{g(x_i; \gamma)} - \frac{(\alpha - 1)[G(x_i; \gamma)]_{\gamma_j}}{1 - G(x_i; \gamma)} \right. \\ & \left. + \frac{\alpha(\beta - 1)[1 - G(x_i; \gamma)]^{\alpha-1} [G(x_i; \gamma)]_{\gamma_j}}{1 - [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha} \right\}, \end{aligned}$$

biçimindedir. Burada,  $[g(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} = \frac{\partial g(x_i; \gamma)}{\partial \gamma_j}$  ve

$[G(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} = \frac{\partial G(x_i; \gamma)}{\partial \gamma_j}, j = 1, 2, \dots, p$  olarak ifade edilir.

Son olarak elde edilen skor bileşenleri,

$$U_\alpha(\theta) = U_\beta(\theta) = U_{\gamma_j}(\theta) = 0,$$

lineer olmayan eşitliklerden herhangi bir paket program yardımıyla  $\theta$ 'nın en çok olabilirlik tahminleri ( $\hat{\theta}$ ) elde edilmektedir.

Dağılımın parametreleri, hipotez testleri ve aralık tahmini için  $(p + 2) \times (p + 2)$  boyutunda gözlemlenmiş bilgi matrisine,  $J = J(\theta)$ , gerek duyulur. Bu matrisin birimleri,

$$\begin{aligned}
 J_{\alpha,\alpha} &= -\frac{n}{\alpha^2} + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \frac{[1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha \{\log(1 - G(x_i; \gamma))\}^2}{\{1 - [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha\}^2}, \\
 J_{\alpha,\beta} &= -\sum_{i=1}^n \frac{[1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha \log(1 - G(x_i; \gamma))}{1 - [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha}, \\
 J_{\alpha,\gamma_j} &= -\sum_{i=1}^n \frac{[\hat{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j}}{1 - G(x_i; \gamma)} + (\beta \\
 &\quad - 1) \sum_{i=1}^n \frac{[\hat{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} [1 - G(x_i; \gamma)]^{\alpha-1}}{\{1 - [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha\}^2} \times \{1 \\
 &\quad + \alpha \log(1 - G(x_i; \gamma))\} \times \{1 - [1 \\
 &\quad - G(x_i; \gamma)]\} + \alpha [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha\}, \\
 J_{\beta,\beta} &= -\frac{n}{\beta^2}, \\
 J_{\beta,\gamma_j} &= \alpha \sum_{i=1}^n \frac{[\hat{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} [1 - G(x_i; \gamma)]^{\alpha-1}}{\{1 - [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha\}^2}, \\
 J_{\gamma_j, \gamma_s} &= \sum_{i=1}^n \frac{[\ddot{g}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j \gamma_s} g(x_i; \gamma) - [\dot{g}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} [\dot{g}(x_i; \gamma)]_{\gamma_s}}{[g(x_i; \gamma)]^2} \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n \frac{[\ddot{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j \gamma_s} [1 - G(x_i; \gamma)] + [\hat{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} [\hat{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_s}}{[1 - G(x_i; \gamma)]^2} \\
 &\quad - \sum_{i=1}^n \frac{[1 - G(x_i; \gamma)]^{\alpha-2} \{(\alpha - 1) [\dot{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} [\dot{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_s} \\
 &\quad - [1 - G(x_i; \gamma)] [\ddot{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j \gamma_s}\}}{[1 - [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha]^2} \\
 &\quad + \alpha \sum_{i=1}^n \frac{[\hat{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j} [\hat{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_s} [1 - G(x_i; \gamma)]^{2(\alpha-1)}}{\{1 - [1 - G(x_i; \gamma)]^\alpha\}^2},
 \end{aligned}$$

biçimindedir. Burada  $[\ddot{g}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j \gamma_s} = \frac{\partial^2 g(x_i; \gamma)}{\partial \gamma_j \partial \gamma_s}$ ,  $[\ddot{G}(x_i; \gamma)]_{\gamma_j \gamma_s} = \frac{\partial^2 G(x_i; \gamma)}{\partial \gamma_j \partial \gamma_s}$ ,  $j, s = 1, 2, \dots, p$  olup,  $\sqrt{n}(\hat{\theta} - \theta)$  biçiminde tanımlı ifadenin asimptotik dağılımı  $N_{(p+2)}(0, I(\theta)^{-1})$ 'dir. Burada  $I(\theta)$  beklenen bilgi matrisini ifade etmektedir. Genelde  $I(\theta)$  'nın yerine  $\hat{\theta}$  'nın hesaplanan gözlenmiş bilgi matrisi  $(J(\hat{\theta}))$  alınır. Sonuç olarak, parametrelerin yaklaşık güven bölgeleri ve güven aralıkları  $N_{(p+2)}(0, J(\hat{\theta})^{-1})$  çok değişkenli normal dağılıma dayalı olarak oluşturulur.

#### IV. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde gerçek bir veri setinin dağılımının üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı olması durumunda parametre tahmini yapılacak ve veri seti için literatürde yer alan bazı dağılımlar seçilmesi durumunda karşılaştırma yapılacaktır. Tahmin ve analiz yapılırken R paket programından yararlanılmıştır. Bu veri seti Maguire vd. [8] tarafından yayınlanan Büyük Britanya'da meydana gelen art arda gerçekleşen 109 adet kömür madeni kazaları arasındaki geçen günlere ilişkindir. Söz konusu veri setinin sıralanmış biçimi Çizelge 1'de detaylı olarak verilmiştir.

İlk olarak, söz konusu veri setinin betimleyici istatistikleri Çizelge 2'de detaylı olarak verilmektedir. Veri setine uygulanan en çok olabilirlik yöntemine ilişkin tahminler ise Çizelge 3'de yer almaktadır.

**Tablo 1.** Art arda gerçekleşen kömür madeni kazaları arasında geçen günler

|   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |       |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|
| 1 | 4 | 7 | 11 | 13 | 15 | 15 | 17 | 18 | 19 | 19 | 20 | 20 | 22 | 23 | 28 | 29 | 31 | 32 | 36 | 37 | 47 | 48 | 49 | 50 | 54 | 54 | 55 | 59 | 59 | 61 | 61 | 66 | 72 | 72 | 75 | 78 | 78 | 81 | 93 | 96 | 99 | 108 | 113 | 114 | 120 | 120 | 120 | 123 | 124 | 129 | 131 | 137 | 145 | 151 | 156 | 171 | 176 | 182 | 188 | 189 | 195 | 203 | 208 | 215 | 217 | 217 | 217 | 224 | 228 | 233 | 255 | 271 | 275 | 275 | 275 | 286 | 291 | 312 | 312 | 312 | 315 | 326 | 326 | 329 | 330 | 336 | 338 | 345 | 348 | 354 | 361 | 364 | 369 | 378 | 390 | 457 | 467 | 498 | 517 | 566 | 644 | 745 | 871 | 1312 | 1357 | 1613 | 1630. |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|

**Tablo 2.** Maden kazası veri setine ilişkin betimleyici istatistikler

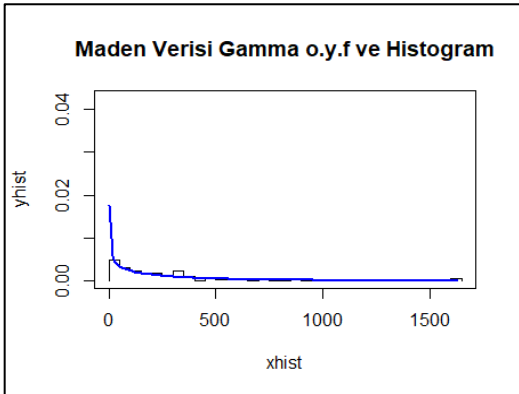
| Minimum | Aralık (Range) | Toplam | Medyan | Ortalama | Varyans  | Standart Sapma | Değişim Katsayısı | Maksimum |
|---------|----------------|--------|--------|----------|----------|----------------|-------------------|----------|
| 1       | 1629           | 25432  | 145    | 233.321  | 87873.33 | 296.434        | 127.050           | 1.630    |

**Tablo 3.** Maden kazası veri setine ilişkin farklı dağılım durumlarında yapılan uyum iyiliği testleri ve en çok olabilirlik tahmin edicilerinin tahmini

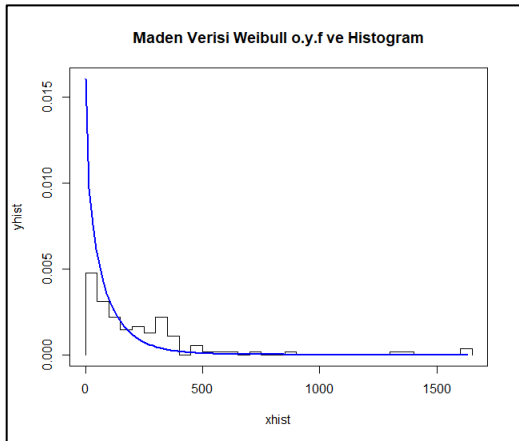
| Model       | Uyum İyiliği Testi | Bilgi Kriterleri    |         |        | Tahmin Değerleri (Hata) |                    |                      |                      |
|-------------|--------------------|---------------------|---------|--------|-------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
|             |                    | K-S Test (P-Değeri) | AIC     | BIC    | CAIC                    | $\alpha$           | $\beta$              | $a$                  |
| EG-Gamma    | 0.3762             | 1409,8              | 1420,98 | 1410,6 | 0,2018<br>(0,099)       | 0,1413<br>(0,024)  | 6,218<br>(0,0987)    | 0,0183<br>(0,0057)   |
| EG-Weibull  | 0,5466             | 1409,7              | 1420,4  | 1410,1 | 0,1765<br>(0,0287)      | 2,0268<br>(0,3275) | 6,0035<br>(0,0232)   | 0,6186<br>(0,03169)  |
| E-Gamma     | 0,3296             | 1410,9              | 1419,02 | 1411,1 | 1,021<br>(0,5031)       | -                  | 0,80517<br>(0,3614)  | 0,003407<br>(0,5136) |
| E-LogNormal | 0,4511             | 1409,99             | 1418,07 | 1410,2 | 0,0934                  | -                  | 6,6138<br>(0,252247) | 0,56607<br>(0,1250)  |

Farklı modellere yapılan uyum iyiliği testleri sonucunda veri setinin tabloda yer alan dört farklı modele uyum sağladığı görülmektedir. Uyum iyiliği testinin ardından parametrik bir tahmin yöntemi olan en çok olabilirlik tahmin sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, çalışmanın temelini oluşturan üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım sınıfına ilişkin iki modelin diğer modellere göre parametreleri çok daha iyi tahmin ettiği gözlenmiştir. Fakat modelin uygunluğunun göreceli bir kriter olan bilgi kriterlerinden literatürde en sık kullanılan Akaike Bilgi Kriteri (AIC) açısından değerlendirildiğinde en iyi performansın EG-Weibull (Üstelleştirilmiş Genelleştirilmiş Weibull) dağılımı ve EG-Gamma (Üstelleştirilmiş Genelleştirilmiş Gamma) dağılımı ile verildiği gözlemlenmiştir. AIC açısından en iyi model olarak yorumlanabilen EG-Weibull dağılımı ve EG-Gamma dağılımı parametreleri tahmin etme noktasında kıyaslandığında  $\alpha$  ve  $a$  parametreleri için EG-Weibull dağılımının  $\beta$  ve  $b$  parametreleri açısından EG-Gamma dağılımının daha iyi tahminler elde ettiği görülmüştür.

Aynı zamanda, veri setinin EG-Weibull ve EG-Gamma dağılımına uyumunu görsel olarak test etmede elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 15. Veri setine ilişkin histogram ve EG-gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği



Şekil 16. Veri setine ilişkin histogram ve eg-weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

Büyük Britanya'da meydana gelen art arda gerçekleşen 109 adet kömür madeni kazaları arasındaki geçen günlere ilişkin veri setinin yapılan analizler sonucunda model belirleme kriterlerine ve parametre tahminlerine göre EG-Gamma ve EG-Weibull modellerinin en uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki modele ilişkin olarak olasılık yoğunluk fonksiyonun çizitleri söz konusu veri setinin histogram grafiği ile birlikte çizilerek görsel anlamda da veri setinin bu dağılımlara uyumu Şekil 15 ve Şekil 16 'da verilmiştir. Fakat bu grafikler incelendiğinde EG-Gamma dağılımının veri setini daha iyi modellediği söylenebilir.

Özet olarak, veri setine uyumu sınanan dört modelden yapılan ilk analiz sonucunda bilgi kriterlerine göre EG-Gamma ve EG-Weibull dağılımının veri setini daha iyi açıkladığı görülmüştür. Daha sonra söz konusu iki model için görsel olarak veri setine uyumu test edilmiştir. Grafikler değerlendirildiğinde veri setini EG-Gamma dağılımının EG-Weibull dağılımına göre daha iyi modellediği yorumuna ulaşılmıştır.

## V. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı üzerinde durulmuştur. Üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının diğer dağılımlara kıyasla avantajları çeşitli yaşam süresi verilerinin modellenmesi problemlerinde hazard fonksiyonunun her formuyla uyumlu olmasıdır. Bir diğer avantajı ise özel olarak seçilen parametre değerlerinde Weibull, üstelleştirilmiş üstel, uyarlanmış Weibull ve genelleştirilmiş Rayleigh dağılımları gibi alt dağılımları içermesidir. Ayrıca üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı kuvvet tipi bozulma oranlarını modellemede uyumlu olmasının yanı sıra üstelleştirilmiş Weibull ve uyarlanmış Weibull dağılımları gibi özel alt dağılımlarla uyum iyiliği testi için uygundur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının bazı istatistiksel ve matematiksel özellikleri verilmiştir. Üçüncü bölümde bu dağılıma ilişkin parametrik parametre tahmini yöntemi olan en çok olabilirlik tahmin yöntemi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise, ikisi üstelleştirilmiş genelleştirilmiş dağılım sınıfının alt dağılımları diğer iki dağılım ise üstelleştirilmiş dağılım ailesinin alt dağılımları olmak üzere toplam dört dağılımın Büyük Britanya 'da meydana gelen maden kazalarına ilişkin veri setine uyumunun test edilmesi, üçüncü bölümde verilen en çok olabilirlik tahmin edicilerinin bulunması ve en iyi modelin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Veri setine uygulanan aşamalardan sonra en iyi modelin çalışma kapsamında test edilen dört dağılım arasında üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımı olduğu yorumlanması yapılmıştır.

Sonuç olarak çalışmada üstelleştirilmiş genelleştirilmiş gamma dağılımının veri setini en iyi modelleyebildiği ancak başka çalışmalarda üstelleştirilmiş

genelleştirilmiş dağılım sınıfa ait bazı özel dağılımların ya da farklı bir dağılım sınıfının veri setini daha iyi modelleyebilme durumu mevcuttur. Söz konusu durum araştırmacıya bırakılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Gupta, R.D. & Kundu, D. (1999). Generalized exponential distributions. *Australian and New Zealand Journal of Statistics*, 41(2), 173-188.
- [2] Gupta, R.D. & Kundu, D. (2001). Exponentiated exponential family: an alternative to gamma and Weibull. *Biometrical Journal*, 43(1), 117-130.
- [3] Nadarajah, S. & Kotz, S. (2006). The exponentiated type distributions. *Acta Applicandae Mathematicae*, 92(2), 97-111.
- [4] Eugene, N., Lee, C. & Famoye, F. (2002). Beta-normal distribution and its applications. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 31(4), 497-512.
- [5] Cordeiro, G.M. & Castro, M. (2011). A new family of generalized distributions. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(7), 883– 898.
- [6] Cordeiro, G.M. & Nadarajah, S. (2011). Closed-form expressions for moments of a class of beta generalized distributions. *Brazilian Journal of Probability and Statistics*, 25(1), 14-33.
- [7] Cordeiro, G.M., Ortega, E.M. & Silva, G.O. (2011). The exponentiated generalized gamma distribution with application to lifetime data. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(7), 827-842.
- [8] Maguire, B.A. Pearson, E. & Wynn, A. (1952). The time intervals between industrial accidents. *Biometrika*, pages 168–180.
- [9] Dubey, S.D. (1970). Compound gamma, beta and F distributions. *Metrika*, 16(1), 27–31.
- [10] Zografos, K. & Balakrishnan, N. (2009). On families of beta- and generalized gamma-generated distributions and associated inference. *Statistical Methodology*, 6(4), 344–362.
- [11] Alzaatreh, A., Lee, C. & Famoye, F. (2013). A new method for generating families of continuous distributions. *METRON*, 71(1), 63–79.
- [12] Alzaghal, A., Famoye, F. & Lee, C. (2013). Exponentiated T-X family of distributions with some applications. *International Journal of Statistics and Probability*, 2(3), 31–49.
- [13] Marshall, A. (1997). A new method for adding a parameter to a family of distributions with application to the exponential and weibull families. *Biometrika*, 84(3), 641–652.
- [14] Chahkandi, M. & Ganjali, M. (2009). On some lifetime distributions with decreasing failure rate. *Computational Statistics & Data Analysis*, 53(12), 4433–4440.
- [15] Lindley, D.V. (1958). Fiducial distributions and Bayes' theorem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 20, 102–107.

## Çok Aşamalı Yer Seçim Modelleriyle Satış Mağazası Yerinin Belirlenmesi: Konya Örneği

*Determination of Sales Store Location with Multi-Stage Location Selection Models: The Case of Konya*

Beyzanur ÇAYIR ERVURAL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü  
Konya, Türkiye

### Öz

Stratejik rekabetin en önemli koşullarından biri tedarik zinciri ve lojistik ağ mekanizmasının etkin ve dinamik biçimde tasarlanmasıdır. Bu kapsamda kurulacak tesis yerinin doğru biçimde belirlenmesi, mesafe, nüfus yoğunluğu ve maliyet gibi çeşitli faktörleri içermesi açısından kritik bir optimizasyon modeli olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, bir gıda işletmesine ait satış mağazası yerlerinin optimum biçimde belirlenebilmesi için yer seçim modelleriyle-*küme kapsama modeli*, *p-medyan modeli* ve *en büyük kapsama modeli*- araştırma yapılmıştır. Öncelikle kurulacak en az sayıdaki tesisin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ardından mesafe bazlı kapsanacak sahalar belirlenmiştir. Belirli sayıdaki tesis ile talep ağırlıklı en küçük mesafe amacına göre konumlar belirlenmiştir. Son aşama olan en büyük kapsama modelinde ise tesis sayısı ayarlanarak kapsanan talep sayısının en büyüklenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca senaryo analizleri ile ortaya çıkabilecek farklı durumlar için geliştirilen modeller sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, yer seçim modeli, küme kapsama, en büyük kapsama, p-medyan modeli

### Abstract

One of the most important conditions of strategic competition is the efficient and dynamic design of the supply chain and logistics network mechanism. In this context, the correct determination of the facility location to be established is a critical optimization model in terms of including various factors such as distance, population density and cost.

In this study, site selection models - *set covering model*, *p-median model*, *maximum coverage models*- were investigated to determine the optimal location of sales stores of a food company. First of all, it is aimed to determine the minimum number of facilities to be established. Then, the areas to be covered were determined according to the distance levels. With a certain number of facilities, their locations were determined according to the demand-weighted minimum distance aim. In the last stage, it is aimed to maximize the number of covered requests by adjusting the number of facilities in the maximum coverage model. In addition, various models developed for different situations are presented and tested with scenario analysis.

**Keywords:** Optimization, site selection model, set-covering model, maximum-coverage model, p-median model

## I. GİRİŞ

Tesis yeri seçimi, tedarik zinciri başarısını doğrudan etkileyen en önemli aşamalardan biridir. Kurulacak tesisin hizmet vereceği bölgelerle olan mesafesi, karar verici tarafından değerlendirilmesi gereken önemli bir kriterdir [1]. Çünkü tesis tasarımı ve yerleşimi problemlerinde bir bölgeye tesis kurma kararı alınırken mümkün olan çok sayıda kişinin hizmet alabilmesi amaçlanmaktadır. Buna ek olarak kurulacak tesis yeri- hizmet bölgesi arasındaki mesafenin de az olması beklenmektedir. Yani burada ihtiyaç merkezlerine en yakın noktaya tesislerin atanması veya en yakın tesisden hizmet alınacak şekilde hizmet bölgelerinin ayarlanması gerekmektedir [2]. Tesis yeri planlanırken, genellikle ağırlıklı talep noktası ile hizmet alacak bölge arasındaki mesafenin en küçüklenmesi hedeflenirken müşteri beklentileri de göz önünde tutulmaktadır. Tesis yeri seçim problemleri hastane, kan bankası, banka şubeleri, polis/itfaiye merkezi gibi acil hizmet noktaları, ana dağıtım üsleri, depo ve lojistik merkezleri, iletişim merkezleri ve enerji ağlarının konumlandırılması gibi farklı alanlarda uygulanmaktadır [3]-[5], [36]-[37].

Talep, arz, mesafe ve maliyet gibi çeşitli faktörler tesis yeri açma kararlarını etkilemektedir [6]. Zaman içinde bu kararlarda önemli değişiklikler yaşanabilmektedir. Yeni tesislerin açılmasına, birkaç mevcut tesisin kapatılmasına, tesislerin birleştirilmesine, bazı tesislerin yeniden konumlandırılmasına veya kapasitelerinin genişletilmesi gibi durumlara ihtiyaç duyulabilir [7].



İşletmeler için bölge dağıtım merkezlerinin tespiti, satış noktası/bayi merkezlerinin optimum şekilde planlanması tesis yer seçim problemi sınıfında değerlendirilmektedir. Literatürde yer seçim modelleri konusunda yapılan çalışmalara rastlansa da matematiksel model tabanlı yer seçim modellerinin sınırlı sayıda olduğu gözlenmiş [37] ve halen bu konu hakkında ihtiyacı söz konusu olduğu belirlenmiştir. Özellikle çok amaçlı programlama modellerinde, maliyet azaltılırken müşteri memnuniyetinin de arttırılmaya çalışılması aynı anda ulaşılmaya çalışılan hedefler olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yapı güncel literatüre göre biraz daha evrilerek sürdürülebilirlik ilkesi, yeşil lojistik ve/veya karbon salınımının en küçüklenmesi, çevre dostu yatırım planlamaları şeklinde farklı amaçlarla sunulmaktadır. Yer seçim modellerinin sağladığı objektif değerlendirme ölçütü işletmelerin yatırım kararlarında yeni tesis yeri açma konusunda önemli katkı sunmaktadır ve yer seçim modellerinin literatür araştırmalarına göre tesis yeri planlamasındaki başarısı nedeniyle bu çalışmada da optimizasyon yöntemi olarak tercih edilmiştir. Bu çalışmada bir gıda üretim işletmesine ait satış mağazalarının il içindeki yerleşim yerleri analitik yaklaşımlar kullanılarak karar vericilerin/yatırımcıların beklentilerini karşılayacak farklı yatırım planlarıyla yapılması amaçlanmıştır. Buna göre şirket tarafından belirlenen sayıda satış mağazasının açılması gerekmektedir. Öncelikle üç aşamalı bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. İlk aşamada kurulacak en az sayıda tesisin belirlenmesi, ikinci aşamada ise ilk modeldeki sonuçları dikkate alan yakınlık mesafesine dayanan bir p-medyan modeli ve ardından üçüncü aşamada hizmet alan bölge sayısını arttırmaya dayanan en büyük kapsama modelinin oluşturulması hedeflenmiştir. Literatür araştırmalarına göre Konya örneği için üç aşamalı bir yer seçim modeline rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın en temel katkısı, farklı yer seçim modelleri kullanarak yer seçiminde optimizasyon uygulamalarının gerçekleştirilmesidir. Buna göre, öncelikle *küme kapsama problemi* çerçevesinde kurulacak en az sayıda tesisin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ardından *p-medyan modeli* ile belirli sayıda bu tesisin talep ağırlıklı en küçük mesafe amacına göre konumları belirlenmektedir. Ardından mesafe bazlı (farklı km bilgileri ile) kapsanacak sahalar, *en büyük kapsama modeli* ile belirlenmektedir. Bu modelde, belirli sayıda açılacak tesis ile hizmet alacak merkez sayısının en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Senaryo analizleri ile farklı durumlar için geliştirilen modeller sunulmuş geniş çerçeveden değerlendirme imkanı sunulmaktadır.

Çalışmanın ikinci kısmında tesis yerleşim problemleri hakkında bilgiler verilmekte ve farklı yer seçim modelleri açıklanmaktadır. Üçüncü kısımda konu hakkında yapılan literatür araştırması sunulmaktadır.

Dördüncü kısımda problem tanımı yapılarak uygulanan modeller detaylıca açıklanmaktadır. Beşinci kısımda elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmektedir. Altıncı kısımda sonuç ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında kısaca bilgi verilmektedir.

## II. TESİS YERLEŞİM PROBLEMLERİ

Tesis yerleşim probleminde talep ve hizmet noktaları arasındaki mesafe, kurulacak tesis sayısı, maliyet ve ulaşım süresi önemli kriterler olarak ortaya çıkmaktadır. Genel olarak tesis yerleşim problemleri, temel olarak birbirine benzese de bazı önemli kısıt ve/veya amaç fonksiyonunu içermesi nedeniyle farklı şekillerde modellenebilir. Literatürde tesis yerleşim problemleri çok kapsamlı şekilde sınıflandırılmıştır. Daskin [8]'in sınıflandırmasına göre tesis yerleşim problemleri şu şekilde değerlendirilmiştir: statik/dinamik yerleşim modeli, çoklu/tekli tesis yeri, ağaç yapılı/grafik yapılı, ayırık yapılı/ağ yapılı/sürekli yapılı modeller, deterministik/ olasılıksal modeller, tek ürünlü/çok ürünlü modeller, tek amaçlı/çok amaçlı modeller, kapasite kısıtlı/kapasite kısıtsız modeller, tek aşamalı/hiyerarşik aşamalı modeller, esnek talepli modeller/esnek olmayan talepli modeller, özel sektör problemleri/kamu sektörü problemleri, talebin dağıtılarak karşılanma durumu/yakın mesafeden karşılanma durumu olan modeller, tesisin arzu edilmesi/ tesisin arzu edilmemesi durumlu modeller. Ayrıca bu modeller, karesel atama problemi, küme kapsama problemi, maksimum kapsama problemi, sabit maliyetli tesis yerleşim problemi, ana dağıtım üssü yerleşim problemi, maksimum toplam problemi, p-merkez problemi, p-medyan problemi şeklinde sıralanabilir [8]–[11].

Bu çalışmada araştırmalarda yaygın biçimde kullanılan en büyük kapsama, küme kapsama ve p-medyan modelleri açıklanacaktır.

### 2.1. En Büyük Kapsama Problemi

Yer seçim problemlerinde genel olarak amaç, hizmet verilen tesis yeri ve müşteriler arasındaki mesafenin en küçüklenmesi biçiminde değerlendirilmesidir. En büyük kapsama probleminde kısıtlı sayıda hizmet veren tesis sayısı ile en çok sayıda talep noktasına hizmet verilmesi beklenmektedir. Yani bütün talep merkezlerinin ihtiyaçlarının sağlanması yerine sınırlı sayıda hizmet noktası ile maksimum sayıda talep merkezine hizmet verilmesi amaçlanmaktadır [10], [36].

Bu modelde tesis sayısı ayarlanarak kapsanan talep miktarı en büyüklenmeye çalışılır. Problem ilk olarak Church ve ReVelle [12] tarafından önerilmiş ve aşağıdaki notasyon kullanılmıştır:

$$Y_j = \begin{cases} 1, & j. \text{düğüm kapsanmışsa } (j \text{ noktasına tesis atanmışsa}) \\ 0, & d. d \end{cases}$$

$$d_j = j. \text{düğümün talebi } P = \text{açılacak tesis sayısı}$$

$$\max z = \sum_{j \in J} d_j Y_j \quad (1)$$

$$Y_j \leq \sum_{i \in I} a_{ij} x_i \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \leq P \quad (3)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

burada Eşitlik 1 amaç fonksiyonunu göstermektedir ve kapsanan talep sayısı en büyükmeye çalışılmaktadır. Eşitlik 2'ye göre,  $j$ . düğümün talebi en az bir tesis  $j$ . düğüm tarafından kapsanmadıkça karşılanmamaktadır. Eşitlik 3'te en fazla  $P$  adet tesisin kurulmasına izin verilmektedir. Eşitlik 4-5, 0-1 tamsayı değişkenleri göstermektedir.

## 2.2. Küme kapsama problemi

Kapsama problemlerinden küme kapsama probleminde talep noktalarının tamamının en az sayıda hizmet noktası tarafından karşılanması yani kapsanması beklenmektedir. Bu modelde her talep noktasının en az bir hizmet noktasına atanma kısıtı yer almaktadır [8].

$$x_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasına bir tesis atanmışsa} \\ 0, & d.d \end{cases}$$

$d_{ij}$ :  $i$  talep noktası ve  $j$ . hizmet noktası arasındaki mesafe

$$\min z = \sum_{j=1}^n x_j \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} d_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, n \quad (8)$$

burada, Eşitlik 6 amaç fonksiyonunu göstermekte ve açılan tesis maliyetinin en küçüklenmesini sağlamaktadır. Eğer tesis açma maliyetlerinde değişiklik yoksa yani eşitse, bu durumda amaç fonksiyonu açılacak tesis sayısının en küçüklenmesi olarak tanımlanabilir. Her talep noktasının en az 1 tesis tarafından kapsanması gerektiği Eşitlik 7'de gösterilmiştir. 0-1 tamsayı değişkenleri Eşitlik 8'de gösterilmektedir.

## 2.3. P-medyan problemi

P-medyan problemi, yer seçim problemlerinde en yaygın kullanılan model türü olarak yer almaktadır. P-medyan problemi,  $p$  adet hizmet noktasının belirli sayıdaki ( $n$ ) talep noktasına hizmet verecek biçimde sistem genelinde şebeke üzerinde ağırlıklı maliyeti en küçükmeye çalışılmaktadır. Ağ yapısı üzerinde açıklanacak olursa bir şebeke diyagramı üzerinde  $n$  adet düğüm olduğu farz edildiğinde bu  $n$  tane noktadan  $p$  tanesinin tesis yeri olarak belirlenmesi ve kalan düğümlerin hizmet almak için belirlenen hizmet noktalarından en yakın olanına tahsis edilmesi bir p-medyan problemi olarak ifade edilmektedir [13]. Toplam maliyetin en küçüklenmesi en temel amaç

olduğu için burada maliyet ile kastedilen, mesafe, süre, yakıt veya para birimi olabilir.

P-medyan problemleri NP-zor sınıfında yer alan problem türündedir ve problemin çözüm süresi problem boyutuna bağlı olarak üstel biçimde artmaktadır. Kesin çözüm veren analitik yöntemler yetersiz kalmaktadır bu yüzden sezgisel yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Meta-sezgisel ve sezgisel yaklaşımlar uygun çözüme yakın sonuç sunmaktadır. Buna göre en kısa yol problemi, atama problemleri, gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemleri ve benzeri birçok problem bu yapıdadır.

$d_{ij}$

=  $i$ . talep noktası ve  $j$ . hizmet noktası arasındaki mesafe

$w_i$  =  $i$  noktasındaki talep noktasının ağırlığı

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ talep noktası } j \text{ hizmet noktasına atanmışsa} \\ 0, & d.d \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ hizmet noktasında bir tesis açılmışsa} \\ 0, & d.d \end{cases}$$

$$\min C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij} \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (10)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i,j \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (12)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (13)$$

burada Eşitlik 9 amaç fonksiyonunu göstermektedir ve hizmet noktası ile talep noktaları arasındaki toplam maliyetin en küçüklenmesini ifade eder. Buna göre ilgili kısıtlardan Eşitlik 10, her talep noktasının yalnız bir tesisden hizmet alacağını göstermektedir, Eşitlik 11 ise açık olmayan tesise talep noktasının atanamayacağını göstermektedir. Ardından Eşitlik 12'de, açık tesis sayısının  $p$  adet ile sınırlandırılacağı ifade edilmektedir. Eşitlik 13, 0-1 tamsayı değişkenleri göstermektedir.

## III. LİTERATÜR TARAMASI

P-medyan problemi, literatürde en çok çalışılan yer seçim problemlerinden biridir. Bir ağ diyagramı üzerinde düğümlerin alternatif hizmet noktası ve talep noktası, aradaki bağlantı noktalarının mesafe, süre olarak ilişkilendirilen elemanlar ile temsil edildiği varsayılan p-medyan problemi, müşteri (talep) noktaları ve hizmet noktaları arasındaki toplam ağırlıklı mesafenin en aza indirileceği şekilde  $p$  adet tesisin konumlandırıldığı bir şebeke ağ problemi şeklinde gösterilebilir. Hakimi [13], p-medyan problemini ilk kez ele almıştır, ReVelle ve Swain [14] ise matematiksel modeli (doğrusal tamsayı model) ilk kez oluşturmuşlardır. Garfinkel, Neebe, ve Rao [15] ise küme bölüntüleme problemi olarak ifade etmişlerdir.

Literatürde p-medyan problemi için farklı matematiksel modeller öneren araştırmacılar yer

almaktadır (Avella ve Sassano [16], Elloumi [17], ve Garcia, Labbe, ve Marin [18], Rosing, ReVelle, ve Rosing-Vogelaar[19]). P-medyan problemini çözmek için kesin çözüm veren farklı algoritmalar kullanılmıştır. Örneğin dal-sınır yaklaşımı, dal-kesme ve dal-fiyatlandırma algoritmaları literatürde en yaygın kullanılan yaklaşımlardır. Kariv ve Hakimi [20] p-medyan probleminin NP-zor bir problem olduğunu göstermiş polinom sürede çözüme ulaşmanın mümkün olmadığını belirterek sezgisel yaklaşımla en iyiye yakın çözüme ulaşmaya çalışmışlardır. Açgözlü sezgisel (Whitaker, [21], dinamik programlama tabanlı yöntemler (Hribar ve Daskin, [38] ve Lagranj gevşetmesine dayalı yöntemler (Beasley, [23]) en yaygın kullanılan yöntemlerden sayılabilir. Ayrıca, genetik algoritmalar, tabu arama, tavlama benzetimi, değişken komşuluk arama, karınca kolonisi ve sinir ağları gibi meta-sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Kim ve Soh [24] üniversite yerleşim planlamasıyla ilgili olarak bölgede okuyan öğrencilerin ulaştırma sistemleriyle ilgili olarak ulaşım sürelerinin azaltılmasına yönelik bir p-medyan modeli geliştirmiştir. Ndiaye vd. [25], çalışmalarında mesafe ve öğrenci sayısı koşulunu göz önünde bulundurarak p-medyan modeli ile en uygun okula atanmalarını sağlamaktadır. Fo ve Silva Mota [26], sağlık hizmet noktalarını bir tesis yerleşim problemi olarak modelleyerek, dört farklı yaklaşımla çözüm elde etmiştir. Buna göre p-medyan, küme kapsama, maksimum kapsama ve p merkez matematiksel modelleriyle çözüm sağlanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Goetzinger vd. [27] çalışmalarında yeşil lojistik kapsamında tesis yeri yerleşim problemini p-medyan modeliyle değerlendirerek taşıma maliyetinin yanı sıra karbon salımını dikkate almıştır.

Liu vd. [28], depo yer seçim probleminde çok amaçlı karma tamsayı programlama modeli oluşturarak en uygun çözüm için sezgisel bir yaklaşım önermişlerdir. Mohammadi vd. [29] çok amaçlı bir model oluşturmuş en uygun stok miktarını ayarlayarak, mal akışının belirlenmesinde stokastik bir yaklaşım kullanmışlar, çözümünde parçacık sürü optimizasyonundan yararlanmışlardır. Rath ve Gutjahr [30] kapsamlı bir afet lojistiği modeli geliştirmiş ve çalışmada belirsizlik altında karar vermeye çalışılmıştır. Talebin belirli ve belirsiz olduğu koşullar altında iki senaryo geliştirilmiştir. Öncelikle afet öncesi hazırlık kapsamında lojistik depo noktaları yer seçim problemi olarak ele alınmış ve buna göre iki aşamalı küme kapsama ve p-medyan modelleri geliştirilmiştir. İlk aşamada ihtiyaç olacak hizmet noktası sayısı belirlenmiş, ikinci aşamada belirlenen tesis sayısı kullanılarak ağırlıklı mesafe minimizasyonu amaçlı p-medyan modeli önerilmiş ve sezgisel bir algoritma yardımıyla çözüme ulaşılmıştır. Akgün ve Erdal [31] hem çok amaçlı programlama hem de çok kriterli

karar verme yaklaşımlarını birlikte değerlendiren bir metodoloji önermektedir ve çalışmada taşıma maliyetlerinin ve ana depo mühimmatlarının risk seviyelerinin en küçüklenmesi hedeflenmiştir.

Panteli vd. [32], çoklu p-medyan problemini ele almışlardır. Burada her bir talep noktası kendisine yakın birden fazla tesis tarafından kapsanmaktadır. Problem mesafe matrisine dayanan ikili küme sezgiseli yardımıyla çözülmektedir. Önerilen yaklaşımda, ikili küme, tesislerin bir alt kümesi tarafından kapsanan talep noktalarının bir alt kümesini temsil eder. Guden [33], klasik *p-hub* medyan probleminde ulaşım modu ve akışı bağlı maliyet yapılarının kullanılması doğrusal maliyet fonksiyonunu etkilediğini belirtmiştir. Literatürde bu konu hakkında çok sayıda çalışma olsa da doğrusal maliyet fonksiyonu için yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışmada özellikle yük taşımacılığında kullanışlı olan tüm birim iskonto modeli, modifiye tüm birim iskonto modeli, araba yük iskonto modeli ve konteyner maliyet yapıları gibi çeşitli maliyet yapıları ele alınmıştır. Maliyet fonksiyonlarının doğrusallığı kaybolduğunda bazı basit klasik problemlerin NP-zor hale geldiği gösterilmiştir. Zaferanieh [34], çalışmasında minimum bilgi teorisiyle kapasitesiz p-medyan tesis yeri problemi için en olası atama modeli çözümüyle karar vermeye çalışmıştır. Sınırsız kapasiteli tesis yeri için iki seviyeli p-medyan modeli araştırılmıştır. Üst seviyede tesis kurma ve talep tahsis maliyetlerinin en aza indirilmesi düşünülürken, müşteriler açısından en olası tahsis çözümü alt kademede belirlenmiştir. Önerilen modelde Kuhn-Tucker optimallik koşulları değerlendirilerek iki aşama, tek aşamalı karma tam sayılı modele indirgenmektedir. Önerilen modelin katkısı farklı örnekler ile değerlendirilmektedir.

Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde, p-medyan probleminin özellikle acil servis istasyonu, depo yer seçimi, banka şubesi yer seçimi, afet lojistiği ve eğitim sektöründe okul ulaşım ağının optimizasyonunda kullanıldığı gözlenmiştir [1], [3]–[5]. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak Konya ilinde bir gıda işletmesinin şehir içindeki bayi konumlarının belirlenmesinde çok aşamalı bir yaklaşımla en uygun tesis yeri seçiminin yapılması amaçlanmaktadır. GAMS yazılımının CPLEX çözücüsü ile optimal çözüme ulaşılması amaçlanmıştır.

#### IV. PROBLEM TANIMI VE UYGULAMA

Konya, Türkiye'nin en geniş yüzölçümüne sahip ili olup (38.873 km<sup>2</sup>), ülkenin en kalabalık altıncı şehridir [35]. Bu çalışmada, bir gıda işletmesinin satış merkezlerinin (satış bayilerinin) konumlarının uygun biçimde belirlenmesi amaçlanmaktadır. Buna göre, nüfus yoğunluğu en yüksek olan Selçuklu merkez ilçesi üzerinde satış merkezlerinin değerlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Şekil 1'de Konya'nın Türkiye

haritasındaki konumu ve ele alınan Selçuklu ilçesinin Selçuklu ilçesinin kapsadığı mahalleler detaylı biçimde gösterilmiştir.

Çalışmada öncelikle 72 mahalleden oluşan Selçuklu ilçesinin her bir mahallesi için nüfus bilgisine ulaşılmış buna göre talep yoğunluklarına ulaşılmıştır. İşletmeyle olan görüşmelerde satış merkezlerinin genel olarak nüfusun yoğunlukta olduğu hareketli bölgelerde kurulmaya çalışıldığı bilgisi alınmıştır. Bu bilgiden hareketle nüfusun daha az olduğu noktalar göz ardı edilerek en önemli ihtiyaç noktaları ortaya konulmuştur. Çalışmada mahallerin nüfus oranı dikkate alınarak sıralandığında % 1,25 ve üzerindeki mahaller yer seçiminde kullanılmıştır.

Buna göre çalışmada üç aşamalı bir yaklaşım izlenmiştir. Şekil 3'te problemde kullanılan çözüm yaklaşımı ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Öncelikle problem küme kapsama problemi olarak ele alınmış, mahallerin komşuluk yapısı değerlendirilerek kaç adet bayinin kurulması gerektiği araştırılmıştır. Küme kapsama problemi ile kaç adet bayinin açılması gerektiğine karar verildikten sonra, problem bir p-medyan problemi olarak değerlendirilmiş ve nüfus bilgisi ağırlık olarak (ağırlıklı ortalama şeklinde) yansıtılarak model çözülmüştür.

Mesafe hesaplamalarında mahalle muhtarlıkları merkez kabul edilerek hizmet noktaları (satış merkezleri-bayi) ve talep noktaları arasındaki mesafeler Öklid uzaklığı kullanılarak hesaplanmıştır. Gerekli mesafe bilgileri Google Maps (<https://www.google.com.tr/maps>) ve Selçuklu Belediyesi Netgis (<https://keos.selcuklu.bel.tr/HARITA/>) hizmet haritası aracılığıyla temin edilmiştir.

Oluşturulan matematiksel modeller GAMS 23.5 paket programı kullanılarak çözülmüş, elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde detaylıca paylaşılmıştır.

Tablo 1'de kurulması beklenen mahalleler ve ilgili komşuluklar yer almaktadır. Buna göre problem *küme kapsama* analizi ile değerlendirildiğinde, sekiz adet tesisin kurulması yeterli görünmektedir. Ardından *p-medyan* yaklaşımıyla modelin ikinci aşamasına geçildiğinde Tablo 2'de kurulacak tesis yerleri ve buna göre hizmet alacak talep noktaları bulunmaktadır. Toplam otuz üç adet hizmet noktası sekiz adet bölgeden hizmet almaktadır. Bu sayı değiştirildiğinde ortaya çıkan senaryolar izleyen tablolarda sunulmaktadır. Genel olarak açılacak tesis

Konya ilindeki yeri paylaşılmış ayrıca Şekil 2'de sayısı arttığında maliyet-amaç fonksiyonun düştüğü gözlenmiştir.

$$\min Z_1 = \sum_{j=1}^n x_j \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \geq 1 \quad \forall_i i = 1, \dots, 33 \quad (12)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, 33 \quad (13)$$

İlk modelden Eşitlik 11- Eşitlik 13 formülasyonuna göre elde edilen toplam tesis sayısı sekiz olarak bulunmuş ve ikinci modelde  $p=8$  olarak (Eşitlik 17) alınmıştır. P-medyan problemindeki amaç fonksiyonu talep-nüfus ağırlıklı mesafenin en küçüklenmesine (Eşitlik 14) dayanmaktadır. Çalışmada oluşturulan modeller Eşitlik 14-18 formülleri kullanılarak çözülmüş ve ilgili mahalle nüfusları normalize edilerek ağırlıklandırılmıştır. Talep ağırlıkları Tablo 2'de ve mahallelerin birbirine olan uzaklığı Tablo 3'te sunulmuştur.

$$\min Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij} \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall_i i = 1, \dots, 33 \quad (15)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall_{i,j} \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = 8 \quad (17)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (18)$$

Üçüncü modelde ise, kısıtlı sayıdaki tesis ile en çok hizmet noktasına erişimin/ulaşımın sağlanması yani kapsanacak bölgelerin en büyüklenmesi amaçlanmıştır (Eşitlik 19). Modelde talep noktalarının tamamının kapsanması yerine belirli sayıdaki hizmet verecek tesisle ( $p$ ) en fazla talep noktasına (Eşitlik 20 ve Eşitlik 21 kullanılarak) hizmet verilmesi amaçlanmaktadır. Eşitlik 22-23, 0-1 tamsayı değişkenleri göstermektedir.

$$\max Z_3 = \sum_{j \in J} a_i d_j Y_j \quad (19)$$

$$Y_j \leq \sum_{i \in I} x_i \quad \forall_j \in J \quad (20)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \leq P \quad (21)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall_i \in I \quad (22)$$

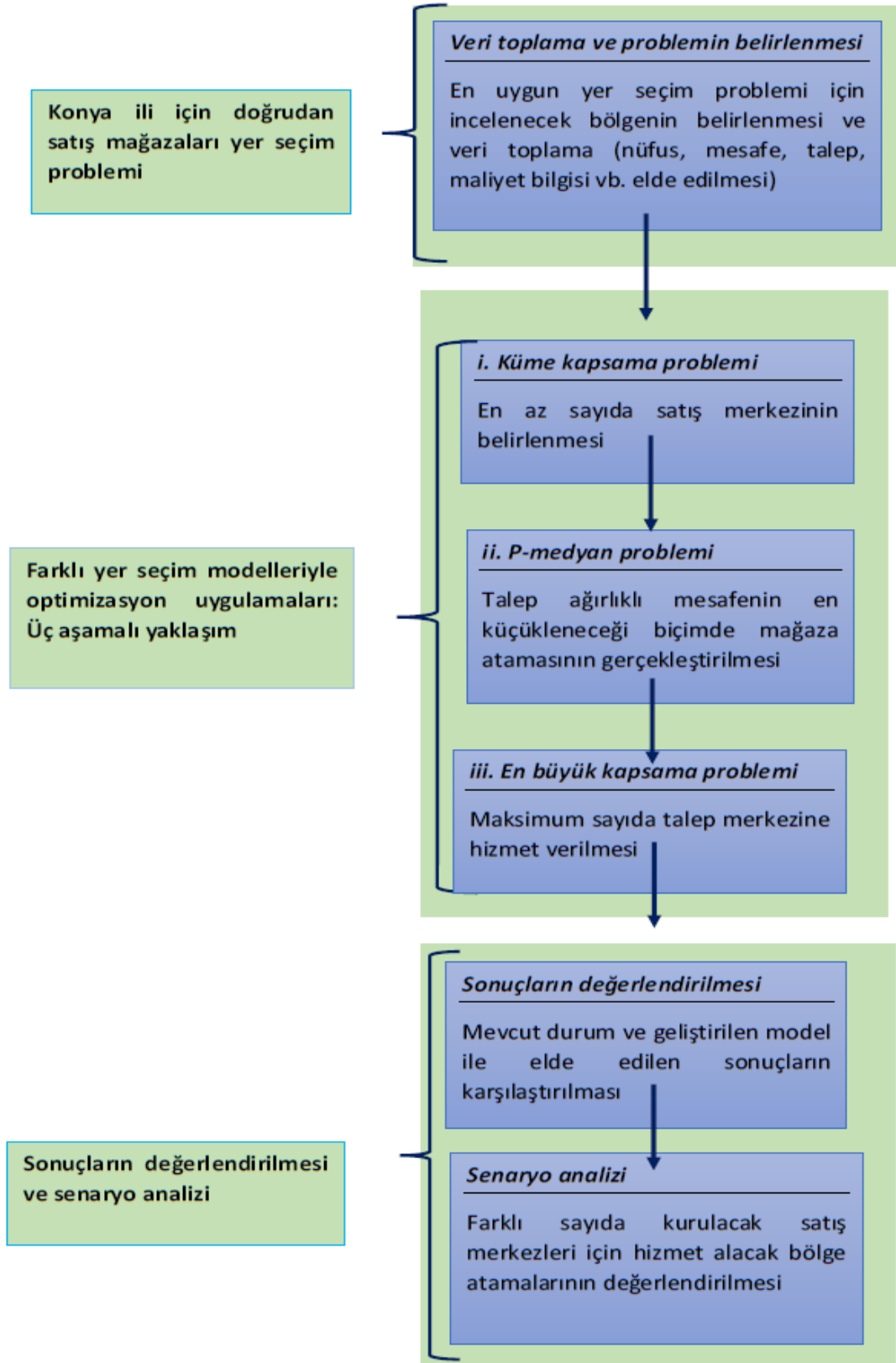
$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall_j \in J \quad (23)$$



Şekil 1. Konya ili ve Selçuklu merkez ilçe konumu



Şekil 2. Selçuklu ilçesi ve kapsanan mahalleler



Şekil 3. Önerilen model aşamaları

**Tablo 1.** Kapsanan komşuluklar

| Sıra | Mahalle                     | Komşuları      |                   |                   |                   |                   |             |        |
|------|-----------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|--------|
| 1    | Yazır Mahallesi             | Şeyh Şamil     | Binkonutlar       | Parsana           | Selahaddin Eyyubi | Beyhekim          | Kosova      | Sancak |
| 2    | Bosna Hersek Mahallesi      | Kosova         |                   |                   |                   |                   |             |        |
| 3    | Sancak Mahallesi            | Kosova         | Yazır             |                   |                   |                   |             |        |
| 4    | Kosova Mahallesi            | Sancak         | Yazır             | Beyhekim          | Bosnahersek       |                   |             |        |
| 5    | Mehmet Akif Mahallesi       | Akıncılar      | Bedir             | Işıklar           | Erenköy           | Hüsamettin Çelebi |             |        |
| 6    | Beyhekim Mahallesi          | Yazır          | Selahaddin Eyyubi | Kosova            |                   |                   |             |        |
| 7    | Akşemsettin Mahallesi       | Şeker          | Hocacihan         | Hanaybaşı         | Esenler           | Erenköy           |             |        |
| 8    | Kılıçarslan Mahallesi       | Hacıkaymak     | Şeker             | Esenler           | Işıklar           |                   |             |        |
| 9    | Işıklar Mahallesi           | Feritpaşa      | Hacıkaymak        | Kılıçarslan       | Akıncılar         | Mehmet Akif       | Fatih       |        |
| 10   | Buhara Mahallesi            | Dumlupınar     | Malazgirt         | Parsana           | Şeyh Şamil        | Hüsamettin Çelebi |             |        |
| 11   | Parsana Mahallesi           | Buhara         | Yazır             | Selahaddin Eyyubi | Şeyh Şamil        |                   |             |        |
| 12   | Hüsamettin Çelebi Mahallesi | Aydınlık Evler | Bedir             | Mehmet Akif       | Buhara            | Sakarya           | Dumlupınar  |        |
| 13   | Binkonutlar Mahallesi       | Cumhuriyet     | Şeyh Şamil        | Yazır             |                   |                   |             |        |
| 14   | Şeyh Şamil Mahallesi        | Malazgirt      | Binkonutlar       | Buhara            | Parsana           | Yazır             |             |        |
| 15   | Hanaybaşı Mahallesi         | Hocacihan      | Akşemsettin       | Erenköy           |                   |                   |             |        |
| 16   | Selahaddin Eyyubi Mahallesi | Parsana        | Beyhekim          | Yazır             |                   |                   |             |        |
| 17   | Şeker Mahallesi             | Selçuk         | Nişantaş          | İhsaniye          | Hacıkaymak        | Kılıçarslan       | Akşemsettin |        |
| 18   | Hocacihan Mahallesi         | Selçuk         | Akşemsettin       | Hanaybaşı         |                   |                   |             |        |
| 19   | Feritpaşa Mahallesi         | Işıklar        | Nişantaş          |                   |                   |                   |             |        |
| 20   | Sakarya Mahallesi           | Aydınlık Evler | Hüsamettin Çelebi | Dumlupınar        |                   |                   |             |        |
| 21   | Malazgirt Mahallesi         | Cumhuriyet     | Dumlupınar        | Buhara            | Şeyh Şamil        |                   |             |        |
| 22   | Dumlupınar Mahallesi        | Sakarya        | Hüsamettin Çelebi | Buhara            | Malazgirt         | Cumhuriyet        |             |        |
| 23   | Bedir Mahallesi             | Fatih          | Hüsamettin Çelebi | Mehmet Akif       | Aydınlık Evler    |                   |             |        |
| 24   | Aydınlık Evler Mahallesi    | Bedir          | Fatih             | Hüsamettin Çelebi | Sakarya           |                   |             |        |
| 25   | Erenköy Mahallesi           | Akşemsettin    | Hanaybaşı         | Akıncılar         | Mehmet Akif       |                   |             |        |
| 26   | Esenler Mahallesi           | Kılıçarslan    | Akıncılar         | Akşemsettin       |                   |                   |             |        |
| 27   | Nişantaş Mahallesi          | Feritpaşa      | Hacıkaymak        | Şeker             | İhsaniye          |                   |             |        |
| 28   | Hacıkaymak Mahallesi        | Nişantaş       | Şeker             | Kılıçarslan       | Işıklar           |                   |             |        |
| 29   | Akıncılar Mahallesi         | Işıklar        | Esenler           | Erenköy           | Mehmet Akif       |                   |             |        |
| 30   | Fatih Mahallesi             | Işıklar        | Bedir             | Aydınlık Evler    |                   |                   |             |        |
| 31   | Cumhuriyet Mahallesi        | Dumlupınar     | Binkonutlar       | Malazgirt         |                   |                   |             |        |
| 32   | İhsaniye Mahallesi          | Nişantaş       | Şeker             |                   |                   |                   |             |        |
| 33   | Selçuk Mahallesi            | Şeker          | Hocacihan         |                   |                   |                   |             |        |

**Tablo 2. Mahallerin talep ağırlıkları(%)**

| Mahalle | Talep ağırlıkları | Mahalle | Talep ağırlıkları |
|---------|-------------------|---------|-------------------|
| M1      | 0.1033            | M18     | 0.024             |
| M2      | 0.0632            | M19     | 0.0236            |
| M3      | 0.0577            | M20     | 0.0236            |
| M4      | 0.0515            | M21     | 0.0232            |
| M5      | 0.0462            | M22     | 0.0214            |
| M6      | 0.0433            | M23     | 0.0211            |
| M7      | 0.0376            | M24     | 0.0205            |
| M8      | 0.0336            | M25     | 0.0202            |
| M9      | 0.0316            | M26     | 0.0197            |
| M10     | 0.0305            | M27     | 0.0193            |
| M11     | 0.0296            | M28     | 0.0169            |
| M12     | 0.0289            | M29     | 0.0161            |
| M13     | 0.0288            | M30     | 0.0159            |
| M14     | 0.0287            | M31     | 0.0152            |
| M15     | 0.0271            | M32     | 0.0144            |
| M16     | 0.0256            | M33     | 0.0126            |
| M17     | 0.025             |         |                   |

**Tablo 3. Mahalleler arası mesafe matrisi (km)**

| M1  | M2   | M3   | M4   | M5    | M6    | M7    | M8    | M9    | M10  | M11   | M12   | M13   | M14   | M15   | M16   | M17   | M18   | M19   | M20   | M21  | M22   | M23   | M24   | M25   | M26   | M27   | M28   | M29   | M30  | M31  | M32   | M33   |       |  |
|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|--|
| M1  | 0    | 5.79 | 1.37 | 3.68  | 6.2   | 3.41  | 4.88  | 8.03  | 7.57 | 2.63  | 2.37  | 5.33  | 1.59  | 1.73  | 7.79  | 9.2   | 9.97  | 8.63  | 4.57  | 3.33 | 3.65  | 6.22  | 7.75  | 7     | 7.38  | 8.78  | 8.92  | 7.43  | 6.84 | 4.12 | 9.67  | 9.36  | 9.45  |  |
| M2  | 5.79 | 0    | 5.32 | 11.85 | 4.05  | 10.65 | 13.75 | 13.35 | 8.2  | 7.61  | 11.26 | 7.37  | 7.33  | 12.94 | 8.29  | 14.89 | 15.76 | 14.21 | 10.33 | 9.15 | 9.42  | 11.95 | 13.56 | 12.79 | 12.99 | 14.51 | 14.97 | 13.18 | 12.5 | 9.71 | 15.5  | 15.12 | 15.18 |  |
| M3  | 1.37 | 5.32 | 0    | 2.19  | 4.12  | 5.73  | 8.93  | 8.37  | 3.69 | 3.75  | 5.98  | 2.42  | 2.86  | 8.77  | 8.26  | 10.08 | 11    | 8.06  | 5.15  | 4.01 | 4.23  | 6.85  | 8.16  | 8.09  | 8.24  | 9.05  | 9.38  | 8.23  | 7.41 | 4.61 | 10.3  | 10.09 | 10.07 |  |
| M4  |      |      | 0    | 8.89  | 2.88  | 7.48  | 10.74 | 10.35 | 5.22 | 4.71  | 7.95  | 4.14  | 4.33  | 10.21 | 6.5   | 11.85 | 12.54 | 10.96 | 7.11  | 5.9  | 6.22  | 8.7   | 10.31 | 9.76  | 9.98  | 11.27 | 11.45 | 10.07 | 9.35 | 6.67 | 12.22 | 11.93 |       |  |
| M5  |      |      | 0    | 8.9   | 1.32  | 1.98  | 1.87  | 3.67  | 4.63 | 1.33  | 4.67  | 4.54  | 2.16  | 5.43  | 2.99  | 4     | 3.35  | 2.38  | 3.04  | 3.04 | 3.04  | 1.34  | 2.75  | 1.37  | 1.17  | 1.36  | 3.02  | 1.3   | 1.65 | 2.77 | 3.94  | 3.27  |       |  |
| M6  |      |      | 0    |       | 11    | 10.5  | 10.39 | 5.15  | 4.05 | 8.14  | 4.72  | 9.43  | 9.53  | 4.67  | 11.49 | 11.84 | 11.56 | 7.58  | 6.32  | 6.77 | 9.08  | 10.67 | 7.55  | 9.8   | 11.73 | 11.62 | 9.66  | 9.58  | 7.22 | 12.3 | 11.92 |       |       |  |
| M7  |      |      | 0    | 1.53  | 2.06  | 5.78  | 6.51  | 3.5   | 6.85 | 6.87  | 1.39  | 3.35  | 1.27  | 1.82  | 3.37  | 4.53  | 5.3   | 5.25  | 3.04  | 3.38 | 1.45  | 1.28  | 2.85  | 2.3   | 1.4   | 2.93  | 5     | 3.14  | 2.01 |      |       |       |       |  |
| M8  |      |      | 0    | 0.588 | 5.6   | 6.58  | 2.81  | 6.48  | 6.14 | 2.66  | 1.87  | 1.29  | 3.08  | 1.87  | 3.74  | 4.78  | 4.62  | 2.04  | 1.85  | 2.22 | 0.935 | 1.44  | 1.06  | 0.726 | 1.65  | 4.21  | 1.98  | 1.28  |      |      |       |       |       |  |
| M9  |      |      | 0    | 5.28  | 6.35  | 2.44  | 6.12  | 5.83  | 3.01 | 1.32  | 1.88  | 3.68  | 1.56  | 3.27  | 4.42  | 4.17  | 1.56  | 1.3   | 2.46  | 1.1  | 1.32  | 1.19  | 0.87  | 1.11  | 3.74  | 2.08  | 1.85  |       |      |      |       |       |       |  |
| M10 |      |      | 0    | 1.31  | 2.97  | 1.29  | 0.794 | 5.05  | 5.6  | 6.62  | 7.32  | 6.45  | 2.58  | 1.32  | 1.84  | 3.94  | 5.64  | 4.43  | 4.8   | 6.53 | 6.47  | 4.91  | 4.48  | 2.19  | 7.27  | 6.93  |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M11 |      |      | 0    | 4.14  | 1.89  | 1.53  | 5.57  | 6.78  | 7.54 | 8.04  | 7.61  | 3.89  | 2.63  | 3.14  | 5.1   | 6.81  | 5.11  | 5.75  | 7.6   | 7.61 | 5.88  | 5.66  | 3.48  | 8.42  | 7.85  |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M12 |      |      | 0    | 3.7   | 3.41  | 3.46  | 5.59  | 4.02  | 5.3  | 3.46  | 1.05  | 2     | 1.79  | 0.96  | 2.67  | 2.66  | 2.28  | 3.58  | 3.64  | 2.28 | 1.52  | 1.48  | 4.42  | 4.09  |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M13 |      |      | 0    | 0.509 | 6.27  | 6.21  | 7.61  | 8.54  | 7.04 | 3.02  | 1.71  | 2.08  | 4.66  | 6.15  | 5.61  | 5.85  | 7.22  | 7.34  | 5.82  | 5.12 | 2.48  | 8.1   | 7.77  |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M14 |      |      | 0    | 5.82  | 6     | 7.3   | 8.06  | 6.78  | 2.79 | 1.51  | 1.95  | 4.36  | 5.92  | 5.15  | 5.45  | 6.95  | 7.01  | 5.53  | 4.92  | 2.33 | 7.85  | 7.42  |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M15 |      |      | 0    | 4.3   | 2.67  | 2.41  | 4.51  | 4.48  | 4.91 | 4.98  | 3.4   | 3.71  | 0.795 | 1.94  | 4.08  | 3.64  | 2.15  | 3.5   | 4.78  | 4.46 | 3.4   |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M16 |      |      | 0    | 2.93  | 4.94  | 0.858 | 3.14  | 4.5   | 4.09 | 1.76  | 8.18  | 3.69  | 2.38  | 1.27  | 1.68  | 2.14  | 1.2   | 3.72  | 2.09  | 2.43 |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M17 |      |      | 0    | 2.04  | 2.62  | 5     | 5.97  | 5.82  | 3.32 | 2.96  | 2.65  | 1.82  | 2     | 1.42  | 1.78  | 2.96  | 5.48  | 2     | 0.835 |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M18 |      |      | 0    | 4.66  | 6.35  | 7.05  | 7.12  | 4.87  | 4.92 | 2.93  | 3.09  | 4.04  | 3.45  | 3.19  | 4.69  | 6.78  | 3.94  | 2.81  |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M19 |      |      | 0    | 4.02  | 5.35  | 4.94  | 2.51  | 0.873 | 4.05 | 2.66  | 0.753 | 1.24  | 2.43  | 1.94  | 4.58  | 1.31  | 1.95  |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M20 |      |      | 0    | 1.34  | 0.935 | 1.72  | 3.19  | 3.69  | 3.29 | 4.25  | 4.4   | 3.26  | 2.21  | 0.542 | 5.12  | 7.7   |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M21 |      |      | 0    | 0.514 | 2.92  | 4.48  | 4.16  | 4.19  | 5.51 | 5.63  | 4.25  | 3.46  | 0.866 | 6.42  | 6.04  |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M22 |      |      | 0    | 2.59  | 4.1   | 4.22  | 4.04  | 5.15  | 5.29 | 4.07  | 3.14  | 0.408 | 6.04  | 5.84  |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M23 |      |      | 0    | 1.74  | 2.65  | 1.77  | 2.62  | 2.69  | 1.67 | 0.572 | 2.24  | 3.48  | 3.23  |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M24 |      |      | 0    | 3.7   | 2.36  | 1.27  | 1.7   | 2.16  | 1.2  | 3.68  | 2.11  | 2.43  |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M25 |      |      | 0    | 1.36  | 3.65  | 3.25  | 1.6   | 2.78  | 4.02 | 4.17  | 3.21  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M26 |      |      | 0    | 2.3   | 1.96  | 0.228 | 1.66  | 3.78  | 2.92 | 2.12  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M27 |      |      | 0    | 0.6   | 2.09  | 2.06  | 4.76  | 0.879 | 1.31 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M28 |      |      | 0    | 1.79  | 2.19  | 4.94  | 0.925 | 0.734 |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M29 |      |      | 0    | 151   | 3.75  | 2.71  | 1.97  |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M30 |      |      | 0    | 2.76  | 2.93  | 2.77  |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M31 |      |      | 0    | 5.67  | 5.49  |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M32 |      |      | 0    | 1.16  |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |
| M33 |      |      | 0    |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |  |



## V. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, öncelikle küme kapsama modelinden hareketle ideal tesis sayısı 8 olarak bulunup ardından ikinci modelde (p-medyan modeli) 8 tesise atanacak 33 bölgenin değerlendirilmesi Tablo 4'te sunulmaktadır. Üçüncü model olan en büyük kapsama modeline göre Tablo 5'te sunulduğu gibi 7 satış merkezi için atamalar yapılmaktadır. Diğer durumların detaylı biçimde değerlendirilebilmesi için farklı sayıda satış merkezi kurulması durumunda ortaya çıkacak ideal atamalar duyarlılık analizi çalışmaları ile gösterilmektedir.

8 satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 4'te gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 8 satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 1,1274 olarak elde edilmiştir. Analiz sonuçları daha detaylı değerlendirildiğinde, Yazır Mahallesi kurulacak satış merkezinden, Yazır (Y1) ve Sancak (Y3) bölgeleri hizmet almaktadır. Bosna-Hersek Mahallesi (Y2) kurulacak satış merkezinden, yine Bosna- Hersek bölgesi hizmet almaktadır. Kosova Mahallesi (Y4) kurulduğunda, Kosova Mahallesi hizmet almaktadır, satış merkezi Akşemsettin Mahallesi (Y7) kurulduğunda, Akşemsettin (Y7), Mehmet Akif (Y5), Hanaybaşı (Y15), Şeker (Y17), Hocacihan (Y18) ve Erenköy (Y25) Mahalleleri hizmet almaktadır. Işıklar Mahallesi kurulacak satış merkezinden (Y9), yine Işıklar Mahallesi (Y9), Kılıçarslan (Y8), Selahaddin Eyyubi (Y16), Feritpaşa (Y19), Bedir (Y23), Aydınlikevler (Y24), Hacıkaymak (Y26), Esenler (Y27), Nişantaşı (Y28), Akıncılar (Y29), Fatih (Y30), İhsaniye (Y32) ve Selçuk Mahalleleri (Y33) hizmet almaktadır. Şeyh Şamil (Y14) Mahallesi tesis kurulduğunda, Şeyh Şamil (Y14), Buhara (Y10), Parsana (Y11), Binkonutlar (Y13) Mahalleleri hizmet almaktadır. Satış merkezi, Cumhuriyet Mahallesi (Y31) kurulduğunda, Cumhuriyet (Y31), Hüsametdin Çelebi (Y12), Sakarya (Y20), Malazgirt (Y21), Dumlupınar Mahalleleri (Y22) hizmet almaktadır.

En büyük kapsama modeli sonuçlarına göre, en fazla sekiz adet tesis kısıtı konulduğunda bunlardan yedi tanesine (6, 9, 11, 22, 29, 30, 31) tesis kurulabilmektedir. Elde edilen amaç fonksiyonu değeri 0,999'dur. 33 hizmet noktasının ilgili 7 satış mağazasının talep yoğunluklarına göre atama tablosu Tablo 5'te sunulmaktadır. Analiz sonuçları daha detaylı değerlendirildiğinde, Beyhekim Mahallesi (Y6) kurulacak satış merkezinden, Yazır (Y1), Parsana (Y11), Hanaybaşı (Y15), Sakarya (Y20) ve Selçuk Mahalleleri (Y33) hizmet almaktadır. Işıklar Mahallesi (Y9) kurulacak satış merkezinden, Şeker (Y17) ve Hacıkaymak (Y28) Mahalleleri hizmet almaktadır. Parsana Mahallesi (Y11) kurulacak satış merkezinden, Mehmet Akif (Y5) ve Cumhuriyet

(Y31) Mahalleleri hizmet almaktadır. Dumlupınar Mahallesi (Y22) kurulacak satış merkezinden, Hüsametdin Çelebi (Y12), Binkonutlar (Y13), Hocacihan (Y18), Malazgirt (Y21) Mahalleleri hizmet almaktadır. Akıncılar (Y29) Mahallesi kurulacak satış merkezinden, Akıncılar (Y29), Işıklar (Y9), Dumlupınar (Y22), Esenler (Y26) Mahalleleri hizmet almaktadır. Fatih Mahallesi (Y30) kurulacak satış merkezinden, Sancak (Y3), Akşemsettin (Y7), Aydınlikevler (Y24) ve İhsaniye (Y32) Mahalleleri hizmet almaktadır. Cumhuriyet Mahallesi (Y31) kurulacak satış merkezinden, Bosna Hersek (Y2), Kosova (Y4), Beyhekim (Y6), Kılıçarslan (Y8), Buhara (Y10), Şeyh Şamil (Y14), Selahaddin Eyyubi (Y16), Feritpaşa (Y19), Bedir (Y23), Erenköy (Y25), Nişantaşı (Y27) ve Fatih (Y30) Mahalleleri hizmet almaktadır.

İki model karşılaştırıldığında hem amaç fonksiyonu değerleri hem de kurulan satış merkezlerinin kapsadığı mahallelerdeki farklılıklar Tablo 4 ve Tablo 5'te görülmektedir. İlk model satış merkezleri ve hizmet noktaları arasındaki mesafeye dayandığı için elde edilen amaç fonksiyonu bunu sağlayacak biçimde elde edilmektedir. Yani 8 satış merkezi kurulduğunda, en yakın mesafe ölçütüne göre (maliyetin en küçüklenmesi) kurulan satış merkezinden hizmet alacak mahallelere karar verilmektedir. En büyük kapsama modelinde ise, 7 satış merkezinden hizmet alacak merkez sayısını en büyüleyecek biçimde bir atama modeli oluşturulmaktadır. Modellerin çalışma prensiplerindeki farklılığa bağlı olarak ortaya çıkan durumlardaki farklılıklar paylaşılmıştır. İşletme, içinde bulunduğu koşullara göre bu iki modele bakarak, ilkinde mesafeye minimizasyonu (maliyet min.) ikincisinde kapsanan bölgenin en büyüklenmesi olacağı için, yatırım politikalarına en uygun olacak yer seçim modelini değerlendirebilir. Farklı modellerle en uygun yer seçimine karar verilmesi bu açıdan işletme yöneticilerine hem esneklik sağlamakta hem de karşılaştırma imkanı sunmaktadır. Bu biçimiyle aslında iki farklı amaca yönelik olarak geliştirilen yatırım planları ortaya konulmaktadır.

Bu kısımdan itibaren p-medyan modeli için senaryo analizleri (farklı sayıda satış merkezleri kurulması durumunda ortaya çıkacak atama tabloları) paylaşılmaktadır. Beş adet satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 6'da gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 5 satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 1,532 olarak elde edilmiştir.

6 satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 7'de gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 6 satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 1,4615 olarak elde edilmiştir.

7 satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 8'de gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 7 satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 1,2056 olarak elde edilmiştir.

9 satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 9'da gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 9 satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 1,0594 olarak elde edilmiştir.

10 satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 10'da gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 10

satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 1,0154 olarak elde edilmiştir.

11 satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 11'de gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 11 satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 0,9874 olarak elde edilmiştir.

12 satış merkezi kurulduğunda, yakınlık mesafesine göre ilgili merkezlerden hizmet alacak bölgeler Tablo 12'de gösterilmiştir. 33 hizmet noktasının, ilgili 12 satış mağazasına yakınlıklarına göre atama tablosu yer almaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu değeri 0,9594 olarak elde edilmiştir.

**Tablo 4.** 8 satış merkezi için p-medyan modeli analiz sonucu

| Analiz sonucu        | Y   | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Amaç Fonksiyonu |        |
|----------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|--------|
| 8 satış merkezi için | Y1  | 1  | 3  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 | 1,1274 |
|                      | Y2  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y4  | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y6  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y7  | 5  | 7  | 15 | 17 | 18 | 25 |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y9  | 8  | 9  | 16 | 19 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 | 33              |        |
|                      | Y14 | 10 | 11 | 13 | 14 |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y31 | 12 | 20 | 21 | 22 | 31 |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |

**Tablo 5.** 7 satış merkezi için en büyük kapsama modeli sonucu

| Analiz sonucu        | Y   | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Amaç Fonksiyonu |
|----------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|
| 7 satış merkezi için | Y6  | 1  | 11 | 15 | 20 | 33 |    |    |    |    |    |    |    | 0,999           |
|                      | Y9  | 17 | 28 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y11 | 5  | 31 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y22 | 12 | 13 | 18 | 21 |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y29 | 9  | 22 | 26 | 29 |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y30 | 3  | 7  | 24 | 32 |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y31 | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 14 | 16 | 19 | 23 | 25 | 27 | 30 |                 |

**Tablo 6.** 5 satış merkezi için analiz sonucu

| Analiz sonucu        | Y   | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Amaç Fonksiyonu |    |
|----------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|----|
| 5 satış merkezi için | Y1  | 1  | 3  | 4  | 6  | 11 | 13 |    |    |    |    |    |    | 1,5318          |    |
|                      | Y2  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |    |
|                      | Y7  | 5  | 7  | 15 | 17 | 18 | 25 |    |    |    |    |    |    |                 |    |
|                      | Y8  | 8  | 9  | 16 | 19 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 |                 | 33 |
|                      | Y21 | 10 | 12 | 14 | 20 | 21 | 22 | 31 |    |    |    |    |    |                 |    |

**Tablo 7.** 6 satış merkezi için analiz sonucu

| Analiz sonucu        | Y   | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Amaç Fonksiyonu |        |
|----------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|--------|
| 6 satış merkezi için | Y1  | 1  | 3  | 4  | 6  | 11 | 13 | 14 |    |    |    |    |    |    |                 | 1,4615 |
|                      | Y2  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y7  | 5  | 7  | 15 | 17 | 18 | 25 |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y9  | 8  | 9  | 16 | 19 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 | 33 |                 |        |
|                      | Y22 | 10 | 21 | 31 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |
|                      | Y31 | 12 | 20 | 22 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |        |

**Tablo 8.** 7 satış merkezi için analiz sonucu

| Analiz sonucu        | Y   | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Amaç Fonksiyonu |
|----------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|
| 7 satış merkezi için | Y2  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 1,2056          |
|                      | Y3  | 1  | 3  | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y6  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y7  | 5  | 7  | 15 | 17 | 18 | 25 |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y9  | 8  | 9  | 16 | 19 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 | 33 |                 |
|                      | Y14 | 10 | 11 | 13 | 14 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |
|                      | Y31 | 12 | 20 | 21 | 22 | 31 |    |    |    |    |    |    |    |    |                 |

**Tablo 9.** 9 satış merkezi için analiz sonucu

| Analiz sonucu        | Y   | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  | Amaç Fonksiyonu |
|----------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|-----------------|
| 9 satış merkezi için | Y1  | 1  | 3  | 16 | 19 | 24 | 27 | 28 | 32 | 33 |  |  | 1,0594          |
|                      | Y2  | 2  |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |                 |
|                      | Y4  | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |                 |
|                      | Y6  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |                 |
|                      | Y7  | 7  | 15 | 17 | 18 | 25 |    |    |    |    |  |  |                 |
|                      | Y14 | 10 | 11 | 13 | 14 |    |    |    |    |    |  |  |                 |
|                      | Y27 | 16 | 19 | 24 | 27 | 28 | 32 | 33 |    |    |  |  |                 |
|                      | Y29 | 5  | 8  | 9  | 23 | 26 | 29 | 30 |    |    |  |  |                 |
| Y31                  | 12  | 20 | 21 | 22 | 31 |    |    |    |    |    |  |  |                 |

**Tablo 10.** 10 satış merkezi için analiz sonucu

| Analiz sonucu         | Y   | X  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  | Amaç Fonksiyonu |
|-----------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|-----------------|
| 10 satış merkezi için | Y1  | 1  | 3  |    |    |    |    |    |  |  |  |  | 1,0154          |
|                       | Y2  | 2  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |                 |
|                       | Y4  | 4  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |                 |
|                       | Y6  | 6  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |                 |
|                       | Y7  | 7  | 15 | 17 | 18 | 25 |    |    |  |  |  |  |                 |
|                       | Y14 | 10 | 11 | 13 | 14 |    |    |    |  |  |  |  |                 |
|                       | Y23 | 12 | 23 | 30 |    |    |    |    |  |  |  |  |                 |
|                       | Y27 | 16 | 19 | 24 | 27 | 28 | 32 | 33 |  |  |  |  |                 |
|                       | Y29 | 5  | 8  | 9  | 26 | 29 |    |    |  |  |  |  |                 |
|                       | Y31 | 20 | 21 | 22 | 31 |    |    |    |  |  |  |  |                 |

**Tablo 11.** 11 satış merkezi için analiz sonucu

| Analiz sonucu         | Y   | X  |    |    |    |    | Amaç Fonksiyonu |
|-----------------------|-----|----|----|----|----|----|-----------------|
| 11 satış merkezi için | Y1  | 1  | 3  |    |    |    | 0,9874          |
|                       | Y2  | 2  |    |    |    |    |                 |
|                       | Y4  | 4  |    |    |    |    |                 |
|                       | Y6  | 6  |    |    |    |    |                 |
|                       | Y7  | 7  | 15 | 17 | 18 | 25 |                 |
|                       | Y14 | 10 | 11 | 13 | 14 |    |                 |
|                       | Y19 | 16 | 24 | 27 |    |    |                 |
|                       | Y23 | 12 | 23 | 30 |    |    |                 |
|                       | Y27 | 19 | 28 | 32 | 33 |    |                 |
|                       | Y29 | 5  | 8  | 9  | 26 | 29 |                 |
|                       | Y31 | 20 | 21 | 22 | 31 |    |                 |

**Tablo 12.** 12 satış merkezi için analiz sonucu

| Analiz sonucu         | Y   | X  |    |    |    |    | Amaç Fonksiyonu |    |
|-----------------------|-----|----|----|----|----|----|-----------------|----|
| 12 satış merkezi için | Y1  | 1  | 3  |    |    |    | 0,9594          |    |
|                       | Y2  | 2  |    |    |    |    |                 |    |
|                       | Y4  | 4  |    |    |    |    |                 |    |
|                       | Y6  | 6  |    |    |    |    |                 |    |
|                       | Y14 | 10 | 11 | 13 | 14 |    |                 |    |
|                       | Y18 | 18 |    |    |    |    |                 |    |
|                       | Y19 | 16 | 19 | 24 | 27 |    |                 |    |
|                       | Y23 | 12 | 23 | 30 |    |    |                 |    |
|                       | Y25 | 15 | 25 |    |    |    |                 |    |
|                       | Y29 | 5  | 7  | 8  | 9  | 26 |                 | 29 |
|                       | Y31 | 20 | 21 | 22 | 31 |    |                 |    |
|                       | Y33 | 17 | 28 | 32 | 33 |    |                 |    |

## VI. SONUÇ VE GELECEK ARAŞTIRMALAR

İşletmeler, değişen rekabet koşullarında varlıklarını etkin biçimde sürdürebilmek için pazarlama faaliyetlerini doğru bir şekilde belirlemelidir. Bu durum tedarik zinciri faaliyetleri kapsamında dağıtım ve/veya lojistik merkezlerinin etkin biçimde belirlenmesi ile mümkündür. Tesis yerinin belirlenmesi, tüm tedarik zinciri faaliyet akışını etkileyeceği için stratejik bir aşama olarak gözükmektedir. Bu çalışmada hizmet noktalarının belirlenmesinde gözetilen esas yaklaşım, en az sayıda tesisin maksimum sayıda hizmet sahasına ulaştırılmasıdır. Çünkü kurulacak tesis yerinin belirlenmesinde, işletmenin değerlendirmesi gereken bütçe, tesis açma maliyeti, işçi kısıtı, alınacak izin ve anlaşmalar, aynı lokasyonda benzer hizmet merkezlerinin varlığının değerlendirilmesi ve bazı fizibilite hazırlıkları gibi faaliyetlerin tamamlanması beklenmektedir. Problem çok boyutlu ve kritik bir yapı sergilemektedir. Tesis yeri seçim problemi çok sayıda kriter, alternatif ve karar verici bileşenlerinden oluşan zaman zaman çok amaçlı yapı sergileyen karmaşık bir karar problemidir.

Bu çalışmada bir gıda işletmesine ait Konya ili içinde doğrudan satış merkezlerinin tesis yeri optimizasyonu farklı tesis yerleşim modelleriyle değerlendirilmektedir. Buna göre öncelikle küme kapsama modeliyle, aday

tesislerin komşulukları değerlendirilerek en az sayıda tesis belirlenmiştir. İlk modelden elde edilen bilgi ile de ikinci modelde p-medyan modeli geliştirilmiştir. Talep ağırlıklı mesafe minimizasyon modeli oluşturularak, kurulacak minimum tesis sayısı belli iken hangi bölgelerde yer alması gerektiği bulunmuştur. Bu sayede maliyet azaltılırken etkin hizmet seviyesinin sağlanması beklenmektedir. Üçüncü model olan en büyük kapsama probleminde, tesis sayısı ayarlanarak kapsanan talep sayısının en büyüklmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında literatürdeki farklı yer seçim modelleri için analizler gerçekleştirilerek işletme için en ideal model belirlenmiştir. Bu şekilde en büyük kapsama modelinde amaç kapsanan talep sayısının en büyüklmesi iken p-medyan modelinde amaç  $p$  adet hizmet noktası için hizmet noktası ile talep noktaları arasındaki toplam maliyetin en küçüklenmesidir. Ortaya çıkan model sonuçları işletme yöneticileri tarafından incelenerek, amaçlarına en uygun seçenek/seçenekler çok boyutlu biçimde değerlendirilebilmektedir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, öncelikle küme kapsama modeli ile ideal tesis sayısı 8 olarak bulunup ardından ikinci model olan p-medyan modeli için sekiz tesise atanacak otuz üç bölgenin değerlendirilmesi sunulmaktadır. Ardından, farklı sayıda kurulabilecek satış merkezi için ideal atamaların yer aldığı senaryo analizleri ile ortaya çıkan durumlar değerlendirilmiştir.

Gelecek araştırmalar için model biraz daha geliştirilerek tüm ilin ihtiyacını değerlendirecek bazı özel kısıtlar da eklenerek kapsamlı hale getirilebilir. Kar amaçlı yatırım yapan işletmeler için maliyet unsuru önemli bir faktör olduğu için sabit ve değişken maliyet kalemlerine ulaşılabiliyorsa gerçek değerleri modele eklenerek daha geniş çerçeveden incelemeler yapılabilir. Ayrıca talepteki belirsizliği dikkate alan bir stokastik yaklaşımla model revize edilebilir. Gelecek araştırmalar için geliştirilecek coğrafi bilgi sistemler tabanlı bir karar destek sistemi aracılığıyla mahalleler/bölgeler arası mesafe ölçümünün daha sistematik biçimde elde edilmesi beklenmektedir. Geliştirilen mevcut matematiksel modelin boyutu optimum çözümü elde etmek için yeterlidir ancak geliştirilecek modelin NP-zor yapı sergilemesi durumunda yer seçim problemlerinde başarılı sonuçlar sağlayan bazı meta sezgisel yaklaşımlarla (genetik algoritmalar, tabu arama, parçacık sürü optimizasyonu vb.) çözüm sunulması beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] J. C. Williams, "Optimal reserve site selection with distance requirements," *Comput. Oper. Res.*, vol. 35, no. 2, pp. 488–498, Feb. 2008, doi: 10.1016/J.COR.2006.03.012.
- [2] Z. G. Rahmat *et al.*, "Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran," *KSCE J. Civ. Eng. 2017 211*, vol. 21, no. 1, pp. 111–118, Jun. 2016, doi: 10.1007/S12205-016-0296-9.
- [3] A. Ahmadi-Javid, P. Seyedi, and S. S. Syam, "A survey of healthcare facility location," *Comput. Oper. Res.*, vol. 79, pp. 223–263, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.COR.2016.05.018.
- [4] A. Alhothali *et al.*, "Location-Allocation Model to Improve the Distribution of COVID-19 Vaccine Centers in Jeddah City, Saudi Arabia," *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2022, Vol. 19, Page 8755, vol. 19, no. 14, p. 8755, Jul. 2022, doi: 10.3390/IJERPH19148755.
- [5] Z. Namazian and E. Roghanian, "A decision problem for bank branch site selection: A GIS Mapping perspective with Maximal Covering Location Problem: A case study of Isfahan, Iran," *Int. J. Serv. Oper. Manag.*, vol. 39, no. 3, pp. 337–361, Aug. 2019, doi: 10.1504/IJSOM.2021.116106.
- [6] E. A. Adalı and A. Tuş, "Hospital site selection with distance-based multi-criteria decision-making methods," <https://doi.org/10.1080/20479700.2019.1674005>, vol. 14, no. 2, pp. 534–544, 2019, doi: 10.1080/20479700.2019.1674005.
- [7] H. Güden and H. Süral, "The dynamic p-median problem with mobile facilities," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 135, pp. 615–627, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.CIE.2019.06.024.
- [8] M. S. Daskin, "Network and discrete location : models, algorithms, and applications," p. 498, 1995.
- [9] D. R. Sule, "Logistics of Facility Location and Allocation," *Logist. Facil. Locat. Alloc.*, Mar. 2001, doi: 10.1201/9780203910405.
- [10] J. Current, M. Daskin, and D. Schilling, "Facility Location: Applications and Theory," in *Discrete Network Location Model*, Z. Drezner and H.W. Hamacher, Ed. 2001, pp. 83–120. Accessed: Mar. 03, 2022. [Online]. Available: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2455195/mod\\_resource/content/1/Daskin-discrete\\_location\\_models.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2455195/mod_resource/content/1/Daskin-discrete_location_models.pdf)
- [11] M. Basti, "P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları The P-median Facility Location Problem and Solution Approaches," *Online Acad. J. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 7, p. 7, 2012, doi: 10.5824/1309-1581.2012.2.004.x.
- [12] R. Church and C. ReVelle, "The maximal covering location problem," *Pap. Reg. Sci. Assoc. 1974 321*, vol. 32, no. 1, pp. 101–118, Dec. 1974, doi: 10.1007/BF01942293.
- [13] S. L. Hakimi, "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph," *Oper. Res.*, vol. 12, no. 3, pp. 450–459, Jun. 1964, doi: 10.1287/opre.12.3.450.
- [14] C. S. ReVelle and R. W. Swain, "Central Facilities Location," *Geogr. Anal.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–42, Jan. 1970, doi: 10.1111/J.1538-4632.1970.TB00142.X.
- [15] R. S. Garfinkel, A. W. Neebe, and M. R. Rao, "An Algorithm for the M-Median Plant Location Problem," <https://doi.org/10.1287/trsc.8.3.217>, vol. 8, no. 3, pp. 217–236, Aug. 1974, doi: 10.1287/TRSC.8.3.217.
- [16] P. Avella and A. Sassano, "On the p-Median polytope," *Math. Program. 2000 893*, vol. 89, no. 3, pp. 395–411, 2001, doi: 10.1007/PL00011405.
- [17] S. Elloumi, "A tighter formulation of the p-median problem," *J. Comb. Optim. 2008 191*, vol. 19, no. 1, pp. 69–83, May 2008, doi: 10.1007/S10878-008-9162-0.
- [18] S. García, M. Labbé, and A. Marín, "Solving Large p-Median Problems with a Radius Formulation," <https://doi.org/10.1287/ijoc.1100.0418>, vol. 23, no. 4, pp. 546–556, Dec. 2010, doi: 10.1287/IJOC.1100.0418.
- [19] K. E. Rosing, C. S. Revelle, and H. Rosing-Vogelaar, "The p-Median and its Linear Programming Relaxation: An Approach to Large Problems," <https://doi.org/10.1057/jors.1979.192>, vol. 30, no. 9, pp. 815–823, 2017, doi: 10.1057/jors.1979.192.

- 10.1057/JORS.1979.192.
- [20] O. Kariv and S. L. Hakimi, "ALGORITHM APPROACH TO NETWORK LOCATION PROBLEMS - 2. THE p-MEDIANS.," *SIAM J. Appl. Math.*, vol. 37, no. 3, pp. 539–560, 1979, doi: 10.1137/0137041.
- [21] R. A. Whitaker, "ERrata: A Fast Algorithm For The Greedy Interchange For Large-Scale Clustering And Median Location Problems," *INFOR Inf. Syst. Oper. Res.*, vol. 22, no. 1, pp. 70–71, Feb. 1984, doi: 10.1080/03155986.1984.11731914.
- [22] M. Hribar and M. S. Daskin, "A dynamic programming heuristic for the P-median problem," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 101, no. 3, pp. 499–508, Sep. 1997, doi: 10.1016/S0377-2217(96)00218-4.
- [23] J. E. Beasley, "Lagrangean heuristics for location problems," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 65, no. 3, pp. 383–399, Mar. 1993, doi: 10.1016/0377-2217(93)90118-7.
- [24] J. H. Kim and S. Soh, "Designing Hub-and-Spoke School Bus Transportation Network: A Case Study of Wonkwang University," *Promet - Traffic&Transportation*, vol. 24, no. 5, pp. 389–394, 2012, doi: 10.7307/PTT.V24I5.1174.
- [25] F. Ndiaye, B. M. Ndiaye, and I. Ly, "Application of the p-Median Problem in School Allocation," *Am. J. Oper. Res.*, vol. 2012, no. 02, pp. 253–259, Jun. 2012, doi: 10.4236/AJOR.2012.22030.
- [26] "Journal of Applied Operational Research: Volume 4, Number 1, 2012 - Google Kitaplar." [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=bOU\\_EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA37&dq=fo+ve+silva+mota+\(2012\)+p+median&ots=phFqbA\\_3Bu&sig=JyRB8ua1NVgxhfYRtDJqxdulL2U&redir\\_esc=y#v=onepage&q=fo+ve+silva+mota+\(2012\)+p+median&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=bOU_EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA37&dq=fo+ve+silva+mota+(2012)+p+median&ots=phFqbA_3Bu&sig=JyRB8ua1NVgxhfYRtDJqxdulL2U&redir_esc=y#v=onepage&q=fo+ve+silva+mota+(2012)+p+median&f=false) (accessed Mar. 04, 2022).
- [27] M. Goetzinger, T. Brandt, and D. Neumann, "Green Facility Location – A Case Study," *AMCIS 2012 Proc.*, Jul. 2012, Accessed: Mar. 04, 2022. [Online]. Available: <https://aisel.aisnet.org/amcis2012/proceedings/GreenIS/1>
- [28] C. Liu, Z. H. Chen, and Y. Y. Gong, "Site selection of emergency material warehouse under fuzzy environment," *J. Cent. South Univ. 2013 206*, vol. 20, no. 6, pp. 1610–1615, Jun. 2013, doi: 10.1007/S11771-013-1653-1.
- [29] M. Mohammadi, S. A. Torabi, and R. Tavakkoli-Moghaddam, "Sustainable hub location under mixed uncertainty," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 62, pp. 89–115, Feb. 2014, doi: 10.1016/J.TRE.2013.12.005.
- [30] S. Rath and W. J. Gutjahr, "A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief," *Comput. Oper. Res.*, vol. 42, pp. 25–39, Feb. 2014, doi: 10.1016/J.COR.2011.07.016.
- [31] İ. Akgün and H. Erdal, "Solving an ammunition distribution network design problem using multi-objective mathematical modeling, combined AHP-TOPSIS, and GIS," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 129, pp. 512–528, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.CIE.2019.02.004.
- [32] A. Panteli, B. Boutsinas, and I. Giannikos, "On solving the multiple p-median problem based on biclustering," *Oper. Res.*, vol. 21, no. 1, pp. 775–799, Mar. 2021, doi: 10.1007/S12351-019-00461-9/TABLES/3.
- [33] H. Güden, "New complexity results for the p-hub median problem," *Ann. Oper. Res.*, vol. 298, no. 1–2, pp. 229–247, Mar. 2021, doi: 10.1007/S10479-018-2824-0.
- [34] M. Zaferanieh, M. Abareishi, and J. Fathali, "The minimum information approach to the uncapacitated p-median facility location problem," <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1864595>, 2021, doi: 10.1080/19427867.2020.1864595.
- [35] TÜİK, "Türkiye İstatistik Kurumu," 2017. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (accessed Mar. 11, 2018).
- [36] Cayir Ervural, B., "Determination of Strategic Location of UAV Stations." In: Durakbasa, N.M., Gençyılmaz, M.G. (eds) Digitizing Production Systems. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2022, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90421-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90421-0_14)
- [37] Cayir Ervural, B. "An Integrated Hesitant Fuzzy Decision Model for Sustainable Wind Farm Site Selection: The Case Study in the Central Anatolian Region of Turkey." In: Ren, J. (eds) Energy Systems Evaluation (Volume 2). Green Energy and Technology. 2021, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67376-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67376-5_8)
- [38] Hribar, M. and Daskin, M.S. 'A dynamic programming heuristic for the P-median problem', *European Journal of Operational Research*, 101(3), pp. 499–508, 1997. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00218-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00218-4).

## Entegre Edilmiş Bulanık SWARA ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Spor Okulu Seçimi

### *Sports Club Selection with Fuzzy SWARA and Fuzzy TOPSIS Integrated Methods*

Eyüp Anıl DUMAN<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

#### Öz

Teknolojinin ilerlemesi ve şehirlerde azalan oyun alanları, evlerine kapanmış yeni bir neslin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum karşısında aileler çocuklarını evden çıkarabilmek için alternatif arayışlar içerisine girmişlerdir. 12 Dev Adam, Potanın Perileri ve Filenin Sultanları gibi akılda kalıcı sloganlarıyla basketbol ve voleybolda elde edilen milli takım zaferleri hem çocukları hem de velileri bu sporlara yöneltmiştir. Oluşan bu ilgi sonucunda basketbol ve voleybol eğitimi veren spor kulüplerinin sayısında önemli ölçüde artış olmuştur. Sadece İstanbul'da 200'ün üzerinde spor kulübü faaliyet göstermektedir. Bazı düzenlemeler yapılmış olmasına rağmen, ülkemizde bu kulüplerin kontrol edilmesi ve değerlendirilmesi için hala bir sistem bulunmamaktadır. Bunun sonucu olarak, verilen eğitimin kalitesi kulüpler arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Velilerin eğitim kalitesine ek olarak, ödenecek aylık ücret, spor okulunun konumu gibi diğer faktörleri de göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Tüm bu parametreler çocuklar için uygun spor kulübü seçimini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, velileri bu karar sürecinde desteklemek ve çocukları için doğru spor kulübü seçimlerine yardımcı olmaktır. Seçimde birden fazla faktörün etkili olması ve alternatif sayısının fazla olması nedeniyle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) stratejileri bu problemin çözümü için uygun görülmektedir. Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucu kulüp seçimi için önemli olduğu düşünülen dört kriter belirlenmiş olup bu kriterlerin göreceli önem ağırlıkları ÇKKV metotlarından bulanık SWARA (Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis) yöntemiyle hesaplanmıştır. Ardından bir diğer ÇKKV metodu olan Bulanık TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile de en uygun kulüp seçilmiştir. Bu çalışma sonucunda spor okulu seçimi yaparken bakılacak kriterler önem sırasına göre okulun kalitesi, okulun konumu, okulun aylık ücreti ve okulun bilinirliği olarak belirlenmiştir. Oluşturulan metodolojiye örnek olması ve uygulamanın daha iyi anlaşılması için beş alternatif için beş alternatif spor okulu tercihi olan bir vaka incelenmiş ve en uygun olan spor okulu önerisi yapılmıştır. Özellikle alternatif sayısının fazla olduğu durumlarda sezgisel yaklaşım yerine önerilen bilimsel yaklaşımın daha etkili olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Kriterli Karar Verme, SWARA, TOPSIS, Spor Okulu Seçimi, Voleybol, Basketbol

#### Abstract

The advancement of technology and the removal of playgrounds on cities have resulted in the emergence of a new generation confined to their homes. This condition forces families to look for other ways to get their children out of the house. The basketball and volleyball national teams' triumphs, together with their catchy slogans 12 Giant Men, Fairies of the Hoop, and Sultans of the Net, attract both children and parents to these sports. Under these conditions, the number of basketball and volleyball clubs grows significantly. Only in Istanbul are over 200 sports clubs operated. Although certain provisions have been made, our country still lacks a framework for monitoring and evaluating these groups. As a result of this, the educational quality varies considerably amongst clubs. Additionally, parents should consider other factors such as the club's monthly fees and location of club. All these parameters complicate the selection of suitable sports clubs for children. The purpose of this research is to support parents in making decisions. Multi criterion decision making strategies are found to be suited for this problem due to the influence of more than one factor on the selection. As a consequence of the expert interviews, four critical criteria for club selection were identified, and their relative importance weights were computed using the fuzzy SWARA approach, a type of multi-criteria decision making (MCDM) method. Then, using another MCDM technique, the Fuzzy TOPSIS, the most appropriate club was identified. Uncertainty in the values of criteria and in the language evaluation of criteria can result in ambiguity, which can be resolved using fuzzy numbers. The findings of this study led to the ranking of the variables that should be taken into account when selecting a sports school as follows: school quality, school location, monthly fee of the school, and awareness level of the school. The best of the five alternative sports schools was selected to serve as an example and to provide a better understanding of the technique used. It is believed that the proposed scientific technique will be more effective than the intuitive approach, particularly when there are a large number of alternatives.

**Keywords:** Multi Criteria Decision Making, SWARA, TOPSIS, Sports Club Selection, Volleyball, Basketball

## I. GİRİŞ

Günümüzde şehirleşmeyle birlikte sokak oyun alanları iyice azalmıştır. Çocukların sosyalleştiği, doğal oyun alanları olan sokaklar, araç yoğunluğunun artışı ve diğer dış etkenler yüzünden güvenirliliklerini de yitirmişlerdir [1]. Aileler çocuklarını rahat bir şekilde dışarı yollayamazken çocuklar da yaygınlaşan online oyunlar ve sosyal medya kullanımı ile dışarı çıkmak istemez olmuşlardır. Durum böyle olunca aileler çeşitli sebepler ile çocuklarını spor okullarına yollamayı, alternatif yol olarak belirlemişlerdir. Aileler sporun çocuklarına fiziksel ve fizyolojik yönden olumlu katkı sağlayacağını düşünmektedirler. Bununla birlikte çocuklarının, toplumsal değerleri öğrenmesinde, hoşlanılabilecek bir aktivite içerisinde kişiliklerini geliştirmesinde ve kilolarını kontrol etmelerinde sporun önemli bir rolü olduğuna inanmaktadırlar [2-4].

Milli düzeyde gelen başarılar ve 12 Dev Adam, Potanın Perileri, Filenin Sultanları sloganları ile yapılan reklamlar sayesinde ülkemizde futboldan sonra basketbol ve voleybol branşlarına olan ilgi oldukça artmıştır. Bu ilgi artışıyla birlikte spor okullarının sayısında da artış yaşanmıştır. 2019 yılı itibariyle Türkiye Basketbol Federasyonu sicil lisans verilerine bakıldığında sadece İstanbul'da 269 farklı basketbol kulübünün olduğu gözükmektedir [5]. Bu kulüplerin bir kısmının voleybol şubesi varken, sadece voleybol şubesi olan kulüpler de düşünüldüğünde bu sayı 300'ü geçebilmektedir. Bu durum çocuklarının takım sporu yapmasına karar veren ailelerin önünde uygun spor okulu seçimi konusunda soru oluşturmaktadır.

Spor okulu seçimi için literatür incelendiğinde ailelerin çocuklarını spora yollarkenki beklentileri ve karşılaştıkları güçlükleri inceleyen çalışmalar olduğu görülmektedir [2, 3]. Ancak uygun spor okulu seçimi probleminin yönelik çalışmaların eksikliği literatürde fark edilmektedir. Alternatif sayısının fazla olduğu ve birden fazla kriteri düşünerek verilmesi gereken bu tür seçimlerde sezgisel yaklaşımlar yerine bilimsel yöntemlerin kullanılmasının önemi literatürde vurgulanmıştır [6]. Buna rağmen spor okulu seçimine yönelik analitik yaklaşım gösteren tek çalışma olarak Ayhan [7] tarafından yapılan bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı yaz spor okulu seçim problemi bulunmaktadır. Çalışmasında ailelerin alternatifler arasından çocukları için en doğru yaz spor okulunu seçmelerini sağlayacak bir çözüm önerisi getirmiştir. Literatürde analitik yaklaşım içeren bir başka çalışmada ise Papić vd. [8] tarafından çocukların hangi sporu seçmesi gerektiği üzerine yapıldığı görülmektedir. İnternet tabanlı, bulanık mantık kullanarak oluşturdukları uzman sistem ile çocuklar için doğru spor tercihi problemini çözmeye çalışmışlardır. Literatürde yer alan diğer analitik çalışmaların ise daha çok okul seçimlerine yönelik

olduğu görülmektedir. Özden [9] de yine AHP yöntemini kullanarak en uygun ilkökul seçimi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Radhakrishnan ve Kalaichelvi [10] ise uygun okul bulma sorununu bulanık AHP yöntemi ile çözmeye çalışmışlardır. Bir diğer okul seçimi çalışması Gültekin ve Ayna [11] tarafından yapılmıştır. İzmir'deki liselerin performanslarını Veri Zarflama Analizi (DEA) ve AHP yöntemi ile incelemişlerdir.

Spor okulu seçiminde olmasa bile ÇKKV tekniklerinin spor alanında kullanımları literatürde görülmektedir. Bireysel oyuncu performansını etkileyen birçok faktör olduğu için hem oyuncu performansını değerlendirmede hem de oyuncu seçiminde ÇKKV tekniklerinden yararlanılmıştır [12-25]. Aynı şekilde takımların performanslarını değerlendirmede de yine ÇKKV teknikleri kullanılmıştır [26-35]. Literatürde oyuncu ve takım performanslarını değerlendiren bu çalışmaların dışında yine sporun çeşitli alanlarında ÇKKV tekniklerinden faydalandığı görülmektedir. Olimpiyatların yayıncı kuruluşu seçiminden [36], piktogramların değerlendirilmesine [37], stadyumlar için uygun lokasyon seçiminden [38], triatlon sporcularının yarışma için doğru organizasyon seçimine [39] kadar uzanan geniş uygulama alanı bulunmaktadır.

Bu çalışmada ÇKKV tekniklerinden SWARA ve TOPSIS yöntemleri entegre bir şekilde kullanılmıştır. Kriter ağırlıklarını belirlerken ikili karşılaştırmalar ile göreceli önemi belirleyen SWARA metodu, AHP ve ANP (Analytic Network Process) gibi diğer yöntemlere göre daha az karşılaştırma içerip uzman görüşlerini almada kolaylık sağladığı için kullanılması tercih edilmiştir [40]. Alternatifleri sıralarken ise daha önce yaz spor okulu seçiminde [7] ve sporun çeşitli alanlarında alternatifleri sıralamak için [12, 13, 18, 20, 21, 23, 25, 31, 32, 34, 35, 37, 38] sıkça kullanılan TOPSIS yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan literatür taramasında spor alanında SWARA ve TOPSIS metodlarının birlikte kullanıldığı hiçbir çalışmaya rastlanmazken, diğer alanlardaki çalışmaların ise az sayıda olduğu görülmüştür. Uygulama alanlarına göre SWARA ve TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanan araştırmalara bakıldığında, enerji üzerine yapılan çalışmalarda, Derse ve Yontar [41] tarafından en uygun yenilenebilir enerji kaynağı seçimi, Dinçer vd. [42] tarafından mikro üretim enerji teknolojileri için yatırımların değerlendirilmesi, Kamali Saraji vd. [43] tarafından Avrupa Birliği üyesi ülkelerin sürdürülebilir enerji gelişimlerine göre derecelendirilmesi, Vinchurkar ve Samtani [44] tarafından Hindistan'daki hidroelektrik santrallerin performanslarının değerlendirilmesi, Aboubakar vd. [45] tarafından Çin'in Kamerun'da gerçekleştirdiği hidroelektrik projelerin risk faktörleri açısından değerlendirilmesi, benzer olarak Karamollaoğlu vd.



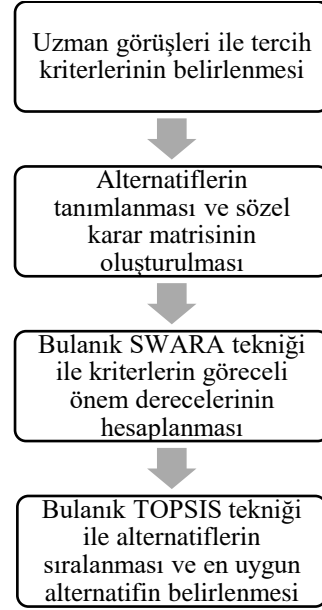
[46] tarafından hidroelektrik santrallerin riskleri gidermedeki performans değerlendirilmesi, Bouzid vd. [47] tarafından Tunus'ta enerji üretimi için kullanılacak fotovoltaik panellerin performanslarına göre sıralanması; tedarik sistemi üzerine yapılan çalışmalarda, Akcan ve Taş [48] tarafından yeşil tedarikçi kriterlerine en uygun tedarikçi seçimi, Narayanan ve Jinesh [49] tarafından döküm birimi için en uygun tedarikçi seçimi, Gafoor vd. [50] tarafından takım imalat birimi için tedarikçi kalitesi değerlendirilmesi, Brahmi ve Moalla [51] tarafından çelik ürünleri satan bir firma için üçüncü parti lojistik (3PL) sağlayıcısı seçimi, benzer olarak Ejem vd. [52] tarafından Nijerya'daki üçüncü parti lojistik sağlayıcılarının değerlendirilmesi, Kazancıoğlu vd. [53] tarafından nesnelerin interneti (IoT) tabanlı süt ürünleri tedarik zincirinde başarı faktörlerinin değerlendirilmesi, Sumrit [54] tarafından yeni ürün geliştirmede tedarikçilerin ortak tasarım yeteneklerinin değerlendirilmesi; çalışmaları bulunmuştur. Bu çalışmaların dışında ise Banihashemi vd. [55] tarafından inşaat projelerinin verimliliklerinin değerlendirilmesi, Zavadskas vd. [56] tarafından yine inşaat alanında kullanılan teknolojilerin değerlendirilmesi, Çakır ve Sezen Akar [57] tarafından üretim işletmesi için optimum faydayı sağlayacak Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (CNC) makinasının seçimi çalışmaları bulunmuştur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde SWARA ve TOPSIS yönteminin birlikte kullanılmasının literatüre katkı sağlaması açısından da önemli olduğu görülmüştür.

Literatüre bakıldığında özellikle spor okulu seçimine yönelik bir çalışmanın bulunmadığı gözükmektedir. Yaz spor okuluna yönelik çalışma olsa da özellikle günümüzde yaygınlaşan ve tüm yıl boyu çocukların pek çok açıdan fayda sağladığı basketbol ve voleybol spor okullarına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada öncelikle uzmanlarla yapılan görüşmeler sonrası uygun spor okulu seçimi yapılırken bakılması gereken tercih kriterleri belirlenmiştir. Ardından bu kriterlerin göreceli önem dereceleri ÇKKV tekniklerinden biri olan bulanık SWARA yöntemi ile hesaplanmıştır. Son olarak alternatifler arasından en uygun olanını bulmak için başka bir ÇKKV tekniği olan bulanık TOPSIS yöntemi uygulanıp alternatifler sıralanmış ve en uygun spor okulu seçimi yapılmıştır.

## II. YÖNTEM

Spor okulu seçimi için kullanılacak metodoloji Şekil 1'de gösterilmiştir. İki kısımdan oluşan bu çalışmanın ilk kısmında spor okullarını değerlendirmede kullanılacak kriterler, spor okullarında aktif olarak çeşitli kademelerde çalışan, basketbol veya voleybol branşında oyunculuk geçmişi olan ve antrenörlük belgesine sahip uzmanlar ile görüşülerek belirlenmiştir. Ardından bu tercih kriterlerinin göreceli önem dereceleri bulanık SWARA yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. İkinci kısımda ise bulanık

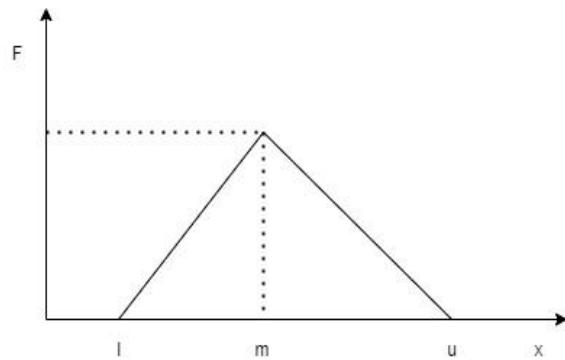
TOPSIS tekniği ile alternatifler sıralanmış ve en uygun spor okulu önerisi yapılmıştır.



Şekil 1. Uygun spor okulu seçimi için kullanılan yöntemin akış şeması

### 2.1. Bulanık Mantık

Zadeh [58], insanın kesin olmayan bilgiyi anlama ve analiz etme yeteneğini incelemiş ve kesinlik içermeyen problemleri çözmek için insan düşüncesinin sayılarla değil dilsel ifadelerle daha etkili olduğu fikrine dayanarak bulanık küme teorisini önermiştir [59]. Geleneksel küme teorisinde eğer bir eleman o kümeye aitse 1, ait değilse 0'a eşit sayılmıştır. Bulanık küme kavramında ise üyeler 0 ve 1 arasında değişen farklı değerler alabilmektedir. Bulanık sayılar içerisinde en fazla tercih edilen üçgen bulanık sayılardır. Üçgen üyelik fonksiyonu Sumrit [60]'in çalışmasında hazırladığı gibi Şekil 2'de gösterilmiştir. "l" başlangıç noktası, "m" tepe noktası ve "u" bitiş noktası olmak üzere üç parametre [l, m, u] ile gösterilir. Buradan elde edilen üçgen üyelik fonksiyonu ise Denklem 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Üçgen üyelik fonksiyonu

$$F(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{u-l}{u-m} & m \leq x \leq u \\ \text{bunun dışında} & 0 \end{cases} \quad (1)$$

Performans değerlerinin kesin olarak ifade edilemediği karar verme problemlerinde dilsel ifadelerin kullanılmasının daha yararlı olacağı literatürde belirtilmiştir [61]. Bu çalışmada uzmanlara

kriter ağırlıklarını karşılaştırırken kullanmak için beşli sözel set sunulmuştur [Oldukça az önemli (OAÖ), Çok daha az önemli (ÇDÖ), Daha az önemli (DÖ), Orta derecede daha az önemli (OÖ), Eşit önemli (EÖ)]. Aynı zamanda belirlenen tercih kriterlerinin ölçekleri aynı olmadığı ve her bir kriteri eşit şekilde değerlendirmek için alternatif değerlendirmesinde de beşli sözel set kullanılmıştır [Çok kötü (ÇK), Kötü (K), Orta (O), İyi (İ), Çok iyi (Çİ)]. Kullanılan dilsel değişkenlerin karşılığı olan bulanık sayılar Junior vd. [62] çalışmasından uyarlanmış ve birleştirilerek tek bir tablo halinde Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Kriter ağırlıklarının ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel derecelendirmeler ve bulanık sayılar

| Kriter ağırlıklarının karşılaştırılmasında kullanılan dilsel değişkenler | Alternatif değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler | Üçgen bulanık sayı |
|--|---|--------------------|
| Eşit önemli (EÖ)   | Çok iyi (Çİ)  | (0.75, 1.00, 1.00) |
| Orta derecede daha az önemli (OÖ)  | İyi (İ)   | (0.50, 0.75, 1.00) |
| Daha az önemli (DÖ)  | Orta (O)  | (0.25, 0.50, 0.75) |
| Çok daha az önemli (ÇDÖ)   | Kötü (K)  | (0.00, 0.25, 0.50) |
| Oldukça az önemli (OAÖ)  | Çok kötü (ÇK)   | (0.00, 0.00, 0.25) |

## 2.2. Bulanık SWARA Yöntemi

Çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan SWARA yöntemi Keršulienė vd. [63] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu yöntemle uzmanların kişisel bilgi ve deneyimlerinden yararlanılarak kriter ağırlıkları belirlenmektedir. Uzmanların kriterleri önem sırasına sokmaları gerekmektedir. Ardından her bir kriteri daha önemli gördükleri kriterlere göre karşılaştırmaları istenir. Kriterleri ağırlıklandırırken yapılan ikili karşılaştırmalarda AHP ve ANP’ye göre çok daha basit oluşu SWARA yöntemini ayıran en önemli özelliğidir [60]. Bu çalışmada uzman görüşlerini en doğru şekilde almak adına, uzmanlardan kriter karşılaştırmalarını dilsel ifadeler kullanarak yapmalarını istenmiş ve bu yüzden bulanık SWARA yöntemi uygulanmıştır. Bulanık SWARA yönteminin adımları ve formülleri Sumrit [60]’in çalışmasından uyarlanarak aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: Uzmanlardan belirlenen “n” adet kriteri en önemli gördükleri kriterden başlayarak önem sırasına göre sıralamaları istenir.

Adım 2: Kriterlerin göreceli önem düzeylerini ( $s_j$ ) belirlemek için uzmanlar j kriterini bir önce gelen (j-1) kriter ile Tablo 1’de verilen dilsel değişkenleri kullanarak karşılaştırırlar. Bu işlem önem sırasına ikinci olan kriterden başlayarak tüm kriterler için

yapılır. Böylece bulanık göreceli önem düzeyleri [ $\tilde{s}_j = (\tilde{s}_{j1}, \tilde{s}_{jm}, \tilde{s}_{ju})$ ] belirlenir.

Adım 3: Denklem 2’den yararlanılarak önem katsayısı ( $\tilde{k}_j$ ) hesaplanır.

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1} & j = 1 \\ \tilde{s}_j + \tilde{1} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Adım 4: Denklem 3’ten yararlanılarak orta ağırlık katsayısı ( $\tilde{q}_j$ ) hesaplanır.

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} \tilde{1} & j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Adım 5: Son olarak bulanık kriter ağırlıkları ( $\tilde{w}_j$ ) Denklem 4’ten yararlanılarak hesaplanır.

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k}, \quad \tilde{w}_j = (\tilde{w}_{j1}, \tilde{w}_{jm}, \tilde{w}_{ju}) \quad (4)$$

**2.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi**

Çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan TOPSIS Hwang ve Yoon [64] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu yöntemde alternatifler arasındaki en iyi ve en kötü sonuçlar alınıp pozitif ideal ve negatif ideal çözümler üretilmektedir. En iyi alternatif belirlenirken de pozitif ideal sonuca en yakın ve negatif ideal sonuca en uzak olan seçilmektedir. Chen [65] belirsizliğin fazla olduğu durumlar için hem kriter ağırlıklarını belirlemek hem de alternatifleri değerlendirmek için dilsel ifadelerin kullanıldığı bulanık TOPSIS yöntemini geliştirmiştir. Bu çalışmada kriter ağırlıkları bulanık SWARA yöntemi ile değerlendirildiği için, sadece alternatifleri değerlendirmede bulanık TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. Ancak alternatifler değerlendirilirken de uzmanların görüşünden ziyade, tercih kriterlerinin ölçek farklılıklarının giderilmesi için dilsel ifadelerden yararlanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan bulanık TOPSIS yönteminin adımları ve formülleri Erdemir vd. [66]'nin çalışmasından uyarlanmış ve aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: m sayıdaki alternatif, n sayıdaki kriter değerlerine göre Tablo 1'de gösterilen dilsel ifadelerinin denk geldiği üçgen bulanık sayı değerlerini alır. Bu sayede aşağıdaki gibi gözükten bulanık karar matrisi ( $\tilde{D}$ ) oluşturulur (Bkz: Denklem 5).

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

Buradaki  $x_{ij}$ , i. alternatifin j. kritere göre üçgen bulanık sayı değerini göstermektedir. Kesin sınırları olmayan bulanık sayılar, üçgen üyelik fonksiyonuna göre daha öncede bahsedildiği üzere l,m,u olarak tanımlanır. Bu durumda  $x_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  bulanık sayılarla ifade edilir.

Adım 2: Oluşturulan bulanık karar matrisi Denklem 6'da yer alan formül ile normalize edilerek normalize edilmiş bulanık karar matrisi ( $\tilde{R}$ ) oluşturulur (Bkz: Denklem 7). Bulanık karar matrisi oluşturulurken kullanılan dilsel ifadeler sayesinde tüm kriterler fayda fonksiyonu olarak düzenlendiğinden, tek denklem normalize işlemi için yeterli olmuştur.

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{l_{ij}}{u_j^*}, \frac{m_{ij}}{u_j^*}, \frac{u_{ij}}{u_j^*} \right), u_j^* = \max_i u_{ij} \tag{6}$$

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \tag{7}$$

Adım 3: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi bulanık SWARA yöntemi ile belirlenen kriter

ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi ( $\tilde{V}$ ) oluşturulur (Bkz: Denklem 8 ve Denklem 9).

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \times \tilde{w}_j \tag{8}$$

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \tag{9}$$

Adım 4: Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra  $A^+$  ile gösterilen pozitif ideal,  $A^-$  ile gösterilen negatif ideal çözümler tanımlanır (Bkz: Denklem 10 ve Denklem 11).

$$A^+ = \{ \tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+ \} \\ = (\max_i \tilde{v}_{i1}, \max_i \tilde{v}_{i2}, \dots, \max_i \tilde{v}_{in}) \tag{10}$$

$$A^- = \{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^- \} \\ = (\min_i \tilde{v}_{i1}, \min_i \tilde{v}_{i2}, \dots, \min_i \tilde{v}_{in}) \tag{11}$$

Adım 5: Her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzakları (d) Denklem 13 ve Denklem 14'te gözüktüğü şekilde bulunur. Bu uzaklıklar hesaplanırken Denklem 12'de yer alan verteks formülü kullanılır.

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) \\ = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \tag{12}$$

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \tag{13}$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \tag{14}$$

Adım 6: Her bir alternatif için yakınlık katsayısı (CC<sub>i</sub>) değeri Denklem 15'teki formüle göre hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \tag{15}$$

Adım 7: Alternatifler yakınlık katsayısı değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanır. En yüksek değere sahip alternatif, en iyi alternatif olarak seçilir.

**III. UYGULAMA**

Uygulamada İstanbul ilinde yaşayan ve çocuklarının basketbol branşında eğitim almasını isteyen bir aile ele alınmıştır. Oturdukları bölgeye göre beş alternatiflerinin olduğu belirlenen aileye, en uygun seçimi yapabilmeleri için destek sağlanmıştır. Öncelikle branşlarında on yıldan fazla antrenörlük tecrübesi olan uzmanlarla yapılan görüşmeler sonrası, doğru spor okulu seçimi için 4 önemli kriterin olduğu

belirlenmiştir. Bu tercih kriterleri; okulun kalitesi, okulun konumu, okulun aylık ücreti ve okulun bilinirliği olarak listelenmiştir.

### 3.1. Kriterlerin Tanımlanması

#### 3.1.1. Kriter (K1): Okulun kalitesi

Bir spor okuluna kaliteli diyebilmek için bazı standartları sağlaması gerektiği uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucu tespit edilmiştir. Bu gereklilikler Şekil 3’de verilen kontrol listesi olarak sunulmuştur ve velilerden doldurmaları istenmiştir. Bu kontrol listesi spor okuluna yapılacak ziyaret sonrası gözlem ve spor okulu yetkilileriyle konuşularak doldurulabilecek on maddeden oluşmaktadır. Kontrol listesi daha sonra işaretlenen madde sayısına göre Tablo 2’de sunulduğu gibi sözel olarak derecelendirilmektedir.

| Kontrol Listesi          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Haftalık idman saati           |
| <input type="checkbox"/> | Lisanslı eğitmen sayısı        |
| <input type="checkbox"/> | Antrenmana çıkan oyuncu sayısı |
| <input type="checkbox"/> | Antrenman ekipmanı yeterliliği |
| <input type="checkbox"/> | Okul aktiviteleri              |
| <input type="checkbox"/> | Sağlık önlemleri               |
| <input type="checkbox"/> | Tesis yeterliliği              |
| <input type="checkbox"/> | Salonun spora uygunluğu        |
| <input type="checkbox"/> | Eğitmenlerin yaklaşımları      |
| <input type="checkbox"/> | Okulun iletişim yeterliliği    |

Şekil 3. Spor okuluna yapılacak ziyaret sonrası doldurulacak kontrol listesi

#### 3.1.2. Kriter (K2): Okulun konumu

Spor okulunun konumu tercih kriterinde bahsedilen, antrenman yerinin eve olan uzaklığıdır. Özellikle büyük şehirlerde yaşanan trafik problemleri göz önünde bulundurulduğunda bu konu daha da önem taşımaktadır. Yolda geçirilen fazla vakit, zaman kaybı olmasının dışında, çocukların sıkılmalarına ve zaman içinde sporu bırakmalarına neden olabilmektedir. Dolayısıyla spor okulunun konumu kriterler arasında yer almaktadır. Mesafeyi ölçmek için en kolay yol olarak sözel veriler kullanılmıştır. Çok yakın, yakın, normal, uzak ve çok uzak şeklinde beşli sözel set kullanılmıştır. Ailelerin bu soruyu daha rahat cevap verebilmesi için ekstra sözel veriler de tanımlanmıştır. Çok yakın (yürüyerek), yakın (tek vasıta), normal (tek vasıta sonrası yürüyerek), uzak (iki vasıta), çok uzak (iki vasıta sonrası yürüyerek) şeklinde ayrıca tanımlanmıştır. Tablo 2’de ise sözel derece karşılıkları sunulmuştur.

#### 3.1.3 Kriter (K3): Okulun aylık ücreti

Bir diğer tercih kriteri olan aylık ücret spor okulları arasında büyük farklılıklar göstermektedir.

Çoğunlukla spor okulunun bulunduğu semte göre değişkenlik gösteriyor olmasına rağmen bazen aynı semtteki spor okulları arasında bile ücret farkları gözükmektedir. Dolayısıyla değerlendirmede spor okullarına verilen bu ücretlerin karşılığını bulması bir etken iken, aile bütçesine uygun spor okulu bulmak da ayrı bir etken olmaktadır. Bu çalışmada spor okulu ücretleri 250TL ve daha düşük, 251TL ile 400TL arasında, 401TL ile 550TL arasında, 551TL ve 700TL arasında ve son olarak 701TL ve daha yüksek olmak üzere beş kategoriye ayrılmıştır. Bu kategorilere karşılık gelen sözel derecelendirmeler ise Tablo 2’de sunulmuştur.

#### 3.1.4 Kriter (K4): Okulun bilinirliği

Bazı spor okullarının bağlı olduğu kulüpler verdikleri iyi eğitimle bilinir hale gelmiştir. Bunun için futbolda Altınordu Spor Kulübü [67] örneği verilebilir. Bazı spor kulüpleri ise sporcularla ya da velilerle yaşadıkları problemler yüzünden kötü bir şekilde anılmaktadırlar. Çocukların gideceği spor okulunu belirlerken referanslardan yararlanmak sıklıkla tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Bu yüzden de okulun bilinirliği başka bir kriter olarak bu çalışmada yer almıştır. Bu kriterde de beşli sözel derecelendirme kullanılmıştır. Bunlar; “marka”, “başarılı ve iyi”, “iyi”, “yeni” ve son olarak “kötü bilinen” şeklinde tanımlanmıştır. Bu derecelerin sözel ölçeğe dönüştürülmesi de Tablo 2’de sunulmuştur.

### 3.2. Alternatiflerin Tanımlanması ve Sözel Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu uygulamada isimleri gizlenen beş farklı spor okulu için karar verici konumunda olan velilerden yukarıda detayları verilen tercih kriterlerini her bir alternatif için doldurmaları istenmiştir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda her bir alternatifin eşit şekilde değerlendirilebilmesi için tercih kriterleri Tablo 2’de belirtilen beşli sözel değişkenler ile derecelendirilmiştir [Çok kötü (ÇK), Kötü (K), Orta (O), İyi (İ), Çok iyi (Çİ)]. Spor kulüpleri A, B, C, D ve E olarak etiketlenmiş ve velilerden elde edilen bilgiler doğrultusunda kulüpler tanımlanmıştır. Aşağıda kulüp bilgileri ve bu bilgilerle oluşturulan sözel karar matrisinin yer aldığı Tablo 3 bulunmaktadır.

Alternatif 1 (A): A spor okulu, ortalama değerlere sahip olan bir kulübe ait olduğu gözükmektedir. Kalite kontrol listesinde beş maddeyi sağlayan, eve bir araç sonrası yürüyüş mesafesinde bulunan, iyi bir kulüp olarak bilinen spor okulunun aylık ücreti 500 TL’dir.

Alternatif 2 (B): B spor okulu marka olmuş bir kulübe aittir ve kalite kontrol listesinden dokuz maddeyi sağlamaktadır. Ancak eve iki araç sonrası yürüyüş mesafesinde bulunmakta ve aylık ücreti 800 TL’dir.

Alternatif 3 (C): C spor okulu kontrol listesinden yedi maddeyi sağlamış, başarılı ve iyi bilinen bir spor

kulübüne aittir. Eve uzaklığı bir araç sonrası yürüyüş mesafesinde olan kulübün aylık ücreti ise 625 TL'dir.

Alternatif 4 (D): D spor okulu bir araçla ulaşılacak mesafede bulunmaktadır. Ancak kulüp kötü bir itibara sahiptir. Kontrol listesinde beş maddeyi sağlayan kulübün aylık ücreti 575 TL'dir.

Alternatif 5 (E): E spor okulu yeni kurulmuş bir kulübe aittir. Bu spor okulu da bir araç ile ulaşılacak mesafede bulunmakta ve aylık ücret olarak sadece 350 TL istemektedir. Kontrol listesinde ise üç maddeyi sağlamaktadır.

**Tablo 2.** Kriterler için oluşturulan sözel ölçek

| Okulun kalitesi (K1) (işaretlenen madde sayısı) | Okulun konumu (K2) (eve olan uzaklığı) | Okulun aylık ücreti (K3) (TL) | Okulun bilinirliği (K4) | Sözel derecelendirme karşılığı |
|---|--|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 9 veya daha yüksek                              | Çok yakın (yürüyüş mesafesi)           | $\leq 250$                    | Marka                   | Çok iyi (Çİ)                   |
| 7 veya 8  | Yakın (1 araç mesafesi)                | 251—400                       | Başarılı ve iyi         | İyi (İ)                        |
| 5 veya 6  | Normal (1 araç ve yürüyüş mesafesi)    | 401—550                       | İyi                     | Orta (O)                       |
| 3 veya 4  | Uzak (2 araç mesafesi)                 | 551—700                       | Yeni                    | Kötü (K)                       |
| 2 veya daha düşük                               | Çok uzak (2 araç ve yürüyüş mesafesi)  | $\geq 701$                    | Kötü                    | Çok kötü (ÇK)                  |

**Tablo 3.** Uygulamada kullanılan durum için oluşturulan karar matrisi

| Alternatifler                  | Okulun kalitesi (K1) (işaretlenen madde sayısı) | Okulun konumu (K2) (eve olan uzaklığı) | Okulun aylık ücreti (K3) (TL) | Okulun bilinirliği (K4) |
|--------------------------------|---|--|-------------------------------|-------------------------|
| <b>A spor okulu</b>            | 5   | Normal                                 | 500                           | İyi                     |
| Sözel derecelendirme karşılığı | Orta  | Orta                                   | Orta                          | Orta                    |
| <b>B spor okulu</b>            | 9   | Çok uzak                               | 800                           | Marka                   |
| Sözel derecelendirme karşılığı | Çok iyi   | Çok Kötü                               | Çok kötü                      | Çok iyi                 |
| <b>C spor okulu</b>            | 7   | Normal                                 | 625                           | Başarılı ve iyi         |
| Sözel derecelendirme karşılığı | İyi   | Orta                                   | Kötü                          | İyi                     |
| <b>D spor okulu</b>            | 5   | Yakın                                  | 575                           | Kötü                    |
| Sözel derecelendirme karşılığı | Orta  | İyi                                    | Kötü                          | Çok kötü                |
| <b>E spor okulu</b>            | 3   | Yakın                                  | 350                           | Yeni                    |
| Sözel derecelendirme karşılığı | Kötü  | İyi                                    | İyi                           | Kötü                    |

### 3.3. Bulanık SWARA Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Seçimde kullanılacak kriterleri belirlerken danışılan uzmanlara, bu kriterlerin ağırlıklarını belirlerken de danışılmıştır. Voleybol ve basketbol branşlarında oyunculuk geçmişi olan, antrenörlük belgesi sahibi ve 10 yıldan fazla süredir spor okullarında antrenörlük yapmış yedi uzmanın görüşü alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Uzmanlardan öncelikle kriterleri önem sırasına göre en önemliden daha az önemliye doğru sıralaması istenmiştir. Alınan cevaplar Tablo 4'de gösterilmektedir.

**Tablo 4.** Kriterlerin uzmanlar tarafından önem sırasına göre sıralaması

| Kriterler | U1 | U2 | U3 | U4 | U5 | U6 | U7 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| K1        | 1  | 1  | 2  | 1  | 1  | 1  | 3  |
| K2        | 2  | 2  | 4  | 2  | 2  | 4  | 2  |
| K3        | 4  | 3  | 1  | 3  | 3  | 3  | 4  |
| K4        | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 2  | 1  |

**Tablo 5.** Birinci uzmanın görüşü ve bulanık SWARA hesaplamaları

| Kriterler | Sözel değişken | $s_j$            | $k_j$            | $q_j$            | $w_j$               |
|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| K1        |                | (0.00,0.00,0.00) | (1.00,1.00,1.00) | (1.00,1.00,1.00) | (0.372,0.441,0.500) |
| K2        | DÖ             | (0.25,0.50,0.75) | (1.25,1.50,1.75) | (0.80,0.67,0.57) | (0.286,0.294,0.298) |
| K4        | OÖ             | (0.50,0.75,1.00) | (1.50,1.75,2.00) | (0.53,0.38,0.29) | (0.143,0.168,0.198) |
| K3        | OÖ             | (0.50,0.75,1.00) | (1.50,1.75,2.00) | (0.36,0.22,0.14) | (0.071,0.096,0.132) |

Tüm uzman görüşleri alındıktan sonra kriterlerin ağırlıkları belirlenip, oluşturulan bulanık kriter ağırlık tablosu aşağıda verilmiştir (Bkz: Tablo 6). Bulanık SWARA sonucuna göre spor okulu seçiminde en önemli kriterin okulun kalitesi (K1) olduğu ortaya çıkmıştır. Bu kriteri okulun konumu (K2) takip ederken, üçüncü sırada ise okulun aylık ücreti (K3) yer almıştır. En düşük önem derecesine sahip kriter ise okulun bilinirliği (K4) olarak ortaya çıkmıştır.

**Tablo 6.** Bulanık kriter ağırlıkları

|    | $w_j$               |
|----|---------------------|
| K1 | (0.290,0.343,0.399) |
| K2 | (0.268,0.290,0.311) |
| K3 | (0.171,0.208,0.242) |
| K4 | (0.136,0.159,0.187) |

Ardından uzmanlardan ikinci sıraya koydukları kriterden başlayarak her bir kriteri bir üste yerleştirdikleri kriterle karşılaştırmaları istenmiştir. Bu karşılaştırmayı yaparken Tablo 1'de verilen sözel değişkenleri kullanmaları istenmiştir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda bulanık SWARA adımları sırasıyla uygulanmış ve  $s_j$ ,  $k_j$ ,  $q_j$  ve  $w_j$  değerleri hesaplanmıştır. Çalışmadaki tüm analizler MS Excel programından yararlanılarak yapılmıştır. Örnek olarak birinci uzman değerlendirmesi ve hesaplamaları Tablo 5'te verilmiştir.

### 3.4. Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Veliler tarafından gelen cevaplar doğrultusunda Tablo 3 oluşturulmuştur. Bu tablodan yola çıkarak oluşan sözel karar matrisi Tablo 7'de ve bu sözel değişkenlerden yararlanılarak oluşturulan bulanık karar matrisi de Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Sözel karar matrisi

|   | K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | K <sub>4</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A | O              | O              | O              | O              |
| B | Çİ             | ÇK             | ÇK             | Çİ             |
| C | İ              | O              | K              | İ              |
| D | O              | İ              | K              | ÇK             |
| E | K              | İ              | İ              | K              |

**Tablo 8.** Bulanık karar matrisi

|          | $K_1$            | $K_2$            | $K_3$            | $K_4$            |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>A</b> | (0.25,0.50,0.75) | (0.25,0.50,0.75) | (0.25,0.50,0.75) | (0.25,0.50,0.75) |
| <b>B</b> | (0.75,1.00,1.00) | (0.00,0.00,0.25) | (0.00,0.00,0.25) | (0.75,1.00,1.00) |
| <b>C</b> | (0.50,0.75,1.00) | (0.25,0.50,0.75) | (0.00,0.25,0.50) | (0.50,0.75,1.00) |
| <b>D</b> | (0.25,0.50,0.75) | (0.50,0.75,1.00) | (0.00,0.25,0.5)  | (0.00,0.00,0.25) |
| <b>E</b> | (0.00,0.25,0.50) | (0.50,0.75,1.00) | (0.50,0.75,1.00) | (0.00,0.25,0.5)  |

Oluşturulan bulanık karar matrisi Denklem 6’da gösterilen formül ile normalize edildikten sonra bulanık SWARA yöntemi ile elde edilen ağırlık katsayıları ile çarpılarak ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi Tablo 9’da gözüktüğü gibi oluşturulmuştur.

Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisinde bulunan en büyük ve en küçük değerler Denklem 10 ve Denklem

11’de bahsedildiği gibi alınarak pozitif ideal ( $A^+$ ) ve negatif ideal ( $A^-$ ) sonuçlar bulunmuş ve Tablo 10’da verilmiştir.

Her bir alternatifin pozitif ideale ( $A^+$ ) ve negatif ideale ( $A^-$ ) olan uzaklıkları Denklem 13 ve Denklem 14’teki formüllerden yararlanılarak hesaplanmış ve Tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 9.** Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi

|          | $K_1$               | $K_2$               | $K_3$               | $K_4$               |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>A</b> | (0.072,0.171,0.299) | (0.067,0.145,0.233) | (0.043,0.104,0.181) | (0.034,0.080,0.140) |
| <b>B</b> | (0.217,0.343,0.399) | (0.000,0.000,0.078) | (0.000,0.000,0.060) | (0.102,0.159,0.187) |
| <b>C</b> | (0.145,0.257,0.399) | (0.067,0.145,0.233) | (0.000,0.052,0.121) | (0.068,0.119,0.187) |
| <b>D</b> | (0.072,0.171,0.299) | (0.134,0.217,0.311) | (0.000,0.052,0.121) | (0.000,0.000,0.047) |
| <b>E</b> | (0.000,0.086,0.200) | (0.134,0.217,0.311) | (0.086,0.156,0.242) | (0.000,0.040,0.094) |

**Tablo 10.** Pozitif ve negatif ideal çözümler

|       | $K_1$                 | $K_2$                 | $K_3$                 | $K_4$                 |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $A^+$ | (0.399, 0.399, 0.399) | (0.311, 0.311, 0.311) | (0.242, 0.242, 0.242) | (0.187, 0.187, 0.187) |
| $A^-$ | (0.000, 0.000, 0.000) | (0.000, 0.000, 0.000) | (0.000, 0.000, 0.000) | (0.000, 0.000, 0.000) |

**Tablo 11.** Alternatiflerin pozitif ideale ( $A^+$ ) ve negatif ideale ( $A^-$ ) olan uzaklıkları

|          | $d_i^+ = (A_i, A^+)$ |       |       |       | $d_i^- = (A_i, A^-)$ |       |       |       |       |         |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|---------|
|          | $K_1$                | $K_2$ | $K_3$ | $K_4$ | $d_i^+$              | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | $K_4$ | $d_i^-$ |
| <b>A</b> | 0.237                | 0.176 | 0.144 | 0.111 | 0.669                | 0.204 | 0.163 | 0.123 | 0.095 | 0.585   |
| <b>B</b> | 0.110                | 0.287 | 0.223 | 0.052 | 0.672                | 0.329 | 0.045 | 0.035 | 0.154 | 0.562   |
| <b>C</b> | 0.168                | 0.176 | 0.191 | 0.079 | 0.614                | 0.287 | 0.163 | 0.076 | 0.134 | 0.660   |
| <b>D</b> | 0.237                | 0.116 | 0.191 | 0.173 | 0.716                | 0.204 | 0.232 | 0.076 | 0.027 | 0.539   |
| <b>E</b> | 0.315                | 0.116 | 0.103 | 0.148 | 0.681                | 0.125 | 0.232 | 0.173 | 0.059 | 0.590   |

Ardından alternatifleri sıralamak için Denklem 15'te verilen formül ile yakınlık katsayıları hesaplanmış ve alternatifler sıralamalarıyla birlikte Tablo 12'de verilmiştir.

**Tablo 12.** Bulanık TOPSIS sonuçları

|   | $d_i^+$ | $d_i^-$ | $CC_i$ | Sıralaması |
|---|---------|---------|--------|------------|
| A | 0.669   | 0.585   | 0.467  | 2          |
| B | 0.672   | 0.562   | 0.455  | 4          |
| C | 0.614   | 0.660   | 0.518  | 1          |
| D | 0.716   | 0.539   | 0.429  | 5          |
| E | 0.681   | 0.590   | 0.464  | 3          |

Bulanık TOPSIS sonucunda oluşturulan Tablo 12'deki verilere bakıldığında üçüncü alternatif olan C spor okulunun 0.518 yakınlık katsayı değeri ile en iyi alternatif olduğu gözükmemektedir. Bu alternatifi sırasıyla A, E, B ve D spor okulları takip etmektedir.

#### IV. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu makalede daha önce literatürde çalışması bulunmayan spor okulu seçimi problemi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılarak geliştirilen çözüm önerisi sunulmuştur. Spor okulu seçimi problemi birden fazla etkeni barındırdığı ve fazla sayıda alternatif tercihi olduğu için ÇKKV teknikleriyle çözülmesi uygun görülmüştür. Öncelikle branşlarında uzman antrenörlerle görüşülerek uygun spor okulu seçiminde önemli dört kriter olduğu belirlenmiştir. Ardından bu kriterlerin önem ağırlıkları bulanık SWARA yöntemi ile hesaplanmıştır. Uzmanların kriterleri daha etkili bir şekilde değerlendirebilmesi için dilsel ifadeler kullanılmış ve bu yüzden bulanık yapılar tercih edilmiştir. Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra alternatifler arasından en uygunu seçmek için ise bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Burada da kriterler arasındaki farklılıkları tek bir dilsel ifade ile eşitlemek adına bulanık yapı tercih edilmiştir. Geliştirilen çözüm önerisi İstanbul ili içinde spor okulu arayışında olan bir aile için uygulanmıştır. Belirlenen beş alternatif arasından en uygun olanı çalışmada aktarılan adımlar takip edilerek bulunmuştur.

Bilindiği kadarıyla bu çalışma spor okulu seçimi için yapılan ilk analitik çalışma olarak literatüre katkı sağlamaktadır. Literatüre başka bir katkısı da sporda yaygın olarak kullanılan ÇKKV tekniklerinin spor okulları seçiminde de kullanılabileceğini göstermesidir. Ayrıca spor alanında SWARA ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı ilk çalışma olarak da literatüre katkı sağlamaktadır. Çocukların gelişiminde önemli yeri olan spor okullarından en uygun olanı belirlemede analitik çözüm önerisi sunduğu için de bu çalışma önem taşımaktadır.

Bu çalışmada temel olarak takım sporlarından basketbol ve voleybola odaklanılmıştır. Araştırmanın temel yapısı diğer branşlara uyarlanarak gelecek çalışmalarda futbol, tenis, jimnastik gibi diğer spor dalları içinde uygulanabilir. Yine ileriki çalışmalarda spor federasyonları ile iş birliği içerisinde spor okulları seçimi destek sistemi oluşturulabilir. Federasyonlar branşlarına özgü kriterleri belirleyip, önerilen metodoloji ile karar destek sistemini oluşturabilir ve aileler ile paylaşabilirler. Bu sayede hem spor okulları seçilebilmek adına kendilerini geliştirmeye çalışacakken, ailelerde de çocukları için en uygun spor okulunu federasyonlar aracılığıyla kolaylıkla bulabileceklerdir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Taşçı, B. (2010). Sokağın günümüz koşullarında çocuk oyun alanı olarak ele alınması ve değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [2] Pehlivan, Z. (2009). Spora Katılan Çocuklara Yönelik Ailelerin Beklentileri, Çocuklarda Gözlenen Davranış Değişimleri Ve Spora Katılımın Önündeki Engeller. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 7, 2, 69-76.
- [3] Ocak, Y., Keskin, V., Tortop, Y. & Gölünük, S. (2011). Çocuklarını Yaz Spor Okullarına Gönderen Ailelerin Sosyo-Ekonomik Durumları Ve Beklentileri. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 2, 1, 13-22.
- [4] Işık, U., Karakuş, S., Üstün, Ü. D., Gümüştül, O., Kaplan, M. & Demirel, M. (2013). Yaz Spor Okullarının Yeterliliği Ve Ebeveynlerin Çocuklarından Boş Zamanlarını Değerlendirme Beklentileri. *In Proceedings of the II. Rekreasyon Araştırma Kongresi*, Kuşadası, Aydın.
- [5] T.B.F. Sicil Lisans, <https://www.tbf.org.tr/temel-unsurlar/>, erişim tarihi:01.06.2019
- [6] Özel, S. & Türkel, A. (2018). AHP yöntemi kullanarak ERP sistemlerinin karşılaştırılması ve uygun sistemin belirlenmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30, 3, 305-317.
- [7] Ayhan, M. B. (2018). Yaz Spor Okulu Seçiminde Entegre Bir Tereddütlü-Bulanık AHP ve TOPSIS Yaklaşımı. *Sakarya University Journal of Science*, 22, 2, 269-284.
- [8] Papić, V., Rogulj, N. & Pleština, V. (2011). Expert system for identification of sport talents: Idea, implementation and results. *Expert Systems For Human, Materials And Automation*, 3-16.
- [9] Özden, Ü. (2008). Analitik hiyerarşi yöntemi ile ilkökul seçimi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24, 1.
- [10] Radhakrishnan, R. & Kalaichelvi, A. (2014). Selection of the best school for the children-A decision making model using extent analysis method on fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Innovative Research in*



- Science, Engineering and Technology*, 3, 5, 12334-12344.
- [11] Gültekin, Ö. E. & Ayna, R. (2019). Evaluation of the efficiencies of public high schools in İzmir/Turkey using DEAHP approach. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 20, 1, 34-53.
- [12] Dadelo, S., Turskis, Z., Zavadskas, E. K. & Dadelienė, R. (2014). Multi-criteria assessment and ranking system of sport team formation based on objective-measured values of criteria set. *Expert Systems with Applications*, 41, 14, 6106-6113.
- [13] Ballı, S. & Korukoğlu, S. (2014). Development of a fuzzy decision support framework for complex multi-attribute decision problems: A case study for the selection of skilful basketball players. *Expert Systems*, 31, 1, 56-69.
- [14] Cooper, W. W., Ruiz, J. L. & Sirvent, I. (2009). Selecting non-zero weights to evaluate effectiveness of basketball players with DEA. *European Journal of Operational Research*, 195, 2, 563-574.
- [15] Lee, B. L. & Worthington, A. C. (2013). A note on the 'Linsanity' of measuring the relative efficiency of National Basketball Association guards. *Applied Economics*, 45, 29, 4193-4202.
- [16] Radovanović, S., Radojičić, M. & Savić, G. (2014). Two-phased dea-mia approach for predicting efficiency of nba players. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 24, 3, 347-358.
- [17] Blanco, V., Salmerón, R. & Gómez-Haro, S. (2018). A Multicriteria Selection System Based on Player Performance: Case Study—The Spanish ACB Basketball League. *Group Decision and Negotiation*, 27, 6, 1029-1046.
- [18] Pradhan, S. & Chachad, R. (2021). Re-ranking regular seasons in the National Basketball Association's modern era: A replication and extension of Pradhan (2018). *Journal of Statistics and Management Systems*, 24, 7, 1503-1522.
- [19] Assani, S., Mansoor, M. S., Asghar, F., Li, Y. & Yang, F. (2022). Efficiency, RTS, and marginal returns from salary on the performance of the NBA players: A parallel DEA network with shared inputs. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 18, 3, 2001-2016.
- [20] Vavrek, R. (2021). An Analysis of Usage of a Multi-Criteria Approach in an Athlete Evaluation: An Evidence of NHL Attackers. *Mathematics*, 9, 12, 1399.
- [21] Serkan, E. & Tuna, U. (2020). Futbolda Yetenek Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ve TOPSIS Yöntemi Aracılığıyla Değerlendirilmesi. *Türkiye Spor Bilimleri Dergisi*, 4, 2, 111-123.
- [22] Sařabun, W., Shekhovtsov, A., Pamučar, D., Wątróbski, J., Kizielewicz, B., Więckowski, J., Bozanić, D., Urbaniak, K. & Nyczaj, B. (2020). A fuzzy inference system for players evaluation in multi-player sports: The football study case. *Symmetry*, 12, 12, 2029.
- [23] Flegl, M., Jiménez-Bandala, C. A., Lozano, C. & Andrade, L. (2018). Personnel selection in complex organizations: A case of Mexican football team for the 2018 World Cup in Russia. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad la Salle*, 13, 49, 43-66.
- [24] Ozceylan, E. (2016). A mathematical model using AHP priorities for soccer player selection: a case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27, 2, 190-205.
- [25] Chen, C.-C., Lee, Y.-T. & Tsai, C.-M. (2014). Professional baseball team starting pitcher selection using AHP and TOPSIS methods. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14, 2, 545-563.
- [26] Sinuany-Stern, Z., Israeli, Y. & Bar-Eli, M. (2006). Application of the analytic hierarchy process for the evaluation of basketball teams. *International Journal of Sport Management and Marketing*, 1, 3, 193-207.
- [27] Yang, C.-H., Lin, H.-Y. & Chen, C.-P. (2014). Measuring the efficiency of NBA teams: additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *Annals of Operations Research*, 217, 1, 565-589.
- [28] Moreno, P. & Lozano, S. (2014). A network DEA assessment of team efficiency in the NBA. *Annals of Operations Research*, 214, 1, 99-124.
- [29] Li, Y., Wang, L. & Li, F. (2021). A data-driven prediction approach for sports team performance and its application to National Basketball Association. *Omega*, 98, 102123.
- [30] Chen, S. P. & Liao, C. N. (2021). Identifying standards for postseason advancement: a case of the National Basketball Association. *International Transactions in Operational Research*, 28, 5, 2359-2376.
- [31] GEYİK, O. & Tamer, E. (2018). Spor Toto Basketbol Süper Ligi ve Turkish Airline Euroleague Basketbol Takımlarının AHS-TOPSIS Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 3, 1, 32-53.
- [32] Kiani Mavi, R., Kiani Mavi, N. & Kiani, L. (2012). Ranking football teams with AHP and TOPSIS methods. *International Journal of Decision Sciences, Risk and Management*, 4, 1-2, 108-126.
- [33] Pestana Barros, C., Assaf, A. & Sá-Earp, F. (2010). Brazilian football league technical efficiency: a Simar and Wilson approach. *Journal of Sports Economics*, 11, 6, 641-651.
- [34] Gökğöz, F. & Yalçın, E. (2021). A comparative multi criteria decision analysis of football

- teams: evidence on FIFA world cup. *Team Performance Management*, 27, 3/4, 177-191.
- [35] Pradhan, S. & Abdourazakou, Y. (2020). "Power ranking" professional circuit eSports teams using multi-criteria decision-making (MCDM). *Journal of Sports Analytics*, 6, 1, 61-73.
- [36] Liao, S. K. & Chang, K. L. (2009). Select televised sportscasters for Olympic Games by analytic network process. *Management Decision*, 47, 1, 14 - 23.
- [37] Bongseok, K. & Choi, J. (2021). Evaluating Olympic Pictograms Using Fuzzy TOPSIS–Focus on Judo, Taekwondo, Boxing, and Wrestling. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 3934.
- [38] Karaköprü, U. O. & Kabadurmuş, Ö. (2020). Evaluation of Stadium Locations Using AHP and TOPSIS Methods. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 15, 1, 1-16.
- [39] Guaita Martínez, J. M. & Carracedo Garnateo, P. (2018). Hierarchical multi-criteria analysis for the selection of a triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13, 2, 354-362.
- [40] Stanujkic, D., Karabasevic, D. & Zavadskas, E. K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Engineering Economics*, 26, 2, 181-187.
- [41] Derse, O. & Yontar, E. (2020). Swara-Topsis Yöntemi İle En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 31, 3, 389-419.
- [42] Dinçer, H., Yüksel, S., Aksoy, T. & Hacıoğlu, Ü. (2022). Application of M-SWARA and TOPSIS methods in the evaluation of investment alternatives of microgeneration energy technologies. *Sustainability*, 14, 10, 6271.
- [43] Kamali Saraji, M., Streimikiene, D. & Ciegis, R. (2022). A novel Pythagorean fuzzy-SWARA-TOPSIS framework for evaluating the EU progress towards sustainable energy development. *Environmental monitoring and assessment*, 194, 1, 1-19.
- [44] Vinchurkar, S. H. & Samtani, B. (2019). Performance evaluation of the hydropower plants using various Multi-Criteria Decision-Making techniques. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8, 6, 2131-2138.
- [45] Aboubakar, B. O., Li, H. & Souleymanou, Y. A. (2021). *Hydropower Projects Risk Assessment and Raking Using Combined SWARA-TOPSIS and FINE-KINNEY Methods. Proceedings of the 10th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE), Istanbul, Türkiye, 21-23 Ekim, IEEE.*
- [46] Karamollaoglu, H., Yücedağ, İ. & Dogru, İ. (2021) Risk Assessment for Electricity Generation Management Process with SWARA Based Fuzzy TOPSIS Method. *Politeknik Dergisi*, 1-1.
- [47] Bouzid, M., Elleuch, M. A. & Frikha, A. (2021) Multi-criteria and multi-decision maker ranking of photovoltaic panels in Tunisia. *Proceedings of the International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, Sakheer, Bahreyn, 7-8 Aralık, IEEE.
- [48] Akcan, S. & Taş, M. A. (2019). Green supplier evaluation with SWARA-TOPSIS integrated method to reduce ecological risk factors. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 12, 1-22.
- [49] Narayanan, A. K. & Jinesh, N. (2018). Application of SWARA and TOPSIS methods for supplier selection in a casting unit. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7, 5, 456-458.
- [50] Gafoor, N., Mathew, V. & Thomas, T. (2016). Improving The Supplier Selection Methodology in a Tool Manufacturing Unit. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 3, 2, 208-211.
- [51] Brahmi, H. & Moalla, T. L. (2021). A new multicriteria decision support tool based on fuzzy SWARA and TOPSIS. *Multiple Criteria Decision Making*, 16, 5-22.
- [52] Ejem, E., Uka, C., Dike, D., Ikeogu, C., Igboanusi, C. & Chukwu, O. (2021). Evaluation and selection of Nigerian third-party logistics service providers using multi-criteria decision models. *LOGI–Scientific Journal on Transport and Logistics*, 12, 1, 135-146.
- [53] Kazancoglu, Y., Ozbiltekin-Pala, M., Sezer, M. D., Kumar, A. & Luthra, S. (2022). Circular dairy supply chain management through Internet of Things-enabled technologies. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- [54] Sumrit, D. (2020). An integrated fuzzy multi-criteria decision making approach for evaluating suppliers' co-design ability in new product development. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 13, 2, 215-246.
- [55] Banihashemi, S. A., Khalilzadeh, M., Antucheviciene, J. & Šaparauskas, J. (2021). Trading off time–cost–quality in construction project scheduling problems with fuzzy SWARA–TOPSIS approach. *Buildings*, 11, 9, 387.
- [56] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Volvačiovas, R. & Kildiene, S. (2013). Multi-criteria assessment model of technologies. *Studies in Informatics and Control*, 22, 4, 249-258.
- [57] Çakır, E. & Sezen Akar, G. (2017). Bütünleşik SWARA-TOPSIS yöntemi ile makine seçimi: Bir üretim işletmesinde uygulama.

- International Journal of Academic Value Studies (Javstudies)*, 3, 13, 206-216.
- [58] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 3, 338-353.
- [59] Ecer, F. (2007) Üyelik fonksiyonu olarak üçgen bulanık sayılar mı yamuk bulanık sayılar mı? *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9, 2, 161-180.
- [60] Sumrit, D. (2020). Supplier selection for vendor-managed inventory in healthcare using fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Decision Science Letters*, 9, 2, 233-256.
- [61] Gedikli, T. & Ervural, B. Ç. (2022). En Uygun Tersine Lojistik Hizmet Sağlayıcısının Bulanık Grup Karar Verme Yaklaşımı Altında Belirlenmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34, 1, 50-64.
- [62] Junior, F. R. L., Osiro, L. & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied soft computing*, 21, 194-209.
- [63] Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11, 2, 243-258.
- [64] Hwang, C.-L. & Yoon, K. (1981) Methods for multiple attribute decision making. Springer.
- [65] Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114, 1, 1-9.
- [66] Erdemir, N. , Öztürk, F. & Kaya, G. K. (2022). Kamu personeli performans değerlendirme için AHP ve bulanık TOPSIS ile bütünleşik karar destek modeli . *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37, 4, 1809-1822.
- [67] Ataol, E. (2019) Türkiye Profesyonel Futbolunda altyapıda başarılı olmuş kulüplerin yapılanmaları Ve yönetim şekillerinin incelenmesi (Altınordu Ve Gençlerbirliği örneği). Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi.

## Kullanılmayan ve Atık İlaçların Tersine Lojistik Faaliyetleri ile Toplanmasına Tüketicinin Bakış Açısının Değerlendirilmesi

*Evaluation of the Consumers' Perspective on the Collection of Unused and Waste Medications through Reverse Logistics Activities*

Saliha KARADAYI USTA<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> *Istinye Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü  
İstanbul, Türkiye*

### Öz

İlaç endüstrisi, atık ilaçların çevre ve insan sağlığına verdiği zararların günümüzde daha sık ve net şekilde vurgulanması ile atık yönetimi konusuna gerekli önemin verilmesi konusunda çeşitli uygulamalar ve yönetmelikler sunmaktadır. Bu kapsamda kullanılmayan ve atık ilaçların uygun şekilde ve uygun zaman diliminde toplanması, bilinçli tüketicilerin bu konuda gerekli iş birliği sergilemesi önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu araştırmanın amacı, kullanılmayan ve atık ilaçların tersine lojistik faaliyetleri ile toplanmasına tüketicinin bakış açısını anlamak, değerlendirmek ve çözüm önerileri geliştirmektir. Bu amaçla anket yoluyla veri toplanmakta, tanımlayıcı araştırma modeli kullanılmakta ve durum değerlendirmesi yapılmaktadır. Anketin ilk kısmında Aktaş ve Selvi tarafından 2019 yılında geliştirilen Akılcı İlaç Kullanımı Farkındalığı ölçeğine başvurulmakta, takiben bu araştırmaya özgü merak edilen sorular yöneltilmektedir. Anket sonuçları ANOVA ile analiz edilme, çeşitli grupların verdikleri cevaplar incelendiğinde (yaş, cinsiyet, eğitim seviyesi açısından ele alınan gruplar) bu gruplar arasında fark olup olmadığı tespit edilmektedir. Bulgular incelendiğinde tüketicinin ilaç bağışlama konusunda olumlu tavır sergilediği, ancak kullanılmayan ilacı kabul edip tüketmeye olumsuz baktığı anlaşılmaktadır. Arada kontrolü sağlayacak bir otoritenin bulunması ile güven ortamının oluşacağı düşünülmektedir. Ayrıca, ilaçların son kullanma tarihlerinin hatırlatılması için uyarı sistemlerine / hatırlatıcılara olumlu bakılmakta, özellikle telefona mesajla hatırlatma gelmesini talep etmektedir. Otomat / akıllı kutu gibi sistemi kolaylaştırıcı araçların yaratabileceği risklere önemle vurgu yapılmaktadır. Toplumun konu hakkında bilgilendirilmesi, eğitim yoluyla küçük yaşlarda farkındalık yaratılması ihtiyacının altı çizilmektedir. Çalışma çıktıları, ilaç atıklarının geri toplanmasında tüketici davranışının anlaşılmasını, uygulama aşamasına geçildiğinde ise ne tip önerileri / çözüm yolları izlemenin nasıl sonuçlar doğuracağını tahmin etme hususunda katkı sağlamaktadır. Konuyla ilgili ilaç endüstrisi yetkililerine yol gösterici çıktılar sunulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Atık ilaç, kullanılmayan ilaç, tersine lojistik, atık yönetimi, ANOVA.

### Abstract

The pharmaceutical industry presents various practices and regulations to emphasize the harm caused by waste drugs to the environment and to the human health more frequently and clearly, and gives the necessary importance to the waste management. In this context, unused and waste drugs are paramount of importance by collecting medications appropriately in a suitable time period, and conscious consumers are significant to exhibit the necessary cooperation in this regard. Hence, the aim of this research is to understand and evaluate the consumer's perspective on the collection of unused and waste drugs by reverse logistics activities and to develop solutions. For this purpose, data is collected through a questionnaire, a descriptive research model is utilized and necessary assessment is fulfilled. In the first part of the questionnaire, the Rational Drug Use Awareness scale that is developed by Aktaş and Selvi in 2019 is implemented, questions specific to this research are delivered. The survey results are analyzed by ANOVA, and when the answers given by various groups (groups considered in terms of age, gender, education level) are examined, and it is determined whether there is a difference between these groups. The findings illustrate that the consumers have a positive attitude towards drug donation, but has a negative attitude towards accepting and consuming the unused drugs. It is thought that an environment of trust will be created with the presence of an authority that will provide control. In addition, warning systems / reminders for indicating the expiration dates of drugs are considered positively, especially message reminders are demanded. Emphasis is placed on the risks posed by systems facilitating tools such as vending machines / smart boxes. The need to inform the society about the issue and to raise awareness at a young age through education is underlined. The outputs of the study contribute to the understanding of consumer behavior in the pharmaceutical wastes, and to predict what kind of suggestions / solutions will result in the implementation phase. Guiding outputs are presented to the relevant pharmaceutical industry authorities.

**Key words:** Waste medication, unused drugs, reverse logistics, waste management, ANOVA.

## I. GİRİŞ

Türkiye ilaç endüstrisi küresel rekabet potansiyeliyle, uzun yıllardır sektörde hizmet vermek suretiyle edindiği deneyimle, teknolojik alt yapıya ve insan kaynağına yaptığı yatırımlarla ülkemiz için stratejik öneme sahip bir konumda olup, yaklaşık 680 kuruluş, uluslararası standartlarda 96 ilaç ve radyofarmasötik üretim tesisi, 11 hammadde üretim tesisi, 40 bin üzerinde çalışanı ve 180 ülkeye ihracat potansiyeli ile global piyasalarda dikkat çekmektedir (İEİS, 2020). Küresel pandemi süreci iş dünyasında derin olumsuz etkiler bırakırken, Türkiye ilaç sanayii ihracat rekoru kırmış, 2020 yılında %26.8 oranında artış göstererek 1.8 milyar dolar seviyesini görmüş, ülkenin genel ihracatındaki payını ilk kez %1'in üzerine çıkarmıştır (Dünya, 2021).

Hammadde tedariki, lojistik faaliyetler, artan maliyetler, satışlarda gözlenen dalgalanmalar (İEİS, 2020) gibi sektörü zorlayan koşullara rağmen Türkiye ilaç endüstrisi üretimine aralıksız devam etmiş, sadece tedavi edici ilaçların sağlanmasıyla sınırlı kalmayıp, takviye edicilerin ve vitaminlerin arzında da ülkemiz sorunsuz şekilde işleyişine devam etmiştir (GTBD, 2020).

İlaç tüketiminin sadece hastalığı tedavi etmek amacı ile değil, hastalıklardan korunmak amaçlı olarak da gerçekleştiği (Pınar, 2012) ve geçtiğimiz son iki senede bu tüketimin en üst seviyelere ulaştığı gerçeği (Karahasan, 2021), ilaç tüketiminde bilinçli ve sorumlu tüketici yaklaşımının önemini bir kez daha göstermiştir. Toplumda oluşan panik havası ile ihtiyaçtan fazla ilaç satın alma davranışı tetiklenmekte (Kıymalıoğlu, 2021), bir süre sonra son kullanma tarihi geçen bu ilaçlar atık durumuna dönüşmektedir.

İlaç endüstrisinde atık yönetimi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan İlaç Sanayii Sektörel Atık Kılavuzu ile kapsamlı olarak açıklanma olup (Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2013), kuralına uygun olarak bertaraf edilmeyen ilaçların çevreye vereceği zararlar ve uzun vadede yaratacağı tehditlerin de önemle altı çizilmektedir (Gündoğmuş, 2021). Ayrıca, ilaç suistimali, hatalı kullanım, çocuklarda kaza eseri zehirlenmeler, intihar girişimleri de evde fazla ilaç bulundurmanın yarattığı risklere örnektir (Şencan, 2010).

*Atık ilaç*, eczanelerde veya hastane ilaç depolarında veya satın alındıktan sonra tüketicinin elinde “son kullanma tarihi sona ermiş ilaçlar” olarak tanımlanmaktadır (ÇKD, 2022). Atık ilaçların miadı dolduğu zaman yüksek ısıli fırınlarda imha edilmesi gerekmektedirken, uygun olmayan şekilde, örneğin tuvalete veya lavaboya dökülerek doğaya karışması, habitata tam anlamıyla zehir olarak geçiş yapması anlamına gelmekte ve takiben toprakta yetişen bitkiler aracılığı ile tekrar insanlara bu zehrin sunulması ile sonuçlanmaktadır (Gündoğmuş, 2021). Detay vermek

adına, 18.01.09 kodlu tehlikesiz ilaçlar miadı geçtikten sonra 1 yıl içerisinde, 18.01.08 atık kodlu tehlikeli ilaçlar ise miadı geçtikten sonra 6 ay içinde imha edilmelidir (BEO, 2022).

Avrupa Birliği ülkeleri, ABD, Avustralya ve Kanada gibi yaklaşık 30 ülkede çeşitli ilaç toplama sistemlerinin uygulamada olduğu bilinmektedir (Şencan, 2010). Ülkemizde ise 2018 yılında kurulan “ilaç ara depolama tesisi” (Pharmabotanica, 2018; Dünya, 2018), aile hekimlikleri, eczaneler, sağlık kuruluşları ve ecza depoları tarafından atık ilaçların toplanabileceği bir merkez olarak hizmet vermektedir. Bu tesislerin sadece toplama merkezi olarak düşünülmemesi gerekmekte, hangi ilaçların kullanımının sıklıkla tamamlanmayıp atığa dönüştüğünün tespitinde veri kaydını sağlaması bakımından büyük veri kaynağı olarak da aktif rol aldığı, ilaç endüstrisinde hangi ilaçtan ne kadar üretilmesi gerektiğine dair stratejik talep planlamaya şekil vermesi açısından da çok önemli bir konumdadır (Gündoğmuş, 2021). Ayrıca, gereksiz yere fazla üretimi yapılan bu ilaçlar, mevcut durumda karbon salınımını yaratması anlamında da hava yoluyla çevreye zarar vermektedir. Haliyle, bir ilaç firmasının atığa dönüşen ilacını tespit etmesi, o ilaçtan sadece gerektiği kadar üretim yapması, ya da ilaç paketinde yer alan ilaç sayısını azaltması hem toprak yoluyla hem de hava yoluyla doğaya verilecek zararı en aza indirirken, firmanın kendi üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından da önemli katkılar sağlamaktadır.

Evlerde tüketici elinde atık hale gelen ilaçların toplanmasının, belediyelerin sorumluluğunda olduğunu belirten (Gündoğmuş, 2021) veya ilaçlar üstünde doğrudan sorumluluğu bulunan eczacıların sorumluluğunda olduğunu ifade eden (ÇEKOOP, 2022; KEO, 2022) çeşitli içerikler ve yayınlar mevcuttur. Eczaneler ve Eczane Hizmetleri Yönetmeliği'nin 41 maddesi gereği, miadı dolan ilaçların imhasından sorumlu kişi eczane sahip ve mesul müdürü olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, 14 Mart 2005 tarih, 25755 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Çevre ve Orman Bakanlığı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile 5 Temmuz 2008 Atık Yönetimi Genel Esaslarına Ait Yönetmelik de eczacılara yüklenen sorumluluğa dayanak olarak gösterilmektedir. Maliye Bakanlığının 06.04.2012 tarih B:07.1.GİB.0.06.29-010-9 sayılı yazı ile vermiş olduğu yetkiye istinaden, imha işlemi sonrası eczacılar bu işlemi gider olarak gösterilmektedir (KEO, 2022).

Bir eczacı kooperatifi olan Pharmabotanica, “Atık İlaç Yönetim Sistemi” sunmaktadır. Atık ilaç ve ilaç dışı ürünler bu sistemde kayıt altına alınmakta, devamında sistemdeki prosedürler yerine getirildiğinde Pharmabotanica'nın anlaşmalı olduğu kargo şirketlerine ilaçlar teslim edilmekte, ilaçlar tehlikeli

veya tehlikesiz olarak ayrıştırılmakta ve takiben uygun şekilde imhası sağlanmaktadır. İmha işleminin yerine getirildiğini gösteren tüm resmi evraklar ilgili kurum adresinize gönderilmektedir (Pharmabotanica, 2022). Ayrıca, ÇEKOOP üyesi eczacıların gönüllü olarak kırılmış, bozulmuş ya da atıl durumdaki ilaçları topladığı da belirtilmektedir (ÇEKOOP, 2022).

Sağlık Bakanlığı tarafından sağlanan bir mobil uygulama olarak “İlaç Takip Sistemi Mobil” de önemli hizmetler sunmaktadır. Uygulama, ülkemizde kullanıma sunulan ilaçların üzerindeki kare kodu okutmak suretiyle sisteme kayıtlı olup olmadığını sorgulayan, ilaç hakkında detaylı bilgiye erişimi sağlayan bir mobil uygulamadır. İlacın hakkında geri çekme kararı olup olmadığı, satış fiyatı, kısa ürün bilgisi/kullanım talimatı, son kullanma tarihinin geçip geçmediği, yan etki bildirimini, en yakın eczane gibi bilgiler kare kodun oturulmasıyla öğrenilebilmektedir (İTS, 2022).

Ayrıca, bu konuda yerel yönetimler tarafından önemli projeler yürütülmektedir. Örnek olarak Bursa Eczacı Odası (BEO, 2022), Kocaeli Eczacı Odası (KEO, 2022), Konak Belediyesi (KB, 2022), Ataşehir Belediyesi (AB, 2022), Beylikdüzü Belediyesi (BB, 2022) verilebilmekte, bu yerel yönetimler *atık ilaç toplama noktaları* belirlemede, tanımlanan eczanelerdeki *atık ilaç toplama kutularına* bu ilaçlar tüketici tarafından bırakılmaktadır. Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü ekipleri belli periyotlarla eczaneleri dolaşarak toplanan ilaçları teslim almaktadır. Tüm bu projeler Sağlık Bakanlığı ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yönetimi ve izni altında yürütülmektedir.

*Kullanılmayan ilaç* ise, son kullanma tarihi geçmemiş atıl durumdaki ilaç olarak tanımlanmaktadır (TİTCK, 2022a). Kullanılmayan ilaçların, ihtiyacı olan başka hastalara iletilmesi veya farklı amaçlarla kullanılması, hatta ihtiyaç sahibi ülkelere gönderilmesi (Güder, 2014) söz konusudur. 2010 yılında bu konuda İzmir’de yapılan pilot çalışmada, toplanan 23 bin kutu ilacın üçte birinin hiç açılmamış olduğu tespit edilmiştir. Bunun ardında yatan sebeplere odaklanıldığında, kronik hastalığı bulunan bir kişiye 4 kutu yazılan bir ilaç hastaya dokunduğu durumda hastanın o ilacı içmesinin yanlış olduğunun saptanması ve o 4 kutu ilacın kullanılmadan evlerde kalması bulunmaktadır (Şencan, 2010).

Kullanılmayan ilaçların ihtiyaç sahiplerine iletilmesi sistemi hakkında ise çok az girişim bulunmaktadır. İzmir’de yapılan pilot çalışmadaki yetkililere sorulan “henüz süresi dolmamış ilaçların eczanelerde ihtiyaç sahiplerine verilir verilmeyeceği” sorusuna verilen yanıtlar olumsuz olmuş, bunun çok riskli ve suistimale açık bir konu olduğu belirtilmiştir (Şencan, 2010).

Bu çalışmanın arkasında yatan motivasyon, yapılan günlük sohbetlerde insanların bu konuyla ilgili ilk defa bir şey duyduğunu belirtmesine, kullanılmayan ya da süresi dolmuş ilaçların evlerinde atıl olarak durduğunu ifade etmelerine, atık imhası hakkında yetersiz bilgiye sahip olmalarına dayanmaktadır.

İnternette yapılan kaynak taramasında çeşitli forumlarda fikir beyan eden tüketicilerin yorumları incelendiğinde, bu konunun 2007 yılından bu yana sanal ortamda tartışıldığı ancak kapsayıcı bir projenin toplum tarafından bilinmediği ve benimsenmediği görülmüştür. Fikir beyan eden insan sayısı günümüzde sayıca daha fazla olmasına rağmen, harekete geçen şahıs sayısının çok sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan internet taramasında bireylerin kullanım süresi dolmamış ilaç fazlalarını en yakın sağlık kuruluşuna teslim etme veya mahallelerinde kampanya başlatma girişimleri (Dündar, 2007), kullanmadıkları ilaçları ne yapacaklarını bilmediklerini belirten söylemleri (Basarol, 2007), çeşitli illerde kurulmuş olan *ilaç bankalarına* veya hastane bünyesindeki *hastane eczanelerine* veya *aile hekimlerine* yapılan yönlendirmeler (Mehmet, 2007), belediye ile market zincirleri arasında yapılmış iş birliği örnekleri (Serkan, 2007) dikkat çekmektedir.

Görüldüğü üzere, kullanılmayan ve atık ilaçların uygun şekilde ve uygun zaman diliminde toplanması, bilinçli tüketicilerin bu konuda gerekli iş birliği sergilemesi gibi uygulama alanlarında *önemli bir açık* bulunmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, kullanılmayan ve atık ilaçların tersine lojistik faaliyetleri ile toplanmasına tüketicinin bakış açısını anlamak, değerlendirmek ve çözüm önerileri geliştirmektir. Bu doğrultuda anket yoluyla veri toplanmakta, tanımlayıcı araştırma modeli kullanılarak ve durum değerlendirmesi yapılmaktadır. Anketin ilk kısmında başvurulmuş ölçek Aktaş ve Selvi (2019) tarafından geliştirilen Akılcı İlaç Kullanımı Farkındalığı şeklinde olup, 15 maddelik 5’li Likert tipinde bir ölçek ile erişkinlerde akılcı ilaç kullanımı farkındalığı ölçülmektedir. Yazarlar tarafından ölçeğin güvenilirliğini saptamak üzere hesaplanan Cronbach Alfa katsayısı ise 0.83 olarak saptanmıştır. Hazırlanan tek bir anket metni ile ölçek ve kişisel bilgi formu katılımcılara iletilmekte, ankete verilen cevaplar elektronik ortamda kayıt altına alınmaktadır. Takiben, bu araştırma için merak edilen sorular yöneltilmektedir. Katılımcı bireylerin verdikleri cevaplar ANOVA ile analiz edilmiştir. Yaş, cinsiyet ve eğitim durumu gözetilerek oluşturulan gruplar arasında fark olup olmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma, Fenerbahçe Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu tarafından yürütülen 10 Mayıs 2022 tarih ve 2022-4 sayılı oturumda incelenerek onaylanmıştır.

Çalışma çıktıları, ilaç atıklarının geri toplanmasında tüketici davranışının anlaşılmasını, uygulama aşamasına geçildiğinde ise ne tip önerileri / çözüm yolları izlemenin nasıl sonuçlar doğuracağını tahmin etme hususunda katkı sağlamaktadır.

Takip eden bölümlerde detaylı literatür taramasına yer verilmekte, yöntem açıklanmakta, yapılan anket sonucu elde edilen bulgular detaylandırılmakta, sonuç kısmına yer verilmektedir.

## II. LİTERATÜR TARAMASI

İlaç endüstrisi, atık ilaçların çevre ve insan sağlığına verdiği zararların günümüzde daha sık ve net şekilde vurgulanması ile atık yönetimi konusuna gerekli önemin verilmesi konusunda çeşitli uygulamalar ve yönetmelikler sunmaktadır. Bu kapsamda kullanılmayan ve atık ilaçların uygun şekilde ve uygun zaman diliminde toplanması, bilinçli tüketicilerin bu konuda gerekli iş birliği sergilemesi önem arz etmektedir.

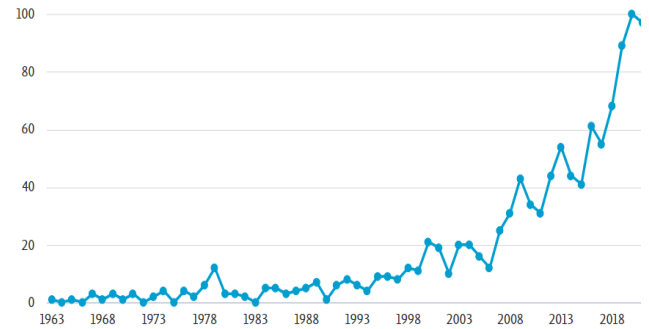
Ulusal veri tabanları incelendiğinde, konu hakkında yapılan çalışmalarda sistem dinamiği modeli (Orhan, 2020) ve genetik algoritmalar (Kırda, 2013) gibi yöntemler uygulanarak sistem yapısı modellenmiş ve teorik anlamda nasıl bir yol izleneceğine dair öneriler geliştirilmiştir. Örneğin Orhan (2020) çalışmasında ilaç atıklarının toplanmasının belediyeler üzerinden yürütülmesi önerilmiştir.

Bir başka çalışmada ise atık ilaçların sıfır atık kapsamında toplanıp bertarafı üzerinde durulmuş, oluşturulan pilot uygulama kapsamında belirli noktalara konumlandırılan ilaç toplama konteynerlerine tüketicinin ilaç bırakabileceği bir ortam oluşturulmuş, üç ayda bir bu konteynerlerde biriken ilaçlar ilgili merciiler tarafından toplanmıştır (Ceylan & Korkmaz, 2019). Ayrıca, atık ilaç malzemelerinin güvenli imhası konusunda çiftçilerin sağlık eğitim ihtiyacı bulunduğunu belirten araştırmalar (Önen vd., 2016) ve üniversite öğrencilerinin konu hakkındaki farkındalık seviyesini ölçme çalışmaları (Özdemir Deniz vd., 2019) da mevcuttur.

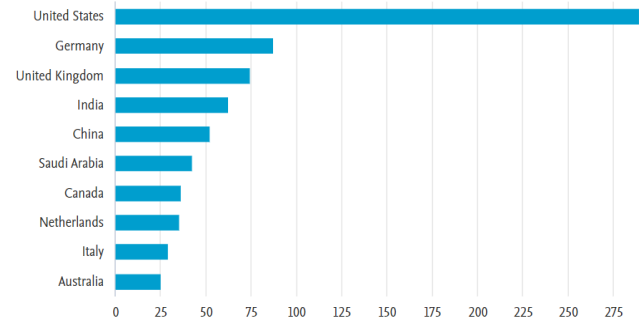
Ancak konu hakkında tüketici davranışının ne olduğu, tüketicinin iş birliği yapıp atıklarını ilgili otoritelere iletip iletmeme noktasında ne kadar istekli olduğuna dair bilgileri içeren çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Örneğin hane halkının atık ilaç konusunda bilgi, tutum ve davranışları incelenmiştir (Ayabakan Çot, 2019). Bu araştırmaya katılan evlerde atık ilaç sayısının çok yüksek olduğundan, akılcı ilaç kullanımının teşvik edilmesi gerekliliğinden, katılımcılardan bir kısmının atık yağ ve atık pil uygulamalarını desteklediklerinden, benzer şekilde ilaç için de bu tip uygulama olsa kullanabileceklerinden bahsedilmektedir.

Uluslararası yayınlar incelendiğinde, Scopus veri tabanında 7 Haziran 2022 tarihinde yapılan taramada sadece 1141 dokümana ulaşılmıştır. Waste/ idle / unused / disused / unwanted/ leftover/ expired/ residue/ out of date/ out of use/ abandoned/ obsolete gibi kelimelerin medication, drug, prescription ve pharmaceuticals kelimeleri ile birleştirilmesini takiben detaylı bir arama yapılmıştır.

Buna göre araştırmaların 2007 yılından itibaren hız kazandığı (Şekil 1) görülmektedir. Ayrıca bu alanda sıklıkla yayın yapan dergiler ise Journal of the American Pharmacists Association, International Journal of Electrochemical Science, International Journal of Clinical Pharmacy, Annals of Pharmacotherapy, Research in Social and Administrative Pharmacy, Science of the Total Environment, Journal of Molecular Liquids, Environment International şeklinde sıralanmaktadır. Bu konuda araştırmaların yapıldığı ülkeler ise ABD, Almanya, Birleşik Krallık, Hindistan, Çin, Suudi Arabistan, Kanada, Hollanda, İtalya ve Avustralya şeklindedir. Şekil 2’de görüldüğü üzere araştırmalar yoğunlukla ABD vatandaşıdır. Bu çalışmaların yüzde 76’sını makaleler, yüzde 12’sini derlemeler, yüzde 4’ünü bildiler, yüzde 2’sini kitap bölümleri, geri kalan kısmı ise notlar, kısa anketler, mektuplar ve kitaplar oluşturmaktadır.



Şekil 1. Kullanılmayan ve Atık İlaçların Literatürde Yayınlanma Yıllarına Göre Dağılımı.



Şekil 2. Kullanılmayan ve Atık İlaç Konusunda Araştırma Yayınlayan Ülkeler.

Kullanılmayan ve atık ilaç konusunu ele alan disiplinler incelendiğinde tıp, farmakoloji, çevre bilimi, sağlık bilimi, hemşirelik, mühendislik, sosyal bilimler ve kimya gibi alanlar dikkat çekmektedir.

Ayrıca ilaçların güvenliği ve kullanımı ile ilgili bir yönetmelik de bulunmaktadır (TİTCK, 2022b).

Literatürde yer alan uluslararası kaynaklarda, kullanılmayan ve istenmeyen reçeteli ve reçetesiz ilaçları güvenli bir şekilde *imha etme* (Calise vd., 2022), atık ilaçların *geri dönüşümü* üzerine deneysel araştırmalar (Dalal vd., 2022), kullanılmayan ilaçların *vasıflı tesislerde imhası için yasal gereklilikler* (Manjounes & Lavino, 2022; Smith vd., 2020; Alnahas vd., 2020), hastanelerde kullanılmayan ilaçların *maliyetinin* değerlendirilmesi (Woldeyohanins vd., 2022), kullanılmayan ve süresi dolmuş ilaçların doğru yönetimi ve imhası için *akıllı bir sistem önerisi* (Banjar vd., 2022), çevreye karşı sorumlu bir *farmasötik tedarik zincirinde* kullanılmayan ilaçları toplamak için *işbirlikçi modeller* (Nematollahi & Hosseini-Motlagh, 2022; Kumar vd., 2019), ilaçların *sürdürülebilir tedarikini* ve kullanımını sağlamak için atıkları *en aza indiren önlemler* (Smale vd., 2021), ikincil alüminyum kaynağı olarak atık ilaç blister ambalajlarının kullanımı (Shukla vd., 2022; Nieminen vd., 2020), eczacıların ilaç imhasına ilişkin uygulamaları, farkındalıkları ve inançları (Alghadeer & Al-Arifi, 2021), küçük çocuklu evlerde kullanılmamış reçeteli ilaçların bulundurulmasının yarattığı risk faktörleri (Egan vd., 2020), ilaç kalıntılarının tersine lojistiğine ilişkin sistematik inceleme (Luis vd., 2021), tüketicilerin evde kullanılan ilaçların saklanması ve bertarafına ilişkin bilgi birikimi ve uygulamaları (Hassan vd., 2022; Alfian vd., 2021; Marwa vd., 2021; Woldeyohanins vd., 2021; Mei Lai vd., 2021, Foon vd., 2020; Ong vd., 2020; West vd., 2020) konuları ele alınmaktadır.

Literatürde özellikle tüketicinin bilgisini, davranışlarını ve alışkanlıklarını anlamaya dönük çalışmalar ağırlıktadır. Ancak ülkemizde bu tip çalışmaların hem sayısı çok sınırlıdır hem de ele alınan örneklem çok küçük bir kitleyi kapsamaktadır. Ayrıca, diğer ülkelerde bulunan çeşitli ilaç toplama uygulamaları incelendiğinde, ulusal alışkanlıklarımız ile örtüşmeyen durumlar söz konusudur.

Dolayısıyla çalışmanın devamında hem ulusal tüketicinin bu konudaki bilinç seviyesi ölçülmeye çalışılacak, hem de olası uygulamalara yaklaşımlarının ne olduğu belirlenecektir.

### III. YÖNTEM

Bu çalışmanın araştırma sorusu ilk olarak ilaç atıklarının toplanmasında tüketici davranışının ne olduğu, ikinci aşamada ise tüketiciden toplanan geri bildirimler doğrultusunda nasıl bir yol izlenebileceğidir.

Araştırma bulguları, ilaç atıklarının geri toplanmasında tüketici davranışının anlaşılmasını, uygulama aşamasına geçildiğinde ise ne tip yolları

izlemenin nasıl sonuçlar doğuracağını tahmin etme hususunda çeşitli senaryoların ortaya konması sayesinde katkı sağlamaktadır

Araştırma soruları: (i) İlaç atıklarının toplanmasında tüketici davranışı nedir? (ii) Tüketiciden toplanan geri bildirimler doğrultusunda nasıl bir yol izlenebilir? Araştırmanın bağımsız değişkenleri: (a) Tüketiciden toplanan kullanılmayan ve atık ilaç miktarı, (b) Olası toplama noktası seçenekleri. Araştırmanın bağımlı değişkeni ise tersine lojistik ağı tasarımı şeklindedir. Araştırmanın değişkenleri ise tüketicinin geri dönüşüme/tekrar kullanıma kazandırdığı ilaç miktarı ve çeşitli dağıtım noktaları tipleri şeklindedir.

Anketin başında kullanılacak olan, Hakkı Aktaş ve Hüseyin Selvi tarafından geliştirilen 15 maddelik 5'li Likert tipinde bir ölçek ile erişkinlerde akılcı ilaç kullanımı farkındalığı ölçülmüştür. 15 maddelik AİK Farkındalık Ölçeğinden alınabilecek en düşük puan 15, en yüksek puan ise 75'dir, bazı sorular ters kodlanmıştır, soru bazında spesifik bir puanlama sistemi bulunmaktadır. Ölçeğin güvenilirliğini saptamak üzere hesaplanan Cronbach Alfa katsayısı ise 0.83 olarak bulunmuştur. Hazırlanan tek bir anket metni ile ölçek ve kişisel bilgi formu katılımcılara iletilecek, ankete verilen cevaplar elektronik ortamda kayıt altına alınmıştır. Mayıs-Temmuz 2022 aralığında veri toplama işlemi yapılmıştır.

Anketlere katılım sağlayan bireylerin cevapları yaş gruplarına göre incelenerek, farklı senaryo seçenekleri tanımlanmıştır. Anketlere katılımcı arayışı Beykoz, Üsküdar ve Küçükçekmece ilçelerinde bulunan eczanelerin civarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca anket, çevrimiçi de hazırlanıp mail yoluyla dağıtılacaktır. Mail yoluyla ulaştırılması planlanan katılımcılar ise araştırmacıların çevresinde tanıdıkları özellikle düzenli ilaç kullanan kişiler olmuştur. Örneklem büyüklüğünün hesaplanmasında ise Serper ve Aytaç (2000) çalışmasında yer alan "Ana Kütle Büyüklükleri ve Güvenilirlik Seviyesine Göre Örneklem Hacimlerinin Belirlenmesi" tablosu referans alınmış, güvenilirlik düzeyi olarak %95 seçilmiş, örneklem hacmi en az 500 olarak alınmıştır. Örnekleme yöntemi ise basit tesadüfi örneklemidir. Çalışmaya dâhil olacak katılımcılar yetişkin bireylerden seçilmiştir. 18 yaş altı bireyler hariç tutulmuştur.

Bu çalışma, Fenerbahçe Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu tarafından yürütülen 10 Mayıs 2022 tarih ve 2022-4 sayılı oturumda incelenerek onaylanmıştır.

Elde edilen verilerin analizinde ANOVA (Analysis of Variance) yöntemi kullanılacak, verilerin birbirine olan bağımlılık durumu (dependency) ölçülecektir. ANOVA, seçilen bir olasılık düzeyinde, iki veya daha



fazla gruptan elde edilen sonuçların önemli ölçüde farklı olup olmadığını belirlemek için kullanılır. ANOVA'da, sonuçların toplam varyansı, kaynaklar arasındaki varyans ve grup içindeki varyans olmak üzere iki kaynağa atfedilir. Bu teknik, birden fazla örnek olay söz konusu olduğunda kullanılır (Rutherford, 2011). Aşağıdaki hipotezlerin ANOVA ile değerlendirilmesi yapılacaktır:

$H_0$ : Bireylerin kullanılmayan ve atık ilaçların bağışında yaklaşımlarının yaş, eğitim durumu ve cinsiyet açısından fark olmadığı düşünülmektedir.

$H_1$ : Bireylerin kullanılmayan ve atık ilaçların bağışında yaklaşımlarının yaş, eğitim durumu ve cinsiyet açısından farklı olacağı düşünülmektedir.

Eğer  $p$  değeri  $\leq 0.05$  ise sıfır hipotezi ret edilir,  $> 0.05$  ise ret edecek yeterli delil yoktur.

Excel'de yapılan tek etken (one way) ANOVA sonuçları Tablo 1'deki gibidir.

$p$  değerinin anlamlı olmadığı görülmektedir. 0.05'ten küçük veya eşit bir değer söz konusu değildir (0,073012). Dolayısıyla bireylerin kullanılmayan ve

atık ilaçların bağışında yaklaşımlarının yaş açısından fark olmadığı tespit edilmiştir.

Benzer şekilde cinsiyet açısından gruplar arası fark olup olmadığını incelemek için aynı analiz tekrar edilmiştir (Tablo 2). Sadece iki grup olması bakımından  $t$  testinin yapılması da yeterlidir. Ancak analizin bütünlüğünün korunması için hem  $t$  testi sonuçlarına hem de tek etken ANOVA sonuçlarına yer verilmiştir.

$p$  değeri 0.05'ten küçük olmadığı için iki grup arasında anlamlı fark olmadığı söylenebilir. Dolayısıyla bireylerin kullanılmayan ve atık ilaçların bağışında yaklaşımlarının cinsiyet açısından fark olmadığı söylenebilir.

Benzer şekilde eğitim seviyesi açısından gruplar arası fark olup olmadığını incelemek için aynı analiz tekrar edilmiştir (Tablo 3).

$p$  değeri 0.05'ten küçük olmadığı için gruplar arasında anlamlı fark olmadığı söylenebilir. Dolayısıyla bireylerin kullanılmayan ve atık ilaçların bağışında yaklaşımlarının eğitim seviyesi açısından fark olmadığı söylenebilir.

**Tablo 1.** Tek etken ANOVA çıktıları – yaş açısından.

| Gruplar      | Say | Toplam | Ortalama | Varyans  |
|--------------|-----|--------|----------|----------|
| 60'tan fazla | 55  | 143    | 2,6      | 0,42963  |
| 55-60        | 50  | 135    | 2,7      | 0,377551 |
| 50-55        | 79  | 212    | 2,683544 | 0,372931 |
| 45-50        | 80  | 219    | 2,7375   | 0,322627 |
| 40-45        | 160 | 442    | 2,7625   | 0,232547 |
| 36-40        | 163 | 448    | 2,748466 | 0,288192 |
| 30-35        | 174 | 480    | 2,758621 | 0,230417 |
| 25-29        | 65  | 183    | 2,815385 | 0,152885 |
| 19-24        | 67  | 171    | 2,552239 | 0,311624 |

#### ANOVA

| Varyans Kaynağı  | SS       | df  | MS       | F        | P-değeri | F ölçütü |
|------------------|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| Gruplar Arasında | 4,08085  | 8   | 0,510106 | 1,802639 | 0,073012 | 1,94886  |
| Gruplar İçinde   | 250,1521 | 884 | 0,282977 |          |          |          |
| Toplam           | 254,2329 | 892 |          |          |          |          |

**Tablo 2.** *t* testi ve tek etken ANOVA çıktıları– cinsiyet açısından.

| <i>t</i> -test: Eşit Varyanslar<br>Varsayarak İki Örnek |              |              | Anova: Tek Etken            |            |               |                 |                |                      |                     |
|---|--------------|--------------|-----------------------------|------------|---------------|-----------------|----------------|----------------------|---------------------|
|   | <i>Kadın</i> | <i>Erkek</i> | ÖZET                        |            |               |                 |                |                      |                     |
|   |              |              | <i>Gruplar</i>              | <i>Say</i> | <i>Toplam</i> | <i>Ortalama</i> | <i>Varyans</i> |                      |                     |
| Ortalama  | 2,730        | 2,714        | <i>Kadın</i>                | 441,000    | 1204,000      | 2,730           | 0,275          |                      |                     |
| Varyans   | 0,275        | 0,299        | <i>Erkek</i>                | 447,000    | 1213,000      | 2,714           | 0,299          |                      |                     |
| Gözlem  | 441,000      | 447,000      |                             |            |               |                 |                |                      |                     |
| Birikimli<br>Varyans                                    | 0,287        |              |                             |            |               |                 |                |                      |                     |
| Öngörülen<br>Ortalama<br>Farkı                          | 0,000        |              |                             |            |               |                 |                |                      |                     |
| df  | 886,000      |              | ANOVA                       |            |               |                 |                |                      |                     |
| <i>t</i> Stat   | 0,459        |              | <i>Varyans<br/>Kaynağı</i>  | <i>SS</i>  | <i>df</i>     | <i>MS</i>       | <i>F</i>       | <i>P-<br/>değeri</i> | <i>F<br/>ölçütü</i> |
| P(T<=t)<br>tek-uçlu                                     | 0,323        |              | <i>Gruplar<br/>Arasında</i> | 0,061      | 1,000         | 0,061           | 0,211          | 0,646                | 3,852               |
| <i>t</i> Kritik<br>tek-uçlu                             | 1,647        |              | <i>Gruplar<br/>İçinde</i>   | 254,236    | 886,000       | 0,287           |                |                      |                     |
| P(T<=t)<br>iki-uçlu                                     | 0,646        |              | <i>Toplam</i>               | 254,296    | 887,000       |                 |                |                      |                     |
| <i>t</i> Kritik iki-<br>uçlu                            | 1,963        |              |                             |            |               |                 |                |                      |                     |

**Tablo 3.** Tek etken ANOVA çıktıları – eğitim seviyesi açısından.

| <i>Gruplar</i> | <i>Say</i> | <i>Toplam</i> | <i>Ortalama</i> | <i>Varyans</i> |
|----------------|------------|---------------|-----------------|----------------|
| Doktora        | 628        | 1717          | 2,734076        | 0,281644       |
| Yüksek Lisans  | 110        | 306           | 2,781818        | 0,245538       |
| Lisans         | 113        | 304           | 2,690265        | 0,251422       |
| Ön Lisans      | 10         | 23            | 2,3             | 0,677778       |
| Lise           | 27         | 72            | 2,666667        | 0,307692       |

| ANOVA                   |           |           |           |          |                 |                 |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------------|-----------------|
| <i>Varyans Kaynağı</i>  | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-değeri</i> | <i>F ölçütü</i> |
| <i>Gruplar Arasında</i> | 2,435857  | 4         | 0,608964  | 2,189273 | 0,068386        | 2,382013        |
| <i>Gruplar İçinde</i>   | 245,6137  | 883       | 0,278158  |          |                 |                 |
| <i>Toplam</i>           | 248,0495  | 887       |           |          |                 |                 |

#### IV. BULGULAR

Hazırlanan anketin etik kurul tarafından onaylanmasını takiben, form olarak hazırlanan anket daha önceden belirlenen konularda tüketiciye iletilmiştir. Anket ayrıca çevrimiçi platformda da hazır hale getirilmiş ve anketin linki de araştırmacının çabasıyla katılımcılara iletilmiştir.

Toplam 937 geri dönüşten 29'u ankete gönüllü olarak katıldığını belirtmediği için elenmiş, takiben ankette katılımcının soruları gerçekten okuyup okumadığını anlamak üzere ankete eklenen "üçüncü şıkkı işaretleyiniz" şeklindeki soruya verilen farklı cevaplardan dolayı da 14 kişi elendikten sonra toplam 894 anket katılımcısının cevabı değerlendirmeye

alınmıştır. Ankete katılım gösterenlerin demografik bilgileri Tablo 4'teki gibidir.

Katılımcıların bilgileri incelendiğinde özellikle lisansüstü eğitimi bulunan bireylerin ankete yoğun ilgi gösterdikleri fark edilmiş, kendilerinden alınan geri dönüşlerde araştırma sonucunu merak ettikleri ve kendi akademik platformlarında anketi paylaştıkları iletilmiştir.

Katılımcıların %87 gibi büyük çoğunluğu tam zamanlı bir işte çalışmaktadır. Cinsiyete göre katılım durumu incelendiğinde katılım oranının neredeyse eşit olduğu anlaşılmaktadır. Katılımcıların büyük çoğunluğu Emekli Sandığı tarafından sosyal güvence altında iken

(%63), yaklaşık üçte biri ise SSK'ya bağlıdır. Ayrıca, katılımcıların yaş aralığı incelendiğinde, 30-45 yaş aralığından yoğun katılımın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun hane toplam gelir düzeyi ise 12500 TL'nin üzerindedir.

Akılcı ilaç kullanımı farkındalığı ölçeğine verilen cevaplar değerlendirildiğinde, en az 15, en fazla 75 puan alınan ölçekte katılımcıların ortalamasının 61.35 çıktığı tespit edilmiştir. Eğitim seviyesinin yüksek olduğu bu katılımcı profilinde, beklenenin altında bir farkındalık olduğu söylenebilir.

Yakınların tavsiyelerine ya da kendi kafalarına göre ilaç kullanma durumlarına ilişkin bulgularda baskın cevabı tespit etmek mümkün olmasa da, ölçekte olumlu ve olumsuz tarafa dair oranlar yüzde 60 ve yüzde 16 şeklinde gerçekleşmiştir. Geri kalan kısım kararsız olduğu ifade etmiştir.

Nitekim cevapların detayına bakıldığında, katılımcıların %76'sı ilaçların son kullanma tarihine kesinlikle baktığını, %73'ü ilaçların bozulduğunu düşünmesi halinde kesinlikle çöpe attığını, %54'ü ilaçları önerilen süre kadar kullandığını, %43'ü ilaçları saklarken kullanma talimatında yazan saklama koşullarına dikkat ettiğini, %80'i ilaçların gereksiz kullanımının sağlığa zararlı olduğunu bildiğini, %72'si ilaçları önerilen dozda/miktarda aldığını, %64'ü reçetesiz antibiyotik kullanmadığını, %41'i ilaç tedavisi bittikten sonra ilacının kalanını evde sakladığını belirtmektedir (Bu kısımda tamamen katılıyorum cevabını verenlerin oranları aktarılmaktadır, benzer sorulara verilen cevaplar bir arada ele alınıp aktarılmıştır.)

Ayrıca ölçek kapsamında katılımcılara yakınlarının ilaç tavsiyelerini dikkate alıp almadıkları, kendilerine iyi gelen ilaçlar benzer şikâyetleri olan yakınlarınıza tavsiye edip etmedikleri, doktora gitmeden önce varsa evdeki ilaçları kullanarak öncelikle kendi kendilerini iyileşmeye çalışıp çalışmadıkları da sorulmuştur. Verilen cevaplar çok çeşitli olup 5'li Likert ölçeğinde hemen hemen eşit oranda dağılım göstermiştir. Dolayısıyla bu sorular ile ilgili baskın cevabı tespit etmek mümkün olmamıştır.

Anketin devamında, kişisel bilgi formunda yöneltilen ilk soruda katılımcılara ilaç biriktirip biriktirmedikleri sorulmuş, %60'ı biriktirdiğini belirtmiştir.

Tahmini olarak yaklaşık kaç kutu kullanılmayan / atıl ilaç bulduklarının cevabına ise katılımcıların %40'ı 0-5 adet, %25'i 5-10 adet, %17'si 10-15 adet, %10'u ise 15-20 adet cevabını vermiştir. Geri kalan kısım ise çok daha yüksek rakamlarda ilacı evlerinde tuttuklarını belirtmektedir. Görüldüğü üzere

katılımcıların evlerinde muhakkak az da olsa ilaç bulunmaktadır.

Genelde hangi kategoriden ilaç sakladıkları sorulduğunda, büyük çoğunluğun ağrı kesici (%85) ve ateş düşürücü (%77) bulduğunu, azalan sırayla tansiyon, astım, şeker, kalp, guatr, romatizma, alerji gibi hastalıklar için de evde ilaç tuttukları ifade edilmiştir.

İlaçları biriktirme sebepleri sorusuna verilen cevaplar ise şu şekildedir (Katılımcıların birden çok şıkki işaretlemesi mümkün kılınmıştır) :

- Acil ihtiyaç doğabilir düşüncesiyle (%78.5)
- Kronik hastalığın bulunması sebebiyle (%18.5)
- İlaçlara çeşitli sebepler yüzünden erişememe ihtimaline karşı (%12.5)
- Eczaneye erişimin mesafeden dolayı zor olması sebebiyle (%8.5)
- İlacın piyasadan çekilme ihtimaline karşı (%2)

Bunlara ek olarak, diğer sebeplerini belirten katılımcılardan gelen geri bildirimler ise,

- Kasıtlı biriktirme şeklinde değil, kalan ve tarihi geçmemiş ilaçların evde kalması durumu, tedavi tamamlanmış ve ilaç artmışsa
- Hiç kullanılmamış olması dolayısıyla
- Çöpe atmaktansa buzdolabında saklamanın tercih edilmesi
- Dolapta unutmak dolayısıyla
- Son kullanma tarihlerinin ilaç şirketlerini korumak için kısa tutulması nedeni ile
- Tekrar reçete edildiğinde almamak için ve tekrar kullanımı için bir kuruma iade ediliyorsa diye
- Son kullanma tarihlerinin uzun olması ve fiyatların periyodik olarak artması durumu dolayısıyla
- Tüketicinin doğaya zarar vermeden nasıl ilaçtan kurtulması gerektiği konusunda kararsızlığı sebebiyle. Örneğin bir katılımcı "Suyu kirletmemek adına klozete dökmüyorum. Çöpe atılan ilaçların bir şekilde insanların/çocukların eline geçeceğini düşünüyorum. Çöpten beslenen hayvanların yemesinden endişe ediyorum." şeklinde ifadeler yer almaktadır.

Anket katılımcılarına yönlendirilen "ne sıklıkla ilaç kullanıyorsunuz?" sorusuna katılımcıların %66'sı "gerektiğinde" şeklinde, %24'ü "her gün", %4'ü "haftada bir", %3'ü ise "ayda bir" şeklinde cevap vermiştir.

**Tablo 4. Katılımcıların Demografik Bilgileri.**

|                 | Kategoriler                     | #   | %      |                     | Kategoriler               | #              | %      |       |
|-----------------|---------------------------------|-----|--------|---------------------|---------------------------|----------------|--------|-------|
| Çalışma durumu: | Bir işte tam zamanlı çalışıyor  | 774 | 86,58% | Yaş aralığı:        | 19-24                     | 67             | 7,49%  |       |
|                 | Bir işte yarı zamanlı çalışıyor | 21  | 2,35%  |                     | 25-29                     | 65             | 7,27%  |       |
|                 | Öğrenci                         | 54  | 6,04%  |                     | 30-35                     | 174            | 19,46% |       |
|                 | Ev hanımı                       | 2   | 0,22%  |                     | 36-40                     | 163            | 18,23% |       |
|                 | Emekli                          | 6   | 0,67%  |                     | 40-45                     | 160            | 17,90% |       |
|                 | Şu an çalışmıyor                | 37  | 4,14%  |                     | 45-50                     | 80             | 8,95%  |       |
| Eğitim durumu:  | Doktora                         | 629 | 70,36% |                     | 50-55                     | 79             | 8,84%  |       |
|                 | Yüksek Lisans                   | 111 | 12,42% |                     | 55-60                     | 50             | 5,59%  |       |
|                 | Lisans                          | 114 | 12,75% |                     | 60'tan fazla              | 55             | 6,15%  |       |
|                 | Ön Lisans                       | 11  | 1,23%  |                     | Belirtmek istemiyor       | 1              | 0,11%  |       |
|                 | Lise                            | 27  | 3,02%  |                     | Hane toplam gelir düzeyi: | 2500 TL'den az | 9      | 1,01% |
|                 | İlkokul                         | 2   | 0,22%  |                     |                           | 2501-5000 TL   | 20     | 2,24% |
| Cinsiyet:       | Kadın                           | 442 | 49,44% | 5001-7500 TL        |                           | 36             | 4,03%  |       |
|                 | Erkek                           | 448 | 50,11% | 7501-10000 TL       |                           | 57             | 6,38%  |       |
|                 | Belirtmek istemiyor             | 4   | 0,45%  | 10001-12500 TL      |                           | 167            | 18,68% |       |
| Sosyal güvence: | 4A (SSK)                        | 280 | 31,32% | 12500 TL'den fazla  |                           | 593            | 66,33% |       |
|                 | 4B (BAĞ-KUR)                    | 23  | 2,57%  | Belirtmek istemiyor | 12                        | 1,34%          |        |       |
|                 | 4C (Emekli Sandığı)             | 563 | 62,98% |                     |                           |                |        |       |
|                 | Özel                            | 9   | 1,01%  |                     |                           |                |        |       |
|                 | Yok                             | 19  | 2,13%  |                     |                           |                |        |       |

“Atık ilaçların toplanıp başka bir amaçla kullanılmasını veya uygun şekilde imhasını destekler misiniz?” sorusuna verilen yanıtlar incelendiğinde, net şekilde “evet” diyenlerin oranının %76.7, “olabilir” diyenlerin oranının %19.2, “hayır” diyenlerin oranının ise %4.1 olduğu tespit edilmiştir. “Hayır” cevabını veren katılımcılardan sebep belirtenlerin geri dönüşleri ise şu şekildedir:

- Başka bir amaç için hayır, uygun imha için evet
- Hayır. Bu iş hem tedarik hem de tüketici piyasaları açısından düzenlenmesi olanaksız derece zor bir girişimdir. Haksız rekabet ve kalite kontrol sorunları üretir.
- Hayır. İmha edilmesi gerekli değil. Yeniden kullanılabilir
- Hayır. İlaç başka amaçla kullanılmamalı çöp olmalı
- Yetkilendirilmiş bir kuruluş tarafından olursa evet
- Hayır. Hekim olarak ihtiyacı olanlarda kullanırım

Görüldüğü üzere katılımcının çoğunluğu olumlu yaklaşım sergilerken, az oranda da olsa bir kısım tüketici ise olumsuz yaklaşım göstermektedir.

Takiben sorulan “Kullanılmayan ilaçların geri kazandırılmasını destekler misiniz?” sorusuna verilen cevaplar incelendiğinde, net şekilde “evet” diyenlerin oranının %70.9, “olabilir” diyenlerin oranının %22.8, “hayır” diyenlerin oranının ise %6,3 olduğu

görülmüştür. “Hayır” cevabını veren katılımcılardan sebep belirtenlerin geri dönüşleri ise şu şekildedir:

- Hayır. İlaç geri dönüşümü nasıl olur bir bilgim yok
- Hayır. Güvenilir bir sistem olmalı. Bu şekilde sistemlerle çok zor. Zorlama olmaz. Her şeyde olduğu gibi eğitim sistemi içinde uygulanıp toplumsal değişim ile olur. Bu da bugün başlarsak 20 yıl sonra biraz değişir.
- Hayır. Geri kazanım olunca işe yarayacak mı? Zaten zamanı bitmiş ilaçlar atılıyor yani bir fayda sağlamayan ilaçlar. İlaç şişelerinde dolmuş ya da hap sayısı kullanılacak güne kadar olursa ilaç geri toplama olmaz zaten.
- Hayır. Kötü amaçlı kullanılabilir, ticari vb.
- Hiç düşünmedim.
- Geri kazandırılması işlemi pahalı ve yasal düzenlemeler eksik ise imhasını uygun buluyorum. Ayrıca eğer geri kazandırılma mümkün olsa bile, ülkemizde geri kazandırılma işlemlerinde aykırılıklar yaşanabilir diye korkuyorum.
- Yetkilendirilmiş bir kuruluş tarafından olursa evet
- Hayır. Güvenilirliğinden şüphe duyarım, kendim kullanmayı tercih etmem; ama hiç ilaca ulaşamayanlar için de iyi bir çözüm olabilir.

Bir önceki soru ile karşılaştırıldığında çekimser tüketici oranının arttığı görülmektedir.

“Şu an herhangi bir geri kazanım uygulaması hakkında bilgi sahibi misiniz?” sorusuna katılımcılar %72.8 oranında “hayır”, %14.2 oranında “biraz”, %12.5 oranında “evet” şeklinde cevap vermiştir. Görüldüğü üzere tüketicinin büyük kısmı konuya olumlu bakmaktadır. Ancak yeterli bilgilendirmenin yapılmadığı da açıktır.

“Kullanılabilir durumdaki ilaçlarınızı bağışlamak ister misiniz?” sorusuna verilen yanıtlar incelendiğinde, net şekilde “evet” diyenlerin oranının %51.5, “olabilir” diyenlerin oranının %35.8, “hayır” diyenlerin oranının ise %6,9 olduğu görülmüştür. Diğer seçeneğinde fikir belirten katılımcılar, önceki sorularda da vurguladıkları üzere, elinde ilaç tutmak zorunda olduğunu belirtmiştir. Verilen cevaplardan da anlaşıldığı üzere, tüketiciler konuya olumlu yaklaşıp bile yine de evde ilaç tutma eğiliminden kolay kolay vazgeçmeme yönünde tutum sergilemektedir. Toplumsal, ekonomik ve çevresel belirsizlikler dolayısı ile kullanılabilir ilaçların bağışlanmasında çekimser bir yaklaşım tespit edilmiştir.

Takiben, “Eğer cevabınız evetse, nasıl bir yol izlemeyi tercih edersiniz?” sorusuna şu yanıtlar verilmiştir (Birden çok yanıt vermek mümkündür):

- En yakın eczanedeki toplama kutularına bırakabilirim (%74.5)
- Aile hekimimdeki toplama birimine bırakabilirim (%44.5)
- İşlek yerlerde bir toplama birimi olursa bırakabilirim (%31.5)
- Kurye ile evimden/iş yerimden alınsın isterim (%19.9)
- Fark etmez (%12.4)

Bunlara ek olarak gelen öneriler ise:

- Mahalledeki marketlerden
- Teşvik politikası uygulanırsa (tüketicinin de çıkarı olmalı) fark etmez şeklinde geri dönüşler olmuştur.

“Peki siz kullanılmayan ilaçları nasıl değerlendirirsiniz?” sorusuna verilen cevaplar:

- Fark etmeden Son Kullanma Tarihi geçene kadar tutarım, sonrasında çöpe atarım (%55.8)
- Tekrar kullanmak için saklarım (%40.4)
- Çöpe atarım (%13.5)
- Kullanabilecek başka birine veririm (%12.3) şeklindedir.

Ayrıca,

- Eczaneye götürürüm.
- Sağlık ocağına / aile hekimine / hastaneye veririm

- Üniversite kampüsümüzde ilaç toplama kutuları mevcut. Onlara bırakıyorum.
- Veterinerime veriyorum
- Doktora gittiğimde yanımda götürüyorum
- Cimer başvurum neticesinde belediyeden geri dönüşüm sağlandığını öğrendim, oraya veririm.

şeklinde geri dönüşler de sağlanmıştır.

“Atık ilaçlarınızı nasıl değerlendirirsiniz?” sorusu ayrıca yöneltilmiş, %81 oranında “çöpe atarım”, %10.3 oranında ise “saklamaya devam ederim yanıt alınmıştır. Geri kalan kısım ise eczaneye / hastaneye / aile hekimine ilacı bıraktığını ifade etmiştir.

Mevcut durumu anlamaya yönelik bu soruları takiben “İlaçların son kullanma tarihlerine bakıyorsanız, yaklaşan ilaçlar için hatırlatıcı bir sistem kullanır mısınız?” sorusu ile bu olumsuz durumu değiştirmeye yönelik girişimlere verilen tepkilerin anlaşılması hedeflenmiştir. Verilen cevaplar incelendiğinde, %55.9 oranında “hayır ama olsun isterim”, %24 oranında “hayır umursamam”, %15.5 oranında “evet kullanırım” cevapları alınmıştır. Ayrıca, “Hatırlatıcı kullanırım”, “Telefonumda bana sürekli bildirim vermeyecek ve ilaç bilgilerimi manuel olarak eklemek zorunda kalmayacağım bir sistem benim için gerçekçi olur”, “Nasıl olacak bilmiyorum olursa iyi olur” şeklinde yanıtlar da mevcuttur.

“Eğer cevabınız evetse, aşağıda belirtilen sistemlerden hangisini tercih edersiniz?” sorusu yöneltilindiğinde ise:

- E-reçete / e-nabız sistemi üzerinden SMS ile hatırlatılma yapılması (%41.2)
- Herhangi biri olabilir fark etmez (%40.1)
- Mobil uygulama üzerinden (barkod taratarak ilaçları tanımlayan bir mobil aplikasyon) (%30.6)
- Takvime hatırlatma eklenmesi (%19.9) şeklinde bir sonuç elde edilmiştir.

Sadece bağışçı olmanın değil, bağışlanan ilacı kullanım durumunun sorgulanması amacı ile “Başka birinin kullanmadığı (kullanılabilir durumdaki) ilaçları kullanır mısınız?” sorusu ile elde edilen cevaplar ise %35.8 oranında “hayır”, %34.1 oranında “olabilir”, %20.9 oranında “evet” şeklinde olup, tüketicinin bu noktada olumsuz yaklaşım sergilediğini söylemek mümkündür. Diğer seçeneği ile toplanan geri dönüşler incelendiğinde, başkasından gelen kullanılabilir ilaca tüketicinin güvenmediğini anlaşılmalı, hekim kontrolüne ve yönlendirmesine ihtiyaç duyduğu görülmektedir.

Takiben sorulan “Eğer cevabınız evetse, ilacı nasıl temin etmek istersiniz?” sorusu ile edinilen yanıtlar

- Aile hekimimden / sağlık ocaklarından (%47.4)
- Anlaşma sağlanmış belirli eczanelerden (%46.8)
- Güvenilir olduğunu hissetmem yeterli, yer çok önemli değil (%16.1)
- Bulduğum semtte bir noktadan (%7.2)
- Bulduğum ilçede bir noktadan (%2.6)

şeklinde olup, geri kalan kısmın büyük çoğunluğu “hayır” cevabını işaretlemiş, bir kısmı da “yakın çevremden” şeklinde not düşmüştür.

“Yukarıda belirtilen sistemlerde, otomat / akıllı kutu şeklinde bir uygulama olsa kullanılmayan ilaçlarınızı buraya bırakır mısınız?” sorusuna, %61.4 oranında “evet”, %30.8 oranında “olabilir”, %4.2 oranında “hayır” cevabı vermiş, geri kalan kısım ise kararsız olduğunu belirtmiştir.

“Otomatlardan / akıllı kutulardan “kullanılmayan ilaç” almak ister misiniz?” sorusuna ise %41.2 oranında “hayır”, %33.1 oranında “olabilir”, %13.1 oranında “evet” cevabı alınmış, geri kalan kısım ise yine “güvenemem” şeklinde not düşmüştür.

Son olarak, “İndirim / geri ödeme / kupon / yan hak vb. maddi teşvik edici unsurlar olsa, atık veya kullanılmayan ilaç başışına bakış açımız nasıl değişirdi?” sorusuna katılımcıların %63.4’ü “olumlu”, %32.8’i “değişmez” şeklinde yanıt vermiş, geri kalan kısım ise oluşabilecek riskli / istenmeyen durumlara dikkat çekmiştir.

Anket sonunda açık uçlu bir soru ile katılımcılardan eklemek istedikleri fikirlerini beyan etmeleri rica edilmiş ve şu ek yorumlar elde edilmiştir.

*“Otomat mantıklı bir proje fakat aile hekimi denetiminde bir otomat olması güvenilirliği arttıracak bir durum olur.”*

*“Kullanılmayan ilaçların geri kazanılması ve atık durumdaki ilaçların imhası ya da alternatif kullanım olanakları çok çevreci bir düşünce. Son olarak bu dönüşümün önemli bir sürecinin de kullanılabilirliğe uygunluğunun kontrolü olduğunu düşünüyorum.”*

*“Sosyal güvencem olduğu için, başış ilaç almayı çok tercih etmem, daha fazla ihtiyaç sahibine verilmesini maddi manevî kazanç olarak görürüm.”*

*“Bir otomat fikri ön plana çıkıyor ankette, ancak bilinçli ve kurallara uygun yaşamayı öğrenememiş bir toplum için otomatlarda sahtecilik ve kasıtlı kirletme vb. ihtimalini düşünmeden edemiyorum. İlaç, sağlığı doğrudan etkileyen bir unsur olduğu için güven ve etik konusu netleşmeden aktarım sisteminin sağlıklı işlemesi bana zor görünüyor.”*

*Ancak ilaçların kutusunun, şişenin vb. geri dönüşümünün sağlanması konusunda ciddi bir ihtiyaç görüyorum. Dün mesela küçük bir ilaç şişesi bitti evde, bunu geri dönüşüm kutusuna atmak doğru gelmedi, içeriği nedeniyle-arındırmak da zor. Çöpe attım mecburen, ama canım da sıkıldı, biten her kutu ilaç da çöpe gidiyor, keşke geri dönüşüm sistemine girebilse...”*

*“Faydalı bir sistem düşünülmüş ancak uygulamaya geçmeden önce sistemin kötüye kullanılmasını engellemek için bir kontrol sistemi de sağlanmalı.”*

*“Bence bazı ilaçların paketteki miktarları kullanım doz miktarlarından çok fazla, bunlar genelde kalıyor, bu yüzden ilacın kullanılacak miktarı kadar verilmesinden yanayım, eczanelerde mesela sayılı olarak verebilirler ilacı.”*

*“Atık ilaçların geri dönüşümü yapıldığında bozulan içerik tekrar nasıl kullanılabilir hale gelir bilgim yok. Başkasının kullandığı ve sonra teslim ederek bir başkasının da kullandığı ilaç ne kadar güvenilir olabilir, bence olamaz. Herhangi birinin (ciddi anlamda ihtiyacı olması dışında) bunu tercih edeceğini düşünmüyorum. Eski kullanıcının ilacı nasıl şartlarda sakladığı ve içine bir şey karıştırıp karıştırmadığı gibi faktörler problem yaratacaktır.”*

*“İlaçları kutu halinde değil adet olarak verilmesi bu sorunu ve iş yükünü azaltacaktır.”*

*“Düzenli ilaç kullanımım yoktur, sadece ağrı kesici ve grip ilaçları. Çevremden gördüğüm kadarıyla reçeteli ilaçların atılma durumuna düşmemesi için farklı sayıda hap içeren esnek kutu uygulamasını tavsiye edebilirim. Reçetede tam dozunda ilaç yazılma olanağı olmalı.”*

*“Kutu ilaçlar için yani tablet ilaçlar için bazı uygulamalara evet diyebilirim ancak krem şurup ampül gibi hususlarda akıllı kutudan ilaç almam.”*

*“Teşvik edici unsurların gerçekten teşvik etmesi gerekir. Belli bir süre sonra umursamaz tutum gerçekleşebilir. Plastik kapak toplama uygulaması gibi.”*

*“Artan ilaçların kullanımı yapılacaksa, kutu dışından başka, kutu içindeki naylon taşıyıcılara da son kullanma tarihi vurulmalı. İlaçların çoğu bu şekilde poşete girmeli. Yani şişe içerisindeki 2 hap, süresi geçmemiş olsa bile güvenilir gelmiyor.”*

*“Kullanılmayan ilaçların otomat içinde biriktirilmesi doğru bir yöntem gibi görünmekle birlikte, kullanılacak ya da planlanacak otomatın alt yapısının da düşünülmesi gerektiği, özellikle şurup şişesi ile kapsüllü hapların aynı delikten aynı ortama gönderilmesinin zararları olabileceğini düşünüyorum. Bu yöntemin daha çok*

*atık ilaçlar için kullanılmasının çözüme destek sağlayacağı düşüncesindeyim.”*

*“Türk halkı için zannederim en büyük sorun bir işin süreklilik arz etmesi. Eskiyen veya kullanmadığı giysileri dahi giysi kumbarasına götürüp bırakmak yerine çöpe atabilen insanlarımız var. Biraz sorumluluk bilinci ile alakalı bir durum bu. Zannediyorum yurt dışında olduğu gibi küçük bir finansal destek sağlansa bakış açısı değişebilirdi yalnız, marketlerde kullanmak üzere alışveriş puanı biriktirme veya nakit gibi.”*

*“İlacı verenden, ilacı alacak olan kişi arasında kesinlikle bir kontrol noktası olmalı.”*

*“Kullanılmayan ilaçların güvenliği konusunda endişelerim olmasına rağmen sisteme geri kazandırılmasını destekliyorum. İngiltere’de antibiyotik kullanmam gereken bir hastalığım olduğunda toplam 6 adet tablet almam gerektiği için doktor reçeteye 6 adet yazmıştı. Eczanede kutu açılıp 6 adet kesilip bana öyle verilmişti. Böylece kutunun geri kalanı belki 2-3 hasta için daha kullanılabilirdi. Bu yaklaşımı çok olumlu bulmuştum.”*

*“Yurtdışındaki gibi (A.B.D. de görmüştüm), ülkemizde de hap şeklinde ilaçların doktorun o kişi için reçete ettiği gün kadar ve sayıda eczanelerden taneyle özel kutusuna sayılarak ve etiketlenip verilmesi uygulamasına geçilmesini isterdim. Bu yolla ihtiyacımızdan fazla ilacın eve girmesi başından önlenmiş olur.”*

*“İlaç atıklarının ve elde kalan fazla ilaçların değerlendirilmesi önemli bir konu. Özellikle “antibiyotik atık ve fazla kalanlarının” eczanelerdeki toplama kutularına geri verilebilmesi konusunda bir girişimin başlatılması gerekli.”*

*“Baska insanlar için ödül teşvik edici olabilir. Ama benim için fark etmez. Çünkü ben atıklarımı da ayırıp geri dönüşüm kutularına atıyorum. Burada yağlar için de atık kutusu olmasından çok memnunum. Ama daha fazla yaygınlaştırılması gerektiğine inanıyorum. Atık ilaç toplama konusunda da aynı şekilde insanlara gerekli bilinç kazandırılmaya çalışılmalı ve atık kutuları yaygınlaştırılmalı. Maalesef bence çöp geri dönüşüm kutuları da Türkiye’de oldukça yetersiz. Benim evimin karşısında atık toplama kutusu var her şey için. Ama olmasa üniversitedeki atık kutularına götürürdüm. Zaten götürdüğüm de oldu. Ama halkımızda bu konuda yeterli bilinç olmadığına inanıyorum. Belki ilkokullardan başlayarak bu bilinç kazandırılmalı daha çocukluk çağında.”*

*“Bağışçının ilaçları saklama koşullarının (hijyen, uygun sıcaklıkta saklanmış olma vb.) nasıl tespit*

*edilebileceğine dair öneriler araştırmaya dahil edilebilir.”*

*“Kullanılmayan ilaçların sisteme yeniden kazandırılması ancak devlet eliyle olmalıdır. Bu ilaçlar bir yerde toplanabilir ama sonuçta bir doktor ya da eczacı tarafından tasnif edilmelidir. Sağlık ocaklarında ya da aile hekimleri aracılığı ile ihtiyacı olan hastalara verilmelidir. Bu konu çok ciddi bir konudur. Özellikle kanser hastalarının tedavisinde kullanılan ama hastanın kaybı ile ilde kalan ilaçlar (üstelik oldukça pahalı) sisteme yeniden kazandırılabilir. Atık ilaçlar ise mutlaka toplanmalı ve uygun şekilde imha edilmelidir. Çöplerden toprağa ve eko sisteme karışması engellenmelidir. Ülkemiz özelinde kendi çöpünü ayrıştıramayan, geri dönüşümle ilgili bir devlet politikası olmayan, para karşılığında Avrupa’nın çöpünü bu ülkenin ekosistemine dâhil eden bir yönetim anlayışı olduğu düşünülürse ilaç atıkları için bir model geliştirmek hayalden öteye gidemez.”*

*“Böyle bir çalışmada gerekli olacak şekilde “ilaç alımları olsun”u da dile getirebilirsiniz. Doktor kusmaya karşı çocuğa ilaç veriyor, bir gün için kusulan ve alınan ilaç başka zaman kullanılabileceği kadar süresi geçiyor... Hop atıyoruz, oysa daha küçük ve daha uygun fiyatlarla satılsa hem ekonomik hem de ziyan olmaktan kurtarırız.”*

*“Her alanda olduğu gibi bu alanda da kişilerin bilinçlendirilmesi önem arz ediyor. Otomat gibi ortak kullanım alanlarında ilacın daha önce doğru biçimde saklandığından emin olabilseniz alabilirim. Ayrıca bu otomatlar özellikle geceler acil olarak ateş düşürücü, ağrı kesici, pastil gibi ihtiyaçlar olduğunda nöbetçi eczanelere alternatif olabilir.”*

Verilen cevaplar, katılımcılardaki suçluluk duygusuna, bilinçsiz tavırlardan doğan pişmanlık hissine dikkat çekmektedir. Katılımcıların bir kısmı ise kendi deneyimlerini paylaşmış, karşılaştıkları olumsuz durumları aktarmıştır.

Ankete katılan kitlenin eğitim seviyesinin son derece yüksek olması dolayısıyla bu geri bildirimler oldukça önemlidir. Takip eden bölümde çalışmanın genelini ele alan sonuç kısmı yer almaktadır.

## V. SONUÇ

İlaç tüketiminin pandemi döneminde beklenenin üzerindeki seyri, ilaç kullanımında bilinçli ve sorumlu tutum sergilemenin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Oluşan panik havası ile ihtiyaçtan daha fazla ilaç satın alma davranışı tetiklenmiş, bir süre sonra kullanılmayan ve son kullanma tarihi geçen bu ilaçlar atık sınıfına girmiştir (Dünya, 2021). Kuralına uygun olarak bertaraf edilmeyen ilaçların çevreye vereceği zararlar ve uzun vadede yaratacağı tehditler göz önünde bulundurulduğunda, aile hekimlikleri,

eczaneler, sağlık kuruluşları veya ecza depoları tarafından atık ilaçların toplanması gerekliliği dikkat çekmiştir. Bu tesislerin sadece toplama merkezi olarak düşünülmemesi gerekmekte, hangi ilaçların kullanımının sıklıkla tamamlanmayıp atığa dönüştüğünün tespitinde veri kaydını sağlaması bakımından büyük veri kaynağı olarak da aktif rol aldığı, ilaç endüstrisinde hangi ilaçtan ne kadar üretilmesi gerektiğine dair stratejik talep planlamaya şekil vermesi açısından da çok önemli bir konumda olduğu unutulmamalıdır. Bir ilaç firmasının atığa dönüşen ilacını tespit etmesi, o ilaçtan sadece gerektiği kadar üretim yapması, ya da ilaç paketinde yer alan ilaç sayısını azaltması, hem toprak yoluyla hem de hava yoluyla doğaya verilecek zararı en aza indirirken, firmanın kendi üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından da önemli katkılar sağlamaktadır.

Detaylı literatür incelemesi sonucu, kullanılmayan ve atık ilaçların uygun şekilde ve uygun zaman diliminde toplanması, bilinçli tüketicilerin bu konuda gerekli iş birliği sergilemesi gibi uygulama alanlarında önemli bir araştırma eksiği bulunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma, kullanılmayan ve atık ilaçların tersine lojistik faaliyetleri ile toplanmasına tüketicinin bakış açısını anlamayı, değerlendirmeyi ve çözüm önerileri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için anket yoluyla veri toplanmakta, tanımlayıcı araştırma modeli kullanılarak ve durum değerlendirmesi yapılmaktadır. Anketin ilk kısmında başvurulacak ölçek Aktaş ve Selvi (2019) tarafından geliştirilen Akılcı İlaç Kullanımı Farkındalığı şeklinde olup, 15 maddelik 5'li Likert tipinde bir ölçek ile erişkinlerde akılcı ilaç kullanımı farkındalığı ölçülmektedir. Hazırlanan tek bir anket metni ile ölçek ve kişisel bilgi formu katılımcılara iletilmekte, ankete verilen cevaplar elektronik ortamda kayıt altına alınmaktadır. Takiben, bu araştırmaya özgü merak edilen sorular yöneltilmektedir.

Bulgular incelendiğinde tüketicinin ilaç başıslama konusunda olumlu tavır sergilediği, ancak kullanılmayan ilacı kabul edip tüketmeye olumsuz baktığı anlaşılmaktadır. Arada kontrolü sağlayacak bir otorite olmasının güven ortamı oluşturacağı düşünülmektedir. Ayrıca, ilaçların son kullanma tarihlerinin hatırlatılması için uyarı sistemlerine ve hatırlatıcılara olumlu bakılmakta, özellikle telefona mesajla hatırlatma gelmesini talep etmektedir. Otomat / akıllı kutu gibi sistemi kolaylaştırıcı araçların yaratabileceği risklere önemle vurgu yapılmaktadır. Toplumun konu hakkında bilgilendirilmesi, eğitim yoluyla küçük yaşlarda farkındalık yaratılması ihtiyacının altı çizilmektedir.

Çalışma çıktıları, ilaç atıklarının geri toplanmasında tüketici davranışının anlaşılmasını, uygulama aşamasına geçildiğinde ise ne tip önerileri / çözüm

yolları izlemenin nasıl sonuçlar doğuracağını tahmin etme hususunda katkı sağlamaktadır. Konuyla ilgili ilaç endüstrisi yetkililerine yol gösterici çıktılar sunulmaktadır.

Araştırmayı benimseyip geri dönüş sağlayan katılımcıların eğitim düzeyinin ağırlıklı olarak lisansüstü seviyede olması, bu araştırma için bir kısıt olarak gösterilebilir. Ancak örneklem olarak seçilen bölgelerde yapılan çalışmalarda konuyu ciddiye alıp ilgi gösteren kitle bu şekilde olmuş, ankete katılımcı bulmak için gösterilen çabaya rağmen örneklemin toplumun tamamını yansıtmaması konusunda yetersiz kalmıştır.

Gelecek araştırmalarda toplumun her kesiminden bireye ulaşması sağlanabilir. Elde edilen bu veriler ile simülasyon çalışmaları yapılabilir, uygulamaya geçildiğinde ne gibi çıktılarla karşılaşabileceği tespit edilebilir. Ayrıca, toplama noktaları için gerek matematiksel programlama modelleri ile gerek çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile yer seçimi yapmak mümkündür.

## KAYNAKLAR

- [1] AB (2022). Ataşehir belediyesi - Atık ilaçlarınızı artık eczanelere bırakabilirsiniz <https://www.atasehir.bel.tr/haber/atik-ilaclarinizi-artik-eczanelere-birakabilirsiniz>
- [2] Aktaş, H., & Selvi, H. (2019). Erişkinlerde Akılcı İlaç Kullanımı Farkındalık Ölçeğinin geliştirilmesi: Geçerlik ve güvenilirlik çalışması. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 12(3), 439-447. <https://doi.org/10.26559/mersinsbd.543459>
- [3] Alfian, S. D., Insani, W. N., Halimah, E., Qonita, N. A., Jannah, S. S., Nuraliyah, N. M., Supadmi, W., Gatera, V. A., & Abdulah, R. (2021). Lack of Awareness of the Impact of Improperly Disposed Of Medications and Associated Factors: A Cross-Sectional Survey in Indonesian Households. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphar.2021.630434>
- [4] Alghadeer, S., & Al-Arifi, M. N. (2021). Community Pharmacists' Practice, Awareness, and Beliefs about Drug Disposal in Saudi Arabia. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 9(7), 823. <https://doi.org/10.3390/healthcare9070823>
- [5] Alnahas, F., Yeboah, P., Fliedel, L., Abdin, A. Y., & Alhareth, K. (2020). Expired Medication: Societal, Regulatory and Ethical Aspects of a Wasted Opportunity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 787. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030787>
- [6] Ayabakan Çot, D. , Ayaç, N. & Akbaba, M. (2019). Adana Çukurova İlçesinde Yaşayan Hane Halkının Atık İlaç Konusunda Bilgi, Tutum ve Davranışları. *Sakarya Tıp Dergisi*, 9



- (3) , 398-405. [18] Dündar, A. (2007). Evimizdeki Kullanılmayan İlaçlar, <https://doi.org/10.31832/smj.560834>
- [7] Banjar, H., Alrowithi, R., Alhadrami, S., Magrabi, E., Munshi, R., & Alrige, M. (2022). An Intelligent System for Proper Management and Disposal of Unused and Expired Medications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2875. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052875>
- [8] Basarol, E. (2007). Evimizdeki Kullanılmayan İlaçlar, <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=47906>
- [9] BB (2022). Beylikdüzü Belediyesi - Çevre dostu atık ilaç projesi başladı, <https://www.beylikduzu.istanbul/haber/1594/cevre-e-dostu-atik-ilac-projesi-basladi>
- [10] BEO (2022), Atık İlaç İmhası - Bursa Eczacı Odası <https://www.beo.org.tr/duyuru/atik-ilac-imhasi-60987>
- [11] Ca, S., K, S., & M, L. (2020). Response: Update on pharmaceutical waste disposal regulations-strategies for success. *American Journal of Health-System Pharmacy: AJHP: Official Journal of the American Society of Health-System Pharmacists*, 77(21). <https://doi.org/10.1093/ajhp/zxaa227>
- [12] Calise, T. V., Martin, S. L., & Wingerter, C. (2022). Safely disposing unused and unwanted prescription and over-the-counter medications: a public health, housing, and safety partnership in Framingham, MA. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 15(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40545-022-00407-1>
- [13] Ceylan, Z. & Korkmaz, Ş. (2019). Sustainable Model Study: Collection and Disposal of Waste Medications with Micropollutant Properties in the Ecosystem within the Scope of Zero Waste. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(2), 1116-1140. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.585298>
- [14] ÇEKOOP (2022). Çevreci Eczacılar Kooperatifi, <http://www.cekoop.org.tr/>
- [15] Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (2013). Sektörel Atık Kılavuzu - İlaç Sanayii, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editorosya/ilac\\_sanayi\\_kilavuzu\(1\).pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editorosya/ilac_sanayi_kilavuzu(1).pdf)
- [16] ÇKD (2022). Çevre Koruma Dairesi - Tıbbi Atıkların Sınıflandırılması, <http://www.cevrekorumadairesi.org/solidwaste/tr-subpages.php?no=8>
- [17] Dalal, S. P., Dalal, P., Motiani, R., & Solanki, V. (n.d.). Experimental investigation on recycling of waste pharmaceutical blister powder as partial replacement of fine aggregate in concrete. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 14,(200076). <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200076>
- [18] Dündar, A. (2007). Evimizdeki Kullanılmayan İlaçlar, <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=47906>
- [19] Dünya (2018). Atık ilaç ara depolama tesisi faaliyete başladı, <https://www.dunya.com/saglik/atik-ilac-ara-depolama-tesisi-faaliyete-basladi-haberi-423015>
- [20] Dünya (2021). Pandemi döneminde ihracata 'ilaç' oldu, <https://www.dunya.com/sectorler/pandemi-doneminde-ihracata-ilac-oldu-haberi-631115>
- [21] Egan, K. I., Gregory, E., Foster, S., & Cox, M. (2020). Modifiable Risk Factors Associated With Disposal of Unused Prescription Drugs by Parents of Adolescents. *The Journal of Primary Prevention*, 41(6). <https://doi.org/10.1007/s10935-020-00614-z>
- [22] GTBD (2020). Gıda Takviyesi ve Beslenme Derneği - Koronavirüs gıda takviyelerine talebi artırdı, <https://gtbd.org.tr/koronavirus-gida-takviyelerine-talebi-artirdi/>
- [23] Güder, İ. (2014). Kullanılmayan ilaçlar ihtiyaç sahibi ülkelere gidecek, <https://www.aa.com.tr/tr/saglik/kullanilmayan-ilacilar-ihhtiyac-sahibi-ukelere-gidecek/101598>
- [24] Gündoğmuş, Y. N. (2021) Kuralına uygun bertaraf edilmeyen atık ilaçlar çevre için tehdit oluşturuyor, <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/kuralina-uygun-bertaraf-edilmeyen-atik-ilacilar-cevre-icin-tehdit-olusturuyor/2401893>
- [25] Hassan, E. W. E., Taisan, A. A. A., & Abualhommos, A. K. (2022). Knowledge and practices concerning the storage and disposal of home medications among people in the eastern region of Saudi Arabia: A cross-sectional study. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 30(2), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2021.12.010>
- [26] İEİS, 2020. İlaç Endüstrisi İşverenler Sendikası - Türkiye İlaç Sektörü 2020 Raporu, <http://ieis.org.tr/ieis/tr/sectorraporu2020>
- [27] İTS (2022). Mobil uygulama: İlaç Takip Sistemi (İTS) Mobil (Sağlık Bakanlığı), <https://play.google.com/store/apps/details?id=tr.gov.saglik.itsmobil&hl=en&gl=US>
- [28] Karahasan, F. (2021). İlaç sektörü pandemi sürecinden nasıl etkilendi? <https://www.dunya.com/kose-yazisi/ilac-sektoru-pandemi-surecinden-nasil-etkilendi/611321>
- [29] KB (2022). Konak Belediyesi Konak belediyesi – atık ilaçlar, <https://www.konak.bel.tr/sayfa/atik-ilacilar>
- [30] KEO (2022), Kocaeli Eczacı Odası - Atık İlaç Toplama Sistemi, <https://aits.kocaelieo.org.tr/>
- [31] Kırdar, K. (2013). Eysel ilaç atıklarının toplanması projesindeki tersine lojistik sürecinin modellenmesi için genetik algoritmaların kullanılması (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü

- [32] Kıymalıoğlu, A. (2021). Covid-19 Salgını Döneminde Panik Satın Alma Davranışının Belirleyicileri, 25. Pazarlama Kongresi, Ankara, Türkiye, ss.53-61.
- [33] Kumar, A., Zavadskas, E. K., Mangla, S. K., Agrawal, V., Sharma, K., & Gupta, D. (2019). When risks need attention: adoption of green supply chain initiatives in the pharmaceutical industry. *International Journal of Production Research*, 57(11), 3554–3576. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1543969>
- [34] Lai, P. S. M., Tan, K. M., Lee, H. G., Wong, Y. Y., Azhari Wasi, N. A., & Sim, S. M. (2021). Effectiveness of an intervention to increase the knowledge, attitude, and practice regarding the return and disposal of unused medications. *Malaysian Family Physician: The Official Journal of the Academy of Family Physicians of Malaysia*, 16(1), 56–63. <https://doi.org/10.51866/oa1013>
- [35] Luís, R. O., Rossoni, H. A. V., & Duarte, N. F. (2021). Systematic review on reverse logistics of drug residues. *Fronteiras*, 10(1), 339–358.
- [36] Manjounes, A., & Lavino, J. (2022). Legal requirements for pharmacists to destroy unused medications in skilled nursing facilities. - A 50 state review and insights based on the Covid-19 pandemic. *Research in Social & Administrative Pharmacy: RSAP*, 18(5), 2894–2897. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2021.07.021>
- [37] Marwa, K. J., Mcharo, G., Mwita, S., Katabalo, D., Ruganuzo, D., & Kapesa, A. (2021). Disposal practices of expired and unused medications among households in Mwanza, Tanzania. *PLoS ONE*, 16(2), e0246418. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246418>
- [38] Mehmet, M. (2007). Evimizdeki Kullanılmayan İlaçlar, <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=47906>
- [39] Nematollahi, M., & Hosseini-Motlagh, S.-M. (2022). A collaborative decision-making model for collecting unused medications in an environmentally responsible pharmaceutical supply chain. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(3), 1907–1924. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03332-z>
- [40] Nieminen, J., Anugwom, I., Kallioinen, M., & Mänttari, M. (2020). Green solvents in recovery of aluminium and plastic from waste pharmaceutical blister packaging. *Waste Management*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.014>
- [41] Ong, S. C., Ooi, G. S., Shafie, A. A., & Hassali, M. A. (2020). Knowledge, attitude and disposing practice of unused and expired medicines among the general public in Malaysia. *Journal of Pharmaceutical Health Services Research*, 11(2), 141–148. <https://doi.org/10.1111/jphs.12333>
- [42] Orhan, M.A. (2020). Evsel ilaç atıklarında tersine lojistik uygulamalarının sistem dinamiği yaklaşımı ile modellenmesi (Doktora Tezi). İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
- [43] Önen, C. , Avcı, S. & Güneş, G. (2016). Çiftçilerin tarım ilaçlamasında kullandığı koruyucu sağlık önlemleri . *Turkish Journal of Public Health*, 13 (2), 147-154 . <https://doi.org/10.20518/thsd.83283>
- [44] Özdemir Deniz, P. , Yılmaz Aydın, Ç., Evcir Kiraz, E. D. (2019). Electronic waste awareness among students of engineering department. *Cukurova Medical Journal*, 44, 101-109.
- [45] Pharmabotanica (2018). Atık Ara Depolama Tesisleri Tebliği, <http://www.pharmabotanica.org/?p=2146>
- [46] Pharmabotanica (2022). Atık İlaç Yönetim Sistemi <https://www.atikilaclar.com/AuthenticateAndAuthorize/Login>
- [47] Pınar, N. (2012). Ülkemizde İlaç Harcamaları. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 19 (1), 59-65.
- [48] Py, F., Y, G., M, I., & B, F. (2020). Understanding the behavioural intention to dispose of unused medicines: an extension of the theory of planned behaviour. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(22). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09125-0>
- [49] Rutherford, A. (2011). ANOVA and ANCOVA: A GLM approach Hoboken, NJ : Wiley.
- [50] Serkan, S. (2007). Evimizdeki Kullanılmayan İlaçlar, <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=47906>
- [51] Serper, Ö. & Aytaç, M. (2000). Örneklem, 2. Baskı, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- [52] Shukla, S., Halli, P., Khalid, M. K., & Lundström, M. (2022). Waste Pharmaceutical Blister Packages as a Source of Secondary Aluminum. *JOM*, 74(2), 612–621. <https://doi.org/10.1007/s11837-021-05038-6>
- [53] Smale, E. M., Egberts, T. C. G., Heerdink, E. R., van den Bemt, B. J. F., & Bekker, C. L. (2021). Waste-minimising measures to achieve sustainable supply and use of medication. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 20, 100400. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100400>
- [54] Şencan, L. (2010). İzmir'de Kullanılmayan İlaçlar Toplanıyor, Çevre ve İnsan Sağlığı Korunuyor <https://m.bianet.org/bianet/saglik/119432-izmir-de-kullanilmayan-ilaclar-toplaniyor-cevre-ve-insan-sagligi-korunuyor>
- [55] TİTCK (2022a). Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu- Akılcı İlaç Kullanımı, [http://www.akilciilac.gov.tr/?page\\_id=599](http://www.akilciilac.gov.tr/?page_id=599)

- [56] TİTCK (2022b). İlaçların Güvenliliği ve Kullanımı Hakkında Yönetmelik. <https://www.titck.gov.tr/mevzuat/ilaclarin-guvenliliği-hakkında-yonetmelik-27122018172748>
- [57] West, L. M., Stewart, D., & Cordina, M. (2020). Mixed-methods approach to determine adherence, knowledge and behavioral determinants associated with medication wastage. *Research in Social & Administrative Pharmacy: RSAP*, 16(5), 654–662. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2019.08.003>
- [58] Woldeyohanins, A. E., Adugna, M., Mihret, T., & Kifle, Z. D. (2021). Knowledge, Attitude, and Practices of Unused Medications Disposal among Patients Visiting Public Health Centers in Gondar Town, Ethiopia: A Cross-Sectional Study. *Journal of Environmental and Public Health*, 2021, 5074380. <https://doi.org/10.1155/2021/5074380>
- [59] Woldeyohanins, A. E., Kasahun, A. E., Demeke, C. A., Demu, D., & Kifle, Z. D. (2022). Evaluation of the cost of unused medications in a hospital in Ethiopia: A cross-sectional study. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 14, 101000. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2022.101000>

## Konya'da Ekstrem Sıcaklık İndislerinde Gözlemlenen Eğilim ve Değişimlerin İncelenmesi

*Investigation of Trends and Changes Observed in Extreme Temperature Indices in Konya*

Kübra AYDIN<sup>1</sup> , Murat KARABULUT<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

### Öz

İklimin temel elemanlarından biri olan sıcaklık, coğrafi özellikler sebebiyle zamansal ve mekânsal ölçekte bölgeden bölgeye önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Küresel iklim varyasyonlarının bir sonucu olarak İç Anadolu Bölgesi, Türkiye'de sık sık bu değişimlerden etkilenen bölgelerden biridir. İklim değişikliği araştırmaları için sıcaklıklarda meydana gelen eğilim ve değişimlerin tespit edilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya ilinde 1970-2020 periyodundaki 6 istasyonun günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları kullanılarak sıcaklık ekstremlerindeki değişimler incelenmiştir. Küresel iklim değişikliğinin neden olduğu etkiyi gözlemleyebildiğimiz WMO (Dünya Meteoroloji Organizasyonu) ve CLIVAR (Okyanus-Atmosfer Sisteminin Değişkenlik ve Öngörülebilirliği)'in önerdiği 16 sıcaklık indisi uygulanmıştır. Hesaplamalarda R tabanlı bir yazılım olan RCLindex isimli program ve parametrik dağılım göstermeyen Mann Kendall testi kullanılmıştır. Sonuçlara göre; çalışma alanında donlu ve buzlu günlerde azalma eğilimi belirlenmiştir. Göller Yöresi'nde bulunan Akşehir ve Beyşehir istasyonlarının minimum sıcaklıkların maksimumu indisinde diğer istasyonlardan farklı olarak azalmalar tespit edilmiştir. Tarım ürünlerinin büyüme süresini kısaltmak için olumlu etki yapan gelişme sezonu uzunluğu indisi artış eğilimi göstermiştir. Sıcaklık indislerinin zamansal değişimleri incelendiğinde genel olarak ekstrem minimum sıcaklık indislerinde özellikle azalmalar gözlenirken ekstrem maksimum sıcaklık indislerinde artışlar yaşanmıştır. Konya'daki ekstrem sıcaklıklarda gözlenen artışlar hem beşeri hem de ekolojik açıdan olumsuz etki yaratmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İklim Değişimi, Ekstrem sıcaklık indisleri, Mann Kendall, Konya

### Abstract

Temperature, which is one of the basic elements of climate, varies considerably from region to region on a temporal and spatial scale due to geographical features. As a result of global climate variations, the Central Anatolia Region is one of the regions in Turkey that is frequently affected by these changes. For climate change research, it is important to determine the trends and changes in temperatures. In this study, the changes in temperature extremes were examined by using the daily maximum and minimum temperatures of 6 stations in the 1970-2020 period in Konya, which is located in the Central Anatolia region. 16 temperature indices proposed by WMO (World Meteorological Organization) and CLIVAR (Variability and Predictability of the Ocean-Atmosphere System), where we can observe the effect caused by global climate change, have been applied. R-based software called RCLindex and Mann Kendall test, which does not show parametric distribution, were used in the calculations. According to the results; in the study area, a decreasing trend was determined on frosty and icy days. Unlike the other stations, decreases were determined in the maximum of minimum temperatures index of Akşehir and Beyşehir stations located in the Lakes Region. The index of the length of the growing season, which has a positive effect on shortening the growth period of agricultural products, showed an increasing trend. When the temporal changes of the temperature indices were examined, decreases were observed in the extreme minimum temperature indices in general, while increases were observed in the extreme maximum temperature indices. The increases observed in extreme temperatures in Konya have negative effects both in terms of human and ecological aspects.

**Keywords:** Climate change, Extreme Temperature Indices, Mann-Kendall, Konya

### 1. GİRİŞ

İklim sisteminde geçmişten günümüze küresel boyutta olağan değişimler yaşanmıştır. Öncesinde doğal nedenlerle yavaş bir şekilde gerçekleşen bu değişimler, 19. yüzyılda yoğun sanayileşme hareketlerinin başlamasıyla insan kaynaklı etkilerle birlikte hızlanarak ekolojik dengede bozulmalara sebep olmuştur [31]. Sera gazı emisyonlarının artarak atmosfere dahil olmasıyla küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında artışlar ortaya

çıkıştır [26]. Ayrıca şehirleşme oranlarındaki artışın yanında sanayi ve yerleşim alanlarından çıkan sera gazları sebebiyle de havanın ısınma eğiliminde küresel boyutlarda artışlar gerçekleşmiştir [28]. Atmosfer-Okyanus Genel Sirkülasyon Modeli (AOGCM) simülasyonu gibi gelişmiş iklim modellerine göre küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 1990-2100 periyodu için 1.4 °C ile 5.8 °C arasında bir artış öngörülmektedir [27]. İklimde meydana gelen değişikliği belirlemek için uzun dönemli sıcaklık verileri, aylık ve mevsimlik olarak kullanılsa da ekstrem olayları açıklamada veri temini noktasında yetersiz kalmaktadırlar [8]. Ekstrem sıcaklıkların insan yaşamı ve üretimin devamlılığı gibi birçok amaç için ortalama sıcaklıktan daha önemli etkiye sahip olduğu ve lokal ölçekte ekstrem sıcaklıktaki değişikliklerin küresel ortalama değişikliklerden daha kritik rol oynayacağı birçok çalışmada belirtilmiştir [24, 22, 59]. Bu sebeple ekstrem olaylardaki değişim ve eğilimlerin saptanması iklim değişimlerinin tespitinde önem arz etmektedir.

Ekstrem hava olayları iklimdeki varyasyonlar neticesinde şiddetlenmekte ve yerkürenin birçok noktasında genellikle artış trendi göstermektedir [2]. Küresel sıcaklıklarda gözlenen artış eğilimini belirlemek amacıyla oluşturulan birçok iklim modelinde 21. yüzyılda global ölçekte ekstrem olayların şiddetinde artışların olabileceği ön görülmektedir [19, 9, 27, 35]. Ayrıca iklim modellerinden hareketle ekstrem sıcaklıkların ortalama sıcaklıklardan daha hızlı artma eğiliminde olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur [12, 42]. Ekstrem iklim olaylarının afet boyutuna ulaştığı taktirde sıklasacağı ve ekolojik sistemler ile insan yaşamı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği belirtilmektedir [10].

Gözlem verileri ve çeşitli sera gazı salınım senaryolarından hareketle gelecekte küresel iklim değişikliğinin Akdeniz Havzası'nda olumsuz etkilerinin olacağına dair çalışmalar yapılmıştır [32, 53, 26, 47]. Akdeniz Havzası'nda etkin olan yazları kurak subtropikal Akdeniz iklimi Türkiye'nin genellikle batı ve güney bölgelerinde görülerek ısınma trendleri bu alanlarda çok daha fazla gerçekleşmektedir [52]. İç Anadolu Bölgesi'nin güney bölümü de çölleşme süreçlerinden etkilenen alanlardan biri olarak kuraklık tehdidine karşı açık konumda bulunmakta ve bölgede uzun süreli ısınma trendleri gerçekleşmektedir [32, 50, 51, 37]. Ayrıca İç Anadolu Bölgesi'nde iklimde meydana gelen varyasyonların bir sonucu olarak bitki örtüsü zarar görmektedir. Bölgede ekstrem iklim olaylarının sonucunda vejetasyon süresinde kısalmalar, tarımsal üretimde azalmalar, yüksek sıcaklıklar neticesinde kuraklık olaylarının şiddetlenmesi ve doğal arazi üzerindeki baskılar sonucunda arazi kullanım oranında artışlar gibi önemli problemler de ortaya çıkabilmektedir [51, 33, 37, 2].

Sıcaklık ekstremleri konusunda Alexander vd. (2006)'nin 1951-2003 periyodu için küresel ölçekteki 200 istasyondan alınan günlük sıcaklıklara ait 16 sıcaklık indisi kullanarak yaptıkları analizlerde yaz günü, sıcak gece ve sıcak gün sayılarında istasyonların çoğunda artma eğilimi varken, soğuk gece ve soğuk günler istatistiksel olarak önemli azalışlar göstermektedir. Çalışmada Dünya genelinde minimum sıcaklıklardan elde edilen indislerin özellikle 20. yüzyılın sonunda belirginleşen ısınmayla ilişkili olarak değişiklik gösterdiği belirtilmiştir [3]. Çin'de 1961-2014 yılları arasında yapılan bir çalışmada [42] ise Hwai Nehir Havzası'nda ekstrem sıcaklık indislerinde, buzlu günler haricinde ekstrem minimum sıcaklık indisleri istatistiksel olarak önemli düşüş eğilimleri göstermektedir. Ancak çalışmada ekstrem maksimum sıcaklık indislerinde bir artış eğilimi olduğu ve TN90p ve TR20'nin diğer ekstrem maksimum sıcaklık indislerine göre daha fazla artış gösterdiği tespit edilmiştir. Asya pasifikte yer alan 10 ülke için Choi vd. (2009) tarafından 20 ekstrem sıcaklık ve 11 ekstrem yağış indisinin kullanıldığı çalışmada serin gecelerin yıllık sıklığında bir azalma belirlenirken sıcak gecelerde artışlar meydana gelmiş ve 1988-2007 aralığında bu artışların 1955-2007 periyoduna göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak çalışma da minimum sıcaklık ekstremlerinin maksimum sıcaklıklardan daha güçlü eğilim göstermiştir [11].

Avrupa kıtasındaki ekstrem sıcaklık değişimleri ve gelecek iklim senaryolarıyla ilgili de birçok çalışma yapılmıştır [25, 55, 16, 44, 6, 38, 40]. Örneğin İtalya'da 1961-2004 yılları arasındaki 49 istasyonun maksimum ve minimum sıcaklıklardan elde edilen indis sonuçlarında 4 indis (soğuk gün, soğuk gece, donlu gün ve minimum mutlak sıcaklık) 43 yıllık periyotta ısınma eğilimi içerisinde iken 5 indis (yaz günü, tropikal gece, sıcak gün, sıcak gece ve maksimum mutlak sıcaklık) son 25 yılda ısınma eğilimindedir [54].

Türkiye'de 100 adet meteoroloji istasyonu kullanılarak elde edilen 27 ekstrem iklim indisinin 1971-2004 yılları arasındaki eğilimleri Şensoy vd. (2008) tarafından incelenmiştir. Türkiye'de yaz günleri ve tropik geceler sayılarının arttığı ancak buz günleri ve donlu günler sayılarında azalmaların olduğu ve trendlerin çoğunun %95 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca Türkiye'de 1971-2004 döneminde serin günler ve serin geceler sayısında azalmalar yaşanmıştır. Sıcak günler ile sıcak geceler sayısında ise artışlar tespit edilmiştir [41].

Erlat ve Türkes (2017)'in Türkiye'de tropikal gece sayılarındaki değişimleri inceledikleri çalışmalarında 1950-2016 periyodunda 92 meteoroloji istasyonu kullanılmıştır. Sonuçlarda Türkiye'de 1985 yılından sonra istasyonların çoğunda yıllık tropikal gece

sayıları kuvvetli bir artış trendi gösterdiği belirlenmiştir. 1980'li yılların ortalarından başlayarak minimum sıcaklıklar dolayısıyla tropik gece sayıları Türkiye'de belirgin bir şekilde artmıştır [21].

Türkiye'de bölgesel temelde iklim indis eğilimlerinin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. Ege Bölgesi'nde sıcaklık ekstremlerindeki eğilimler Mann-Kendall trend analizi ile 6 farklı sıcaklık indisi (yaz günü, soğuk gün sayıları, soğuk gece sayıları, tropikal gün, sıcak gün sayıları, sıcak gece sayıları) için ortaya konulmuştur. Erhat ve Yavaşlı'nın (2011) birlikte yaptıkları bu çalışmada son 35 yılda tüm istasyonlarda yıllık sıcak gün ve sıcak gecelerde istatistiksel olarak önemli artışlar saptanmıştır. Analiz sonuçlarında soğuk ekstremlerin yaşandığı gün sayılarındaki azalmadan çok, sıcak ekstremlerin yaşandığı gün sayılarında artış tespit edilmiştir [20]. Ege Bölgesi'nde yer alan 9 istasyon için iklim indislerine bakılan bir başka çalışmada, sıcak gece ve sıcak günler ile yaz günlerinde artışlar gerçekleşirken soğuk devre süresi, serin gece, serin günler, günlük sıcaklık aralığında azalışlar gözlenmiştir [18]. Konya Ekstrem Sıcaklık Eğilim ve Değişimleri

Kızılelma vd. (2015) tarafından yapılmış olan çalışmada Antakya- Kahramanmaraş grabenindeki tropikal gün ve yaz günü sayıları incelenmiştir [36]. Bu çalışmada yaz ve tropikal gün sayılarında istatistiksel olarak anlamlı artışların yaşandığı ancak yaz mevsiminde tropikal gün sayılarında artış saptanırken, yaz günlerinde anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir.

Sıcaklık ekstremlerinin yaşandığı İç Anadolu Bölgesi'nde de 8 sıcaklık indisinden elde edilen sonuçlarda yaz günü sayılarının düşük rakımlı alanlarda artarken yüksek rakımlı alanlarda azaldığı ancak donlu ve buzlu günlerin bölgenin en yüksek kesimi olan doğusunda fazla olduğu belirlenmiştir [2]. Çalışmada sıcak geçen ekstrem gün sayılarında dikkat çeken artışlar gözlenirken, serin veya soğuk günlerde azalmaların olması bölge genelinde sıcaklık ekstremlerinde ısınma yönünde bir eğilimin olduğunun göstergesidir. Bu çalışmaların yanında sıcaklık indisleri ile ekstrem sıcaklık değişimlerinin ortaya koyulduğu ve sıcaklığı etkileyen faktörlerin detaylı olarak incelendiği birçok çalışma vardır [49, 41, 5, 1, 35, 4].

Çalışmada Konya ilinde ekstrem hava sıcaklıklarında meydana gelen alansal ve zamansal değişiklikleri belirlemek amacıyla 6 meteoroloji istasyonundan elde edilen 16 sıcaklık indisi kullanılmıştır. İklim değişikliğinin bölgedeki etkisinin ortaya koyulması açısından maksimum ve minimum sıcaklıklardan elde edilen iklim indislerine bakılarak sıcaklık ekstremlerindeki değişimi ve gelişimin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu indislerdeki eğilimler ise 4

farklı başlık altında (ekstrem indisler, ekstrem maksimum sıcaklık indisleri, ekstrem minimum sıcaklık indisleri ve diğer indisler) incelenmiştir.

## II. MATERYAL VE METOT

Çalışma alanı olan Konya ili İç Anadolu Bölgesi'nde iklim değişikliklerine karşı oldukça hassas bir coğrafi konumda yer almaktadır. Bulunduğu konum itibarıyla etrafı dağlarla çevrili bir çanak şeklinde topoğrafya özelliği gösteren Konya, denizel hava kütlelerinden yeterince etkilenmemektedir [13]. Ayrıca yöredeki bu coğrafi özellik hava hareketlerini ve rüzgâr oluşumunu da sınırlandırmaktadır [14]. İlin güneydoğusu, güneyi ve güneybatısında Toros Dağları ve uzantıları olduğu için dağları aşan hava akımları adyabatik olarak ısınmakta ve fön etkisi yapabilmektedir [2]. Türkiye yerelde ise Konya ilinde hava ve iklimi belirleyen başlıca atmosferik düzenekler yaz mevsimi süresince Kuzey Afrika ve Orta Doğu'dan gelen karasal tropikal hava akımları ile kışın kuzeydoğu Atlantik doğuşlu Akdeniz siklonları ve Azorlar bölgesinden kaynaklanan dinamik subtropikal antisiklonların bileşiminin olduğu tespit edilmiştir [50]. Konya'nın güney kesimlerinde Akdeniz iklimi, orta ve kuzeyinde yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk karasal iklim, Karapınar ve çevresinde ise çöl iklim koşulları hakimdir [14]. Çalışma alanı; basınç merkezlerinin yer değiştirmesiyle yazın Muson alçak basıncının etkisinde iken bazı kış mevsimlerinde termik oluşum gösteren Sibiry antisiklonundan kaynaklanan kararlı, şiddetli soğuklar ve kuru yüksek basınç koşullarına dahil olmaktadır [50, Şekil 1].

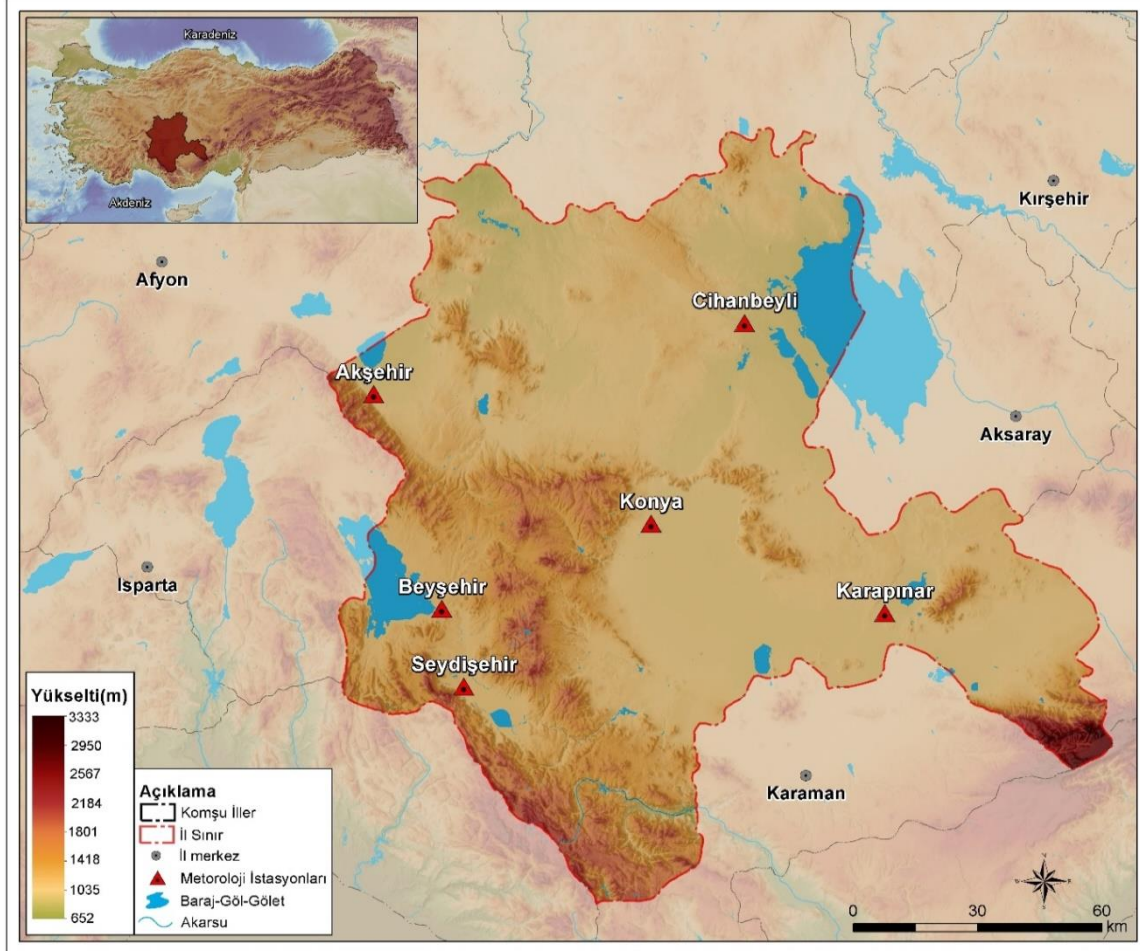
Tablo 1'de Thornthwaite metoduna göre çalışma alanındaki istasyonların iklim tipleri ve özellikleri verilmiştir. Thornthwaite İklim Sınıflandırma Sistemine göre Konya, Karapınar ve Cihanbeyli istasyonları genel olarak yarı kurak, 1. derecede mezotermal, su fazlası olamayan veya pek az olan karasal şartlara yakın iklim tipine dahil edilmiştir. Buldukları coğrafi konum itibarıyla Göller Yöresi içerisinde yer alan Beyşehir ve Akşehir istasyonları yarı kurak ve az nemli, 1. derece mezotermal, su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan denizel şartlara yakın iklim ile tanımlanır. Seydişehir istasyonu ise nemli, 1. derece mezotermal, su noksanı yaz mevsiminde çok kuvvetli olan karasal şartlara yakın iklim tipine sahiptir (Tablo 1).

Konya'da 1970-2020 yılları arasında ekstrem sıcaklıkların eğilimini incelemek amacıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) Konya, Karaman, Seydişehir, Beyşehir, Cihanbeyli, Akşehir meteoroloji istasyonlarına ait günlük minimum ve maksimum sıcaklık verileri temin edilmiştir (Tablo 2). Bu veri serilerinin homojenlik düzeyini tespit etmek için serinin ortalamasına göre değişim ölçen parametrik dağılım göstermeyen Thom testi tercih

edilmiştir. Bu testin sonuçlarında verilerin homojen karakterde olduğu belirlenmiştir.

Küresel iklim değişikliğinin neden olduğu etkiyi tanımlayabileceğimiz WMO'ya bağlı İklim Değişikliği Belirleme ve İndis Uzman Grubu (ETCCDMI), 27 adet temel indis tanımlamıştır [3]. Bu çalışmada ekstrem iklim olaylarına odaklı ETCCDMI tarafından belirlenen 16 tane sıcaklık indisi

hesaplanmıştır (Tablo 3). Hesaplama işlemi R tabanlı bir yazılım olan RCLimdex isimli paket programı kullanılarak 1970-2020 yılları arasındaki günlük maksimum ve minimum sıcaklıkların girilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık indisleri; ekstrem indisler, ekstrem maksimum sıcaklık indisleri, ekstrem minimum sıcaklık indisleri ve diğer indisler olarak 4 gruba ayrılarak incelenmiştir (Tablo 3).



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası

Tablo 1. Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına göre çalışma alanındaki istasyonların iklim sınıfları (MGM, 2022)

| İstasyonlar | İklim İndeksleri | İklim Özellikleri   |
|-------------|------------------|---|
| Konya       | D,B'1,d,b'2      | Yarı kurak, 1. derece mezotermal, su fazlası olamayan veya pek az olan karasal şartlara yakın iklim tipi                    |
| Karapınar   | D,B'1,d,b'3      | Yarı kurak, 1. derece mezotermal, su fazlası olamayan veya pek az olan karasal şartlara yakın iklim tipi                    |
| Cihanbeyli  | D,B'1,s,b'2      | Yarı kurak, 1. derece mezotermal, su fazlası kış mevsiminde ve orta derecede olan, karasal şartlara yakın iklim tipi        |
| Beyşehir    | C1,B'1,s2,b'3    | Yarı kurak-az nemli, 1. derece mezotermal, su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan denizel şartlara yakın iklim tipi |
| Akşehir     | C1,B'1,s2,b'3    | Yarı kurak az nemli, 1. derece mezotermal, su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan denizel şartlara yakın iklim tipi |
| Seydişehir  | B1,B'1,s2,b'3    | Nemli, 1. derece mezotermal, su noksanı yaz mevsiminde çok kuvvetli olan karasal şartlara yakın iklim tipi                  |

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan istasyonlara ait enlem, boylam, yükselti ve veri aralığı

| İstasyon Adı | Enlem   | Boylam  | Yükselti (m) | Veri Aralığı |
|--------------|---------|---------|--------------|--------------|
| Karapınar    | 37,7143 | 33,5267 | 996          | 1970-2020    |
| Seydişehir   | 37,4496 | 31,8538 | 1132         | 1970-2020    |
| Akşehir      | 38,3688 | 31,4297 | 1002         | 1970-2020    |
| Cihanbeyli   | 38,6505 | 32,9218 | 958          | 1970-2020    |
| Konya        | 37,9837 | 32,574  | 1031         | 1970-2020    |
| Beyşehir     | 37,6777 | 31,7463 | 1170         | 1970-2020    |

**Tablo 3.** Araştırmada kullanılan iklim indisleri ve tanımlamaları (Sun vd., 2018'den uyarlanmıştır).

| Kategori                                  | ID    | İndis Adı                     | İndis Tanımı  | Birim |
|---|-------|-------------------------------|---|-------|
| <i>Ekstrem İndisler</i>                   | TXx   | Max Tmax                      | Maksimum sıcaklıkların maksimumu  | °C    |
|   | TXn   | Min Tmax                      | Maksimum sıcaklıkların minimumu   | °C    |
|   | TNx   | Max Tmin                      | Minimum sıcaklıkların maksimumu   | °C    |
|   | TNn   | Min Tmin                      | Minimum sıcaklıkların minimumu  | °C    |
| <i>Ekstrem Maksimum Sıcaklık İndisler</i> | TX90p | Sıcak günler                  | Günlük maksimum sıcaklığın > 90 persantil içinde kaldığı gün sayısı           | %     |
|   | TN90p | Sıcak geceler                 | Günlük minimum sıcaklığın > 90 persantil içinde kaldığı gün sayısı            | %     |
|   | SU25  | Yaz günleri                   | Günlük maksimum sıcaklığın > 25 °C olduğu günler (TX > 25 °C)                 | gün   |
|   | TR20  | Tropikal geceler              | Minimum sıcaklık > 20 °C olduğu günler  | gün   |
|   | WSDI  | Sıcak devre süresi indikatörü | Tmax > normalinin %90 olduğu en az 5 ardışık gün sayısı                       | gün   |
| <i>Ekstrem Minimum Sıcaklık İndisler</i>  | TX10p | Serin günler                  | Günlük maksimum sıcaklığın <10 persantil içinde kaldığı gün sayısı            | %     |
|   | TN10p | Serin geceler                 | Günlük minimum sıcaklığın <10 persantil içinde kaldığı gün sayısı             | %     |
|   | FDO   | Donlu günler                  | Günlük minimum sıcaklığın <0 °C olduğu günler (TN <0 °C)                      | gün   |
|   | IDO   | Buz günler                    | Maksimum sıcaklık <0 °C olduğu günler   | gün   |
|   | CSDI  | Soğuk devre süresi indikatörü | Tmin <normalinin %10 olduğu en az 6 ardışık gün sayısı                        | gün   |
|   | DTR   | Günlük sıcaklık farkı         | Tmax – Tmin   | °C    |
| <i>Diğer İndisler</i>                     | GSL   | Gelişme sezonu uzunluğu       | T > 5 °C olan ilk 6 gün ile T < 5 °C olan ilk 6 gün arasındaki günler toplamı | gün   |

Çalışmada ekstrem sıcaklık verilerinden elde edilen iklim indislerinin uzun yıllar olası değişim ve eğilimlerinin yönünü belirleyerek istatistiksel olarak anlamlı artış veya azalış eğiliminin olup olmadığını tespit etmek için Mann Kendall testi uygulanmıştır. Bu yöntem verilerde belirli bir düzene uyma zorunluluğu aramadığı ve parametrik dağılım göstermeyerek eksik verilere izin verdiği için tercih edilmektedir [29]. Metot verilerin büyüklüğünden ziyade sıralarını temel alır [34]. Zamana göre sıralanmış (X1, X2...Xn) seriler H0 hipotezinde zamandan bağımsız ve benzer dağılmış rasgele değişkenlerdir. H1 alternatif hipotezine göre ( $k \neq j$ ) ve  $n \geq k, j$  (n, data kayıt uzunluğu) olarak seride Xk ve Xj ardışık data değerlerinin dağılımı birbirlerinden farklıdır [37]. Mann Kendall testi uygulanması kolay, serisel korelasyon etkisini yok etmesi ve sıralar

üzerine esas olması açısından önem arz etmektedir [36,46]. M-K  $u(t)$  grafiklerinden elde edilen örneklem değeri yıllara göre meydana gelen trendin yönü ve istatistiksel açıdan büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir [48]. Mann Kendall test istatistiği sonuçlarının yorumlanmasında, eğilimin yönü  $u(t)$  eğrisi ile gösterilmekte ve  $u(t)$  ve  $u'(t)$  eğrileri birkaç kez üst üste geldiğinde seride trendin olmadığını ancak  $u(t)$  ve  $u'(t)$  eğrilerinin birbirlerini keserek farklı yönlere ayrıldıkları nokta kuvvetli bir eğilimin başlangıcı olarak kabul edilmektedir [51]. Bu çalışmada normal dağılımın iki yanlı şeklinde  $\alpha=0,05$  anlamlılık seviyesinde güven aralığı  $\pm 1.96$  değerinde ise meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemsiz hipotezi ile ifade edilmektedir. Ancak sonuçlar kritik değer olan  $\pm 1.96$  dışında ise %95



güven aralığında anlamlı artış veya azalışların olduğu kabul edilir.

Çalışmada enterpolasyon yöntemlerinden olan IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi) metodu kullanılarak iklim indislerine ait haritalar elde edilmiştir. Bu metotta bilinen örnek noktalara ait değerler kullanılarak bilinmeyen noktaların hücre değerleri belirlenmektedir. Verilerin genel dağılımının incelendiği bu teknikte sadece yerel olarak veriler değerlendirilerek karşılaştırması yapılmaktadır [45]. IDW tahminlerinin yapıldığı formül aşağıdaki gibidir [15, 39].

$$z(X_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(X_i) \cdot d_{i0}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-r}} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de tahminlerin yapıldığı  $X_0$  lokasyonu, komşu ölçümleri  $n$ 'nin bir fonksiyonudur ( $z(x_i)$  ve  $i = 1, 2, \dots, n$ );  $r$  gözlemlerin her birinin atanmış ağırlığını belirleyen üstü ifade ederken gözlem lokasyonu  $X_i$  ile tahmin lokasyonu  $X_0$ 'ı ayıran mesafedir. Üs büyüdükçe, tahmin lokasyonundan uzak mesafedeki gözlemlerin atanmış ağırlığı küçülür ve üssün artması, tahminlerin en yakındaki gözlemlere çok benzediğini gösterir [15]. Ayrıca ekstrem sıcaklık indislerinin diğerleri ile ilişkilerinin yönünü ve gücünü belirleyerek ekstrem sıcaklık indisleri arasındaki potansiyel etkiyi tespit etmek amacıyla Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Pearson korelasyon sonuçlarında  $0,00 \pm 0,25$  arası çok zayıf,  $0,26 \pm 0,49$  arası zayıf,  $0,50 \pm 0,69$  orta seviyede iken  $0,70 \pm 0,89$  arası yüksek,  $0,90 \pm 1,00$  ise çok yüksek ilişki olarak kabul edilmiştir [30].

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye'de sıcaklık indislerinin alansal dağılımında farklılıklar oluşmasında; karasallık, yer şekilleri, yükselti, güneşten gelen radyasyonlar ve hava kütleleri gibi birçok faktör etkili olmaktadır [37, 20]. MGM'den alınan günlük maksimum ve minimum sıcaklık verileri kullanılarak ETCCDMI tarafından belirlenen 16 ekstrem sıcaklık indisi elde edilmiştir. Böylece ortalama indislerin zaman içerisindeki değişimleri ve ekstrem trendlerle ilgili önemli bilgiler sağlanmıştır.

#### 3.1. Ekstrem İndisler

Çalışma alanında kullanılan istasyonlara ait  $TX_n$  ve Konya istasyonu haricinde  $TN_n$ 'de istatistiksel olarak önemli eğilimler yoktur (Tablo 4). Günlük maksimum sıcaklıkların aylık maksimum değeri olarak ifade edilen  $TX_x$ 'de diğer indislere göre daha yüksek artışlar gerçekleşmiştir (Tablo 4). Günlük minimum sıcaklıkların maksimumu olan  $TN_x$  indisi, Seydişehir dışındaki bütün istasyonlarda %95 güven aralığında anlamlı artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4).

$TX_x$  günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu değeri olarak ifade edilmektedir. 6 istasyonda da %95 güven aralığında anlamlı artışlar yaşanırken diğer istasyonlara göre 51 yılda en yüksek artış  $3,6$  °C ile Cihanbeyli'de gözlenmiştir (Şekil 2a). Seydişehir ( $3$  °C) ve Beyşehir ( $2,7$  °C) istasyonlarında da yüksek artışlar belirlenmiştir.  $TX_x$  indisinde en düşük değere sahip olan istasyon ise 51 yılda  $1,3$  °C ile Karapınar'dır (Şekil 2a). Şekil 2c'de ise Göller Yöresi'nde bulunan Seydişehir ( $1,68$  °C) ve Beyşehir ( $1,73$  °C) istasyonları en düşük değerlere sahip iken Konya havzası sınırları içerisinde daha kurak ve kritik konumda yer alan Cihanbeyli ( $3,41$  °C), Konya ( $3,16$  °C) ve Karapınar ( $2,55$  °C) istasyonlarında yüksek  $TN_x$  değerleri tespit edilmiştir.

#### 3.2. Ekstrem Maksimum Sıcaklık İndisleri

$TN90p$  ve  $TX90p$  indislerine ait sıcak gece ve sıcak gün sayısı baz alınarak istasyonlar için tahmini eğilimler (günlük maksimum sıcaklıklar 90. yüzdeler diliminin üzerinde) Tablo 5'te belirtilmiştir.

Beyşehir hariç diğer tüm istasyonlarda sıcak gecelerdeki ( $TN90p$ ) artışlar istatistiksel olarak anlamlıdır (%95 düzeyinde). Sıcak geceler sayısında meydana gelen artışların çalışma alanındaki gibi tüm dünyada da artış eğiliminde olduğu IPCC raporlarında ortaya koyulmuştur [26]. Sıcak günlerde ( $TX90p$ ) ise tüm istasyonların istatistiksel olarak %95 güven aralığında anlamlı artışlar gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 3a).

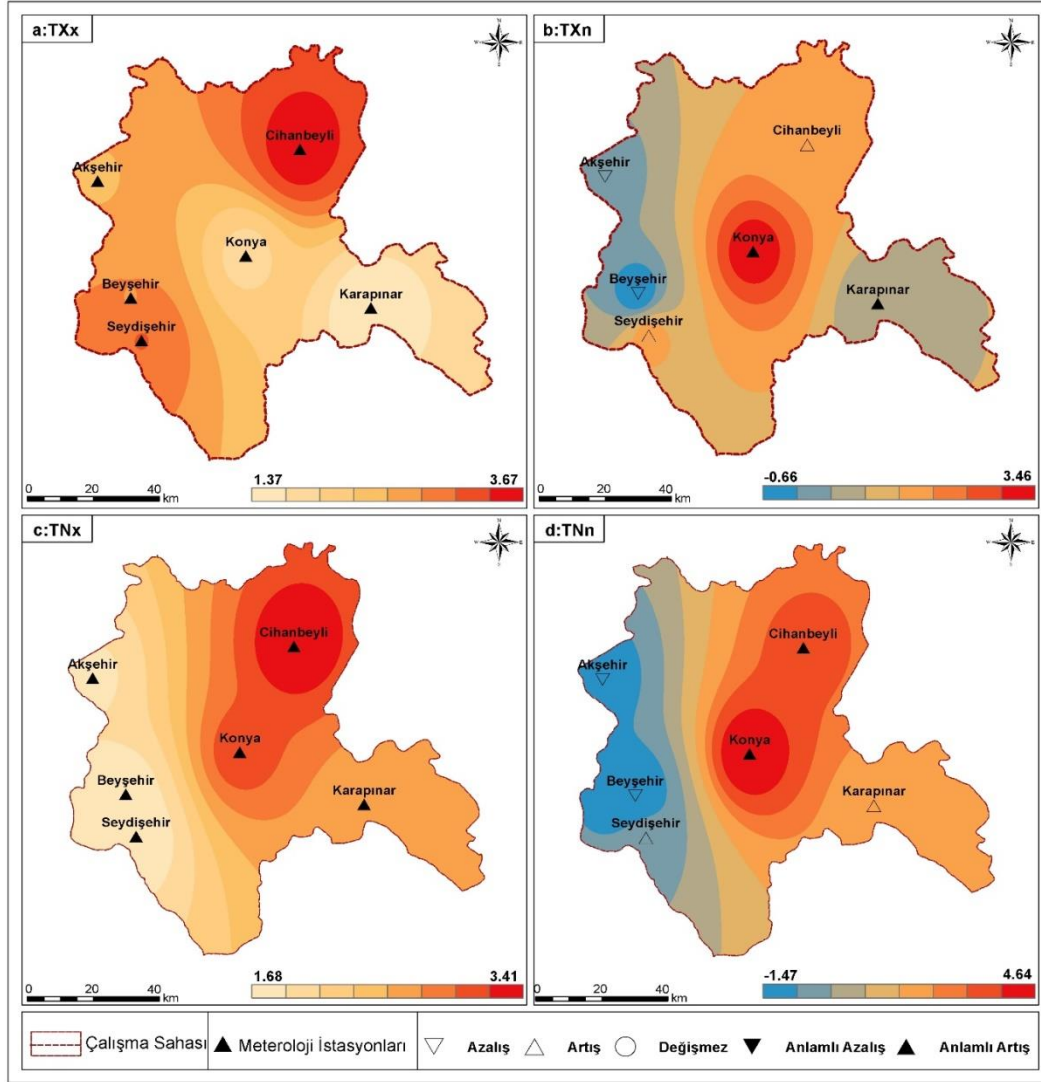
Tropikal geceler ( $TR20$ ) indisinde 14 gün ile en fazla artış Konya istasyonunda olurken Beyşehir (1 gün) ve Karapınar (0 gün) istasyonlarında düşük gün sayıları dikkat çekmektedir (Şekil 3d). Konya'da  $TR20$  indisinin diğer istasyonlara göre daha yüksek değerde olmasına şehirleşmenin sonucunda ortaya çıkan şehir ısı adasının oluşturduğu etki gösterilebilir.

Tropik gecelerde %95 güven aralığında Karapınar ( $7,2$  °C) ve Beyşehir ( $5,2$  °C) istasyonları istatistiksel olarak anlamlı azalış eğilimleri gösterirken Konya ve Seydişehir istasyonlarında anlamlı artışlar belirlenmiştir (Tablo 5).

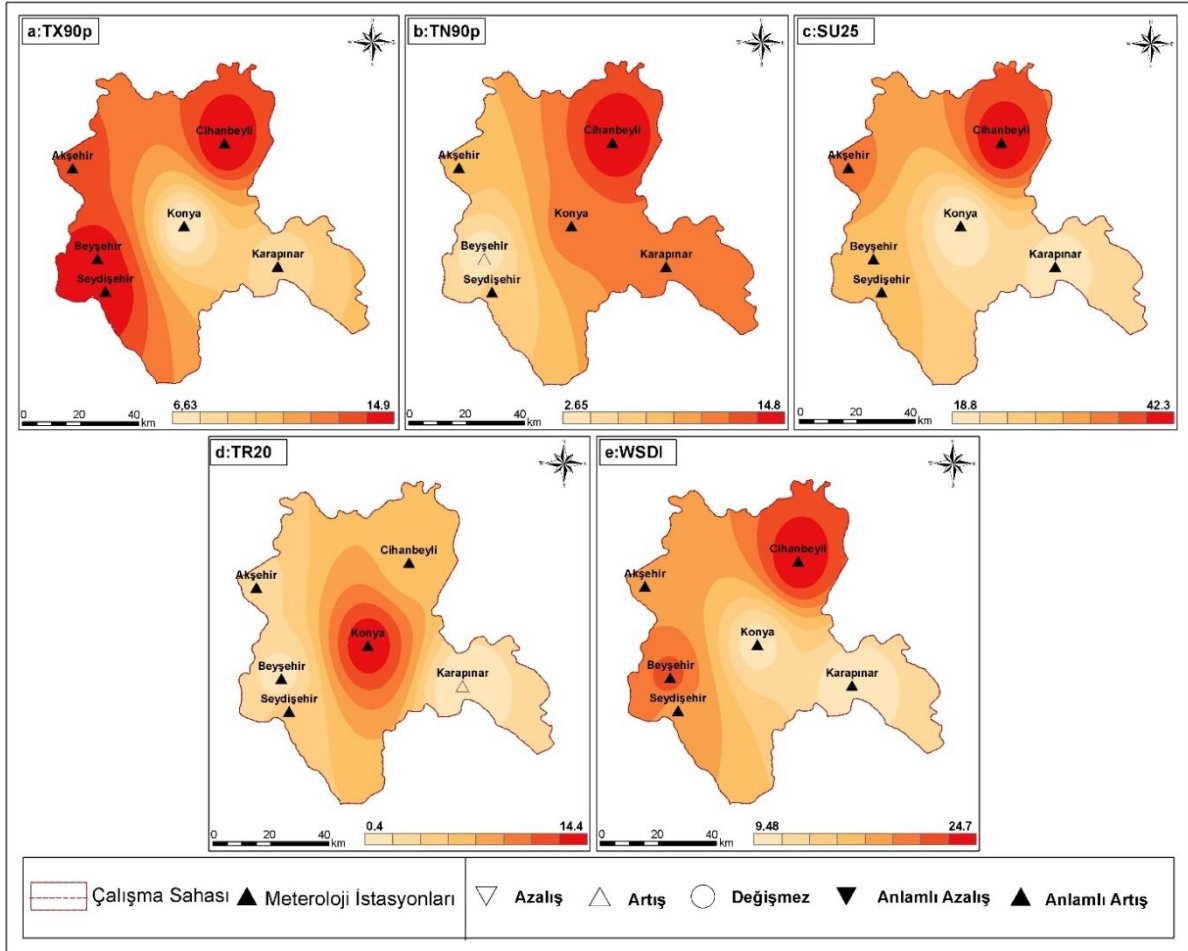
Yaz günleri indisinde ( $SU25$ ) genel olarak bütün istasyonların eğilimine bakıldığında %95 anlamlılık seviyesinde artışlar vardır (Tablo 5). Şekil 3c'ye göre  $SU25$  indisine ait en fazla artış 42 gün ile Cihanbeyli istasyonunda tespit edilmiştir. Akşehir ( $34,7$  gün), Seydişehir ( $28,7$  gün), Beyşehir ( $28,7$  gün) ve Karapınar ( $20,8$  gün) artış değeri yüksek diğer istasyonlardır. Konya'nın tropik geceler indis değeri  $18,8$  gün ile istasyonlar arasında en az artış oranına sahiptir (Şekil 3c). Tropikal gece sıcaklıklarındaki düşük eğilimlerin aksine yaz günlerinde üç kat daha fazla artış olmuştur.

**Tablo 4.** Ekstrem sıcaklık indislerinin Mann Kendall-tau değerleri (Kalın puntolar %95 güven aralığını göstermektedir).

|            | Karapınar  | Seydişehir  | Akşehir     | Cihanbeyli  | Konya       | Beysşehir   |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>TXx</i> | 1,59       | <b>3,37</b> | <b>3,19</b> | <b>3,87</b> | <b>1,97</b> | <b>3,44</b> |
| <i>TXn</i> | -0,12      | 1,23        | -0,09       | 0,69        | 1,92        | -0,76       |
| <i>TNx</i> | <b>3,5</b> | 1,84        | <b>2,57</b> | <b>3,44</b> | <b>2,9</b>  | <b>2,54</b> |
| <i>TNn</i> | 0,82       | 0,02        | -0,67       | 1,62        | <b>2,15</b> | -0,85       |

**Şekil 2.** 1970-2020 yılları arasında ekstrem sıcaklık indislerine ait trend analizi sonuçları**Tablo 5.** Ekstrem maksimum sıcaklık indislerinin Mann Kendall-tau değerleri (Kalın puntolar %95 güven aralığını göstermektedir).

|              | Karapınar    | Seydişehir  | Akşehir     | Cihanbeyli  | Konya       | Beysşehir    |
|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <i>TX90p</i> | <b>4,12</b>  | <b>5,63</b> | <b>4,77</b> | <b>5,51</b> | <b>3,29</b> | <b>5,47</b>  |
| <i>TN90p</i> | <b>5,51</b>  | <b>2,9</b>  | <b>4,18</b> | <b>5,69</b> | <b>4,87</b> | 1,42         |
| <i>TR20</i>  | <b>-7,22</b> | <b>2,17</b> | 0,77        | 0,59        | <b>4,46</b> | <b>-5,27</b> |
| <i>SU25</i>  | <b>3,37</b>  | <b>4,26</b> | <b>4,36</b> | <b>5,92</b> | <b>2,9</b>  | <b>4,51</b>  |
| <i>WSDI</i>  | -0,63        | 1,94        | 1,5         | 1,52        | 0,79        | 1,8          |



Şekil 3. 1970-2020 yılları arasında ekstrem maksimum sıcaklık indislerine ait trend analizi sonuçları

Sıcak devre süresi göstergesi (WSDI) günlük maksimum sıcaklığın %90'ın üstünde olduğu en az 6 ardışık gün sayısıdır. Sıcak devre süresi değerleri trend analizinde tüm istasyonlarda %95 güven aralığında anlamlı sonuçlar göstererek Cihanbeyli (24,6 gün) ve Beyşehir (21,1 gün) istasyonlarında en yüksek artışları gerçekleştirmiştir (Şekil 3e). Seydişehir ve Akşehir istasyonlarının 51 yılda 18 gün ile aynı değerde artış gösterirken Konya (10 gün) ve Karapınar (9,4 gün) istasyonlarında birbirlerine yakın artışlar vardır (Şekil 3e). Ancak Tablo 5'de Mann Kendall-tau değerlerinin istasyonların tamamında istatistiksel olarak önemsiz değerler gösterdiği tespit edilmiştir.

### 3.3. Ekstrem Minimum Sıcaklık İndisleri

TN10p ve TX10p indislerine ait serin gece ve serin gün sayısı için istasyon bazında tahmini eğilimler (günlük minimum veya maksimum sıcaklıklar 10. yüzdalık diliminin altında) belirlenmiştir. Serin günler (TX10p) indisinde tüm istasyonların istatistiksel olarak %95 güven aralığında anlamlı azalan trendler gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 6).

Çalışmada kullanılan istasyonlarda (Beyşehir hariç) soğuk geceler (TN10p) indisinde düşüşler %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlıdır (Tablo 6). Donlu günler (FD0) indisinde yıllık en fazla artış

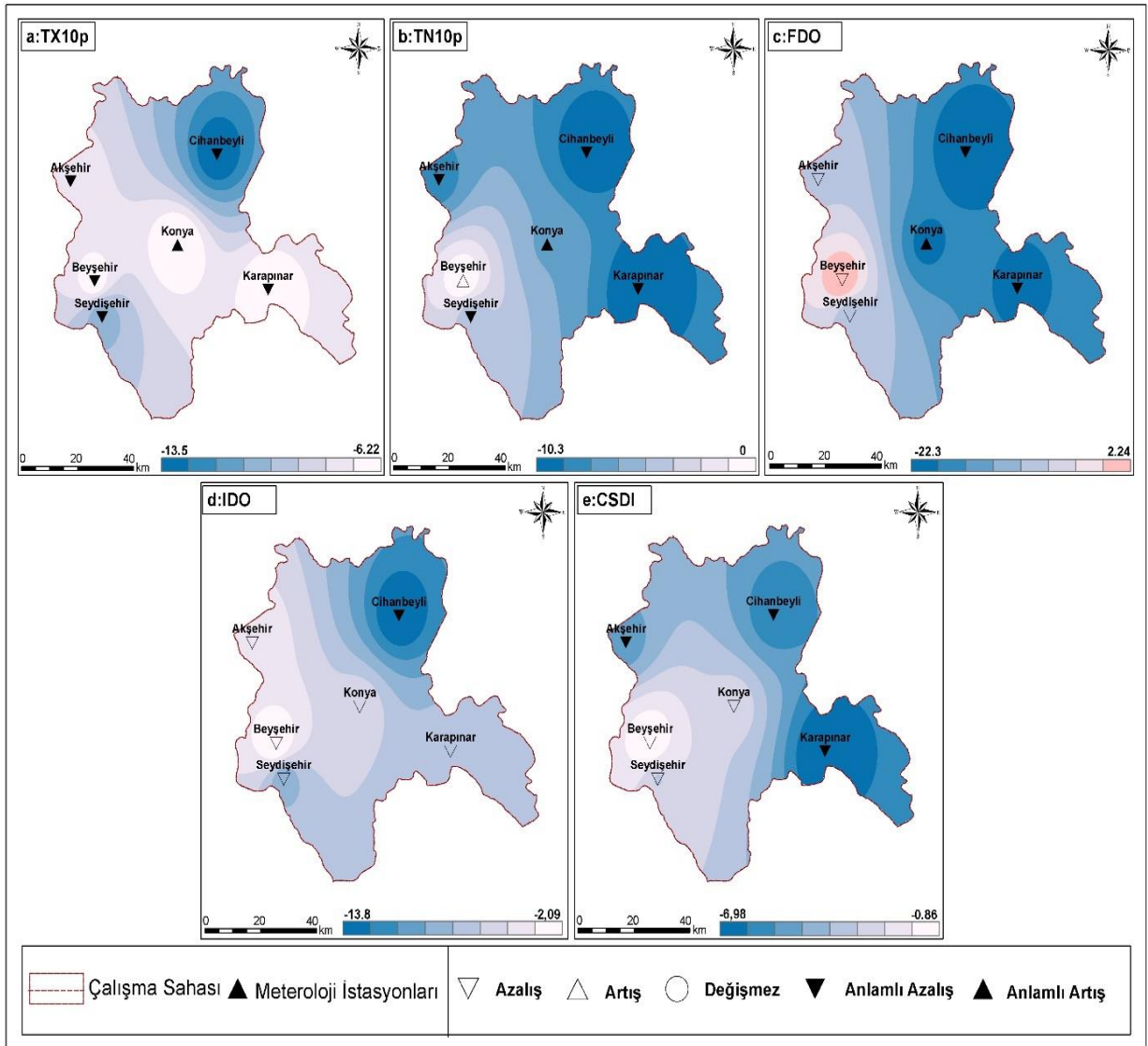
ortalama 2 gün ile Beyşehir iken en fazla düşüş 22 gün ile Cihanbeyli istasyonunda gerçekleşmiştir (Şekil 4c). Karasal iklim koşullarının hâkim olduğu bir bölgede yer alan çalışma alanındaki istasyonlardan donlu günler sayısı Karapınar (2 gün), Cihanbeyli (2 gün) ve Konya (2 gün) istasyonlarında %95 güven aralığında anlamlı azalış eğilimindeyken Seydişehir, Akşehir ve Beyşehir istasyonlarında FDO indisi istatistiksel olarak önemsizdir (Tablo 6).

Maksimum sıcaklıkların 0 °C'den düşük olduğu günler olan Buzlu günler (IDO) indisindeki azalışlar Cihanbeyli istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda istatistiksel olarak önemsizdir (Tablo 6). Buzlu günler indisinde Akşehir (4 gün), Konya (5 gün) ve Beyşehir (2 gün) istasyonlarında azalışların olduğu belirlenmiştir (Şekil 4d). Genel olarak bakıldığında donlu günlerdeki artış eğilimi buzlu günlere oranla 3 kat daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil, 4).

Soğuk devre süresi göstergesinde (CSDI) Seydişehir hariç diğer tüm istasyonlarda %95 güven aralığında anlamlı azalış eğilimleri tespit edilmiştir (Tablo 5). Karapınar (7 gün), Cihanbeyli (6 gün) ve Akşehir (5 gün) istasyonlarında diğer istasyonlara göre daha fazla azalış eğilimleri gözlenmiştir (Şekil 4e).

**Tablo 6.** Ekstrem minimum sıcaklık indislerinin Mann Kendall-tau değerleri (Kalın puntolar %95 güven aralığını göstermektedir)

|              | Karapınar | Seydişehir | Akşehir | Cihanbeyli | Konya | Beyşehir |
|--------------|-----------|------------|---------|------------|-------|----------|
| <i>TN10p</i> | -5,55     | -3,31      | -4,12   | -4,65      | -4,09 | 0,59     |
| <i>TX10p</i> | -3,35     | -5,29      | -3,87   | -5,86      | -3,61 | -3,83    |
| <i>IDO</i>   | -1,47     | -1,58      | -1,41   | -2,71      | -1,29 | -0,71    |
| <i>FDO</i>   | -2,88     | -1,32      | -0,85   | -2,82      | -2,28 | 0,28     |
| <i>CSDI</i>  | -7,24     | 1,94       | -4,46   | -5,5       | -6,44 | -3,99    |

**Şekil 4.** 1970-2020 yılları arasında ekstrem minimum sıcaklık indislerine ait trend analizi sonuçları

### 3.4. Diğer İndisler

Günlük sıcaklık farkı (DTR) indisi, maksimum ve minimum sıcaklıklarda meydana gelen değişimi göstererek tek başına ortalama sıcaklıktan daha fazla bilgi sağlayabilir [7]. Konya ve Karapınar istasyonlarına ait DTR indisinde istatistiksel olarak önemsiz azalmalar belirlenirken diğer tüm istasyonlarda günlük maksimum sıcaklıkların minimum sıcaklıklara göre daha fazla artış göstermesi sebebiyle %95 güven aralığında anlamlı artış eğilimleri belirlenmiştir (Tablo 7). Şekil 5a'ya göre Seydişehir (1,6 °C) ve Beyşehir (1,9 °C) DTR artış eğilimlerinin en fazla olduğu istasyonlardır. Bu artışların sebebine maksimum sıcaklıklar sabit kaldığında minimum sıcaklığın düşmesi veya minimum sıcaklıklar sabit iken maksimum sıcaklıkların artması ya da tam tersi bir durum gösterilebilir [5].

Gelişme sezonu uzunluğu indisinde 3 istasyonda %95 güven aralığında anlamlı artışlar vardır (Tablo 7). Gelişme sezonu uzunluğu artışı en fazla 40,3 gün ile Cihanbeyli'de iken sonrasında Karapınar (33,9 gün) ve Seydişehir (30 gün) istasyonları takip etmiştir (Şekil 5b). İstasyonlardaki gelişme sezonu uzunluğu günlerindeki artış tarım ürünlerinin büyüme süresini kısaltmak için olumlu etki yaparken azalan aşırı minimum sıcaklık ve artan aşırı maksimum sıcaklık sebebiyle kışlık buğday verimini azaltabilmektedir. Ayrıca kış mevsimine gereksinim duyan meyve ağaçları üzerinde de negatif etkisi olacaktır [5, 42, 56].

**3.5. Ekstrem Sıcaklık İndislerinin Zamansal Desenleri**  
Şekil 6k'ya göre istasyonların TNx indisindeki değişimleri incelendiğinde artışlar 2000 yılından sonra belirginleşmiştir.

TXx indisinde 2000 yılına kadar istasyonlarda soğuma eğilimleri belirlenmiştir ancak sonraki yıllarda genel eğilim artış yönünde gerçekleşmiştir (Şekil 6l). TX90p indisinde de TXx indisine benzer şekilde 2000 yılından günümüze kadar bazı istasyonlarda sıcak günlerde artış ve azalışlar birbirini izlese de 2000 yılından sonra artışlar belirgin hale gelmiştir (Şekil 6d).

İstasyonlara ait TX10p indisinde 1997 yılına kadar artış ve azalışların olduğu ancak 2000 yılından sonra ortalama azalış eğiliminin çok daha net olduğu gözlenmiştir (Şekil 6c). Şekil 6g'de FDO indisi için 2010 ve 2018 yıllarındaki azalışın bütün istasyonlarda gerçekleşmesi dikkat çekmektedir. IDO ise istasyonların tamamında 1990 ve 1995 yılları arasında en yüksek artışları gösterirken sonraki yıllarda azalmalar belirgindir (Şekil, 6h). Ayrıca Şekil 6i incelendiğinde 1980 yılından başlayarak 10 yıl süre ile soğuk devre süresinde ve sayısında azalmalar gerçekleşmiştir. Genel olarak 2000 yılından sonra

ekstrem minimum sıcaklık indislerinde özellikle azalmalar gözlenirken ekstrem maksimum sıcaklık indislerinde artışlar yaşanmıştır (Şekil 6).

### 3.6. Ekstrem Sıcaklık İndislerinin Değişim ve Eğilimleri

Çalışma alanındaki 6 istasyona ait ekstrem sıcaklık indis değerlerinin ortalamaları kullanılarak elde edilen eğilim ve değişimler Şekil 7'de verilmiştir. Genel olarak, ekstrem sıcaklık indisleri (TXx, TNx), ekstrem maksimum (TR20), ekstrem minimum sıcaklık (TN10P, TX10P, CSDI) indislerinde ve diğer indislerde (DTR) 2005 yılından sonra istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalış eğilimleri tespit edilmiştir (Şekil 7). Ayrıca bir diğer değişikliğin yaşandığı yıl olan 2000'den sonrada ekstrem sıcaklık indislerinde (TX90P, TN90P, SU25) anlamlı artışlar vardır. İstasyonlara ait  $u(t)-u'(t)$  grafiklerinde  $u(t)$  eğrisi 6 istasyonda da 1980-2003 yılları arasında %95 anlamlılık seviyesinde negatif trend göstermiştir. Trendlerin başlangıç yılı ise 1978'dir (Şekil 7).

GSL indisinde 2011 yılından sonra artma trendi başlasa da istatistiksel olarak anlamlı artışlar 2017'den sonra gerçekleşmiştir. Bu artışlar Konya ilinde kış mevsimi koşullarına ihtiyaç duyan ürünler için olumsuz etki yaratabilmektedir. Ekstrem minimum sıcaklık indislerinden olan donlu gün ve buzlu gün sayıları ile ekstrem indislerde (TXx, TNx) ise istatistiksel olarak önemli olmayan değişimler belirlenmiştir (Şekil, 7). İç Anadolu Bölgesi'ni de kapsayan önceki çalışmaların sonuçlarında da maksimum sıcaklık ekstremlerinde artışlar, minimum sıcaklık ekstremlerde azalmaların olduğu benzer varyasyonlar izlenmiştir [2, 37].

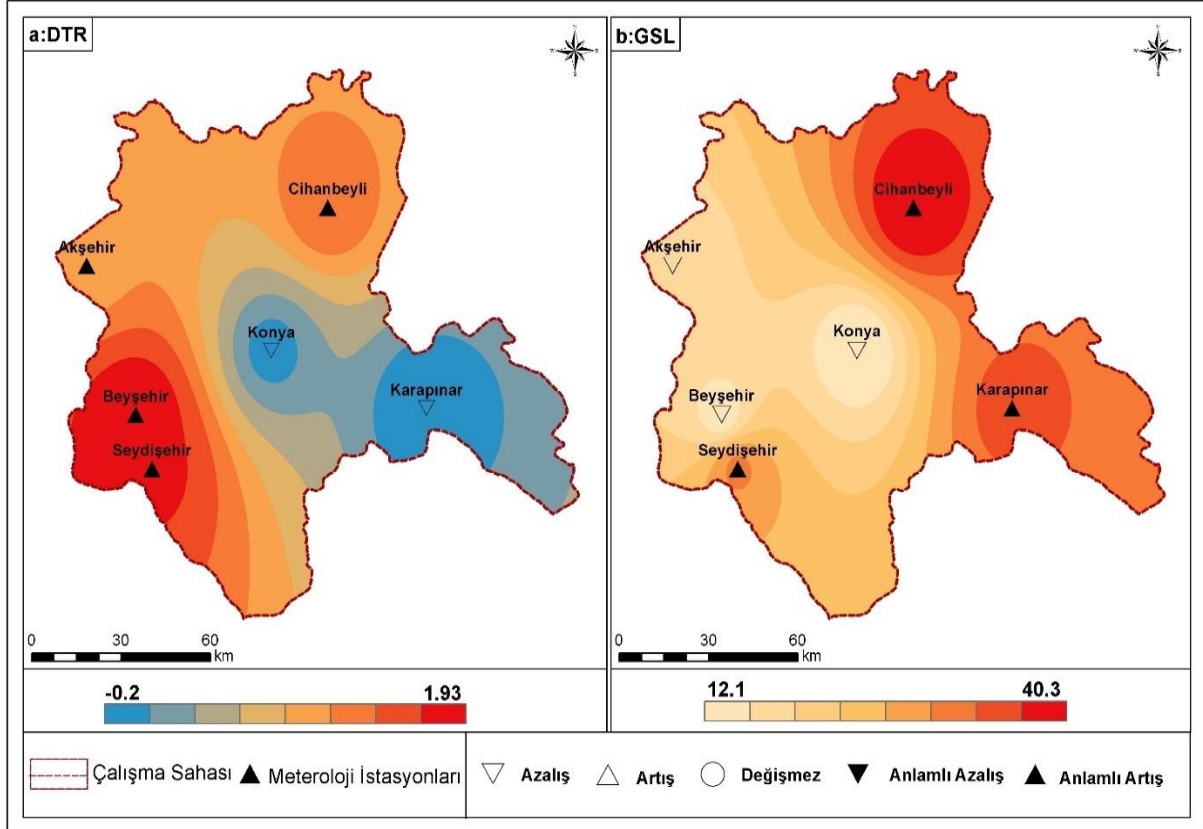
### 3.7. Ekstrem Sıcaklık İndisleri Arasındaki Korelasyonlar

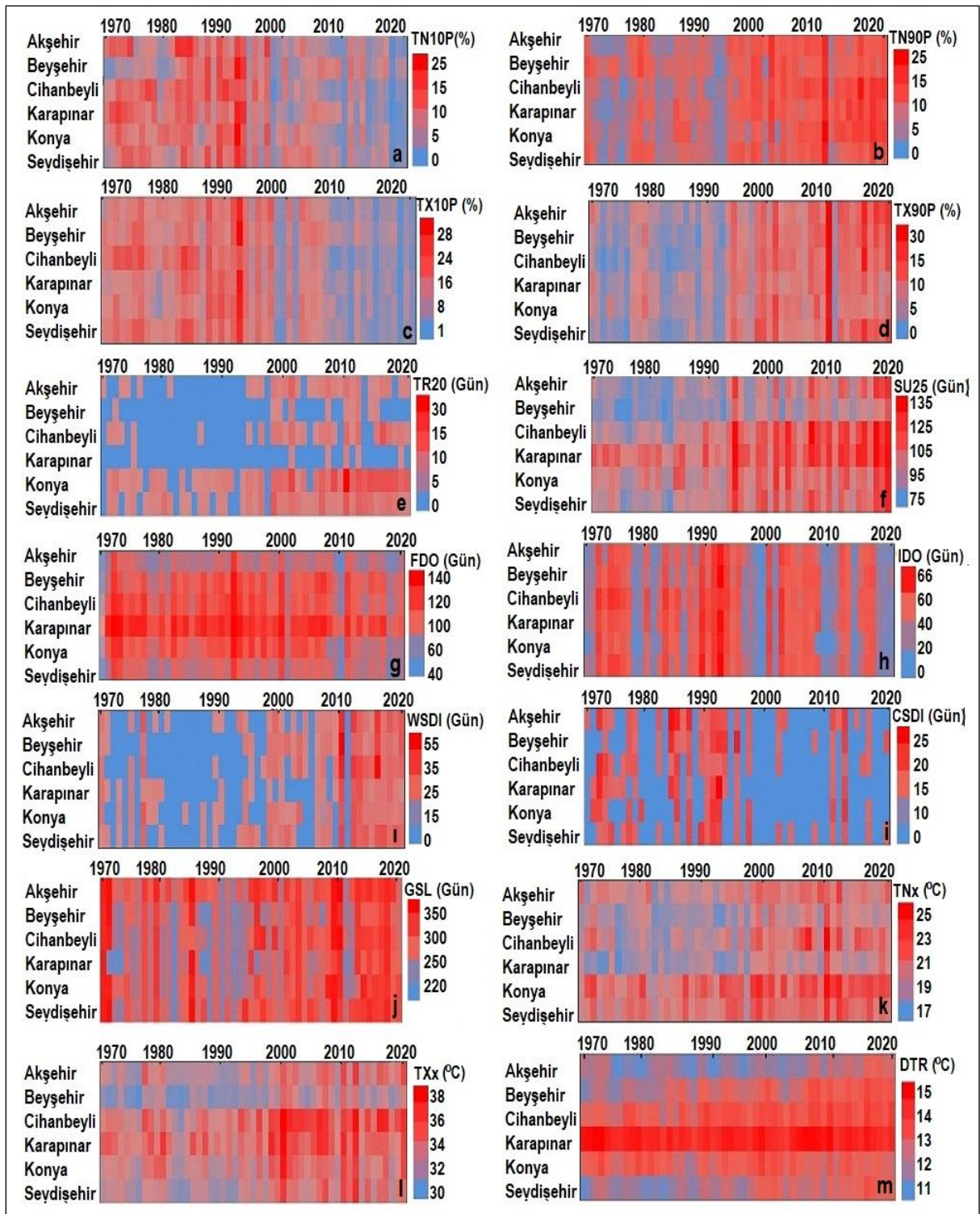
Çalışmada bazı ekstrem sıcaklık indislerinin diğerleri üzerindeki potansiyel etkisini belirlemek için [42] sıcaklık indisleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır (Şekil, 8).

Şekil 8'e göre ekstrem maksimum sıcaklık indisleri ile ekstrem minimum sıcaklık indisleri arasında istatistiksel olarak önemli ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Ekstrem sıcaklık indislerinden TXx indisi ile TNx arasında pozitif yönde (0.76) istatistiksel olarak anlamlı yüksek bir ilişki vardır. TXn ve TNn, %99 güven aralığında 0.94 ilişki katsayısı ile en yüksek korelasyona sahip indislerdir. Ayrıca IDO ve TNn (0.79) ile DTR ve TX90P (0.74) indisleri arasında da %99 güven aralığında yüksek ilişki belirlenmiştir. Minimum sıcaklık indisleri arasındaki korelasyonlarda TN10P, %99 anlamlılık düzeyinde diğer minimum sıcaklık indisleri ile daha yüksek ilişki değerlerine sahiptir (Şekil 8).

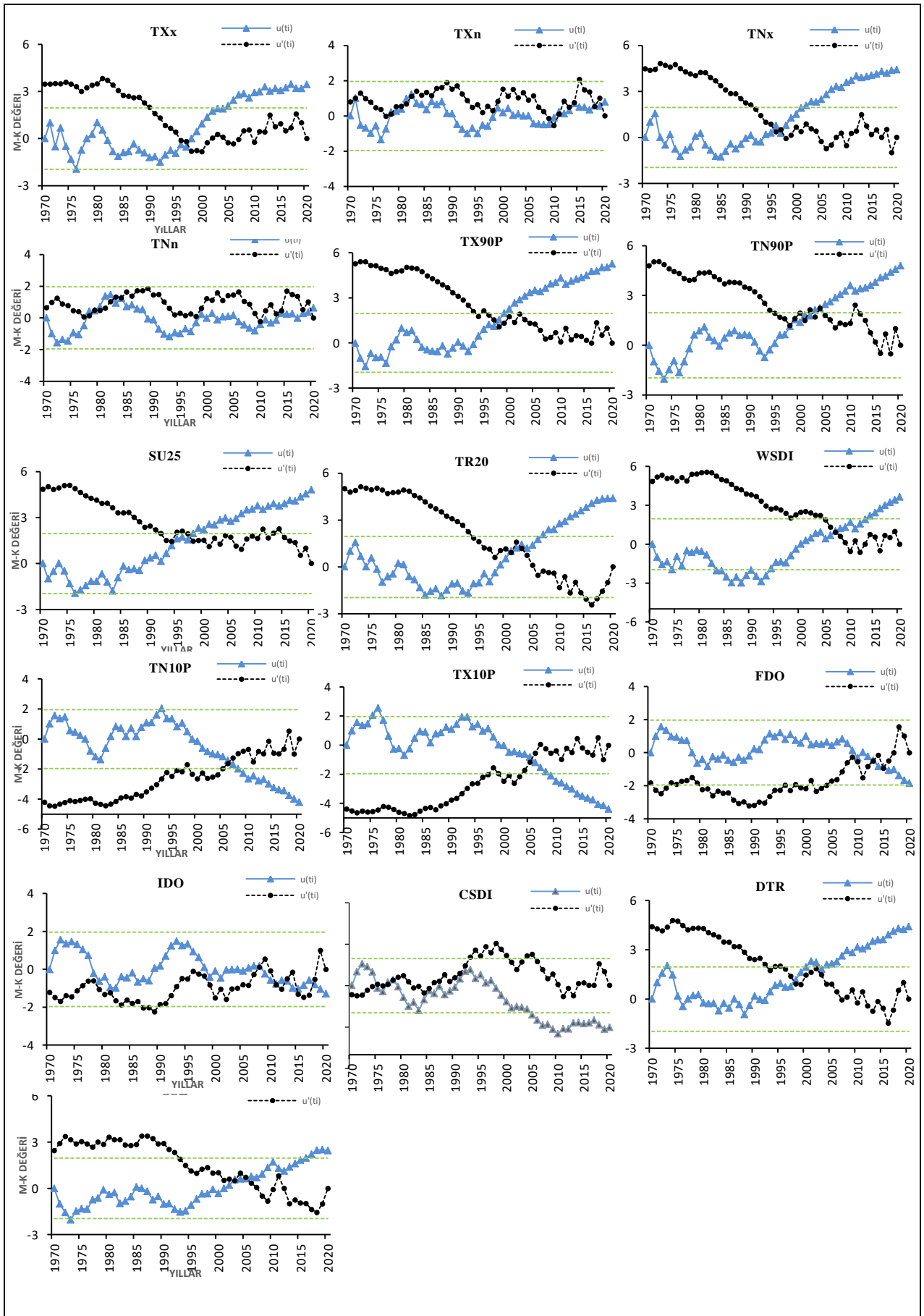
**Tablo 7.** Diğer sıcaklık indislerinin Mann Kendall-tau değerleri (Kalın puntolar %95 güven aralığını göstermektedir)

|            | Karapınar   | Seydişehir  | Akşehir     | Cihanbeyli  | Konya | Beyşehir    |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|
| <i>DTR</i> | -0,69       | <b>5,45</b> | <b>3,21</b> | <b>4,46</b> | -0,97 | <b>6,05</b> |
| <i>GSL</i> | <b>2,57</b> | <b>2,74</b> | 1,36        | <b>2,66</b> | 1,34  | 1,15        |

**Şekil 5.** 1970-2020 yılları arasında diğer sıcaklık indislerine ait trend analizi sonuçları

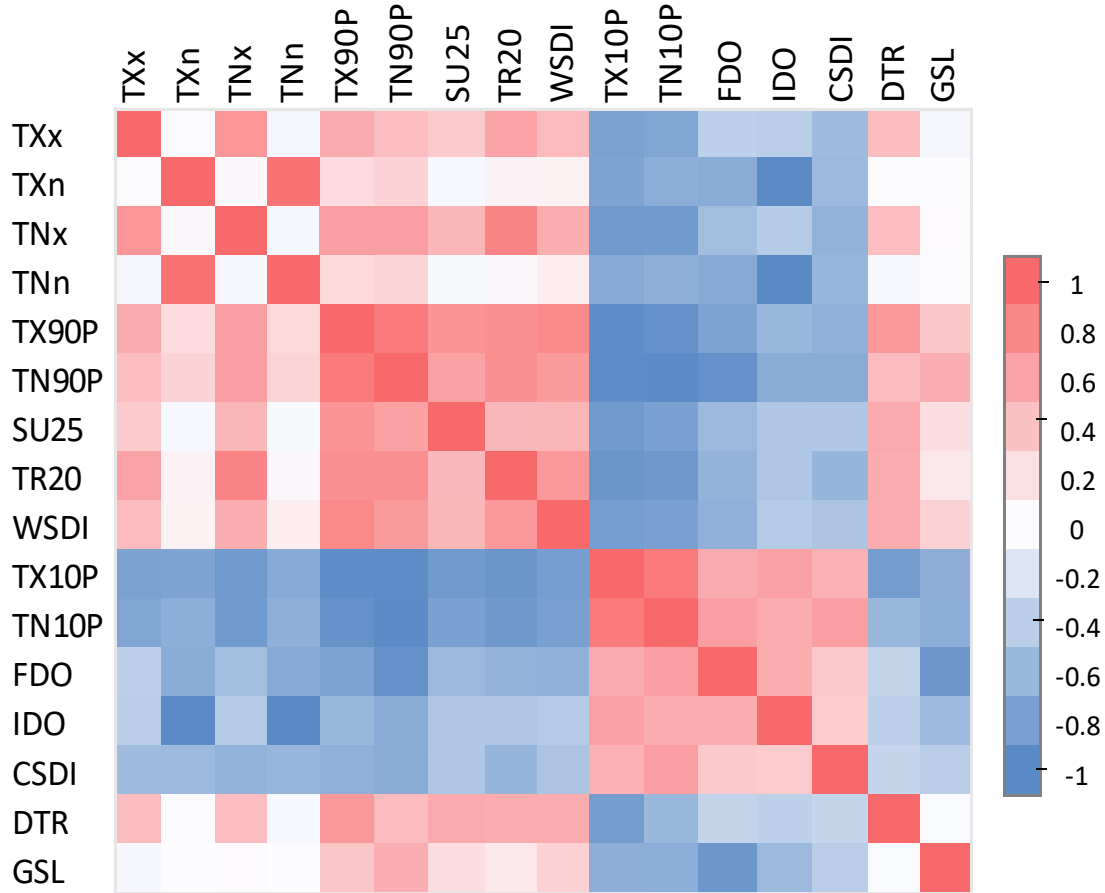


**Şekil 6.** İndis bulguları a. Serin geceler (TN10p)(%) b. Sıcak geceler (TN90p)(%) c. Serin günler (TX10p)(%) d. Sıcak günler (TX90p)(%) e. Tropikal geceler (TR20)(gün) f. Yaz günleri (SU25)(gün) g. Donlu günler (FDO)(gün) h.) Buzlu günler (IDO)(gün) i. Sıcak devre süresi göstergesi (WSDI)(gün) i. Soğuk devre süresi göstergesi (CSDI)(gün) j. Gelişme sezonu uzunluğu (GSL)(gün) k. Günlük minimum sıcaklıkların maksimumu (TNx)( °C) l. Günlük maksimum sıcaklıkların maksimumu (TXx)( °C) m. Günlük sıcaklık farkı (DTR)( °C)



Şekil 7. 1970-2020 yılları arasında ekstrem sıcaklık indislerindeki eğilim ve değişimler





Şekil 8. 1970-2020 yılları arasında ekstrem sıcaklık indisleri arasındaki korelasyon

Sıcaklık indisleri arasındaki korelasyon ilişkileri karşılaştırıldığında, TXn ve TNx indisleri ile maksimum sıcaklık indisleri arasında istatistiksel olarak önemsiz olan pozitif yönde zayıf bir korelasyon vardır. Ancak maksimum sıcaklık indisleri arasında TR20 indisinin TNx ile %95 güven aralığında 0.86 ilişki katsayısı ile diğerlerine kıyasla daha yüksek ilişki içerisinde olduğu ortaya konulmuştur. Minimum sıcaklık indisleri ile TXn ve TNx indisleri arasında ise %99 güven aralığında negatif yönde daha yüksek ilişki katsayıları tespit edilmiştir. Özellikle IDO ile TXn (-0.78) ve TNx (-0.79) indisleri diğer minimum sıcaklık indislerine göre daha yüksek korelasyon katsayısı göstermektedir. Genellikle ekstrem maksimum sıcaklık indisleri ile ekstrem minimum sıcaklık indisleri arasında negatif ilişki bulunmuştur. Pozitif yönde %95 güven aralığında anlamlı ilişki katsayılarına ise ekstrem minimum sıcaklıklar arasında rastlanmaktadır (Şekil 8). Ekstrem maksimum sıcaklık indisleri arasındaki ilişkilerin ekstrem minimum sıcaklık indisleri arasındaki ilişki katsayıları ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli daha yüksek korelasyon katsayılarına sahip olduğu belirlenmiştir. Korelasyon analizi sonuçlarında GSL (diğer indisler) ile en yüksek ilişkiye sahip indisinin FDO (ekstrem minimum sıcaklık) olması donlu günlerinin önemli ölçüde azalmasının büyüme sezon uzunluklarının uzamasına yardımcı olabileceğini göstermektedir (Şekil 8).

## V.SONUÇ

Küresel ısınmanın ortaya çıkardığı olumsuz etkiler hem ekolojik çevre hem de insan yaşamı için oldukça tehlikeli bir boyuta ulaşmıştır. Bu noktada iklimin en önemli elemanlarından olan sıcaklıklardaki değişikliklerin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada İç Anadolu Bölgesi içerisinde, iklim değişikliklerine karşı oldukça hassas bir coğrafi konumda bulunan Konya'nın sıcaklık indislerindeki eğilim ve değişimlerine bakılmıştır. Ayrıca ekstrem indislerdeki trendlerin mekânsal dağılımları gösterilerek indisler arasındaki ilişki seviyeleri yapılan korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Böylece çalışma alanına ait sıcaklık indislerindeki değişimler istasyonlar ölçeğinde incelenerek küresel ısınma etkisinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarında; ekstrem maksimum sıcaklık indisleri genel olarak artış eğilimi içerisindeyken ekstrem minimum sıcaklık indislerinde azalma trendleri tespit edilmiştir. Maksimum sıcaklık ekstremlerinde artışların, minimum sıcaklık ekstremlerde dolayısıyla soğuk günlerde azalmaların olduğu varyasyonlara Dünya ve Türkiye ölçeğindeki çalışmalarda da benzer sonuçlara rastlanmıştır [23, 57, 3, 58, 37, 5, 42, 2, 35, 18, 17]. Ayrıca çalışmada ekstrem maksimum sıcaklık indislerindeki artış ve ekstrem minimum sıcaklık indislerindeki azalma GSL indisinde artışlara neden olmuştur. Bu artış tarım

ürünlerinin büyüme süresini kısaltmak için olumlu etki yaparken azalan aşırı minimum sıcaklık ve artan aşırı maksimum sıcaklık sebebiyle tarla ürünlerinin verimini azaltabilmektedir [55]. GSL indisinde meydana gelen artışlar Konya ilinde kış mevsimi koşullarına ihtiyaç duyan ürünler için olumsuz etki yaratabilmektedir.

Sıcaklık indislerinin birbirleri üzerindeki potansiyel etkisini belirlemek için ekstrem sıcaklık indisleri arasında yapılan korelasyon analizinde ise ekstrem maksimum sıcaklık indisleri ile ekstrem minimum sıcaklık indisleri arasında negatif ilişki tespit edilirken ekstrem minimum sıcaklıklar arasında pozitif yönde %95 güven aralığında anlamlı ilişki katsayıları vardır. Küresel iklim değişiminin bir sonucu olarak çalışma alanında maksimum sıcaklıkların artmasının soğuk günlerin azalarak büyüme mevsiminin uzamasına yol açtığı tespit edilmiştir. Bu durum bitki zamanlaması ve ürün çeşitleri açısından tarımsal faaliyetlerin değişmesi ile sonuçlanacaktır.

İstasyonların sahip oldukları coğrafi konumlar ve beşeri faktörlerde sıcaklık indis değerlerinde farklılıklara sebep olmaktadır. Sıcaklık ekstremlerinin genellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu Konya istasyonunda artış göstermesi şehir ısı adasının bir sonucu olarak gösterilebilir. Ayrıca Akşehir ve Beyşehir istasyonlarının TNx indisi değerlerinde diğer istasyonlardan farklı olarak azalmaların yaşanması Göller Yöresi içerisinde bulunmaları ile ilişkilendirilebilir.

Sıcaklık ekstremlerinden elde edilen sonuçlara göre Konya için yapılan bu çalışmada ısınma eğiliminin olduğuna yönelik işaretler vardır. Çalışmamız; ortaya çıkan yeni koşullara karşı doğal çevrenin korunması, sosyo-ekonomik zararların önlenmesi ve toplumsal farkındalık açısından önem arz etmektedir. Ayrıca sonuçlar çalışma alanının genişletilerek daha kapsamlı bir analiz yapmanın gerekliliğini de ortaya koymuştur.

### Teşekkür

Bu çalışmanın birinci yazarı 100/2000 (Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (RF, IR ve Akustik Sensörler, İleri Düzeyde Veri/Görüntü İşleme de dahil)) öncelikli alan bursiyeridir.

### KAYNAKLAR

- [1] Acar Deniz, Z. & Gönençgil, B. (2017). Türkiye sıcaklık ekstremlerindeki değişkenlikler. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi, (35), 41- 54, İstanbul.
- [2] Acar Deniz, Z. (2018). İç Anadolu Bölgesi'nin ekstrem sıcaklık özellikleri. Türk Coğrafya Dergisi 70, 93-99.
- [3] Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G. & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature

and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).

- [4] Aydın, K. & Karabulut, M. (2021). Türkiye'de sıcaklıklar ile yükselti ve enlem ilişkisi, Sosyal Bilimler Dergisi/The Journal of Social Sciences. Sosyal Bilimler Dergisi / The Journal of Social Science, Yıl: 8, Sayı: 53, Ağustos 2021, s. 501-519.
- [5] Aykır, D. (2017). Türkiye'de ekstrem sıcaklık indislerinin eğilimlerinde şehirleşmenin etkisi. Türk Coğrafya Dergisi, (69), 47-57.
- [6] Brunet M., Saladie O., Jones P.D., Sigro J., Aguilar E., Moberg A., Lister D.H., Walther A., Lopez D. & Almarza C. (2006). The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850-2003). *International Journal of Climatology* 26: 1777-1802.
- [7] Braganza, K., Karoly, D. J. & Arblaster, J. M. (2004). Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. *Geophysical research letters*, 31(13).
- [8] Brown, P.J., Bradley, R.S. & Keimig, F.T. (2010). Changes in extreme climate indices for the Northeastern United States, 1870–2005, *Journal of Climate*, 23, 6555–6572.
- [9] Chen, Y., Deng, H., Li, B., Li, Z. & Xu, C. (2014). Abrupt change of temperature and precipitation extremes in the arid region of Northwest China. *Quaternary International*, 336, 35-43.
- [10] Christidis, N., Stott, P. A., Brown, S., Hegerl, G. C. & Caesar, J. (2005). Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters*, 32(20).
- [11] Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M., Fukuda, Y. & Zhou, Y. (2009). Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955–2007. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(13), 1906-1925.
- [12] Clark, R. T., Brown, S. J. & Murphy, J. M. (2006). Modeling Northern Hemisphere summer heat extreme changes and their uncertainties using a physics ensemble of climate sensitivity experiments. *Journal of Climate*, 19(17), 4418-4435.
- [13] Coşkun, S. (2020). Tuz Gölü-Konya Kapalı Havzalarının yaz mevsimi ortalama sıcaklık, yağış, buharlaşma ve akım verilerindeki değişimlerin karşılaştırmalı trend analizi. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi (SOBİDER), Yıl, 7, 123-138.
- [14] Çiftçi, Ç., Dursun, Ş., Levend, S. & Fatma, K. U. N. T. (2013). Topoğrafik yapı, iklim şartları ve kentleşmenin Konya'da hava kirliliğine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 19-24.

- [15] Demircan, M., Alan, İ., & Şensoy, S. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak sıcaklık haritalarının çözünürlüğünün artırılması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13, 18-22.
- [16] Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., Likso T. (2003) Variability of extreme temperature events in South-Central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. *Int J Climatol* 23:987-1010.
- [17] Durmuş, B., Bulut, İ. & Gönençgil, B. (2021). Antalya Bölümünde sıcaklık ve yağış indislerinin değişim analizleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 91-108.
- [18] Dün, S ve Gönençgil, B. (2021). Ege Bölgesi kıyılarında sıcaklık indislerinin analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (77), 77-86.
- [19] Erlat, E. & Yavaşlı, D (2009). Ege Bölgesi'nde tropikal gün ve yaz günü sayılarındaki değişim ve eğilimler. *Ege Coğrafya Dergisi*, 18/(1-2), 1-15, İzmir.
- [20] Erlat, E. & Yavaşlı, D. (2011). Ege Bölgesi'nde sıcaklık ekstremlerinde gözlenen değişim ve eğilimlerin değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi Cilt: 3, Sayı: 1, 25-37.*
- [21] Erlat, E. & Türkes M (2017). Türkiye'de tropikal gece sayılarında gözlenen değişimler ve eğilimler. *Ege Coğrafya Dergisi*, 26 (2), 95-106, İzmir.
- [22] Finkel, J. M. & Katz, J. I. (2018). Changing world extreme temperature statistics. *International Journal of Climatology*, 38(5), 2613-2617.
- [23] Frich, P. A. L. V., Alexander, L. V., Della-Marta, P. M., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A. K., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate research*, 19(3), 193-212.
- [24] Gao, M. & Franzke, C. L. (2017). Quantile regression-based spatiotemporal analysis of extreme temperature change in China. *Journal of Climate*, 30(24), 9897-9914.
- [25] Horton, E. B., Folland, C. K. & Parker, D. E. (2001). The changing incidence of extremes in worldwide and Central England temperatures to the end of the twentieth century. *Climatic Change* 50: 267-295.
- [26] IPCC. 2013. 'Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change' [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1535.
- [27] IPCC 2014 Summary for policymakers In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* ed C B Field et al (Cambridge)(Cambridge University Press)(Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) pp 1-32.
- [28] Kadıoğlu, M. (2001). Bildiginiz havaların sonu-küresel iklim değişimi ve Türkiye. *Güncel Yayınları: İstanbul, Turkey.*
- [29] Kalaycı, S. & Kahya, E. (1998). Susurluk havzası nehirlerinde su kalitesi trendlerinin belirlenmesi. *Selçuk Üniv., TÜBİTAK Dergisi*, Konya, 503-514.
- [30] Kalaycı, Ş. (2017). *Spss Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri* (5 b.). Asil yayın, Ankara.
- [31] Karabulut, M. (2008). Küresel ısınma ve iklim değişikliği, çevre kirliliği ve kontrolü, 173, Nobel Yayınevi, Ankara.
- [32] Karabulut, M. & Cosun, F. (2009). Kahramanmaraş ilinde yağışların trend analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7 (1): 65-83.
- [33] Karabulut, M. (2010). Kayseri'de yağış ve sıcaklıkların trend analizleri. *KSÜ Sosyal Bilimler Dergisi*. S. 8 (1):79-89.
- [34] Karabulut, M. (2011). Doğu Akdeniz'de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı:37-44.
- [35] Karabulut, M. & Topuz, M. (2019). Adana'da tropikal ve yaz günü sayılarındaki değişim ve eğilimler. 2. Uluslararası Akdeniz Sempozyumu, 23-25 Mayıs 2019, Bildiri Tam Metinleri Kitabı, s:108-126.
- [36] Kızılelma, Y., Karabulut, M. & Çetinkaya, S., (2015). Antakya-Kahramanmaraş Grabeninde tropikal ve yaz günü sayılarındaki değişim ve eğilimler. *Türkiye Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi*, 21-23 Mayıs 2015, Gazi Üniversitesi Bildiriler Kitabı, s:175-183.
- [37] Kızılelma, Y., Çelik, M. & Karabulut, M. (2015). İç Anadolu Bölgesi'nde sıcaklık ve yağışların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (64), 1-10.
- [38] Kysely, J. (2009) Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect? *Int J Climatol* 30:89-109.
- [39] Lloyd, C. D. (2010). Local models for spatial analysis. CRC press.
- [40] Min, E.; Hazelege, W.; Oldenborgh, G.J.; Sterl, A. (2013). Evaluation of trends in high temperature extremes in north-western Europe in regional climate models. *Environ. Res. Lett.* 8, 014011.
- [41] Sensoy, S., Demircan, M. & Alan, I. (2008). Trends in Turkey climate extreme indices from 1971 to 2004. In *Third International Conference BALWOIS*.
- [42] Sun, P., Zhang, Q., Yao, R., Singh, V. P. & Song, C. (2018). Spatiotemporal patterns of

- extreme temperature across the Huai River Basin, China, during 1961–2014, and regional responses to global changes. *Sustainability*, 10(4), 1236.
- [43] Sterl, A., Severijns, C., Dijkstra, H., Hazeleger, W., Oldenborgh, G.J., Broeke, M.V. & Burgers, G. (2008). When can we expect extremely high surface temperature? *Geophys. Res Lett.* 35, L14703.
- [44] Tank, A. K. & Können, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *Journal of climate*, 16(22), 3665-3680.
- [45] Taylan, E. D., & Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi*, 27(3), 7551-7559.
- [46] Topuz, M. & Karabulut, M. (2021). Doğu Anadolu Bölgesi'nde kar örtülü gün ve kar yağışlı günler sayısının eğilim analizi (1970-2020). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26 (46) , 1-24 .
- [47] Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M. & Kurnaz, M. L. (2014). RegCM4. 3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1), 1-24.
- [48] Türkeş, M. (1999). Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23, 363-380.
- [49] Türkeş, M., Sümer, U. M. & Demir, İ. (2002). Türkiye'nin günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ile sıcaklık genişliğindeki eğilimler ve değişiklikler. Prof. Dr. Sırrı Erinç Anısına Klimatoloji Çalıştayı 2002, Bildiriler Kitabı, 89-106. Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü, 11-13 Nisan 2002, İzmir.
- [50] Türkeş, M. (2005). Orta Kızılırmak bölümü güney kesiminin (Kapadokya yöresi) iklimi ve çölleşmeden etkilenebilirliği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 14(1-2), 73-97.
- [51] Türkeş, M., Akgündüz, A. S. & Demirörs, Z. (2009). Palmer Kuraklık İndisi' ne göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki kurak dönemler ve kuraklık şiddeti. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 7, pp. 129-144.
- [52] Türkeş, M. (2010). Klimatoloji ve meteoroloji. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi- Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, ISBN: 978-605-5863-39-6, 650 + XXII sayfa, İstanbul.
- [53] Türkeş, M. 2012. 'Küresel İklim Değişikliği ve Çölleşme'. İçinde: *Günümüz Dünya Sorunları – Disiplinlerarası Bir Yaklaşım* (ed. N. Özgen), s.1-42. Eğiten Kitap: Ankara.
- [54] Toreti, A. & Desiato, F. (2008). Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International journal of climatology Int. J. Climatol.* 28: 733–745.
- [55] Yan, Z., Jones, P.D., Davies, T.D., Moberg, A., Bergström, H., Camuffo, D., Cocheo, C., Maugeri, M., Demarée, G. R., Verhoeve, T., Thoen, E., Barriendos, M., Rodríguez, R., Martín-Vide, J. & Yang, C., (2002). Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. *Climatic Change* 53: 355–392.
- [56] Wang, J. W., Li, M., Zhang, G. Y., Zhang, H. R. & Yu, C. Q. (2020). Growing season precipitation rather than growing season length predominates maximum normalized difference vegetation index in Alpine Grasslands on the Tibetan Plateau. *Sustainability*, 12(3), 968.
- [57] Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N. & Wallis, T. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D22)..
- [58] Zhang, Q., Li, J., David Chen, Y. & Chen, X. (2011). Observed changes of temperature extremes during 1960–2005 in China: natural or human-induced variations?. *Theoretical and Applied Climatology*, 106(3), 417-431
- [59] Zhou, J., Huang, J., Zhao, X., Lei, L., Shi, W., Wang, L. & Yang, X. (2020). Changes of extreme temperature and its influencing factors in Shiyang River Basin, Northwest China. *Atmosphere*, 11(11), 1171.

## Öğretmenlerin İş Güvenliği Bilgi Düzeylerinin Değerlendirilmesi: İSTEK Okulları İstanbul Kampüslerinde Uygulama

*Evaluation of Teachers' Knowledge Level of Occupational Safety:  
Application in İSTEK Schools İstanbul Campuses*

Uğur KOYUNCU<sup>1</sup> , Ömer Faruk ÖZTÜRK<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Fakültesi, Çanakkale, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada, İstanbul merkez ve ilçelerinde hizmet veren İSTEK Okulları'nda görev yapan öğretmenlerin 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun zorunlu kıldığı sorumluluklara ilişkin bilgi düzeyleri, farklı demografik özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma verilerinin elde edilmesinde katılımcılara yüz yüze anket yöntemi tekniği uygulanmıştır. Veri girişi ve analizi için SPSS 24.0 istatistiksel paket programı kullanılmıştır. Yapılan çapraz tablo analizleri sonucunda öğretmenlerin büyük çoğunluğunun, İş Sağlığı ve Güvenliği kültürünün hayatın her aşamasında olması gerektiği, eğitimlerin tehlike ve risklerin azaltılmasında etkin rol oynadığı görüşüne katıldığı tespit edilmiştir. İş Sağlığı ve Güvenliği eğitimi almış öğretmenlerin iş kazası sonucunda yapılması gerekenler hakkında eğitim almayanlara göre daha fazla bilgiye sahip olduğu belirlenmiştir. Erkek öğretmenlerin İSG riskleri hakkında bilgi birikimlerinin, kadın öğretmenlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kurumlarında gerçekleştirilen İş Sağlığı ve Güvenliği eğitim faaliyetlerinin öğretmenlerin bilgi seviyesini arttırdığı da belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, okullarda İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili sergi, seminer ve eğitim programları gibi organizasyonların yapılmasının güvenlik kültürü bilincinin oluşturulmasına katkı sağlayacağı ön görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgi Düzeyi, Farkındalık, Güvenlik Kültürü, İSTEK Okulları, İş Sağlığı ve Güvenliği

\* Bu çalışma Prof. Dr. Ömer Faruk ÖZTÜRK danışmanlığında Uğur KOYUNCU tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

### Abstract

In this study, the knowledge levels of the teachers working at İSTEK Schools serving in the center and districts of İstanbul regarding the responsibilities required by the Occupational Health and Safety Law 6331 were evaluated by considering their different demographic characteristics. Face-to-face survey method technique was applied to the participants in obtaining the study data. SPSS 24.0 statistical package program was used for data entry and analysis. As a result of the cross-table analysis, it was determined that the majority of the teachers agreed with the opinion that Occupational Health and Safety culture should be at every stage of life and that trainings play an active role in reducing dangers and risks. It has been determined that teachers who have received Occupational Health and Safety training have more information about what to do as a result of an occupational accident than those who have not received training. It has been determined that male teachers' knowledge about OHS risks is higher than female teachers. In addition, it has been determined that the Occupational Health and Safety training activities carried out in educational institutions increase the knowledge level of teachers. According to the results of the research, it is foreseen that organizing organizations such as exhibitions, seminars and training programs related to Occupational Health and Safety in schools will contribute to the creation of safety culture awareness.

**Keywords:** Knowledge Level, Awareness, Safety Culture, İSTEK Schools, Occupational Health and Safety

\*This study has derived that the master thesis of Uğur KOYUNCU prepared under the supervision Prof. Dr. Ömer Faruk ÖZTÜRK.

### I. GİRİŞ

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG); çalışana, işyerine ve üretime gelebilecek zararları önlemeyi amaçlayan çok disiplinli bir kavramdır. İSG önceden sadece işyeri tehlikelerini kapsayan bir kavramla tanımlanırken, günümüzde işyeri dışından gelebilecek tehlikeleri de kapsayan geniş bir kavramla tanımlanmaktadır [1]. İSG çalışmaları ile güvenlik kültürünün toplum düzeyinde geliştirilmesi sonucunda, işyerlerinde meydana gelebilecek tehlikeler önlenebilir, kaza ve meslek hastalıkları azaltılabilir.

6331 sayılı İSG Kanunu, sanayiden sayılan işyerlerini kapsadığı gibi okulları da kapsamaktadır. Okullardaki İSG faaliyetleri hem okul içi hem de okulun çevresi ile bağlantılıdır. Bu nedenle, okullardaki İSG faaliyetleri yöneticileri, öğretmenleri, çalışanları, velileri ve öğrencileri kapsayacak şekilde planlanmalıdır. Planlamaların okulun iç yönergeleri ile oluşturulması, uygulanması ve takibinin yapılması gerekmektedir.

Taşdemir ve Gür, Iğdır ilinde görevli sınıf öğretmenlerinin İSG öz yeterlik algılarının ölçülmesi amacıyla 366 sınıf öğretmeni ile bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir. Araştırmada sınıf öğretmenlerinin hizmet süreleri, İSG bilgi düzeyleri, daha önce aldıkları İSG eğitimi sayısı ve çalışma durumları ile İSG öz yeterlilik algıları arasında anlamlı ilişki varlığını incelenmiştir. Çalışma sonunda, sınıf öğretmenlerinin İSG öz yeterlilik algı seviyesi ile çalışma durumu ve hizmeti süresi değişkenleri arasında istatistiksel düzeyde anlamlı bir farklılığın olduğunu, daha önce İSG eğitimi alma değişkeniyle anlamlı bir farklılığın olmadığını rapor etmişlerdir [2].

Ergül, Çanakkale ili merkez ve ilçelerinde ortaöğretim okullarında görev yapan öğretmenlerin İSG bilgi düzeylerinin ölçülmesi amacıyla 463 öğretmene 30 sorudan oluşan bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. Araştırmada öğretmenlerin demografik özellikleri ile İSG bilgi seviyesi arasında anlamlı bir ilişkinin varlığı irdelenmiştir. Çalışma sonucunda, öğretmenlerin İSG bilgi düzeyleri ile cinsiyet değişkeni arasında erkek öğretmenler lehine farklılık olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, İSG bilgi düzeyinin hizmet süresi ile pozitif yönde artış gösterdiğini de rapor etmiştir [3]. Babaoğlu, Mesleki ve Teknik Lise'lerde (MTL) görev yapan öğretmenlerin İSG algı düzeylerinin tespiti amacıyla Trabzon ilinde bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir. MTL'lerde görevli öğretmenlerin İSG algı düzeylerinin eğitim verdikleri öğrenciler üzerinde etkili olup-olmadığı araştırılmıştır. Araştırma çalışmasının örneğini, MTL'lerinde görevli 243 öğretmen oluşturmuştur. Çalışma sonucunda öğretmenlerin İSG algı seviyelerinin düşük olduğu, verilen temel eğitim ile İSG algı düzeyleri arasında pozitif yönde bir artış olduğu tespit edilmiştir [4].

Bazoğlu, Şanlıurfa ili ve ilçelerinde MEB'e bağlı kurumlarda görev yapan personellerin İSG'ye bakış açısının analizi ve değerlendirilmesi amacıyla 29 sorudan oluşan bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. Öğretmen, memur ve yöneticilerden oluşan toplam 377 personel ile gerçekleştirilen çalışmada, kurumlardaki İSG bilgi düzeyi ile çalışma süresi, eğitim durumu, görev ve kurum türü değişkenleri arasında anlamlı ilişkinin varlığı irdelenmiştir. Çalışma sonunda, personelin kurumlarında alınan İSG tedbirlerini ve sağlık-güvenlik işaretlemelerini yeterli görmediğini rapor edilmiştir. Aynı şekilde yönetim tarafından İSG tedbirleri için kendilerinden yeterli görüş ve öneri alınmadığı, kendilerine yeterli

bilgilendirmenin yapılmadığı düşüncesinde olduklarını rapor etmiştir [5].

Birken, İzmir il merkezinde görev yapan anaokulu öğretmenlerinin mesleklerine yönelik İSG algılarının irdelenmesi amacıyla bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir. 63 anaokulu öğretmeni ile gerçekleştirilen çalışmada kimyasal, fiziksel, psikolojik, ergonomik ve demografik risklerin saptanması ve öğretmenlerin bu riskler ile bağlantılı algıların tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda öğretmenlerin en fazla yaşadığı sağlık sorunlarının baş ve bel ağrısı, gerginlik ile ses kısıklığı olduğu rapor edilmiştir. Araştırmaya katılan öğretmenlerin sağlık sorunları ile görev yaptıkları meslekleri arasında ilişki olduğu belirtilmiştir. Tespit edilen sağlık sorunlarının meslek hastalığı kapsamında değerlendirilerek birtakım önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır [6].

Kilitçi, Kütahya il ve ilçelerindeki MTL'lerinde görevli yöneticilerin İSG uygulamalarına ilişkin görüşlerini belirlemek amacıyla bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir. Okul müdürü ve müdür yardımcılardan oluşan toplam 168 yönetici ile gerçekleştirilen çalışmada, 36 maddeden oluşan bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda İSG eğitimlerinin "kısmen" yeterli olduğu, okullarda oluşturulmuş olan İSG kurullarının fonksiyonel olmadığı ve Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) bünyesindeki İSG uzmanlarının yeterli seviyede olmadığı rapor edilmiştir [7].

Yivli, anaokulu öğretmenlerinin İSG farkındalıklarının tespiti ve farkındalık oluşturma uygulamaları için bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. Araştırma örneğini İstanbul ilinin Fatih ve Zeytinburnu ilçelerinde yer alan 26 farklı anaokulda görev yapan 120 tane öğretmen oluşturmuştur. Çalışma sonucunda anaokulu öğretmenlerinin büyük çoğunluğunun risk değerlendirmesi tanımını bilmedikleri rapor edilmiştir. Ayrıca, devlet okullarında risk değerlendirmeleri yapılmazken özel okullarda risk değerlendirmelerinin yapıldığı belirtilmiştir. Araştırma çalışmasında, İSG farkındalık oluşturma uygulamaları kapsamında anaokullarında genel bir risk değerlendirmesi yapılarak alınması gereken düzeltici ve önleyici tedbirlerin belirlenmesinin gerekliliği de rapor edilmiştir [8].

Gümüş, İstanbul ili Büyükçekmece, Beylikdüzü ve Esenyurt ilçelerinde 8 okulda görevli 150 öğretmenin İSG alanındaki bilgi düzeylerinin belirlenmesi amacıyla 26 sorudan oluşan bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, okul yöneticilerinin İSG konularında öğretmenlerin fikirlerini almadığı, öğretmenlerin İSG konusunda bilgilendirilmediği belirtilmiştir [9].

Kara, İstanbul ili Kartal ilçesinde 3 adet MTL'sinde eğitim veren 106 teknik öğretmen ile İSG farkındalık

düzeylerinin ölçülmesi amacıyla bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda öğretmenlerin %70'inden fazlasına derslerin başlangıcında ilk olarak İSG'den bahsettiğini, ancak araştırmaya katılan öğretmenlerin büyük çoğunluğunun risk değerlendirmesi konusunda yeterli bilgiye sahip olmadığını rapor etmiştir [10].

## II. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Araştırmanın Amacı

Çalışmanın amacı, İstanbul merkez ve ilçelerinde eğitim-öğretim hizmeti sağlayan İSTEK Okulları'nda (İSTEK Atanur Oğuz Okulları, İSTEK Acıbadem Okulları, İSTEK Belde Okulları, İSTEK Bilge Kağan Okulları, İSTEK Kaşgarlı Mahmut Okulları, İSTEK Kemal Atatürk Okulları, İSTEK Semiha Şakir Okulları ve İSTEK Uluğbey Okulları) görev yapan öğretmenlerin yürürlükte olan İSG kanunu ve bağlı yönetmeliklerinin getirdiği düzenlemeler ve yükümlülüklerle ilişkin İSG bilgi düzeylerinin ölçülmesidir. Ayrıca tespit edilen bilgi düzeylerinin demografik özelliklerine göre varsa farklılıklarının istatistiksel olarak araştırılmasıdır.

### 2.2. Evren ve Örneklem Seçimi

Araştırmanın evrenini, İstanbul merkez ve ilçelerinde hizmet veren İSTEK Okulları'nda görevli öğretmenler (N=590) oluşturmaktadır. Araştırmaya katılan 353 Öğretmen (Kadın=267, Erkek=66, Cinsiyetini Belirtmeyen=20 kişi) ise örnekleme oluşturmaktadır. Krejcie ve Morgan'ın rapor ettiği evren-örneklem tablosuna göre 353 kişilik örneklem 4500 kişilik evreni yansıtmaktadır [11]. Olasılıklı örnekleme yöntemlerinden basit tesadüfi örnekleme yöntemi, katılımcıların seçimine etki etmemek ve rastgele seçim yapmak için kullanılmıştır [12]. Araştırmanın hedef yanıtlayıcı kitlesinin İSG bilgi seviyesi ile demografik özellikleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

### 2.3. Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada, İSG mevzuatı ve bağlı yönetmelikleri araştırılmış ve literatür taraması yapılarak anket soruları hazırlanmıştır. Araştırmada nicel araştırma tekniklerinden anket tekniği kullanılmıştır. Anket çalışması katılımcılar ile yüz yüze görüşme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Anket sonuçlarından elde edilen verilerin analizinde, SPSS 24.0 (Sosyal Bilimler için İstatistik Programı) programından faydalanılmıştır.

Araştırma için oluşturulan anket 5 ana kısımdan oluşmaktadır. Anketin birinci bölümünde katılımcıların karakteristik özelliklerini tanımlayıcı türde 4 adet soru yer almaktadır. Anketin ikinci bölümünde katılımcıların İSG bilgi düzeylerini ölçmeye yönelik 4'lü likert ölçekte 8 adet soru bulunmaktadır. Anketin üçüncü bölümünde katılımcıların İSG eğitimi alma durumu sorgulanmıştır. Anketin dördüncü bölümünde

katılımcıların görevli olduğu okullarındaki İSG düzeyi hakkında 3'lü likert ölçekte 6 adet soru bulunmaktadır. Anketin son bölümünde ise araştırma hedef yanıtlayıcı kitlesinin İSG düzenlemelerine ilgi derecesini test etme amacıyla 5'li likert ölçekte 8 adet soru yer almaktadır.

### 2.4. Verilerin İşlenmesi ve Analizi

Anket verilerinin geçerlilik ve güvenilirlik analizleri SPSS 24.0 yazılımı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Anket ölçeği ortalamasının Cronbach Alpha güvenilirlik katsayısı ( $\alpha$ ), 0.665 olarak bulunmuştur ki bu değer güvenilir olarak değerlendirilmektedir. Yapısal geçerliliğin kontrolü için doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Yapılan Bartlett's testi sonucunda, değişkenler arasında ilişki olduğu kabul edilmiştir ( $p= 0.000 < 0.05$ ). Örneklem sayısının yeterliliği için Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm verileri, (KMO=0.858) 0.60'tan büyüktür ve örneklem faktör analizi için yeter büyüklüktedir [13]. Yapılan faktör analizi sonucunda, 3 faktörlü ölçek toplam varyansın %53.00'ünü açıklamaktadır.

Verilerin normallik dağılımı ve varyansların homojenliği kontrol edilmiş ve veriler normal dağılım gösterdiği için parametrik test grubundaki analizler uygulanmıştır. Parametrik testlerden iki düzeyli değişkenli ifadeler için Bağımsız Örneklem t-Testi, ikiden fazla değişkenli ifadeler için Tek Yönlü varyans analizi (ANOVA) tercih edilmiştir [14]. ANOVA testi sonrası değişkenler arasındaki anlamlı farklılığın şiddetini belirlemek için çoklu karşılaştırma testleri (Post Hoc) uygulanmıştır [15].

Gerçekleştirilen analizler sonucunda etki büyüklüğünün belirlenmesi için bağımsız değişken t-Testi analizinde Cohen d (d), ANOVA analizlerinde ise eta-kare ( $\eta^2$ ) etki büyüklüğü katsayıları oluşturulmuştur. Cohen d etki büyüklüğünün yorumlanmasında, d değeri 0.2'den küçük ise çok küçük, 0.2 ile 0.5 arasındaysa küçük, 0.5 ile 0.8 arasındaysa orta, 0.8 ile 1 arasındaysa büyük, 1'den büyükse çok büyük etki olarak kabul edilmiştir [16]. Eta-kare etki büyüklüğünde ise;  $\eta^2$  değeri 0.01'den küçük ise çok küçük, 0.01 ile 0.06 arasındaysa küçük, 0.06 ile 0.14 arasındaysa orta ve 0.14'den büyük ise büyük etki olarak kabul edilmiştir [17]. Bulguların değerlendirilmesinde %95 güven aralığı ve %5 anlamlılık düzeyi tercih edilmiştir [18].

### 2.5. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları

Bu çalışmada uygulanan İSG farkındalık anketi 2021-2022 Eğitim-Öğretim Yılı'nda İstanbul merkez ve ilçelerinde hizmet veren İSTEK Okulları'nda görevli öğretmenlere uygulanmıştır. Bu nedenle araştırma verileri bu evren-örneklem özellikleri ve görüşleri ile sınırlı olup genellemeler yapılırken bu sınırlama dikkate alınmalıdır.

### III. BULGULAR

İSG anketine, 2021-2022 Eğitim Öğretim Yılı'nda İstanbul merkez ve ilçelerinde hizmet veren İSTEK Okulları'nda görev yapan 353 öğretmen katılmıştır. Anket verilerinin tamamı geçerli kabul edilmiştir. Katılımcıları tanımlayıcı özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1'e göre, gerçekleştirilen anketin tümü geçerli kabul edilmiştir. Okul değişkeni incelendiğinde en yüksek katılımın %14.7 ile Atanur Oğuz Okullarında olduğu görülmüştür. Onu sırasıyla %14.4 ile Bilge Kağan Okulları, %14.4 ile Uluğbey Okulları, %14.4 ile Acıbadem Okulları, %14.2 ile Belde Okulları, %11.6 ile Kemal Atatürk Okulları, %8.2 ile Semiha Şakir Okulları ve %7.9 ile Kaşgarlı Mahmut Okulları izlemektedir. Katılımcıların %36.5'i 22-32 yaş aralığında, %47.3'ü 33-43 yaş aralığında, %2.3'ü ise 55-65 yaş aralığındadır. Katılımcıların %75.6'sı kadın, %18.7'si erkektir. Kadın katılımcıların %18.7'si evliyen erkek katılımcıların %39.4'i evlidir.

Ölçek faktörlerine ait güvenilirlik, açıklanan varyans ve istatistiksel değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde, FI olarak kodlanan İSG bilgi düzeyi faktörünün güvenilirlik katsayısı 0.875, FII olarak kodlanan İSG farkındalık düzeyi faktörünün güvenilirlik katsayısı 0.714 ve FIII olarak kodlanan İSG bilgilerine katılım faktörünün güvenilirlik katsayısı 0.895 olduğu belirlenmiştir. Buna göre tüm faktörlerin oldukça güvenilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Öğretmenlerin İSG eğitimine katılma (S1) sorusuna verilen cevapların değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'e göre, "İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi aldınız mı?" sorusuna katılımcıların %98.0'i İSG eğitimi aldığı, %1.1'i ise İSG eğitimi almadığı tespit edilmiştir.

Cinsiyet değişkeni ile herhangi bir kaza sonucu takip edilmesi gerekenler bilgisini ölçen (FI-7-S2), İşyerinizdeki İSG riskleri bilgisini ölçen (FI-8-S3) ve Eğitimci olarak İSG kurallarına gereken hassasiyetleri gösteriyorum. (FIII-3-S4) ifadeleri arasındaki Bağımsız t-Testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4'e göre "İş kazası sonucu yapılması gerekenler konusundaki bilgi düzeyiniz nedir?" (S2) ifadesi cinsiyet değişkeni açısından incelendiğinde, kadın personellerin ortalaması  $\bar{X}_{kadın}=3.12\pm 0.04$  ve erkek personellerin ortalaması  $\bar{X}_{erkek}=3.38\pm 0.08$ 'dir. Gerçekleştirilen analize göre kadın ve erkek katılımcıların test ortalamaları arasında istatistiksel düzeyde anlamlı bir farklılık yoktur ( $t= -1.814, p>0.05$ ).

"İşyerinde İSG konusundaki riskler hakkında bilgi düzeyiniz nedir?" (S3) ifadesi cinsiyet değişkeni

açısından incelendiğinde, kadın personellerin ortalaması  $\bar{X}_{kadın}=3.20\pm 0.04$  ve erkek personellerin ortalaması  $\bar{X}_{erkek}=3.38\pm 0.07$ 'dir. Gerçekleştirilen analize göre kadın ve erkek katılımcıların test ortalamaları arasında erkek katılımcılar lehine istatistiksel düzeyde anlamlı bir farklılık vardır ( $t=2.023, p<0.05$ ). Hesaplama sonucunda elde edilen etki büyüklüğü  $d=0.29$  olup, farklılık için çok küçük etkili olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre, erkek öğretmenlerin kadın öğretmenlere göre okullarındaki iş güvenliği ile ilgili riskler hakkında daha bilgili oldukları belirlenmiştir.

"Eğitmen olarak İSG kurallarını gözetiyorum ve konu hakkında hassasım" (S4) ifadesi cinsiyet değişkeni açısından incelendiğinde, kadın personellerin ortalaması  $\bar{X}_{kadın}=1.43\pm 0.42$  ve erkek personellerin ortalaması  $\bar{X}_{erkek}=1.51\pm 0.06$ 'dir. Gerçekleştirilen analize göre kadın ve erkek katılımcıların test ortalamaları arasında istatistiksel düzeyde anlamlı bir farklılık yoktur ( $t= -0.900, p>0.05$ ).

Yaş değişkeni ile herhangi bir kaza sonucu takip edilmesi gerekenler bilgisini ölçen (S2) ifadesi arasındaki ANOVA analizi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'e göre, "Herhangi bir kaza sonucu takip edilmesi gerekenler bilgisini ölçen" (S2) ifadesi ile yaş değişkeni arasında istatistiksel düzeyde anlamlı bir farklılık yoktur  $F_{(3,342)}=1.404, p> 0.05$ ].

Yaş değişkeni ile işyerinde İSG konusundaki riskler hakkında bilgi düzeyiniz nedir? (S3) ifadesi arasındaki ANOVA analizi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'ya göre, "İşyerinizde İSG konusundaki riskler hakkında bilgi düzeyiniz nedir?" (S3) ifadesi için minimum iki yaş değişkeni arasında istatistiksel düzeyde anlamlılık vardır [ $F_{(3,341)}=3.110, p=0.027$ ]. Anlamlı farkın 22-32 yaş ile 33-43 yaş arasında 33-43 yaş lehine, 22-32 yaş ile 44-54 yaş arasında 44-54 yaş lehine olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan etki büyüklüğü Eta-kare ( $\eta^2=0.02$ ) sonucuna göre de bu farklılığın okullardaki riskler hakkında bilgi sahibi olma durumuna az (küçük) düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir.

Yaş değişkeni ile eğitimci olarak İSG kurallarına gereken hassasiyetleri gösteriyorum (S4) arasındaki ANOVA analizi sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'ye göre, "Eğitimci olarak İSG kurallarına gereken hassasiyetleri gösteriyorum" (S4) ifadesi ile yaş değişkeni arasında istatistiksel düzeyde anlamlı bir farklılık yoktur [ $F_{(3,342)}=0.766, p> 0.05$ ].

İSG çalışma yaşamını direkt etkiler (S5) ifadesi ile İSG yalnızca eğitim kurumlarında değil hayatın her kademesinde gereklidir (S6) ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi Tablo 8'de sunulmuştur.



**Tablo 1.** Katılımcıların karakteristik özelliklerinin Frekans (f) ve Yüzdeleri (%)

| Değişken     | Gruplar         | f   | %     |
|--------------|-----------------|-----|-------|
| Anket Sayısı | Geçerli         | 353 | 100.0 |
|              | Geçersiz        | 0   | 0.0   |
|              | Toplam          | 353 | 100.0 |
| Okul         | Acıbadem        | 51  | 14.4  |
|              | Atanur Oğuz     | 52  | 14.7  |
|              | Belde           | 50  | 14.2  |
|              | Bilge Kağan     | 51  | 14.4  |
|              | Kaşgarlı Mahmut | 28  | 7.9   |
|              | Kemal Atatürk   | 41  | 11.6  |
|              | Semiha Şakir    | 29  | 8.2   |
|              | Uluğbey         | 51  | 14.4  |
|              | Belirtilmemiş   | 0   | 0.0   |
|              | Toplam          | 353 | 100.0 |
| Yaş          | 22-32 Arası     | 129 | 36.5  |
|              | 33-43 Arası     | 167 | 47.3  |
|              | 44-54 Arası     | 45  | 12.7  |
|              | 55-65 Arası     | 8   | 2.3   |
|              | Belirtilmemiş   | 4   | 1.1   |
|              | Toplam          | 353 | 100.0 |
| Cinsiyet     | Kadın           | 267 | 75.6  |
|              | Erkek           | 66  | 18.7  |
|              | Belirtilmemiş   | 20  | 5.7   |
|              | Toplam          | 353 | 100.0 |
| Medeni Durum | Evli            | 205 | 58.1  |
|              | Bekâr           | 124 | 35.1  |
|              | Belirtilmemiş   | 24  | 6.8   |
|              | Toplam          | 353 | 100.0 |

**Tablo 2.** Anket ölçeği faktörlerinin istatistikleri

| Faktör                       | İfadeler | $\alpha$ | Varyans | Ortalama | Standard Sapma |
|------------------------------|----------|----------|---------|----------|----------------|
| FI-İSG Bilgi Düzeyi          | 8        | 0.875    | 29.251  | 3.33     | 0.46           |
| FII-İSG Farkındalık Düzeyi   | 6        | 0.714    | 8.439   | 1.27     | 0.41           |
| FIII-İSG Bilgilerine Katılım | 8        | 0.895    | 15.319  | 1.60     | 0.57           |

$\alpha$  =Cronbach Alpha Güvenirlilik Katsayısı

**Tablo 3.** Katılımcıların S1 sorusuna verdikleri cevapların frekans ve yüzdeleri

| Soru | Katılımcılara yöneltilen soru                | Evet | Hayır | Belirtilmemiş | Toplam |     |
|------|--|------|-------|---------------|--------|-----|
| S1   | İş sağlığı ve güvenliği eğitimi aldınız mı ? | f    | 346   | 4             | 3      | 353 |
|      |  | %    | 98    | 1.1           | 0.9    | 100 |

f=Frekans

**Tablo 4.** Cinsiyet değişkeni ile S2, S3 ve S4 ifadeleri arasındaki Bağımsız t-Testi sonuçları

| Değişken | Gruplar | N   | $\bar{X}$ | Sd   | S.E. mean | t      | p      | d    |
|----------|---------|-----|-----------|------|-----------|--------|--------|------|
| S2       | Kadın   | 265 | 3.12      | 0.72 | 0.04      | -1.814 | 0.071  | -    |
|          | Erkek   | 65  | 3.30      | 0.68 | 0.08      |        |        |      |
| S3       | Kadın   | 264 | 3.20      | 0.65 | 0.04      | 2.023  | 0.043* | 0.29 |
|          | Erkek   | 65  | 3.38      | 0.57 | 0.07      |        |        |      |
| S4       | Kadın   | 266 | 1.43      | 0.69 | 0.42      | -0.900 | 0.369  | -    |
|          | Erkek   | 66  | 1.51      | 0.53 | 0.06      |        |        |      |

N=Veri sayısı,  $\bar{X}$ =Ortalama, Sd=Standart Sapma, S.E.mean=Ortalamaların Standart Hataları, t=t-Testi, p=Anlamlılık Değeri (p<0.05\*), d=Cohen d Etki Büyüklüğü

**Tablo 5.** Yaş değişkeni ile herhangi bir kaza sonucu takip edilmesi gerekenler bilgisini ölçen (S2) ifadesi arasındaki ANOVA analizi sonuçları

| Yaş   | N   | $\bar{X}$ | Sd   | S.E. mean | V. K.         | K. T.   | K. O. | F     | p     | $\eta^2$ | Fark |
|-------|-----|-----------|------|-----------|---------------|---------|-------|-------|-------|----------|------|
| 22-32 | 127 | 3.13      | 0.69 | 0.06      | Gruplar arası | 2.095   | 0.698 | 1.404 | 0.242 | -        | -    |
| 33-43 | 166 | 3.13      | 0.72 | 0.05      |               |         |       |       |       |          |      |
| 44-54 | 45  | 3.31      | 0.66 | 0.09      | Grup içi      | 170.182 | 0.498 |       |       |          |      |
| 55-65 | 8   | 3.50      | 0.75 | 0.26      |               |         |       |       |       |          |      |

V.K.= Varyansın Kaynağı, K.T.= Kareler Toplamı, K.O.= Kareler Ortalaması, F=f-Testi,  $\eta^2$ = Eta-kare Etki Büyüklüğü, 22-32 arası (1), 33-43 arası (2), 44-54 arası (3), 55-65 arası (4)

**Tablo 6.** Yaş değişkeni ile işyerinde İSG konusundaki riskler hakkında bilgi düzeyiniz nedir? (S3) ifadesi arasındaki ANOVA analizi sonuçları

| Yaş   | N   | $\bar{X}$ | Sd   | S.E. mean | V. K.         | K. T.   | K.O. | F     | p      | $\eta^2$ | Fark       |
|-------|-----|-----------|------|-----------|---------------|---------|------|-------|--------|----------|------------|
| 22-32 | 126 | 3.11      | 0.64 | 0.05      | Gruplar arası | 3.795   | 1.26 | 3.110 | 0.027* | 0.02     | 2>1<br>3>1 |
| 33-43 | 166 | 3.28      | 0.64 | 0.05      |               |         |      |       |        |          |            |
| 44-54 | 45  | 3.37      | 0.57 | 0.08      | Grup içi      | 138.715 | 0.40 |       |        |          |            |
| 55-65 | 8   | 3.50      | 0.53 | 0.18      |               |         |      |       |        |          |            |

**Tablo 7.** Yaş değişkeni ile eğitimci olarak İSG kurallarına gereken hassasiyetleri gösteriyorum (S4) ifadesi arasındaki ANOVA analizi sonuçları

| Yaş   | N   | $\bar{X}$ | Sd   | S.E. mean | V. K.         | K. T.   | K. O. | F     | p     | $\eta^2$ | Fark |
|-------|-----|-----------|------|-----------|---------------|---------|-------|-------|-------|----------|------|
| 22-32 | 128 | 1.51      | 0.73 | 0.06      | Gruplar arası | 1.104   | 0.368 | 0.766 | 0.514 | -        | -    |
| 33-43 | 167 | 1.40      | 0.59 | 0.04      |               |         |       |       |       |          |      |
| 44-54 | 45  | 1.51      | 0.75 | 0.11      | Grup içi      | 165.333 | 0.481 |       |       |          |      |
| 55-65 | 8   | 1.5       | 1.41 | 0.50      |               |         |       |       |       |          |      |

**Tablo 8.** S5 ifadesi ile S6 ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi sonuçları

| S5                      | S6                  |             |            |              |                         |               |
|-------------------------|---------------------|-------------|------------|--------------|-------------------------|---------------|
|                         | Tamamen Katılıyorum | Katılıyorum | Kararsızım | Katılmıyorum | Kesinlikle Katılmıyorum | Toplam        |
| Tamamen Katılıyorum     | 191<br>%96,0        | 5<br>%2,5   | 3<br>%1,5  | 0<br>%0,0    | 0<br>%0,0               | 199<br>%100,0 |
| Katılıyorum             | 45<br>%34,1         | 83<br>%62,9 | 3<br>%2,3  | 1<br>%0,8    | 0<br>%0,0               | 132<br>%100,0 |
| Kararsızım              | 5<br>%45,5          | 1<br>%9,1   | 4<br>%36,4 | 1<br>%9,1    | 0<br>%0,0               | 11<br>%100,0  |
| Katılmıyorum            | 2<br>%40,0          | 1<br>%20,0  | 1<br>%20,0 | 0<br>%0,0    | 1<br>%20,0              | 5<br>%100,0   |
| Kesinlikle Katılmıyorum | 0<br>%0,0           | 0<br>%0,0   | 0<br>%0,0  | 0<br>%0,0    | 4<br>%100,0             | 4<br>%100,0   |
| Toplam                  | 243<br>%69,2        | 90<br>%25,6 | 11<br>%3,1 | 2<br>%0,6    | 5<br>%1,4               | 351<br>%100,0 |

Tablo 8'e göre, S5 ve S6 ifadeleri arasında istatistiksel düzeyde anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $\chi^2=514.096$ ,  $sd=16$ ,  $p<0.05$ ). Analiz sonuçlarına göre, İSG'nin çalışma hayatını direkt etkilediğini düşünenlerin çoğu İSG'nin hayatın her alanında olması gerektiğini düşünerek ifadelerine tamamen katılıyorum olarak cevaplamışlardır. İSG kültürünün güvenli hayat kapsamında değerlendirilmesi öğretmenler arasında da yaygındır.

İş kazası olması durumunda yapılması gerekenler bilgi seviyesi (S2) ifadesi ile İSG eğitimi alma durumu (S1) ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9'a göre, S2 ve S1 ifadeleri arasında istatistiksel düzeyde anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $\chi^2=8.011$ ,  $sd=3$ ,  $p<0.05$ ). Analiz sonuçlarına göre, İSG eğitimi alanların iş kazası sonucu yapılması gerekenler ile ilgili bilgi düzeyinin çok seçeneğinde yoğunlaştığı bulgusuna ulaşılmıştır. Buradan katılımcıların daha önce almış oldukları İSG eğitiminin İSG bilgi düzeyini etkilediği söylenebilir.

Personellerin işbaşı yapmadan önce İSG eğitimi alması gereklidir (S7) ifadesi ile İSG eğitimleri eğitim

kurumlarındaki tehlike ve riskleri azaltır (S8) ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10'a göre, S7 ve S8 ifadeleri arasında istatistiksel düzeyde anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $\chi^2=183.467$ ,  $sd=16$ ,  $p<0.05$ ). Analiz sonuçlarına göre, iş başı yapılmadan önce alınması gereken İSG eğitimlerinin okullardaki riskleri azaltabileceğini düşünenler ifadelerine tamamen katılıyorum olarak cevaplamıştır. İSG eğitimlerinin riskleri azaltabileceği görüşü geçerliliğini korumaktadır.

İşyerinizdeki İSG riskleri bilgi seviyesi (S3) ifadesi ile Okulda İSG iyileştirmeleri rutin olarak yapılır (S9) ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11'e göre, S3 ve S9 ifadeleri arasında istatistiksel düzeyde anlamlı farklılık olduğu belirlenmiştir ( $\chi^2=83.307$ ,  $sd=12$ ,  $p<0.05$ ). Analiz sonuçlarına göre, okullardaki riskleri çok düzeyde bilenlerin İSG konusundaki iyileştirmelere tamamen katıldığı seçeneğinde yoğunlaştığı bulgusuna ulaşılmıştır. Buradan okullarda İSG ile ilgili yapılan sürekli iyileştirmeler katılımcıların riskler hakkında bilgi edinmesine etkili olduğu söylenebilir.

**Tablo 9.** S2 ifadesi ile S1 ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi sonuçları

| S2     | S1 |   | Evet  | Hayır | Toplam |
|--------|----|---|-------|-------|--------|
|        | f  | % |       |       |        |
| Hiç    | f  |   | 5     | 0     | 5      |
|        | %  |   | 100.0 | 0.0   | 100.0  |
| Az     | f  |   | 43    | 2     | 45     |
|        | %  |   | 95.6  | 4.4   | 100.0  |
| Orta   | f  |   | 183   | 1     | 184    |
|        | %  |   | 99.5  | 0.5   | 100.0  |
| Çok    | f  |   | 114   | 0     | 114    |
|        | %  |   | 100.0 | 0.0   | 100.0  |
| Toplam | f  |   | 345   | 3     | 348    |
|        | %  |   | 99.1  | 0.9   | 100.0  |

**Tablo 10.** S7 ifadesi ile S8 ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi sonuçları

| S7                      |   | S8                  |             |            |              |                         | Toplam |
|-------------------------|---|---------------------|-------------|------------|--------------|-------------------------|--------|
|                         |   | Tamamen Katılıyorum | Katılıyorum | Kararsızım | Katılmıyorum | Kesinlikle Katılmıyorum |        |
| Tamamen Katılıyorum     | f | 162                 | 75          | 21         | 1            | 0                       | 259    |
|                         | % | 62.5                | 29.0        | 8.1        | 0.4          | 0.0                     | 100.0  |
| Katılıyorum             | f | 10                  | 49          | 12         | 1            | 1                       | 73     |
|                         | % | 13.7                | 67.1        | 16.4       | 1.4          | 1.4                     | 100.0  |
| Kararsızım              | f | 0                   | 1           | 4          | 1            | 0                       | 6      |
|                         | % | 0.0                 | 16.7        | 66.7       | 16.7         | 0.0                     | 100.0  |
| Katılmıyorum            | f | 0                   | 1           | 0          | 0            | 0                       | 1      |
|                         | % | 0.0                 | 100.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0                     | 100.0  |
| Kesinlikle Katılmıyorum | f | 0                   | 1           | 2          | 1            | 2                       | 6      |
|                         | % | 0.0                 | 16.7        | 33.3       | 16.7         | 33.3                    | 100.0  |
| Toplam                  | f | 172                 | 127         | 39         | 4            | 3                       | 345    |
|                         | % | 49.9                | 36.8        | 11.3       | 1.2          | 0.9                     | 100.0  |

**Tablo 11.** S3 ifadesi ile S9 ifadesi arasındaki çapraz tablo analizi sonuçları

| S3     | S9 |                      |              |            |              |                         |        |
|--------|----|----------------------|--------------|------------|--------------|-------------------------|--------|
|        |    | Tamamen Katılmıyorum | Katılmıyorum | Kararsızım | Katılmıyorum | Kesinlikle Katılmıyorum | Toplam |
| Hiç    | f  | 0                    | 0            | 3          | 0            | 0                       | 3      |
|        | %  | 0.0                  | 0.0          | 100.0      | 0.0          | 0.0                     | 100.0  |
| Az     | f  | 8                    | 12           | 11         | 1            | 0                       | 32     |
|        | %  | 25.0                 | 37.5         | 34.4       | 3.1          | 0.0                     | 100.0  |
| Orta   | f  | 54                   | 102          | 32         | 4            | 2                       | 194    |
|        | %  | 27.8                 | 52.6         | 16.5       | 2.1          | 1.0                     | 100.0  |
| Çok    | f  | 81                   | 33           | 4          | 0            | 2                       | 120    |
|        | %  | 67.5                 | 27.5         | 3.3        | 0.0          | 1.7                     | 100.0  |
| Toplam | f  | 143                  | 147          | 50         | 5            | 4                       | 349    |
|        | %  | 41.0                 | 42.1         | 14.3       | 1.4          | 1.1                     | 100.0  |

#### IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, İstanbul ili merkez ve ilçelerinde hizmet veren İSTEK Okulları'nda görev yapan öğretmenlerin yürürlükte olan İSG mevzuatı ile ilgili bilgi düzeyleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda öğretmenlerin iş kazası sonucunda yapılması gerekenler hakkındaki bilgi düzeyleri katılımcıların yarısından fazlasının orta seviyede olduğu belirlenmiştir. İş kazası sonucunda yapılması gerekenler konusunda öğretmenlerin cinsiyet ve yaş değişkenleri arasında anlamlı farklılık olmadığı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çapraz tablo analizi sonuçlarına göre, daha önce İSG eğitimi almış öğretmenlerin aynı zamanda iş kazası sonucunda yapılması gerekenler hakkındaki bilgi düzeylerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Buradan sonuçla İSG eğitimlerinin iş kazası sonrası yapılması gerekenler hakkındaki bilgi düzeyini pozitif yönde etkilediği söylenebilir. Iğdır ilinde sınıf öğretmenlerinin öz yeterlilik algılarını ölçen bir çalışmada, İSG eğitimi alan öğretmenlerin öz yeterlilik algılarının İSG eğitimi almamış öğretmenlere göre daha yüksek bulunduğu rapor edilmiştir [2]. Trabzon ilinde MTL'de görev alan öğretmenlerin İSG algı seviyelerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, öğretmenlere verilen temel İSG eğitimlerinin İSG algı düzeylerinin artırmada pozitif etkisi olduğu rapor edilmiştir [4]. Kütahya ilinde MTL'de görevli yöneticilerin İSG görüşlerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, İSG eğitimlerinin kısmen yeterli olduğu rapor edilmiştir [7]. Öğretmenlere yetkili kurumlar aracılığıyla kaza ve sonrasındaki süreçler hakkında eğitimlerin düzenlenmesi, kazazedelerin hayatlarının kurtarılmasında oldukça önemlidir.

Katılımcıların okullardaki İSG riskleri hakkında bilgi birikimleri ile cinsiyet ve yaş değişkenleri arasında istatistiksel düzeyde anlamlı farklılıklar bulunduğu belirlenmiştir. Cinsiyet değişkeninde erkek öğretmenlerin İSG riskleri bilgi birikimlerinin kadın öğretmenlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Aynı şekilde, Çanakkale ilinde ortaöğretim kurumlarında görevli öğretmenlerin İSG bilgi düzeylerinin araştırıldığı bir çalışmada, erkek öğretmenlerin bayan öğretmenlere göre İSG konusundaki bilgi seviyelerinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir [3]. Yaş değişkeninde ise yaş seviyesi arttıkça İSG riskleri hakkında bilginin arttığı yönünde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre öğretmenlerde yaşın ilerlemesiyle birlikte meslek hastalıkları, mesleki riskler ve okullardaki İSG riskleri hakkında bilgi düzeylerinin de arttığı söylenebilir.

Elde edilen bulgulara göre, katılımcıların yaklaşık %95'inin görev aldıkları okullarda İSG kurallarına riayet ettikleri yönündedir. İnşaat sektöründe görevli personellerin İSG kurallarına gösterilen hassasiyet üzerine yapılan bir çalışmada, personellerin yarısından fazlasının kurallara uyma eğiliminde olduğu rapor edilmiştir [19]. Eğitmeni olarak İSG kurallarına riayet düzeyinin öğretmenlerin cinsiyet ve yaş değişkenlerine göre anlamlı farklılıklar olmadığı belirlenmiştir. Bu verileri sonucunda araştırma hedef yanıtlayıcı kitlesinin İSG kurallarına karşı hassasiyet gösterdiği ve uyum sağladığı söylenebilir.

İSG'nin çalışma yaşamını direkt etkilemesi ifadesi ile İSG'nin hayatın her aşamasında olması gerektiği ifadesi arasında gerçekleştirilen çapraz tablo analizine göre, öğretmenlerin %96'sı her iki ifadeye de tamamen katılmaktadır. Araştırma örnekleminde yer alan öğretmenlerin İSG kültürünün sadece eğitim kurumları içerisinde değil hayatın her aşamasında olması gerektiği bilincine ulaştıkları söylenebilir.

İşbaşı yapılmadan önce alınması gereken İSG eğitimi ifadesi ile İSG eğitimlerinin tehlike ve riskleri azaltması ifadesi arasında gerçekleştirilen çapraz tablo analizine göre, öğretmenlerin %60'ından fazlasının her iki görüşe de tamamen katıldığı belirlenmiştir. Tehlike ve risklerin azaltılması konusundaki İSG

eğitiminin önemli bir yer tuttuğu görüşünün öğretmenler arasında yaygın olduğu belirlenmiştir.

Eğitim kurumlarında rutin olarak İSG konusunda iyileştirmeler yapılması ifadesi ile İSG risk bilgi seviyesi arasındaki çapraz tablo analizi sonuçlarına göre, öğretmenlerin %70'ine yakınının tamamen katıldığı belirlenmiştir. Eğitim kurumlarında İSG ile ilgili yapılan sürekli iyileştirmelerin katılımcıların İSG riskleri hakkında bilgi edinmesine etkili olduğu söylenebilir.

İş kazalarının önüne geçilmesindeki en önemli etken, kazaların önlenilebilir olduğu bilincine varılmasıdır. Bu sebeple ilköğretim düzeyinden itibaren İSG alanında eğitim, sunumların verilmesi gereklidir. İSG kuralları, güvenlik kültürü, iş kazaları ve meslek hastalıklarından korunma ilkeleri, okullarda ve eğitim kurumlarındaki tehlikeler, riskler ve korunma yöntemleri düzenli aralıklar ile öğrencilere, öğretmenlere ve idari personellere verilerek güvenlik bilinci artırılmalıdır.

Ayrıca okullarda ve eğitim kurumlarındaki personellerin görüş ve önerileri idari yöneticiler tarafından dikkate alınmalıdır. Personellerin görüş ve önerilerini psikolojik baskı altında kalmadan ve düzenli olarak aktarabileceği sistemlerin kurulması gereklidir.

Okullarda ve eğitim kurumlarında İSG ile ilgili seminer, söyleşi, sunum, sergi, poster ve eğitim programları gibi etkinliklerin belirli aralıklarla yapılması, güvenlik kültürü bilincinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca okullarda İSG köşelerinin oluşturulması yılın her günü İSG farkındalığı için önem arz etmektedir.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar bu çalışma ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışmalarının olmadığını beyan ederler.

### Yazar Katkıları

Araştırma, veri toplama, metodoloji, istatistiksel analiz, yazma ve orijinal taslak hazırlamada yazarlar eşit katkı sağlamışlardır.

### Finansal Destek

Bu çalışmada herhangi bir kişi, kurum ve kuruluşun finansal destek alınmadığıdır.

### Etik Komite Onayı

Çalışma için 16.09.2021 tarih ve 16/3 sayılı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Etik Kurulu Başkanlığı tarafından onay ve 24.09.2021 tarih 020/1863 sayılı İSTEK İstanbul Eğitim Hizmetleri Koordinatörlüğü tarafından izin alınmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Dalyan, H., Dalyan, O., Öztürk, Ö. F. ve Pişkin, M. (2021). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yüz Yüze ve Uzaktan Eğitim Sistemlerinin Karşılaştırılması. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 5(3), 219-228.
- [2] Taşdemir, C. ve Gür, B. (2021). Sınıf Öğretmenlerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Öz Yeterliliği (İğdır İli Örneği). *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(3), 467-477.
- [3] Ergül, A. (2020). *Ortaöğretim Okullarında Görev Yapan Öğretmenlerin İş Güvenliği Bilgi Düzeylerinin Değerlendirilmesi: Çanakkale İlinde Uygulama* (Yüksek Lisans Tezi).
- [4] Babaoğlu, Z. (2020). *Mesleki ve Teknik Anadolu Liselerinde Görev Yapan Öğretmenlerin İş Sağlığı ve Güvenliği Algı Düzeyinin Belirlenmesi (Trabzon Örneği)* (Yüksek Lisans Tezi).
- [5] Bazoğlu, M. (2019). *MEB'e Bağlı Kamu Kurumu Çalışanlarının İş Sağlığı ve Güvenliği'ne Bakış Açısı ile Mevcut Durumun İstatistiksel Analizi: Şanlıurfa Örneği* (Yüksek Lisans Tezi).
- [6] Birken, İ. (2018). *Anaokulu Öğretmenlerinin Mesleklerine Yönelik İş Sağlığı ve Güvenliği Algularının Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi).
- [7] Kilitçi, Z. (2018). *Mesleki ve teknik eğitim kurumlarında iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına ilişkin yönetici görüşleri* (Yüksek Lisans Tezi).
- [8] Yivli, İ. (2018). *İstanbul Zeytinburnu ve Fatih İlçelerindeki Anaokullarında Çalışan Öğretmenlerde, İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Farkındalık Oluşturma Uygulamaları* (Yüksek Lisans Tezi).
- [9] Gümüş, B. (2016). *Okullarda İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Öğretmenlerin Bu Konudaki Bilgi Düzeylerinin İrdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi).
- [10] Kara, M. (2015). *Mesleki ve Teknik Anadolu Liselerinde Görev Yapan Teknik Öğretmenlerin İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Düzeyleri* (Yüksek Lisans Tezi).
- [11] Krejcie, V. R., ve Morgan, W. D. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30, 607-610.
- [12] Yıldız, S. (2011). Sosyal Bilimlerde Örneklem Sorunu: Nicel ve Nitel Paradigmalarından Örneklem Kuramına Bütüncül Bir Bakış. *Kesit Akademi Dergisi*, 3(11), 421-442.
- [13] Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. ve Büyükoztürk, Ş. (2012). Sosyal Bilimler İçin Çok Değişkenli İstatistik: SPSS ve Lisrel Uygulamaları. Pegem Akademi Yayıncılık: Ankara.
- [14] Eymen, E. (2007). SPSS 15.0 Veri Analiz Yöntemleri. İstatistik Merkezi: Ankara.
- [15] Kayrı, M. (2009). Araştırmalarda Gruplar Arası Farkın Belirlenmesine Yönelik Çoklu

- Karşılaştırma (Post-Hoc) Teknikleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(1). 51-64.
- [16] Kılıç, S. (2014). Etki Büyüklüğü. *Journal of Mood Disorders*, 4(1), 44-46.
- [17] Büyüköztürk, Ş., Çokluk, Ö. ve Köklü, N. (2006). Sosyal Bilimler için İstatistik. Pegem Akademi Yayıncılık: Ankara.
- [18] Özdamar, K., Odabaşı, Y., Hoşcan, Y., Bir, A. A., Kırcaali-İftar, G., Özmen, A. ve Uzuner, Y. (1999). Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri. Anadolu Üniversitesi Yayınları: Eskişehir.
- [19] Akboğa Kale, Ö., ve Yanık, S. (2018). İnşaat Sektörü Çalışanlarının İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Eğitimleri Konusundaki Bilinç Düzeylerini Ölçmeye Yönelik Bir Sektörel Araştırma. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 637-649.

## Al6061 T256 Alaşımının Mikro-Frezelenmesinde Üst Çapak Oluşumunun ve Temizlenmesinin Deneysel İncelenmesi

*Experimental Investigation on the Top Burr Formation and Its' Removal in Micro-Milling of Al6061 T256 Alloy*

Ferah SUCULARLI<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>ASELSAN A.Ş., REHİS, Ankara, Türkiye

### Öz

Metal parçaların mikro-frezelenmesinde oluşan çapak parçanın işlevini olumsuz etkilemekte olup temizlenmesi oldukça zor veya çoğu zaman imkansızdır. Bu çalışmada Al6061 T256 alüminyum alaşımının farklı işleme koşullarında (değişken diş başı ilerlemesi ve işleme (kanal) derinliği için) kanal mikro-frezelenmesi sonucunda eş-yönlü frezeleme tarafı (EYFT) üstünde oluşan üst çapağının ortalama yüksekliğinin değişimi deneysel olarak işlenmiştir. Değişik işleme koşullarında EYFT'nde oluşan üst çapağının mikro-frezelenme ile temizlenebilmesi için değişik radyal derinlik (RD) kullanılarak (10, 15 ve 20 µm) zıt-yönlü frezeleme yapılmıştır. Deneysel olarak oluşan çapağın sürekli yapıda olduğu, yüksekliğinin kanal boyunca değişim gösterdiği ve Poisson tipi olduğu görülmüştür. RD=15 µm değerinin oluşan çapağı önemli ölçüde (çapak yüksekliğini %80-84 mertebesinde) temizlediği, daha yüksek RD kullanımının çapak temizlemede fazla etkili olmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** mikro-frezelenme, çapak oluşumu, üst çapak yüksekliği, çapak temizleme, Al6061 T256 alaşımı

### Abstract

The burr formed in the micro-milling of metal parts adversely affects the function of the part and is very difficult or often impossible to remove. In this study, the variation of the average height of the top burr formed on the down-milling side (DMS) as a result of channel micro-milling of Al6061 T256 aluminum alloy under different machining conditions (for varying feed per tooth and milling (channel) depth settings) was experimentally investigated. Up-milling operations were performed at different radial depth (RD) values (10, 15 and 20 µm) so that the upper burr formed in the DMS under different machining conditions could be removed by micro-milling. It was found that the burr formed in the experiments was continuous, its height varied along the channel and it was Poisson type. It was determined that the RD=15 µm value significantly removes the formed burr (reducing the burr height by 80-84%), and the use of the higher RD was not further effective in burr removal.

**Keywords:** micro-milling, burr formation, top burr height, burr removal, Al6061 T256 alloy

## I. GİRİŞ

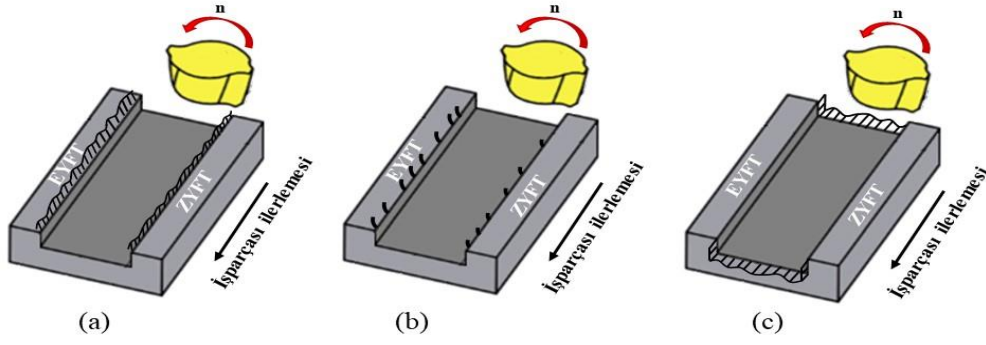
Çapak, takım tarafından kesilmemiş talaşın tamamen kaldırılması yerine plastik olarak deforme edilerek malzeme üzerinde yapışık kalmasından oluşmaktadır. Çapak oluşumunu artıran önemli etkenler şunlardır: a) Kesilmemiş talaşın ana malzeme ile desteklenmemesi [1], b) kesici ağız yarıçapının ve sürtme (ploughing) etkisinin büyük olması [2, 3], c) takım yarıçapında belirgin değişkenlik (tool run-out) [2, 3], d) takımın titreşim ve tırlama (chattering) [4-6], e) aşınmış kesici takım [7-9].

Mikro-frezelenme (MF) işlemlerinde üç tip çapak oluşum mekanizması görülmektedir [10-13]. Poisson mekanizmasında malzeme sürtme etkisi altında sıkışır ve plastik deformasyon etkisiyle malzemenin üst yanlarına (özellikle eş-yönlü frezeleme tarafına (EYFT)) yığılır (üst çapağı, Şekil 1a). Yırtılma mekanizmasında kesilmemiş talaş malzemeden yırtılır ancak kopmaz (yırtılma çapağı, Şekil 1b). Sıvanma mekanizmasında kesilmemiş talaş takımın malzemeye girmesi-çıkması sırasında işlenmiş duvara ve tabana sıvanır (sıvanma çapağı, Şekil 1c). Çapak çok sıklıkla işlenmiş bölgenin üst yüzeylerinde üst çapağı olarak görülse de sıvanma çapağı olarak da nadiren rastlanmaktadır. Yırtılma çapağı oluşumu ise daha nadirdir.

MF'de geometrik bozukluklardan biri olan çapak oluşumu temizlenmesindeki zorluklar nedeniyle önemli bir problemdir [14, 15]. Oluşan çapağın boyutları işlemede kullanılan kesici takım çapı ile orantılandığında klasik frezelemeye göre oldukça büyük olup [8] işlenmiş parçanın işlevini olumsuz etkileyebilmektedir [14, 16]. Çapak oluşumunun en aza indirilmesinde işleme parametrelerinin doğru seçimi çapak temizleme maliyetini ve süresini kısaltmakta, ayrıca çapak temizleme sırasında parçada oluşabilecek boyutsal hataları, mikro hasarları, yüzey bozulmalarını ve kalıcı gerilmeleri ortadan önemli ölçüde kaldırmaktadır [17].

**Sorumlu yazar:** Ferah SUCULARLI, Tel: 0312 592 60 00, e-posta: ferahco@hotmail.com

**Gönderilme:** 06.08.2022, **Düzenleme:** 04.11.2022, **Kabul:** 24.11.2022



Şekil 1. Çapak tipleri. a) Poisson çapağı, b) yırtılma çapağı, c) sıvanma çapağı

MF’de metal işparçalarında işleme parametrelerinin değişimi ile çapak oluşumunun en aza indirilmesi üzerine yapılan araştırmalarda (AISI 316L [2], Ti6Al4V [7], AA1100 [8], Al6061-T6 [17], oxygen-free high copper (OFHC) [18], Inconel 718 [19], AISI 1045 [20], X5CrNi18-10 [21]) zıt-yönlü frezeleme tarafında (ZYFT) daha az çapak oluşumu görüldüğü ifade edilmiştir. Hajiahmadi çalışmasında [22] zıt-yönlü frezelemede (ZYF) eş-yönlü frezelemeye (EYF) göre üst çapak yüksekliğinin daha az, buna karşın üst çapak genişliğinin daha fazla olduğunu göstermiştir. Mian ve ark. [19] ise EYF’de oluşan üst çapağının ZYF’ye göre geometrik olarak daha homojen yayıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, üst çapağın kök kalınlığının (parçaya bağlandığı bölgedeki kalınlık) kesme hızının ve “kesilmemiş talaş kalınlığı/kesici kenar yarıçapı” oranının optimize edilmesi ile kontrol edilebileceğini ifade etmişlerdir. Aramcharoen ve Mativenga [23] AISI H13 çeliğinde “kesilmemiş talaş kalınlığı/kesici kenar yarıçapı” oranı arttıkça çapak boyutunun azaldığını belirtmişler ve bu oluşumu sürtme etkisinin azalması ile açıklamışlardır. Piquard ve ark. [24] ise takım dış başı ilerlemesinin ( $f_z$ ) ve işleme genişliğinin çapak boyutunu etkilediğini göstermiştir. Chen ve ark. [25] çapak boyutunun azaltılması için “işleme derinliği/takım çapı” oranının azaltılmasını önermişlerdir. Diğer bir çalışmada [20], kesme hızı ( $V_c$ ) ve  $f_z$  değerlerinin artırılmasının çapak oluşumunu azaltmada etkili olduğu ( $V_c=40-90$  m/dak ve  $f_z=1-4$   $\mu$ m aralıkları için) vurgulanmıştır.

Saptaji ve Subbiah [17] ve Biermann ve Steiner [21] deneysel olarak mikro frezelenmiş yan duvarların kalitesinin ZYF’ye göre EYF’de daha iyi ancak üst çapak yüksekliğinin daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Wu ark [18] 100  $\mu$ m çaplı mikro freze ile 70  $\mu$ m genişliğinde 1-11  $\mu$ m derinliğinde işlemler yaptıkları çalışmalarında, ağırlıklı olarak Poisson çapağının oluştuğunu, üst çapak oluşumunu en aza indirmek için takımın kesici ağız yarıçapı ile  $f_z$  değerinin birbirine yakın olması gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmada çapak yüksekliğinin tespiti için SEM görüntülerinde her bir işleme boyunca en yüksek beş çapağın yüksekliğinin ortalaması alınmıştır. EYFT’nda daha yüksek üst talaş

oluşturduğunu, bu çapağı temizleme için zıt-yönlü frezeleme ile düşük bir radyal derinlik verilerek talaş kaldırmanın (100  $\mu$ m genişliğindeki kanalda oluşan üst çapağı temizleme için 10  $\mu$ m radyal derinlik (RD)) gerekliliğini belirtmiştir. Kiswanto ve ark. [8] ve Kumar ve ark [14] takım çıkış bölgesindeki sıvanma çapaklarının yoğun olarak EYFT’nda görüldüğünü, Gilbin ve ark [26] yaptıkları optimizasyon çalışmasında bu tip çapağın oluşmaması için ilerleme hızının artırılması gerektiğini ve bu artışın yüzey pürüzlülüğünü fazla etkilemediğini (makro-frezelemede olduğundan farklı olarak) belirtmişlerdir. Biermann ve Steiner’in çalışmasında [21] ise ilerleme hızının artırılmasının üst çapak oluşumunu artırdığı sonucuna varmıştır. Buna karşın, pozitif talaş açılı ve büyük spiral açılı takım ve yüksek kesme hızı kullanmanın (malzemenin hızlı pекleşmesini sağlayarak) üst çapak yüksekliğini azalttığını belirtmişlerdir. Aramcharoen ve ark. [27] ve Swain ve ark. [28] AISI H13 çelik ve Ni-Cr (Nimonic 75) alaşımının mikro frezelenmesinde kaplamalı takımların, kısa süreli işlemlerde kaplamasız takımlara göre aynı çapak oluşum karakteristikleri gösterdiğini ifade etmişlerdir. Buna karşın, uzun süreli işlemlerde kaplamalı takım aşınmasının daha az olması nedeniyle kaplamasız takıma göre daha az üst çapağı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Kou ve ark [29] takımın malzemenin çıkış yüzeylerinde görülen sıvanma tipi talaşın oluşumunu azaltmak için malzemenin çıkış bölgesine yapışkan destek malzemesi uygulamış ve başarılı sonuçlar almışlardır. Üst çapağı ve çıkış bölgesi sıvanma çapağı oluşumlarını en aza indirme amaçlı iki optimizasyon çalışmasında [17, 30] konik takım kullanımı oluşan eğimli duvarlar sayesinde olumlu sonuç vermiştir. Kuram çalışmasında [31] mikro freze ile Inconel 718 malzemesine kanallar açmış, kanalları EYF ve ZYF tarafındaki üst çapak genişliğini her kanal için en geniş üç çapağın genişliğinin ortalaması olarak elde etmiştir. Takım bağlama uzunluğu arttıkça takım çap aşınmasının, kesme kuvvetlerinin, çapak genişliğinin (EYF ve ZYF taraflarında) ve çapak sürekliliğinin arttığı görülmüştür. EYFT’ndaki üst çapak genişliğinin ZYFT’na göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Literatürde, genelde işleme parametrelerinin (kesme hızı, takım dönüş hızı, ilerleme hızı, takım helis açısı, takım talaş açısı, kesici ağız sayısı, kesici ağız yarıçapı, takım malzemesi, kesici takım bağlama uzunluğu, takım kaplaması, kesme sıvısı kullanımı, vb.) çapak oluşumuna etkisi incelenmiş, daha düşük çapak yüksekliği ve genişliği için işleme parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Ancak, oluşmuş çapağın giderilmesi yönünde çalışmaların çok kısıtlı olduğu ve yapılan çalışmaların sadece birinde oluşmuş çapağın temizlenmesi için bir RD değeri önerildiği (10  $\mu\text{m}$ ) görülmektedir [18]. Ancak, MF'de çapağın yok edilmesi için RD değerlerinin ne olması gerektiği yönünde sistematik bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı çapak oluşumunu en çok etkileyen işleme parametrelerinden işleme derinliğinin ve  $f_z$ 'nin değişik değerlerinde oluşan üst çapağının farklı RD değerlerinde ne seviyede giderilebildiğini belirlemektir. Bu çalışmanın diğer çalışmalara göre önemli deneysel üstünlüğü ise ortalama çapak yükseklik ( $h_{co}$ ) değerlerinin daha doğru olarak bulunmasıdır. Literatürdeki çalışmalarda, SEM veya optik görüntülerdeki en yüksek 3-5 adet çapağın yüksekliğinin (veya genişliğinin) ortalaması kullanılmış olup, bu yaklaşım istatistiksel açıdan çok güvenilir değildir. Bu çalışmada ise her biri 12,5 mm kanal uzunluğundaki SEM görüntüsünün tamamı ImageJ ile sayısallaştırılmış, elde edilen çapak üst profilinin tamamı kullanılarak  $h_{co}$  değerleri çok daha isabetli olarak bulunmuştur. MF uygulamalarında, üst çapak yüksekliğinin parçanın işlevini üst çapak genişliğine göre daha çok bozduğu, üst çapak yüksekliğinin çapak genişliğine göre daha büyük olduğu ve üst çapak oluşumunun kullanıcı için daha yüksek risk oluşturduğu bilindiğinden literatürdeki çalışmaların önemlice bir kısmı üst çapak oluşumu ve en aza indirilmesi yönünde olmuştur. Bu çalışmada da çapak genişliği konusu araştırılmamıştır.

## II. MATERYAL ve METOT

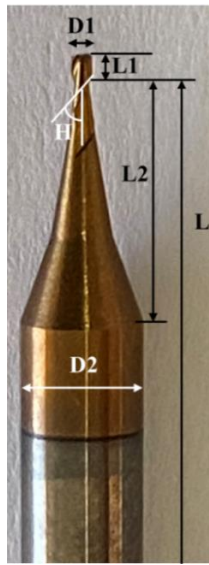
Bu çalışmada kesici takım olarak 670  $\mu\text{m}$  çaplı 2-kanallı karbür mikro freze kullanılmıştır (Şekil 2a). Mikro freze tezgaha 4 mm ER20-4 GFB-4921pens ile bağlanmıştır. Takımın işleme sırasındaki rijitliğini sağlamak için takımın pens dışında kalan boyu mümkün olduğunca kısa tutulmuştur. İşparçası olarak 70x50x14 mm boyutlarında işlenmiş Al6061 T651 numune (Tablo 1) kullanılmıştır. İlk aşamada, üst çapak ortalama yükseklik değerlerinin ( $h_{co}$ ) tespiti için numunelere değişik  $f_z$  ve kanal derinlik ( $h_k$ ) değerlerinde 70 mm boyunda 6 adet kanal açılmıştır (1-6 nolu kanallar, Tablo 2). Konvansiyonel parmak freze ile işlenmiş bir kanalda son frezelemede RD olarak  $d_t$ 'nin %3-%15'i tavsiye edilmekte ise de [32, 33] mikro frezeler için literatürde bu konuda bir bilgi bulunmamaktadır. Sadece Wu ark [18] 100  $\mu\text{m}$  çaplı mikro freze ile işlenmiş kanallarda EYFT'ndaki üst çapağı temizlemek için 10  $\mu\text{m}$ 'lik bir RD değerinin

yeterli olduğunu bahsetmişlerdir. Bu çalışmada ise yapılan ön deneylerden ve banyo tipi kesme sıvısı kullanımı sayesinde çok daha düşük RD değerlerinde çapağın temizlenmesinin gerçekleştirilebileceği öngörülmüştür. Bu nedenlerle kanalların EYFT'nda oluşan üst çapağı yok etmek amacıyla  $h_{co}$  değerinin en yüksek olduğu  $h_k=300 \mu\text{m}$ 'de açılmış 9 adet kanalda 10  $\mu\text{m}$  ( $d_t$ 'nin yaklaşık %1,5'i), 15  $\mu\text{m}$  ( $d_t$ 'nin yaklaşık %2'si) ve 20  $\mu\text{m}$  ( $d_t$ 'nin yaklaşık %3'ü) RD değerlerinde temizleme işlemi yapılmıştır (7-15 nolu kanallar, Tablo 2). Çapak temizleme işlemlerinin yapıldığı 7-15 nolu kanallar 4-6 nolu kanallarla aynı koşullarında işlendiğinden (yani 7-15 nolu kanallarda oluşması beklenen çapak temizleme öncesi üst çapak yükseklikleri ( $h_{co}$ ) 4-6 nolu kanallardan alındığından) ve numunenin tezgahtan sökülüp elektron mikroskopunda (TEM) görüntü alınmasını takiben çapak alma işlemi yapılamayacağından 7-15 nolu kanallar için çapak temizleme öncesi  $h_{co}$  ölçümleri alınmamıştır. Mikro-frezelemede çapak oluşumunun azaltılması için kesici kenar uç yarıçapı ile  $f_z$  değerlerinin yakın olması gerektiği çalışmalarda vurgulanmıştır [18-20, 23, 24]. Bu çalışmada da, kullanılan mikro frezenin kesici kenar uç yarıçapı yaklaşık 5  $\mu\text{m}$  olduğundan deneylerde çapak oluşumunu en aza indirmek için  $f_z$  değerleri 3-7 aralığında (3,13  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  ve 6,88  $\mu\text{m}$  (ilerleme hızı (f) 25, 40 ve 55 mm/dak)) olarak seçilmiştir. Alanda çalışan araştırmacıların ve uygulamacıların araştırma merkezlerindeki ve laboratuvarlarındaki düşük-orta işmili hızı kategorisindeki CNC freze tezgahları için referans oluşturmak amacıyla takım dönüş hızı (n) 4000 dev/dak seçilmiştir. Her numunenin için yeni mikro freze takım kullanılmıştır.

Kanal derinliklerinin kanal boyunca sabit kalmasını sağlamak amacıyla MF öncesinde tablaya bağlama fikstürü yardımıyla (Şekil 2b) bağlanmış numunenin üst yüzeyi 6 mm'lik parmak freze ile tezgah tablasına paralel olarak işlenmiştir. Kanallar arasında 2 mm boşluk bırakılmıştır. Numune, işleme sırasında 23 mm derinliğinde bir hazne içine yerleştirilmiş olup, üst işleme yüzeyinin 4 mm üstünde kalacak şekilde %5 konsantrasyonlu bor yağı su karışımı doldurulmuştur (banyo tipi kesme sıvısı kullanımı). Banyo tipi kesme sıvısı kullanımının sebebi püskürtme ve minimum miktar kesme sıvısı kullanım yaklaşımlarının mikro-ışılama koşullarında yeterli yağlama-soğutma işlevini yerine getirememesidir [21]. İşleme sonrası bir numunenin görüntüsü Şekil 3'de görülmektedir. İşleme deneylerinde ProLIGHT 1000 İşleme merkezi (Light Machines Corp.) kullanılmış olup tezgahın x-, y- ve z-eksen hareket hassasiyeti 1  $\mu\text{m}$ 'dir. Deneyler aynı koşullarda üç numunede tekrarlanmış olup, numuneler için elde edilen  $h_c$ ,  $h_k$  ve kanal genişlik ( $w_k$ ) değerlerinin ortalaması ( $h_{co}$ ,  $h_{ko}$ ,  $w_{ko}$ ) alınmıştır.

İşleme sonrası elde edilen  $w_{ko}$  ve  $h_{ko}$  değerleri mikro frezenin numunelere giriş ve çıkış yaptığı bölgelerdeki optik görüntülerden faydalanılarak bulunmuştur (Şekil 4). Kanal yapısını ve çapak oluşumunu bozmamak için frezelenmiş numunelere kesme işlemi uygulanmamıştır.  $h_{\phi o}$  değerlerinin tespiti için numuneler Thermofisher Scientific Phenom XL model taramalı elektron mikroskobu (TEM) altına  $45^\circ$  eğimli bir fikstür ile bağlanmış ve kanal görüntüleri alınmıştır (Şekil 5a). Görüntüler açık-kaynaklı ImageJ [34] yazılımı ile sayısallaştırılmış, takiben görüntülerdeki çapak yükseklikleri (görünür çapak yüksekliği,  $h_{\phi g}$ )  $\cos 45^\circ$  ( $\approx 0,707$ ) bölünerek gerçek değerler elde edilmiştir. Görüntülerde, kanal yan duvarı (Şekil 5b, B) beyaz renkli ve üzeri siyah benekli olarak, kanal tabanı (Şekil 5b, A) ise açık gri renkli ve üzeri mikro frezenin alt kesici iki ağzının yarattığı dairesel ark

çizgili olarak ayırt edilebilmektedir. Bu görünümsel farklılık kanal tabanı ve kanal duvarı arasındaki kenarın (çizginin) belirlenmesini sağlamaktadır. Çapağın başladığı numune üst yüzey çizgisinin (Şekil 5b, sarı renkli çizgi) belirlenmesinde ise görüntülerde çapak oluşumu gözükmeyen bölgeler (Şekil 5a, kırmızı çember ile temsili gösterilen bölge) kullanılmıştır. Bu çalışmada her biri 12,5 mm kanal uzunluğundaki SEM görüntüleri ImageJ ile sayısallaştırılarak hesaplama yapıldığından literatürdeki kısıtlı sayıda çalışmaya göre  $h_{\phi o}$  değerleri çok daha doğru olarak bulunmuştur (Şekil 5b). Tablo 2’de 45 adet numuneden elde edilen ölçümlerin minimum ve maksimum değerleri de ( $h_{\phi min}$ ,  $h_{\phi mak}$ ,  $h_{kmin}$ ,  $h_{kmax}$ ,  $w_{kmin}$ ,  $w_{kmax}$ ) sunulmuştur.

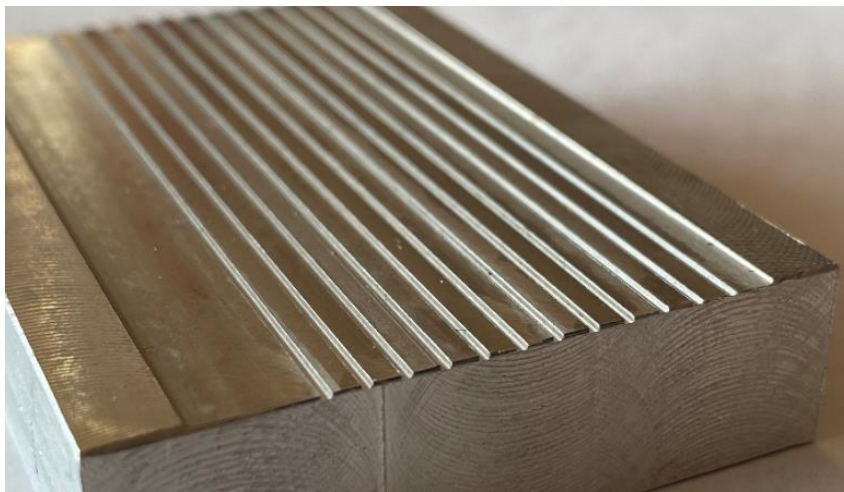


(a)

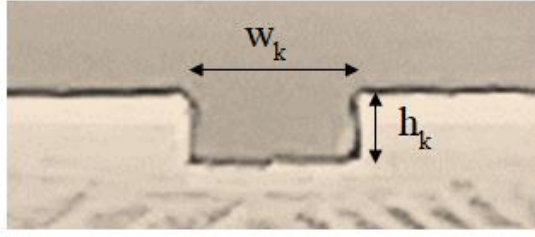


(b)

**Şekil 2.** a) Mikro freze (Kesici uç çapı (D1)  $670 \mu\text{m}$ , sap çapı (D2) 4 mm, kanal boyu (L1) 1,4 mm, konik boy (L2) 8,5 mm, freze boyu (L) 50 mm, helis açısı (H)  $30^\circ$ , talaş açısı  $8^\circ$ , kesici ağız yarıçapı  $5 \mu\text{m}$ , sertlik 55 HRC).  
b) İşparçası, bağlama fikstürü



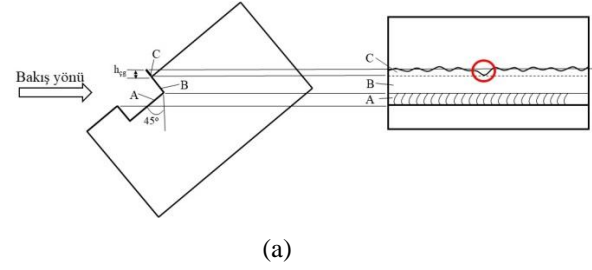
**Şekil 3.** Mikro-frezelenmiş bir numune



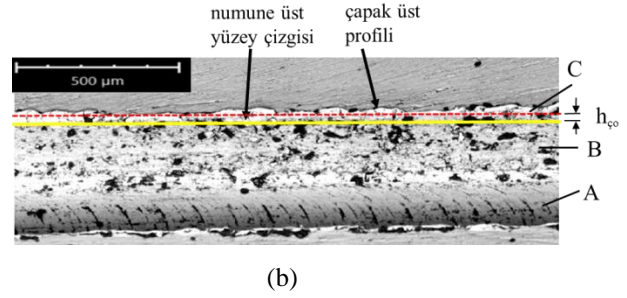
Şekil 4. Mikro frezenin numunelere giriş bölgesinden örnek görüntü (4 no'lu kanal,  $w_k=679 \mu\text{m}$ ,  $h_k=318 \mu\text{m}$ )

Tablo 1. Al6061 T651 malzeme özellikleri [35, 36]

| Özellik                                 | Değer |
|---|-------|
| Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )            | 2,7   |
| Akma mukavemeti (MPa)                   | 276   |
| Çekme mukavemeti (MPa)                  | 310   |
| Elastik modül (GPa)                     | 58,9  |
| Ergime sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 610   |
| Sertlik (HRC)                           | 90    |
| Isıl iletkenlik ( $\text{W/m.K}$ )      | 167   |



(a)



(b)

Şekil 5. a) Kanal (kesit) ve çapak görüntülerindeki terimler; A: işlenmiş kanalın tabanı, B: kanal yan duvarı, C: üst çapak, b) çapak terminolojisi ve üst çapak ortalama yüksekliği ( $h_{\text{ço}}$ ).

Tablo 2. Deneysel tasarım

| Kanal no | f (mm/dak) | $f_z$ (*) ( $\mu\text{m}$ ) | $h_k$ ( $\mu\text{m}$ ) | RD ( $\mu\text{m}$ ) | $w_{ko}$ , ( $w_{kmin}-w_{kmak}$ ) ( $\mu\text{m}$ ) | $h_{ko}$ , ( $h_{kmin}-h_{kmak}$ ) ( $\mu\text{m}$ ) | $h_{\text{ço}}$ , ( $h_{\text{çmin}}-h_{\text{çmak}}$ ) ( $\mu\text{m}$ ) |
|----------|------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|--|--|---|
| 1        | 25         | 3,13                        | 200                     | -                    | 675, (674-678)                                       | 220, (214-222)                                       | 24,2, (23,8-24,7)   |
| 2        | 40         | 5                           | 200                     | -                    | 676, (673-677)                                       | 219, (218-223)                                       | 30,5, (30,1-31,3)   |
| 3        | 55         | 6,88                        | 200                     | -                    | 683, (682-685)                                       | 220, (216-228)                                       | 41,4, (39,2-42,4)   |
| 4        | 25         | 3,13                        | 300                     | -                    | 680, (678-681)                                       | 320, (317-324)                                       | 26,1, (25,8-28,6)   |
| 5        | 40         | 5                           | 300                     | -                    | 679, (678-684)                                       | 324, (322-329)                                       | 33,1, (30,3-35,7)   |
| 6        | 55         | 6,88                        | 300                     | -                    | 671, (668-674)                                       | 328, (320-330)                                       | 47,7, (47,3-50,1)   |
| 7        | 25         | 3,13                        | 300                     | 10                   | 702, (700-708)                                       | 320, (311-324)                                       | 14,3, (13,7-14,7)   |
| 8        | 40         | 5                           | 300                     | 10                   | 702, (698-704)                                       | 326, (319-332)                                       | 22,8, (20,9-24,1)   |
| 9        | 55         | 6,88                        | 300                     | 10                   | 707, (705-709)                                       | 324, (318-330)                                       | 27,1, (25,1-28,1)   |
| 10       | 25         | 3,13                        | 300                     | 15                   | 711, (708-712)                                       | 334, (322-338)                                       | 5, (4,5-5,6)  |
| 11       | 40         | 5                           | 300                     | 15                   | 710, (706-712)                                       | 319, (317-322)                                       | 8, (7,3-8,9)  |
| 12       | 55         | 6,88                        | 300                     | 15                   | 712, (705-718)                                       | 322, (318-324)                                       | 9,2, (7,8-10)   |
| 13       | 25         | 3,13                        | 300                     | 20                   | 720, (708-724)                                       | 332, (322-338)                                       | 4,2, (3,5-4,6)  |
| 14       | 40         | 5                           | 300                     | 20                   | 716, (710-719)                                       | 321, (317-322)                                       | 6,3, (5,3-6,9)  |
| 15       | 55         | 6,88                        | 300                     | 20                   | 716, (711-719)                                       | 320, (318-324)                                       | 8,0, (7,1-9)  |

(\*) Sunulan  $f_z$  değerleri f değerinin takım dönüş hızı ( $n=4000 \text{ dev/dak}$ ) ve kesici ağız sayısına (2) bölünmesinden elde edilmiştir.

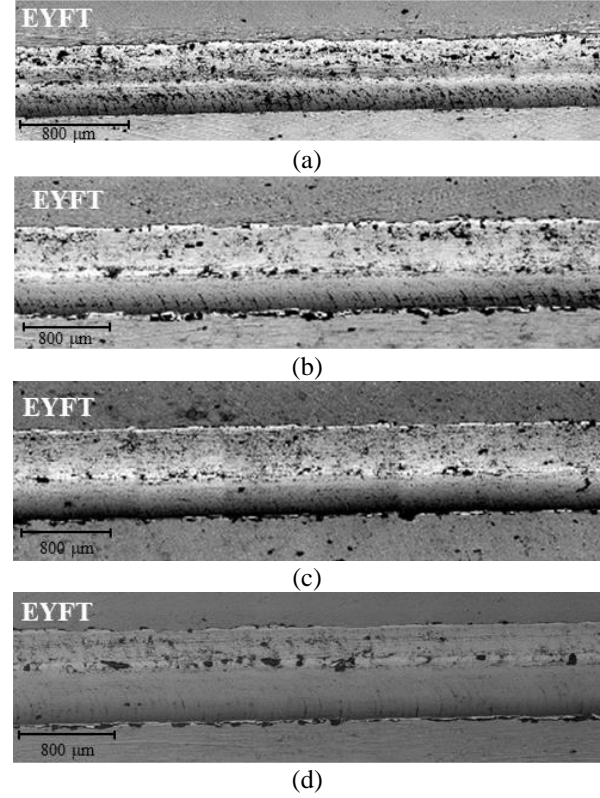
### III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada 670  $\mu\text{m}$  çaplı mikro freze ile değişik işleme koşullarında yapılan kanal frezeleme işlemlerinde (1-6 nolu kanallar) elde edilen  $w_{ko}$  değerleri 671-683  $\mu\text{m}$  arasındadır (Tablo 2). Bu değerler kullanılan mikro frezelerde radyal salgı ve takım çapında belirgin değişkenlik [2, 3] olmadığını göstermektedir. Ölçümlerin alındığı toplam 18 adet kanalda  $w_{kmin}$  ve  $w_{kmax}$  değerlerinin 668 ve 684  $\mu\text{m}$  aralığında olması deneylerin güvenilirliğinin ve tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. 1-3 nolu deneylerde  $h_k$  değeri 200  $\mu\text{m}$  hedeflenmesine rağmen  $h_{kmin}$  değeri en düşük 214  $\mu\text{m}$ ,  $h_{kmax}$  değeri en yüksek 228  $\mu\text{m}$  olmuştur. Bu kanallar için  $h_{ko}$  değerleri ise 219-220  $\mu\text{m}$  aralığındadır. 4-6 nolu deneylerde  $h_k$  değeri 300  $\mu\text{m}$  hedeflenmesine rağmen  $h_{kmin}$  değeri en düşük 317  $\mu\text{m}$ ,  $h_{kmax}$  değeri en yüksek 330  $\mu\text{m}$  olmuştur. Çapak temizleme amaçlı yapılan 7-15 nolu deneylerde ise  $h_{kmin}$  değeri en düşük 311  $\mu\text{m}$ ,  $h_{kmax}$  değeri en yüksek 338  $\mu\text{m}$  olmuştur (Tablo 2). 45 adet deneyin tamamı gözönüne alındığında, ölçümler mikro frezenin numune üst yüzeyine dokundurularak z-ekseninin sıfırlanması sırasında yüzeyden 14-38  $\mu\text{m}$  malzeme kaldırıldığını (deneysel hata) göstermektedir. Kanal derinlikleri hedeflenen 300  $\mu\text{m}$  değerinden en fazla %12,6 sapmış olmasına rağmen, işleme derinliğinin üst çapak oluşumunda çok etkili bir parametre olmaması nedeniyle [23, 24]  $h_{co}$  değerlerindeki etkisi ihmal edilmiştir. Yapılan 45 deneyde  $h_{co}$  değerleri ile  $h_{cmin}$  arasındaki en büyük sapma %15,8 (14 nolu kanal),  $h_{cmax}$  arasındaki en büyük sapma %11,3 (11 nolu kanal) olmuştur. Diğer deneylerdeki sapmaların bu değerlerden daha az olduğu ve  $h_{co}$  değerlerinin tespitinde aynı koşullarda üç deney yapıldığı düşünüldüğünde her bir kanal için hesaplanan  $h_{co}$  değerlerinin güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği oldukça iyidir.

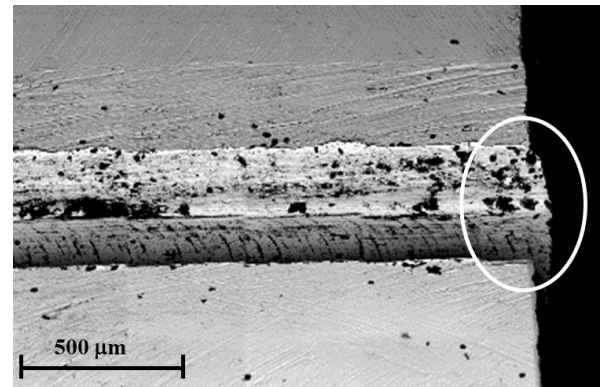
Ölçülen  $w_{ko}$ ,  $w_{kmin}$  ve  $w_{kmax}$  değerlerinin  $d_t$  değerine yakınlığı işleme sonunda takımın oluştuğu çapsal aşınmanın çok düşük (çapta %1'den daha az) olduğunu göstermiştir. Takımlardaki çapsal aşınmanın ve malzeme sıvanmasının az olmasının önemli sebepleri arasında banyo tipi kesme sıvısı kullanımı (etkili takım soğutma), Al6061 T651 malzemenin sertliğinin düşük olması, her numune için toplam işleme boyunun kısa olması (yaklaşık 1 m), işleme (kanal) derinliğinin ve takım dönüş hızının görece olarak düşük olması sayılabilir.

Örnek kanal görüntülerinden (Şekil 6), bu çalışmadaki işleme koşullarında üst çapak oluşumunun sürekli olduğu, bölgesel çapak kopmalarına rastlanmadığı,

yırtılma çapağının EYFT'nda ve ZYFT'nda oluşmadığı (işlenmiş duvar ile oluşan çapağın birbirleriyle bütünlük gösterdiği), oluşan üst çapaklarının Poisson tipi olduğu tespit edilmiştir. Kanalların bazılarının çıkış bölgesinde ise 100  $\mu\text{m}$ 'ye varan uzunluklarda sıvama çapağı oluşumu görülmektedir (Şekil 7). Yırtılma ve sıvama çapak oluşumlarına nadir rastlanması deneylerde banyo tipi kesme sıvısı uygulaması sayesinde.



Şekil 6. Kanalların eş-yönlü frezeleme duvarlarının ve üst çapaklarının 45° açılı görünüşü. Kanal no: a) 1, b) 7, c) 9, d) 10.

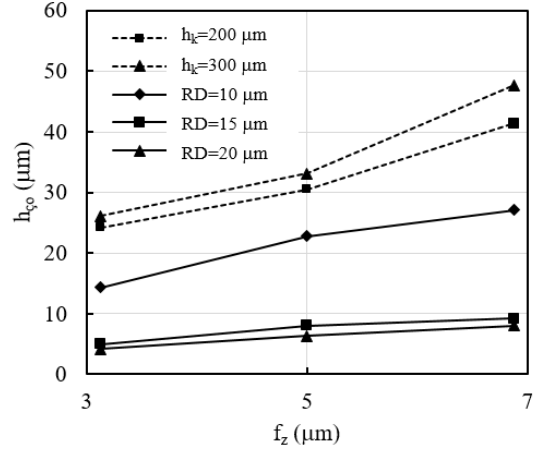


Şekil 7. 1 nolu kanalda mikro frezenin çıkış bölgesinde görülen sıvama çapağı.

1-6 nolu kanallarda  $h_{co}$  değerleri artan  $f_z$  ve  $h_k$  değerleri ile artmaktadır (Şekil 8).  $h_k=200$   $\mu\text{m}$  değerinde  $h_{co}$  değerleri 24-41  $\mu\text{m}$  aralığında iken,

$h_k=300 \mu\text{m}$  değerinde  $26-48 \mu\text{m}$  arasındadır.  $h_k=300 \mu\text{m}$ 'de kanal derinliği  $h_k=200 \mu\text{m}$ 'ye göre %50 artırılmış olmasına rağmen değişen  $f_z$  değerleri için  $h_{\text{ço}}$  en fazla %15 (%8,3-15,1 aralığında) artmıştır. Bu deneysel bulgu, işleme derinliğindeki artışın  $h_{\text{ço}}$  değerini doğru orantılı olarak artırmadığını ve işleme derinliğinin  $h_{\text{ço}}$  değerinin değişiminde önemli bir parametre olmadığını göstermektedir. Buna karşın  $f_z$  değerinin  $3,13 \mu\text{m}$ 'den  $6,88 \mu\text{m}$ 'ye artırılması (%119 artış)  $h_{\text{ço}}$  değerini  $h_k=200 \mu\text{m}$  için %69,7,  $h_k=300 \mu\text{m}$  için %82,7 artırmaktadır (Şekil 8).  $h_k$  ve  $f_z$  değerlerinin artışının  $h_{\text{ço}}$ 'ya etkisi orantılı olarak karşılaştırıldığında  $f_z$  değerinin  $h_{\text{ço}}$  değerinin değişiminde çok daha önemli bir parametre olduğu açıktır.  $f_z$  değerinin  $h_{\text{ço}}$ 'nun değişiminin en önemli parametrelerden bir olduğu literatürde de bahsedilmektedir [18, 20, 23, 24].

Üst çapağın temizlenmesi için EYFT'na (duvara) uygulanan  $RD=10 \mu\text{m}$  değerindeki ZYF, üst çapağın  $h_{\text{ço}}$  değerini  $f_z=3,13, 5$  ve  $6,88 \mu\text{m}$  değerleri için sırasıyla %45, %31 ve %43 azaltmıştır (Şekil 8). Bu değerler  $RD=15 \mu\text{m}$  için sırasıyla %81, %75 ve %81,  $RD=20 \mu\text{m}$  için %84, %81 ve %83 olmuştur. Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan işleme parametreleri için en düşük çapak yüksekliği  $RD=20 \mu\text{m}$ 'de elde edilmiş,  $RD=15 \mu\text{m}$  ( $d_t$ 'nin yaklaşık %2'si) değerinde  $RD=20 \mu\text{m}$ 'ye çok yakın çapak yüksekliği elde edilmiş, buna karşın  $RD=10 \mu\text{m}$  değerinde çapak yüksekliği daha az azalmıştır. Elde edilen deneysel verilere göre, [18] nolu referansta üst çapağın temizlemek için önerilen  $RD=10 \mu\text{m}$  değeri her ne kadar bu çalışmada elde edilen  $RD$  değerine yakın gibi gözükse de, referansta kullanılan mikro freze çapı ( $100 \mu\text{m}$ ), işleme genişliği ( $70 \mu\text{m}$ ) ve işleme derinliği ( $1-11 \mu\text{m}$  aralığında) bu çalışmaya göre çok küçüktür. Bu nedenle, referanstaki ve bu çalışmadaki sonuçlar doğrudan karşılaştırılamasa da, bu çalışmada daha ağır koşullu bir MF işleminde (büyük  $d_t$ ,  $h_k$  ve  $w_k$ ) oluşan üst çapağın temizlenmesinde referansta kullanılan  $RD$  değerine yakın bir değerde ( $15 \mu\text{m}$ ) dikkate değer başarı sağlanmış olması literatüre önemli bir katkıdır.



Şekil 8.  $h_{\text{ço}}$  değerlerinin  $f_z$ ,  $h_k$  ve  $RD$  ile değişimi

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada değişik işleme koşullarında  $670 \mu\text{m}$  çaplı mikro freze ile işlenen Al6061 T651 malzemede eş-yönlü frezeleme tarafı (EYFT) kanal duvarlarının üstlerinde oluşan üst çapağının karakteristikleri ve MF ile temizlenmesi ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Kanal boyut ölçümlerinin takım çapı ve kanal derinlik ortalaması ( $h_{ko}$ ) ile tutarlılığı kullanılan takımlarda radyal salgı, belirgin çap değişkenliği ve kesici ağız bozukluğu olmadığını göstermiştir. Aynı işleme koşullarında tekrarlanan deneylerden elde edilen üst çapak yükseklik ortalaması ( $h_{\text{ço}}$ ) değerlerinin tutarlılığı gerçekleştirilen deneylerin güvenilirliğinin ve tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğunu göstermiştir.  $h_{\text{ço}}$  değerlerinin tespitinde üst çapak profilinin büyük bir kısmının kanal boyunca sayısallaştırılması sayesinde literatürdeki diğer çalışmalara göre çok daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.
- İşlenen kanallarda EYFT'ndaki  $h_{\text{ço}}$  değerleri zıt-yönlü frezeleme tarafı (ZYFT) değerlerinden belirgin olarak yüksektir. EYFT'ndaki çapaklar sürekliliği olup Poisson tipidir. Deneylerde banyo tipi kesme sıvısı kullanımı yırtılma ve sıvama çapak oluşumunu önemli ölçüde engellemiştir.
- İşleme (kanal) derinliğinin ( $h_k$ ) artışı  $h_{\text{ço}}$  artışında çok etkili olmamasına karşın, diş başı ilerleme ( $f_z$ ) değerindeki artış  $h_{\text{ço}}$  değerini önemli ölçüde artırmıştır.
- EYFT'ndaki üst çapağın temizlenmesi amacıyla yapılan zıt-yönlü frezeleme işlemlerinde kullanılan  $RD$  değerlerinin ( $10, 15$  ve  $20 \mu\text{m}$ ) artışı ile bu çalışmada kullanılan iki  $f_z$  değerinde de çapak yüksekliği azalmıştır.

RD=15  $\mu\text{m}$  değerinde (takım çapının yaklaşık %2'si)  $h_{\text{ço}}$  değerleri çok belirgin olarak (%80-84 aralığında) azaltmıştır. Daha yüksek RD değeri (20  $\mu\text{m}$ ) kullanımı  $h_{\text{ço}}$  değerini azaltmada çok belirgin bir fayda sağlamamıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Geier, N., Szalay, T., & Takács M., (2019). Analysis of thrust force and characteristics of uncut fibres at non-conventional oriented drilling of unidirectional carbon fiber-reinforced plastic (UD-CFRP) composite laminates. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 100, 3139–3154.
- [2] de Oliveira, F.B., Rodrigues, A.R., Coelho, R.T., & de Souza, A.F., (2015). Size effect and minimum chip thickness in micro milling. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 89, 39–54.
- [3] Ni, C., Chen, M., Wu, C., Pei, X., Qian, J., & Reynaerts, D., (2017). Research in minimum undeformed chip thickness and size effect in micro end-milling of potassium dihydrogen phosphate crystal. *Int. J. Mech. Sci.*, 134, 387–398.
- [4] Jáuregui, J.C., Reséndiz, J.R., Thenozhi, S., Szalay, T., Jacso, A., & Takacs, M., (2018). Frequency and time-frequency analysis of cutting force and vibration signals for tool condition monitoring. *IEEE Access* PP (99), 1–1.
- [5] Singh, K.K., & Singh, R., (2018). Chatter stability prediction in highspeed micromilling of Ti6Al4V via finite element based micro end mill dynamics. *Adv. Manuf.*, 6, 95–106.
- [6] Wang, J.J., Uhlmann, E., Oberschmidt, D., Sung, F., & Perfilov, I., (2016). Critical depth of cut and asymptotic spindle speed for chatter in micro milling with process damping. *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, 65, 113–116.
- [7] Aslantaş, K., Hopa, H.E., Perçin, M., Uçun, İ., & Çiçek, A., (2016). Cutting performance of nanocrystalline diamond (NCD) coating in micro-milling of Ti6Al4V alloy. *Precis. Eng.*, 45, 55–66.
- [8] Kiswanto, G., Zariatin, D.L., & Ko, T.J., (2014). The effect of spindle speed, feed-rate and machining time to the surface roughness and burr formation of aluminum alloy 1100 in micro-milling operation. *J. Manuf. Process.*, 16, 435–450.
- [9] Oliaei, S.N.B., & Karpas, Y., (2017). Built-up edge effects on process outputs of titanium alloy micro milling. *Precis. Eng.*, 49, 305–315.
- [10] Zhang, X., Yu, T., Wang, W., & Zhao, J., (2019). Improved analytical prediction of burr formation in micro end milling. *Int. J. Mech. Sci.*, 151, 461–470.
- [11] Aurich, J.C., Dornfeld, D., Arrazola, P.J., Franke, V., Leitz, L., & Min, S., (2009). Burrs—analysis, control and removal. *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, 58, 519–542.
- [12] Lee, K., & Dornfeld, D.A., (2005). Micro-burr formation and minimization through process control. *Precis. Eng.*, 29, 246–252.
- [13] Hashimura, M., Hassamont, J., & Dornfeld, D.A., (1999). Effect of in-plane exit angle and rake angles on burr height and thickness in face milling operation. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 121, 13–19.
- [14] Kumar, P., Bajpai, V., & Singh, R., (2016). Burr height prediction of Ti6Al4V in high speed micro-milling by mathematical modeling. *Manuf. Lett.*, 11, 12–16.
- [15] Zhang, T., Liu, Z., & Xu, C., (2013). Influence of size effect on burr formation in micro cutting. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 68, 1911–1917.
- [16] Kumar, P., Kumar, M., Bajpai, V., & Singh, N.K., (2017). Recent advances in characterization, modeling and control of burr formation in micro-milling. *Manuf. Lett.*, 13, 1–5.
- [17] Saptaji, K., & Subbiah, S., (2017). Burr reduction of micro-milled microfluidic channels mould using a tapered tool. *Procedia Eng.*, 184, 137–144.
- [18] Wu, X., Li, L., & He, N., (2017). Investigation on the burr formation mechanism in micro cutting. *Precis. Eng.*, 47, 191–196.
- [19] Mian, A.J., Driver, N., & Mativenga, P.T., (2011). Identification of factors that dominate size effect in micro-machining. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 51, 383–394.
- [20] Balázs, B.Z., Szalay, T., & Takács, M., (2017). Investigation of micro milled surface characteristics. *Proc. Int. Conf. on Innovative Technologies*, 161–164
- [21] Biermann, D., & Steiner, M., (2012). Analysis of micro burr formation in austenitic stainless steel X5CrNi18-10. *Procedia CIRP*, 3, 97–102.
- [22] Hajiahmadi, S., (2019). Burr size investigation in micro milling of stainless steel 316 L. *Int. J. Lightweight Mater. Manuf.*, 2, 296–304.
- [23] Aramcharoen, A., & Mativenga, P.T., (2009). Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel. *Precis. Eng.*, 33, 402–407.
- [24] Piquard, R., D'Acunto, A., Laheurte, P., & Dudzinski, D., (2014). Microend milling of NiTi biomedical alloys, burr formation and phase transformation. *Precis. Eng.*, 38, 356–364.
- [25] Chen, M.J., Ni, H.B., Wang, Z.J., & Jiang, Y., (2012). Research on the modeling of burr formation process in micro-ball end milling operation on Ti-6Al-4V. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 62, 901–912.
- [26] Gilbin, A., Fontaine, M., Michel, G., Thibaud, S., & Picard, P., (2013). Capability of tungsten carbide micro-mills to machine hardened tool steel. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 14, 23–28.
- [27] Aramcharoen, A., Mativenga, P., Yang, S., Cooke, K., & Teer, D., (2008). Evaluation and selection of hard coatings for micro milling of

- hardened tool steel. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 48, 1578–1584.
- [28] Swain, N., Venkatesh, V., Kumar, P., Srinivas, G., Ravishankar, S., & Barshillia, H., (2017). An experimental investigation on the machining characteristics of Nimonic 75 using uncoated and TiAlN coated tungsten carbide micro-end mills. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, 16, 34–42.
- [29] Kou, Z., Wan, Y., Cai, Y., Liang, X., & Liu, Z., (2015). Burr controlling in micro milling with supporting material method. *Procedia Manuf.*, 1, 501–511.
- [30] Saptaji, K., Subbiah, S., & Dhupia, J.S., (2012). Effect of side edge angle and effective rake angle on top burrs in micro-milling. *Precis. Eng.*, 36, 444–450.
- [31] Kuram, E., (2017). Kesici Takım Bağlama Uzunluğunun Mikro Frezelemede Takım Aşınması, Kuvvetler ve Çapak Boyutu Üzerindeki Etkileri, Dokuz Eylül Üniversitesi-Müh. Fak. Fen ve Müh. Dergisi, 19, 229-237,
- [32] Milling Finish: Complete Guide (Tips, Techniques, and Secrets), <https://www.cnccookbook.com/milling-finish-complete-guide-feeds-speeds-master-class-lesson-7/> (Mart 2022).
- [33] How to Choose a Stepover for 3D Profiling, <https://www.cnccookbook.com/cnc-stepover/>, (Mart 2022).
- [34] Rasband, W.S., ImageJ. U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, 1997–2016. <http://imagej.nih.gov/ij>, (Haziran 2022).
- [35] MATWEB, Material Property Data, <http://www.matweb.com/index.aspx>, (Nisan 2022).
- [36] 6061 Aluminium, [https://en.wikipedia.org/wiki/6061\\_aluminium\\_alloy](https://en.wikipedia.org/wiki/6061_aluminium_alloy), (Mayıs 2022).

## Geri Dönüştürülmüş PP Bazlı Nano Grafen Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Mikromekanik Yöntemler ile Belirlenmesi

*Development of Recycled PP Based Nano Graphene Reinforced Hybrid Composites and Determination of Mechanical Properties by Micromechanical Methods*

Alaeddin Burak İREZ<sup>1</sup> , Ramazan KAYA<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>*Istanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Makina Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

### Öz

Koronavirüs (COVID-19) salgını tüm dünyada koruyucu ekipmanların, maskelerin ve tulumların kullanımı arttırmıştır. Koruyucu maske ve tulumların polipropilenden (PP) imal edildiğini düşündüğümüzde maske bazlı PP atık miktarı önem alınması gereken seviyelere çıkmıştır. Çevre kirliliğini önlemek ve ekosistemi tehlikeye atmaktan kaçınmak için atık maskelerin düzenli bir şekilde toplanması ve geri dönüştürülmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, tek kullanımlık maskelerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen polipropilen (rPP) matrisli kompozit malzemeler imal edilmiştir. Bu kompozit malzemelerin otomotiv sektöründeki tampon ve benzeri parçalarda kullanılması durumunda, geliştirilen kompozit malzemelerin kopma uzamasını ve rijitliğini arttırmak için sırasıyla Olefin Blok Kopolimer (OBC) ve Grafen Nanoplaka (GnP) takviyeleri kullanılmıştır. Takviye malzemelerine ön işlem uygulanmasından sonra kompozit malzemeler imal edilmiştir. Çekme deneyi sonuçlarına göre GnP takviyesi kompozitlerin dayanımını ve elastisite modülünü artırırken, OBC ise kompozitlerin kopma uzaması değerlerini iyileştirmiştir. Ayrıca bu çalışmanın diğer önemli bir amacı, imal edilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin mikromekanik yaklaşımlar kullanılarak belirlenmesidir. Bunun için Halpin-Tsai (HT), Mori-Tanaka (MT) ve Öz-uyumlu Model (Self Consistent Model-SC) gibi analitik yöntemler kullanılıp elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar neticesinde düşük grafen takviyelerinde mikromekanik modeller ile tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eko-kompozitler, Geri dönüşüm, Tek kullanımlık maskeler, Grafen, Mikromekanik model

### Abstract

The use of protective masks has increased worldwide due to the coronavirus (COVID-19) pandemic. Since disposable masks and protective clothing are generally made of polypropylene (PP), PP waste has increased to significant levels due to increased use. Therefore, it is very important to collect and reuse them on a regular basis to prevent environmental pollution and avoid endangering the ecosystem. In this study, recycled polypropylene (rPP) from used disposable masks was selected as the matrix material of sustainable composites. To improve the elongation capacity and stiffness of the matrix, olefin block copolymer (OBC) and graphene nanoplatelets (GnP) were respectively used. After the pretreatment of the reinforcements, the composites were manufactured and characterized experimentally. Results showed that GnPs improved the tensile strength and Young's moduli of the composites whereas OBC increased the strain capacity of the composites. Moreover, in this study, the mechanical properties of the manufactured composites were estimated using micromechanical homogenization models including Halpin-Tsai (HT), Mori-Tanaka (MT), and Self-Consistent Models (SC). It is seen that micromechanical methods were consistent with the experimental results for low content of GnP reinforcements.

**Keywords:** Eco-composites, Recycling, Disposable masks, Nano-Graphene, Micromechanical models

## I. GİRİŞ

2019 yılında ortaya çıkan ve halen etkisini sürdüren COVID-19 salgını dolayısıyla pandemi öncesine göre tek kullanımlık maske ve koruyucu tulumların kullanımı otuz kat artmıştır. Bu durumun en önemli nedeni, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) maske kullanımının hastalıktan korunmak için etkili bir araç olduğu yönündeki açıklamasıdır ve bunun paralelinde maskelere olan talep çok yüksek mertebelere çıkmıştır [1]. Dokunmamış (nonwoven) kumaştan üretilen bu maskelerin kontrolsüz bir şekilde etrafa dağılması hem çevreyi kirletmekte hem de hastalığın bulaş riskini arttırmaktadır. Bu riskten kaçınmak için koruyucu ekipmanlar kontrollü bir şekilde toplanmalı ve geri dönüştürülmelidir. Böylece hem çevre kirliliğinin önüne geçilebilmekte hem de hastalığın bulaş tehlikesi önlenmektedir. Dokunmamış kumaştan yapılan bu tek kullanımlık maskelerin ham maddesi olarak polikarbonat, polistiren, polyester veya polietilen gibi çeşitli polimerler kullanılmaktadır [2]. Öte



yandan, tek kullanımlık maskelerin çok büyük bir çoğunluğunun ham maddesinin polipropilen (PP) olduğu göz önüne alındığında, her yıl önemli miktarda PP atığı ortaya çıkmaktadır.

PP; üretim kolaylığı, avantajlı mekanik ve fiziksel özellikleri sayesinde %19'luk pazar payı ile endüstride en sık kullanılan ikinci polimerdir [3]. Bu sebeple PP, otomotiv endüstrisinde tipik olarak hem dış hem de iç parçaların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle otomobil tamponlarının dış kısmındaki polimer parça genellikle PP kullanılarak üretilmektedir. Bu bağlamda, otomobil tamponlarının hayat döngüleri mekanik anlamda incelendiğinde, kazalar ve yol koşulları nedeniyle yüksek deformasyonlara ve tekrarlı yüklere maruz kaldıkları sıklıkla görülmektedir. Bu nedenle, otomobil tamponlarının deformasyon kabiliyetinin iyileştirilmesi gerekir.

Elastomerler genellikle büyük deformasyon kapasitesine sahip olduğundan polimer kompozitlerin şekil değiştirebilme potansiyelini iyileştirmede kullanılabilir [4]. Bu düşüncenin paralelinde, kullanılacak elastomerin, matrisle kimyasal uyumluluğu büyük bir öneme sahiptir. Han ve arkadaşlarının çalışmaları incelendiğinde, elastomer-olefin blok kopolimerlerin (OBC), PP matris ile kimyasal olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Bu uyumluluk, imalat esnasında elastomerler ile matrisin birbiri ile oluşturabileceği bağları arttırarak, matris-takviye ara yüzey kalitesini iyileştirmeyle sonuçlanmaktadır. Böylece, yük altında takviyeler ara yüzeylerden kopmayacak ve deformasyon kapasitesi artacaktır [5].

Kopmadan şekil değiştirebilme kapasitesinin artırılması dışında, alınan darbeler neticesinde oluşabilecek hasarların azaltılabilmesi için, malzemenin tokluğunun da artırılması gerekmektedir. Bu da malzemenin kopma uzamasına ek olarak çekme dayanımının da arttırılarak, çekme eğrisi altındaki toplam alanın arttırılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Kompozitin çekme dayanımını arttırmak için, geleneksel takviyelerin yerine nano ölçekli takviyeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Nano ölçekli takviyeler arasından grafen nano plakalar (GnP) geniş yüzey alanı olmasının yanı sıra üstün mekanik (1 TPa elastisite modülü), elektriksel (>100 S/m elektrik iletkenliği) ve termal özelliklere (5000 W/mK ısı iletkenlik) sahiptir [5]. Bu özelliklere ek olarak, GnP'ler mikrodalgaya maruz kaldıklarında polimer malzemelerin içinde bir sıcaklık gradyanı oluşturur. Bu sıcaklık, lokal olarak polimer malzemenin erime sıcaklığı üzerine çıkılabilmektedir. Bunun neticesinde polimer matris, eriyerek kompozitin boşluklarının doldurulması ve kapatılmasını sağlayarak polimer matrisli kompoziti onarabilmektedir [7]. Bu

mekanizma, literatürde kendi kendini iyileştirme olarak adlandırılmaktadır. GnP takviyeli malzemeler, endüstriyel ürünlerin ömrünün uzatılması, bakım ve onarım işlemlerin yapılması gibi gelecek vaat etmektedir.

Literatürde, çeşitli çalışmalar takviyelerin PP bazlı kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Monti ve arkadaşları, %5 OBC takviyesinin çentiksiz Izod darbe mukavemetini %63 ve kopma uzamasını saf rPP'ye kıyasla %480 artırdığını belirtmiştir [8]. Başka bir çalışmada, Yi ve arkadaşları PP matrisi için maleik anhidrit ile aşılana takviyelerin etkisini incelemişlerdir. Yüzde 10'luk OBC takviyesinin çekme mukavemetini %14 ve elastisite modülünü %20 azalttığını keşfetmişlerdir [9]. PP'nin grafen ile takviyesi incelendiğinde ise, Liang ve arkadaşları PP'nin çekme mukavemetinin GnP oranı ağırlıkça %0,3'e ulaşana kadar yaklaşık %7,5 arttığını, daha sonra ise azaldığını göstermiştir. Benzer şekilde, Izod darbe dayanımı ağırlıkça %0,3 GnP içeriğine kadar yaklaşık %5 artmakta, daha sonra önemli ölçüde azalmaktadır [10]. Ji-Zhao Liang'a göre, grafene ait lateral uzunluk arttıkça, PP matrisli kompozitlerin kırılma tokluğu artmaktadır [11]. Özetle, GnP ve OBC'nin ayrı ayrı modifikasyonunun etkisi farklı araştırmacılar tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ancak yazarların literatür incelemelerine göre, GnP ve OBC takviyelerinin eş zamanlı etkisinin kapsamlı bir şekilde incelendiği hibrit kompozitlere rastlanılmamıştır. Dolayısıyla, bu çalışmada PP bazlı tek kullanımlık maskelerden geri dönüştürülmüş polipropilen (rPP) kullanarak hem çevresel hem de ekonomik olarak katma değerli kompozit malzemeler geliştirilerek bu açığın kapatılması amaçlanmıştır. Geri dönüşüm sonucu elde edilen rPP matrisi, GnP ve OBC ile takviye edilerek bir kompozit malzeme grubu geliştirilmiş ve bu kompozitlerin binek araçların tamponlarında kullanılması hedeflenmiştir. Ayrıca bu çalışmada esas olarak odaklanan diğer kısım ise; birden çok malzemenin bileşimiyle ortaya çıkan kompozitlerin elastisite modülünün tahmin edilmesi için Halpin-Tsai Modeli (HT), Mori-Tanaka Modeli (MT) ve Öz-uyumlu Model (Self Consistent Model, SC) gibi matematiksel modellerin uygulanması, modeller aracılığıyla elde edilen numerik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasıdır.

### 1.1. Bünye Denklemleri ve Homojenizasyon

Kompozit malzemelerin eşdeğer mekanik özelliklerinin numerik olarak elde edilmesi mühendislik çalışmalarında büyük bir önem arz etmektedir. Deneysel çalışmaların yanı sıra kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve davranışlarının matematiksel olarak modellenmesiyle mühendislik tasarımında ve ürün geliştirmede önemli avantaj sağlanabilmektedir. Numerik çalışmalar çerçevesinde; mikromekanik yaklaşımlardan, moleküler dinamikten ve kuantum

mekaniğinden istifade edilerek nano ölçekli takviyeli kompozitlerin elastisite modülü tahmin edilebilmektedir. Bu yöntemlerden, mikromekanik olanlara odaklanıldığında, takviye elemanlarının geometrisine, yönelimine, mekanik özelliklerine dayalı olarak Halpin – Tsai (HT) modeli, Mori-Tanaka (MT) modeli, Öz-Uyumlu (Self-consistent SC) model gibi çeşitli modeller görülmektedir [12]. Bu modeller arasında da GnP takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin hesabı üzerine MT ve HT gibi modeller yardımıyla literatürde hesaplamalar yapıldığı görülmüştür [12].

### 1.2. Halpin-Tsai (HT) Modeli

HT, yalnız bir şekilde matrisin elastik özellikleri ile takviye elemanının şekline ve oryantasyonuna dayalı bir modeldir. Kompozitte birden fazla takviye olduğu için HT modeli aşamalı olarak uygulanmıştır. Denklem 1’de görüldüğü gibi ilk olarak rPP ile OBC arasındaki ilişki modellenmiştir. Daha sonrasında GnP ile rPP+OBC arasındaki mikromekanik model oluşturulmuştur. Burada rPP ile OBC klasik HT ile modellenirken, GnP takviyeli kompozitler için HT’nin modifiye edilmiş formu kullanılmıştır [13]. Bu çalışmadaki nano grafen takviyeli kompozitlerin elastisite modülünü hesaplamak için Eşitlik (1) ve (2)’de kullanılmıştır.

$$E_{rPP+OBC} = E_{rPP}V_{rPP} + E_{OBC}V_{OBC} \quad (1)$$

$$= \left[ \frac{3}{8} \frac{1 + \xi_L \eta_L V_{GnP}}{1 - \eta_L V_{GnP}} + \frac{5}{8} \frac{1 + \xi_w \eta_w V_{GnP}}{1 - \eta_w V_{GnP}} \right] E_{rPP+OBC} \quad (2)$$

Burada  $EM$ , matrisin elastisite modülünü,  $V_{GnP}$ , GnP’nin hacimsel oranını  $\eta_w$ ,  $\eta_l$ ,  $\xi_L$  ve  $\xi_w$  takviyelerin şekil parametrelerini ifade etmektedir. Bu parametreleri hesaplamak için;  $EGnP$ , GnP’nin elastisite modülü,  $lGnP, wGnP, hGnP$  ise GnP’nin uzunluk, genişlik ve yüksekliği olmak üzere,

$$V_{GnP} + V_{rPP+OBC} = 1 \quad (3)$$

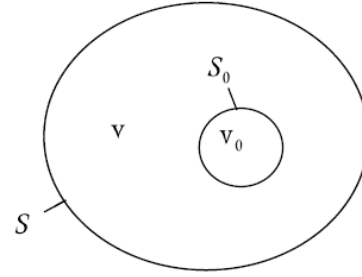
$$\eta_l = \frac{E_{GnP}/E_{rPP+OBC} - 1}{E_{GnP}/E_{rPP+OBC} + \xi_L}, \eta_w = \frac{E_{GnP}/E_{rPP+OBC} - 1}{E_{GnP}/E_{rPP+OBC} + \xi_w} \quad (4)$$

$$\xi_L = 2 \left( \frac{l_{GnP}}{h_{GnP}} \right), \xi_w = 2 \left( \frac{w_{GnP}}{h_{GnP}} \right) \quad (5)$$

Eşitlik (3-5) kullanılır [13]. Bu şekilde kompozitin elastisite modülü,  $E$ , hesaplanmıştır.

### 1.3. Eshelby Tensörü

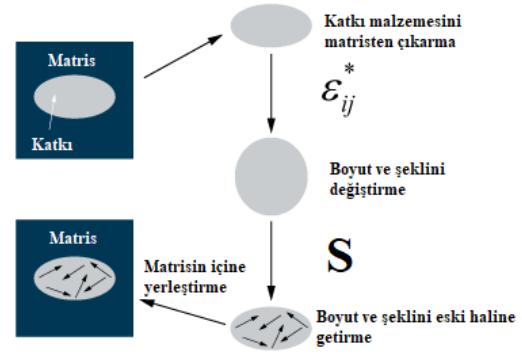
Eshelby tensörü, bir takviye içeren lineer elastik bir cisim üzerindeki gerilme (stress) ve birim şekil değişimini (strain) analitik olarak çözümlmek için 1957 yılında John D. Eshelby tarafından geliştirilmiştir [14]. Tensörlerin türetilirken hacmi  $V$  ve yüzey alanı  $S$  olan bir lineer homojen elastik yapıya sahip olduğu varsayılır. Şekil 1’de takviyenin yüzeyi  $S_0$  ve hacmi  $V_0$ , takviye dışında kalan matris hacmi ise  $V$  kabul edilerek tensör hesabı yapılır.



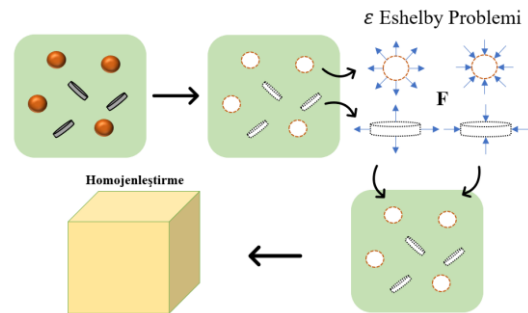
Şekil 1:  $S_0$  yüzeye ve  $v_0$  hacminde takviyeye sahip elastik bir malzeme [14]

Eshelby tensörünün tanımı Şekil 2’de gösterildiği gibi yapılır [15]. Sonsuz boyuttaki bir matristen elipsoid bir hacim kesilir, ardından şekli ve boyutunu değiştirecek ekgenlemeye (eigenstrain) uğrattılır. Elipsoid şeklinde çıkartılan parça eski haline getirilip matris içine yerleştirilir. Eshelby tensörü, bu işlemler sonucunda elde edilen  $S_{ijkl}$  tensörüdür [15].

Şekil 3’de ise GnP ve OBC takviyelerinin, rPP matrisinde kullanılmasıyla elde edilen kompozitin homojenizasyonu şematik olarak adım adım gösterilmiştir. Burada takviyelerin geometrileri ve hacim oranları dikkate alınarak, bir kompozitin genel malzeme özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2: Eshelby problemi [15]



Şekil 3: GnP ve OBC için Eshelby problemi ve Homojenleştirme

Takviye malzemesinde kısıtlanmış birim şekil değişimleri tanımlandığı için Eshelby tensörleri ( $S_{ijkl}$ ) Eşitlik (6)’da gösterildiği gibi küçük simetri (Minor Symmetry) koşulunu sağlarken ana simetriyi (Major Symmetry) sağlamaz [14].

$$S_{ijkl} = S_{jikl} = S_{ijlk}, \quad S_{ijkl} \neq S_{klij} \quad (6)$$

Bu çalışmada, küresel ve disk şeklinde takviyeler kullanılmıştır ve bunların Eshelby tensör ifadeleri ise Eşitlik (7) ve (8)'de verilmiştir. Küresel takviyeler için;

$$\left(\frac{x'}{a}\right)^2 + \left(\frac{y'}{b}\right)^2 + \left(\frac{z'}{c}\right)^2 \leq 1 \quad (7)$$

$$S_{ijkl} = \frac{5\nu_0 - 1}{15(1 - \nu_0)} \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{4 - 5\nu_0}{15(1 - \nu_0)} (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \quad (8)$$

Eşitlik (7)'de a, b ve c ifadeleri x', y' ve z' doğrultularındaki boyutu göstermektedir. Küresel takviyeler için a = b = c alınarak Eşitlik (8)'deki gibi  $\delta_{ij}$  Kronecker deltası ve  $\nu_0$  matrisin Poisson oranı yardımıyla kompakt Eshelby tensörü ifadesi yazılır. Daha anlaşılır olması için bu ifadeyi açarsak Eşitlik (9-11) elde edilir [14].

$$S_{1111} = S_{2222} = S_{3333} = \frac{7 - 5\nu_0}{15(1 - \nu_0)} \quad (9)$$

$$S_{1122} = S_{1133} = S_{2211} = S_{2233} = S_{3311} = S_{3322} = \frac{5\nu_0 - 1}{15(1 - \nu_0)} \quad (10)$$

$$S_{1212} = S_{2323} = S_{3131} = \frac{4 - 5\nu_0}{15(1 - \nu_0)} \quad (11)$$

Takviye malzemelerinin madeni para veya disk şeklinde olması durumunda ise a = b ≠ c alınarak Eşitlik (12-18)'deki gibi Eshelby tensörünün matris elemanları elde edilir [14].

$$S_{1111} = S_{2222} = \frac{\pi(13 - 8\nu_0) c}{32(1 - \nu_0) a} \quad (12)$$

$$S_{3333} = 1 - \frac{\pi(1 - 2\nu_0) c}{4(1 - \nu_0) a} \quad (13)$$

$$S_{1122} = S_{2211} = \frac{\pi(8\nu_0 - 1) c}{32(1 - \nu_0) a} \quad (14)$$

$$S_{1133} = S_{2233} = \frac{\pi(2\nu_0 - 1) c}{8(1 - \nu_0) a} \quad (15)$$

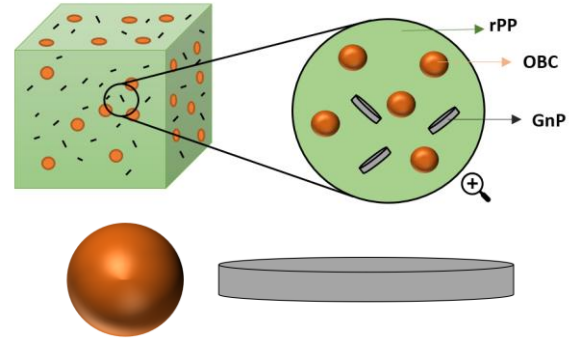
$$S_{3311} = S_{3322} = \frac{\nu_0}{(1 - \nu_0)} \left( 1 - \frac{\pi(4\nu_0 + 1) c}{8\nu_0 a} \right) \quad (16)$$

$$S_{1212} = \frac{\pi(7 - 8\nu_0) c}{32(1 - \nu_0) a} \quad (17)$$

$$S_{3131} = S_{2323} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\pi(\nu_0 - 2) c}{4(1 - \nu_0) a} \right) \quad (18)$$

Yukarıdaki ifadelerin yanı sıra diğer geometrilerdeki takviyeler için ifadeler literatürde bulunmaktadır.

Şekil 4'te disk ve küre şeklinde modellenen sırasıyla GnP ve OBC takviyelerinin matrisle birlikte oluşturduğu kompozite ait küp şeklinde bir hacim elemanı gösterilmiştir.

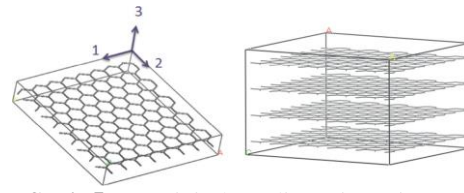


Şekil 4: Küresel ve disk şeklinde modellenen takviye malzemeleri

#### 1.4. Mori-Tanaka (MT) Modeli

MT modeli, kompozitlerin makro boyuttaki özelliklerinin tahmin edilmesi için John D. Eshelby tarafından oluşturulan dönüşüm tensörlerini kullanılır. Bu model kullanılarak kompozitin mekanik özellikleri analitik ve kapalı bir şekilde hesaplanabilir. Bu yöntem her zaman her takviye malzemesi için uygun olmasa da analitik ve kapalı çözümler sunması, daha kesin sonuç ve daha kolay işlemler sağlaması nedeniyle partikül tipi takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin hesaplanmasında avantaj sağlar [16].

MT modeli, matris ve takviye malzemesinin öz niteliklerini kullanarak mikromekaniğe dayalı özellikleri belirlemek için dördüncü dereceden tensörleri kullanan bir tekniktir. Bu işlem için matrisin ve takviyelerin üç boyutlu elastik özellikleri gereklidir. Öte yandan GnP'ler, iki boyutlu ve enine izotropik (transversely isotropic) malzeme olarak sınıflandırılır [17].



Şekil 5: GnP için koordinat sistemi [17]

GnP'lerin  $x_1 - x_2$  düzleminde olduğu varsayılırsa, Şekil 5'te gösterildiği gibi  $x_3$  eksenine dik olarak kabul edilirler. GnP'nin elastik davranışı; elastisite modülü  $E_1$  ve  $E_3$ , kayma modülü  $G_{13}$ , Poisson oranları  $\nu_{12}$  ve  $\nu_{13}$  olmak üzere beş bağımsız parametre ile modellenmektedir. Moleküler Dinamik (Molecular Dynamics) yardımıyla hesaplanmış bu parametre değerleri, bu çalışmada kullanılan GnP'ye benzer özelliklerde olacak şekilde literatürden bulunmuştur [17]. Hill Parametreleri k, l, n, m ve p'nin yardımıyla, GnP'nin dördüncü dereceden katılık matrisleri büyük ölçüde basitleştirilmiştir [17].

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{ij}, \quad \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{44} \\ \sigma_{55} \\ \sigma_{66} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k+m & k-m & l & 0 & 0 & 0 \\ k-m & k+m & l & 0 & 0 & 0 \\ l & l & n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ 2\varepsilon_{44} \\ 2\varepsilon_{55} \\ 2\varepsilon_{66} \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$E_1 = \frac{4m(kn - l^2)}{(k+m)n - l^2}, \quad E_3 = n - \frac{l^2}{k}, \quad G_{13} = p \quad (20)$$

$$v_{12} = \frac{(k-m)n - l^2}{(k+m)n - l^2}, \quad v_{31} = \frac{l}{2k} \quad (21)$$

Burada  $\sigma_{ij}$  gerilme tensörü,  $\varepsilon_{ij}$  birim şekil değiştirme tensörü ve  $C_{ijkl}$  dördüncü derece elastik katılık matrisidir. Eşitlik (19-21)'de görüldüğü gibi GnP'nin elastik özellikleri kullanılarak katılık matrisleri hesaplanmıştır.

Ayrıca,  $E_1=0,77 \times 10^6$  MPa,  $E_3=0,4 \times 10^6$  MPa,  $G_{13}=7 \times 10^3$ MPa,  $v_{12}=0,03$  alınarak Hill Parametreleri hesaplanmıştır [17].

$$k = \frac{E}{2(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad l = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (22)$$

$$m = p = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad n = \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (23)$$

Matris ve diğer takviye malzemeleri için katılık matrisi; Eşitlik (22) ve (23) kullanılarak Elastisite modülü E ve Poisson oranı  $\nu$  yardımıyla hesaplanmıştır [17]. Bu çalışmada malzemenin birden fazla takviye malzemesi olduğu için MT formülü Eşitlik (24-26) verilmiştir [18].

$$C^{MT} = C^m + \sum_{\alpha=1}^M c_{\alpha} (C^{\alpha} - C^m) A^{\alpha} \quad (24)$$

$$A^{\alpha} = A_m^{\alpha} [c_m I + \sum_{\beta=1}^M c_{\beta} A_m^{\beta}]^{-1} \quad (25)$$

$$A_m^{\alpha} = [I + S^{\alpha} (C^m)^{-1} (C^{\alpha} - C^m)]^{-1} \quad (26)$$

Burada  $A_{\alpha}$  deformasyon konsantrasyon tensörü,  $C_i$  katılık matrisleri,  $c_i$  ağırlıklı yüzde,  $I$  birim matris,  $S_{\alpha}$  ise Eshelby tensörlerini ifade etmektedir. Katılık matrislerini ve Eshelby tensörünü hesaplamada kullanılan Eşitlik (6-26)'da açıkça ifade edilmiştir. MT modeli ile Eşitlik (24)'te görüldüğü gibi kompozit malzemenin elastik davranışına ait dördüncü dereceden katılık matrisi elde edilir.  $C_{MT}$  katılık matrisinin tersi alınır Eşitlik (27)'den görüleceği gibi kompozit malzemenin mühendislik katsayıları elde edilir [19].

$$C^{MT^{-1}} = \begin{pmatrix} 1 & -v_{21} & -v_{31} & 0 & 0 & 0 \\ E_{11} & E_{21} & E_{31} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{v_{12}}{E_{12}} & \frac{1}{E_{22}} & -\frac{v_{32}}{E_{32}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{v_{13}}{E_{13}} & -\frac{v_{23}}{E_{23}} & \frac{1}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{pmatrix} \quad (27)$$

$$E_{11} = 1/C_{11}^{MT^{-1}}, \quad E_{22} = 1/C_{22}^{MT^{-1}}, \quad E_{33} = 1/C_{33}^{MT^{-1}} \quad (28)$$

$$G_{23} = 1/C_{44}^{MT^{-1}}, \quad G_{31} = 1/C_{55}^{MT^{-1}}, \quad G_{12} = 1/C_{66}^{MT^{-1}} \quad (29)$$

$$v_{12} = -C_{12}^{MT^{-1}}/C_{11}^{MT^{-1}}, v_{13} = -C_{13}^{MT^{-1}}/C_{11}^{MT^{-1}}, v_{23} = -C_{23}^{MT^{-1}}/C_{22}^{MT^{-1}} \quad (30)$$

Eşitlik (28-30)'da kompozit malzemenin elastisite modülü, kayma modülü ve Poisson oranlarını elde etmek için kullanılan ifadeler verilmiştir.



Şekil 6: MT modeli akış diyagramı

Şekil 6'da yapılan işlemlerin daha anlaşılır olması için akış diyagramı verilmiştir. Hacimsel oranları, elastisite modülü ve Poisson oranları yardımıyla matris ve takviyelerin katılık matrisi ve Eshelby tensörleri bulunur. Eşitlik (23)'teki MT modeli yardımıyla kompozitin homojen haldeki elastik davranışına ait dördüncü dereceden katılık matrisi elde edilir ve son olarak da bu matris yardımıyla mühendislik katsayıları elde edilir.

### 1.5. Öz-Uyumlu (SC) Model

SC modeli, kompozit malzemelerin elastik davranışını incelemek için MT gibi analitik ve yine aynı şekilde Eshelby tensörleri kullanılarak geliştirilen bir yöntemdir. SC modeli Eşitlik (31-33)'te verilmiştir [20].

$$C^{SC} = \sum_{r=0}^{r=\alpha} c_{\alpha} C^{\alpha} A_r^{SC} \quad (31)$$

$$A_r^{SC} = [I + S^{\alpha} C^{SC^{-1}} (C^{\alpha} - C^{SC})]^{-1} \quad (32)$$

$$C^{SC} = C^m + \sum_{r=1}^{r=\alpha} c_{\alpha} (C^{\alpha} - C^m) [I + S^{\alpha} C^{SC^{-1}} (C^{\alpha} - C^{SC})]^{-1} \quad (33)$$

Eşitlik (33)'de görüldüğü gibi SC modeli kapalı bir ifadedir. Bu yüzden hesaplama yapılırken yaklaşık bir ilk değer tahmininde bulunulup iteratif bir şekilde çözüme ulaşılır. Şekil 7'de Öz-Uyumlu model kullanılarak mühendislik katsayılarının elde edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 7: SC modeli akış diyagramı

## II. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Malzeme

Bu çalışmada matris elemanı olarak geri dönüştürülmüş polipropilen (rPP), takviye malzemeleri olarak ise GnP ve OBC kullanılmıştır. Tablo 1-3'te kullanılan malzemelere ait bazı teknik özellikler verilmiştir [21].

Tablo 1: rPP'nin teknik özellikleri

| Özellik   | Değer                  |
|---|------------------------|
| Yoğunluk  | 0,99 g/cm <sup>3</sup> |
| Erime akış indeksi (g/10 dk (2,16 kg @ 190 °C)) | 37,6 g/10 dk           |
| Erime Noktası                                   | 130 °C                 |

Tablo 2. OBC'nin teknik özellikleri

| Özellik   | Değer                   |
|---|-------------------------|
| Elastisite modülü                               | 2,785 MPa               |
| Yoğunluk  | 0,877 g/cm <sup>3</sup> |
| Poisson oranı                                   | 0,48                    |
| Erime akış indeksi (g/10 dk (2,16 kg @ 190 °C)) | 1                       |
| Erime Noktası                                   | 120 °C                  |

Tablo 3. GnP'nin teknik özellikleri

| Özellik           | Değer                  |
|-------------------|------------------------|
| Elastisite modülü | 1 TPa                  |
| Yoğunluk          | 2,25 g/cm <sup>3</sup> |
| Poisson oranı     | 0,20                   |
| Yüzey alanı       | 500 m <sup>2</sup> /g  |
| Plaka çapı        | <2 µm                  |
| Plaka kalınlığı   | 5 nm                   |

OBC, GnP ve rPP kullanılarak, belirlenen ağırlık oranlarında oluşturulan kompozisyon tablosu Tablo 4'te verilmiştir. Bu oranlar literatür taraması yapıldıktan sonra Deney Tasarımı (Design of Experiment) ile elde edilen sonuçlara göre belirlenmiştir [21].

Tablo 4: Kompozisyon tablosu [21]

| Kompozit Kodu | rPP   | OBC | GnP   |
|---------------|-------|-----|-------|
| RPP           | % 100 | -   | -     |
| RO            |       |     | -     |
| ROG2          |       |     | % 0,2 |
| ROG3          |       | % 5 | % 0,3 |
| ROG4          | Denge |     | % 0,4 |

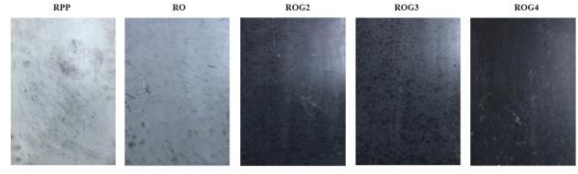
### 2.2. Tasarlanan kompozitlerin imalatı

Kompozit malzemeler geliştirilirken temel düşüncelerden biri, takviye elemanlarının avantajlı özelliklerinden istifade etmektir. Örneğin, mekanik özelliklerde artış için, takviye elemanlarına etkili bir gerilme transferi sağlayabilmek zorunludur. Etkili bir gerilme transferi için ise, takviye elemanları ile matrisin ara yüzey kalitesinin iyi olması ve takviye elemanlarının matris içerisinde homojen olarak dağılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan GnP'lerin üstün özellikleri olmasına rağmen yoğun Van der Waals kuvvetleri ve karbon atomlarının güçlü  $\pi$ - $\pi$  etkileşimlerinden dolayı polimer matrisler içerisinde kümelenmeler meydana gelebilmektedir [22]. Bu durumu elimine etmek ve GnP'lerin matris ile bağlanmasını iyileştirmek için GnP'lere yüzey aktivasyonu işlemi yapılmalıdır. GnP yüzey aktivasyonu, oksidasyon veya polivinilpirolidon (PVP), vinil trimetoksisilan ve nitrik asit gibi kimyasallar yoluyla gerçekleştirilebilmektedir [22].

Bu çalışmada yüzey aktivasyonu işlemi, yüzde 65'lik bir konsantrasyona sahip nitrik asit ile yapılmıştır ve 1 gram GnP 60°C'de 10 ml'lik bir hacimde nitrik asit ile karıştırılmıştır. Karışımın asitliğini gidermek için karışım, distile su ile banyo işlemine tabii tutulmuştur ve sonrasında elde edilen GnP, 80 °C de 4 saat

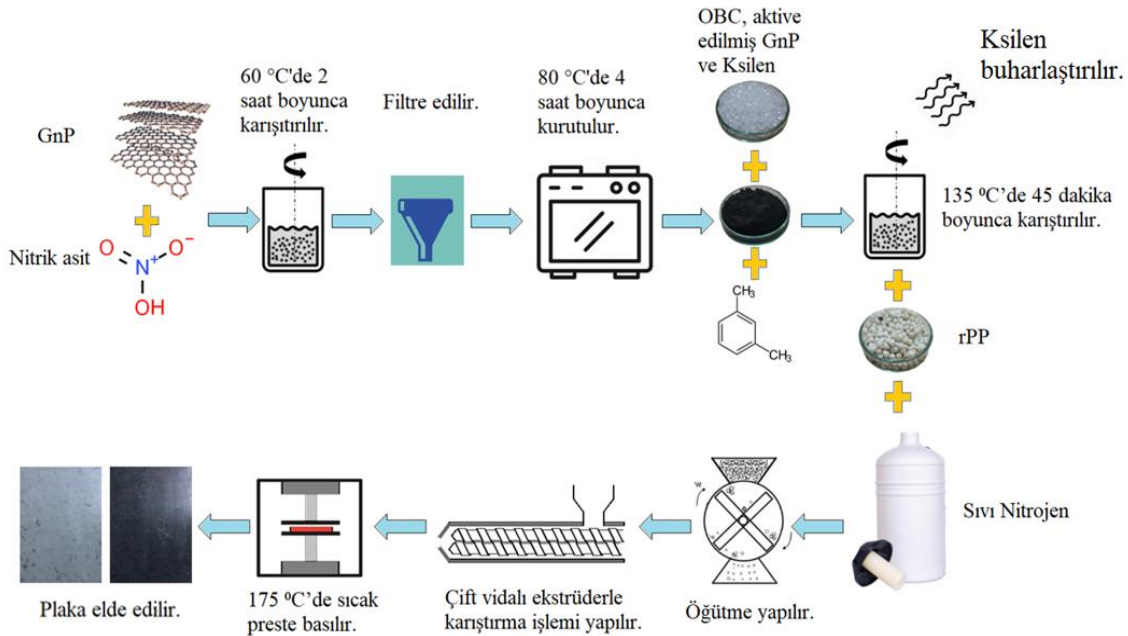
boyunca kurutulmuştur. Yüze aktifasyonunun bir sonucu olarak GnP yüzeyinde yeni fonksiyonel gruplar oluşur ve bu durum GnP'nin matrise daha verimli bir şekilde bağlanmasını sağlar. Bu işlem sonrasında, GnP'nin kompozit içerisinde homojen olarak dağıtılması için öncelikle OBC ile karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, OBC ksilen yardımıyla çözündürülerek istenilen oranlarda homojen GnP ve OBC karışımları elde edilmiştir. Daha sonra, Tablo 4'teki oranlara dikkat edilerek rPP, GnP ve OBC malzemeleri sıvı azot altında yüksek hızlı bir öğütücü ile toz hale getirilmiştir. Toz haline getirilen karışımlar, çift vidalı ekstrüderde filament haline getirilmiş daha sonrasında otomatik kesici yardımı ile küçük granüller haline getirilmiştir. Granül halindeki parçalar sıcak pres yardımıyla mekanik

karakterizasyon testlerinde kullanmak üzere Şekil 8'de görüldüğü gibi plaka haline getirilerek kompozitlerin imalatı tamamlanmıştır.



Şekil 8: Sıcak pres ile elde edilen plaka şeklindeki numuneler (20 cm x 40 cm) [21]

Bu çalışmada izlenen kompozit imalat süreci Şekil 9'da detaylı olarak gösterilmektedir [21].



Şekil 9: Şematik olarak bütün imalat süreçleri [21]

## 2.3. Karakterizasyon

Mekanik karakterizasyon için elde edilen kompozit plaklarından kompozitlerin çekme özelliklerinin tayini için D638-14 standardına uygun bir şekilde su jeti ile test numuneleri elde edilmiştir. Bu süreçlere ait görseller Şekil 10'da verilmiştir.

Çekme deneyleri Shimadzu AG-x 50 kN ile, taramalı elektron mikroskobu gözlemleri ise Tescan Vega 3 SEM ile yapılmıştır.

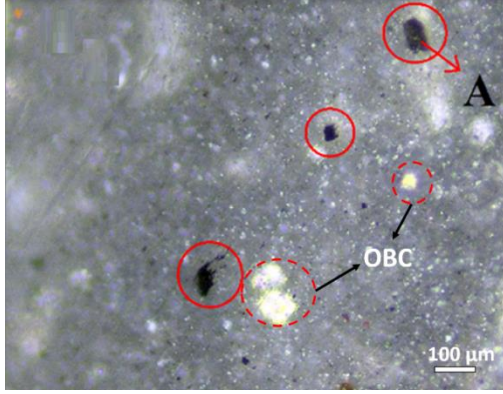


Şekil 10: Su jeti yardımıyla çekme testi numuneleri eldesi

## III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Mekanik Karakterizasyon

Şekil 11, bu çalışmada oluşturulan kompozitlerin genel mikro yapılarını göstermektedir. Kompozit plakalar, gruplar halinde kesitlere ayrılmış ve soğuk bakalitleme yapıldıktan sonra optik mikroskopta mikroyapı incelemesi için parlatılmıştır. Şekil 11'de optik mikroskop incelemesi neticesinde kesikli dairelerin içerisine alınmış beyaz unsurların (Bknz. B) OBC olduğu tespit edilmiştir ve bu doğrultuda OBC'lerin çeşitli boyutlarda olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, birçok noktada açık renkli olarak kompozitin kesidine OBC'lerin yayıldığı görülmüştür. Buna ek olarak, Şekil 11'de kırmızı sürekli daireler içerisinde A ile işaret edildiği üzere bir miktar GnP kümelenmelerine rastlanılmıştır. Daha sonra da belirtileceği üzere, bu kümelenmeler mekanik özelliklerde teorik hesaplamalardan sapmalara neden olmaktadır.



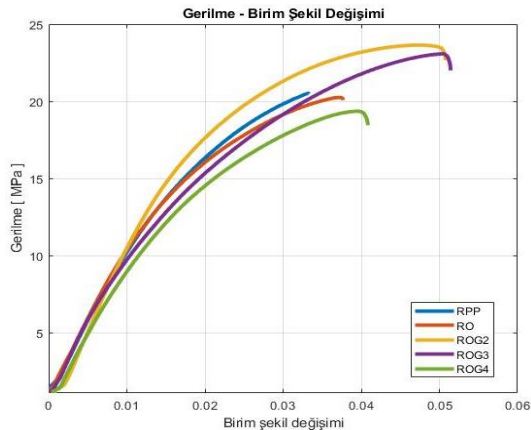
**Şekil 11:** ROG4 örneklerinin mikro yapısı x20 büyütme

Mikroskopik incelemeden sonra, bir sertlik ölçüm cihazı yardımıyla kompozitlerin sertlikleri Shore D skalasında ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Beklenildiği üzere OBC eklentisiyle kompozitlerde sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Çünkü, elastomer grubunun bir üyesi olan OBC, düşük sertliğe sahip kauçuğumsu bir malzemedir. Öte yandan bu düşüş, GnP takviyesi ile ikame edilmiştir. Bunun nedeni, GnP'nin yüksek sertliği ve rijitliğidir. Ancak, grafen oranlarının % 0,3'ün ötesine geçmesiyle muhtemel kümelenmeler nedeniyle sertlik, düşüş eğilimine geçmiştir.

**Tablo 5:** Numunelere ait Shore D sertlik değerleri

| Kompozit Kodu | Sertlik (Shore D) |
|---------------|-------------------|
| RPP           | 68,40 ± 0,44      |
| RO            | 65,33 ± 0,41      |
| ROG2          | 66,86 ± 0,45      |
| ROG3          | 68,00 ± 0,50      |
| ROG4          | 66,30 ± 0,47      |

Sertlik ölçümünden sonra, çekme testleriyle kompozitlerin mekanik karakterizasyonu gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 12'de verilmiştir.



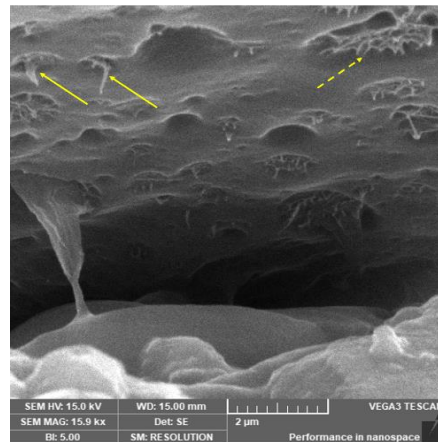
**Şekil 12:** Kompozitlere ait deneysel olarak elde edilen Gerilme – Birim Şekil Değişimi grafiği

Gerilme – Birim Şekil Değişimi grafikleriyle malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışları incelenmektedir. Bu ölçümler sayesinde bir malzemenin elastisite modülü, poisson oranı, akma dayanımı ve yüzde kopma uzaması gibi mekanik özellikleri belirlenebilmektedir. Çekme testinden elde edilen sonuçlarla malzemelerin çekme dayanımı, kopma uzaması ve elastisite modülü belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6:** İmal edilen kompozitlerin çekme testi sonuçları

| Numune Kompozit Kodu | Çekme Dayanımı (MPa) | Elastisite Modülü (MPa) | Kopma Uzaması (mm/mm) |
|----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| RPP                  | 20,89 ± 0,23         | 723,45 ± 32,23          | 0,026 ± 0,0047        |
| RO                   | 20,07 ± 0,14         | 700,82 ± 23,30          | 0,035 ± 0,0021        |
| ROG2                 | 21,75 ± 0,79         | 807,41 ± 32,27          | 0,044 ± 0,0042        |
| ROG3                 | 21,49 ± 0,35         | 801,48 ± 55,01          | 0,045 ± 0,0046        |
| ROG4                 | 17,74 ± 0,73         | 624,74 ± 42,36          | 0,038 ± 0,0036        |

OBC'ler büyük deformasyona uğrayabilen kopolimerler olduğundan kompozitlerin uzamasını artırabilmektedir [24]. Bu durumun bir sonucu olarak, OBC'ler rPP'lerin kopma uzamasını % 35 oranında arttırmışlardır. Öte yandan 8 OBC'lerin dayanımları termoplastiklere oranla düşüktür. Bu nedenle rPP ve RO numunelerine baktığımızda çekme dayanımı azalmıştır. Bu düşüşü kompanse etmek için GnP takviyesi yapılmıştır. GnP'nin ilavesiyle ROG2 ve ROG3 numunelerinin çekme dayanımı yaklaşık %10, elastisite modülü %15, kopma uzaması da %25 oranında artmıştır, bu durumda GnP'lerin üstün mekanik özelliklerinin katkısı büyüktür [25]. Ancak ROG4 numunesindeki çekme dayanımı düşüşünün, Şekil 11'da da gösterilen aglomerasyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir [26]. Ayrıca ROG4 grubuna ait bir numunenin kırılma yüzeyi de taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş ve Şekil 12'de verilmiştir.



**Şekil 13:** ROG4 grubuna ait bir numunenin SEM ile kırılma yüzeyini incelenmesi

Şekil 13'te sarı düz oklarla kırılma yüzeyine yayılan tekil GnP'ler gösterilirken kesikli çizgilerle ise kümelenmiş GnP'lere rastlanmıştır. GnP kümeleri malzeme içerisinde efektif stres transferi yerine stres konsantrasyonuna neden olarak prematüre kırılmalara yol açmaktadır.

### 3.2. Matematiksel Model Sonuçları

Bölüm 1.4 ve 1.5'te verilen ifadeler ve formülasyonlar kullanarak analitik olarak kompozitlerin elastik özellikleri modellenmiştir ve MATLAB® symbolic toolbox kullanılarak mühendislik katsayıları tahmin edilmiştir. MT ve SC modeli kullanarak elde edilen analitik sonuçlar Tablo 7 ve 8'de verilmiştir.

**Tablo 7:** MT modeli ile elde edilen mühendislik katsayıları (MPa)

| Kompozit Kodu | $E_{11}$ | $E_{22}$ | $E_{33}$ | $G_{23}$ | $G_{12}$ | $G_{13}$ | $\nu_{12}$ | $\nu_{13}$ | $\nu_{23}$ |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|
| RO            | 635,5    | 635,5    | 635,5    | 224,1    | 224,1    | 224,1    | 0,4177     | 0,4177     | 0,4177     |
| ROG2          | 763,6    | 763,6    | 689,1    | 254,8    | 224,3    | 224,3    | 0,3863     | 0,437      | 0,437      |
| ROG3          | 827,4    | 827,4    | 714,1    | 270,2    | 224,3    | 224,3    | 0,3737     | 0,4442     | 0,4442     |
| ROG4          | 890,9    | 890,9    | 738,0    | 285,6    | 224,4    | 224,4    | 0,3626     | 0,4503     | 0,4503     |

**Tablo 8:** SC modeli ile elde edilen mühendislik katsayıları (MPa)

| Kompozit Kodu | $E_{11}$ | $E_{22}$ | $E_{33}$ | $G_{23}$ | $G_{12}$ | $G_{13}$ | $\nu_{12}$ | $\nu_{13}$ | $\nu_{23}$ |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|
| RO            | 631,0    | 631,0    | 631,0    | 223,0    | 223,0    | 223,0    | 0,413      | 0,413      | 0,413      |
| ROG2          | 779,0    | 779,0    | 690,0    | 256,0    | 223,0    | 223,0    | 0,374      | 0,440      | 0,440      |
| ROG3          | 874,0    | 874,0    | 723,0    | 274,0    | 224,0    | 224,0    | 0,352      | 0,456      | 0,456      |
| ROG4          | 988,0    | 988,0    | 759,0    | 293,0    | 224,0    | 224,0    | 0,328      | 0,473      | 0,473      |

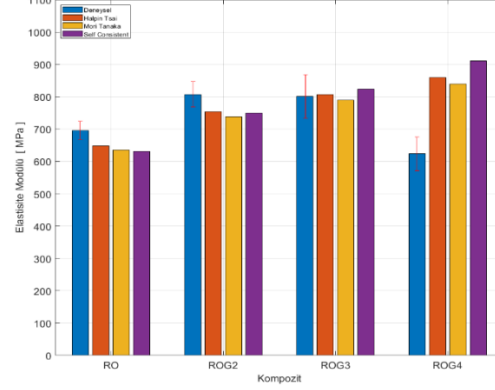
Analitik hesaplamalar yapılırken  $E_{rPP} = 1100$  MPa,  $\nu_{rPP} = 0,43$ ,  $E_{OBC} = 2,7854$  MPa,  $\nu_{OBC} = 0,48$ ,  $E_{GnP} = 1$  TPa ve  $\nu_{GnP} = 0,2$  olarak alınmıştır.

Deneyel sonuçlar ile mikromekanik model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 14 ve Şekil 15'te verilmiştir. RO, ROG2 ve ROG3 numunelerinin HT, MT ve SC modelleri kullanılarak elde edilen nümerik sonuçlarının deneyel sonuçlarla çok büyük bir tutarlılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum kullanılan mikromekanik modellerin, nano takviyeli kompozitler için belirlenen ağırlık oranlarında önemli yakınlıkta avantajlı sonuçlar sağladığını göstermektedir.

Ancak ROG4 sonuçlarında hata oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bunun temel sebebinin, GnP oranının artışıyla van der Waals kuvvetlerinin

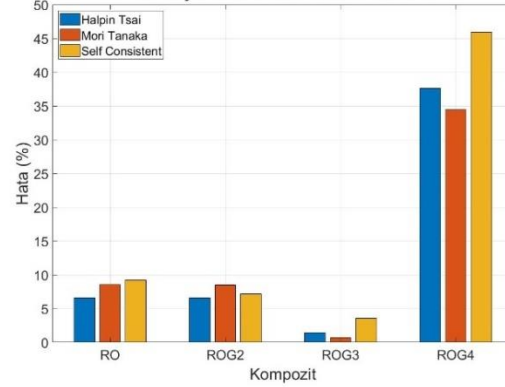
yoğunlaşarak aglomerasyonların yeterli düzeyde önlenememesi olduğu düşünülmektedir.

**Deneyel Sonuçlarla Matematiksel Model Sonuçlarının Karşılaştırılması**



**Şekil 14:** Kompozitlere ait deneyel ve matematiksel olarak elde edilen elastisite modüllerinin karşılaştırılması

**Deneyel Sonuçlarla Matematiksel Model Sonuçları Arasındaki Hata Oranları**



**Şekil 15:** Kompozitlere ait deneyel ve matematiksel elastisite modüllerinin hata oranlarının karşılaştırılması

## IV. SONUÇ

Tek kullanımlık maske ve tulumların geri dönüştürülmesiyle elde edilen malzemelerle imal edilen katma değerli, ekonomik ve çevreci termoplastik kompozitler sürdürülebilir gelişme açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada, kompozitler imal edildikten sonra, deneyel karakterizasyonlar gerçekleştirilmiş ve sonrasında birden fazla takviyeli kompozit malzemelerin HT, MT ve SC analitik modelleri kullanılarak, elastik özellikleri nümerik olarak belirlenmiştir. Çekme deneyi sonuçlarına göre GnP takviyesi kompozitlerin dayanımını ve elastisite modülünü artırırken, OBC ise kompozitlerin kopma uzaması değerlerini iyileştirmiştir. Ancak, GnP miktarının artışıyla mekanik özelliklerde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum yoğun van der Waals kuvvetleri ve  $\pi - \pi$  etkileşimleri sonucunda GnP'lerin kümelenmesi ve heterojeniteye neden olmasıyla



ilişkilendirilmiştir. Bu durum mikromekanik modeller ile deneysel veriler arasında hataların gözlemlenmesine de neden olmaktadır. İmalat süreçleri optimize edildiğinde ve imalat koşulları iyileştirildiğinde bu hataların da azalması öngörülmektedir.

Mikromekanik modeller açısından ise HT, MT ve SC gibi Eshelby tensörlerine dayalı modeller kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerin elastik özellikleri, düşük nano takviye oranlarında deneysel sonuçlarla büyük bir tutarlılık göstermiştir. Bu sonuçlardan hareketle, nano ölçekteki takviyelerin kullanıldığı kompozit malzemelerde bu yöntemlerin avantajlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu modeller sayesinde ön tasarım aşamasında, deney yapmadan mikromekanik tabanlı analitik çözümlenmelerle hem zaman hem de iş gücü tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu sonuç, gelişen teknoloji ve sürekli değişen ihtiyaçların olduğu günümüz için çok umut vericidir. Bu çalışmanın giriş kısmında verilen ve GnP'lere dayalı olarak kendi kendine iyileştirmenin sağlanması, yine yazarlarca diğer bir makalede detaylıca incelenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Ofisi (İTÜ BAPSIS) tarafından MAB-2021-42811 hibesi kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] World Health Organization. "Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages. Geneva: World Health Organization; 2020.[cited 2020 May 8]." (2020).
- [2] K. Selvaranjan, S. Navaratnam, P. Rajeev, N. Ravintherakumaran, Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: a review and potential solutions, *Environ. Challenge*. 3 (2021).
- [3] M.P. Luda, G. Ragosta, P. Musto, D. Acierno, L. Di Maio, G. Camino, V. Nepote, Regenerative recycling of automotive polymer components: poly(propylene) based car bumpers, *Macromol. Mater. Eng.* 288 (2003).
- [4] S.H. Jafari, A.K. Gupta, Impact strength and dynamic mechanical properties correlation in elastomer-modified polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.* 78 (2000).
- [5] Han, S., Zhang, T., Guo, Y., Li, C., Wu, H., & Guo, S., Brittle-ductile transition behavior of the polypropylene/ultra-high molecular weight polyethylene/olefin block copolymers ternary blends: Dispersion and interface design. *Polymer*, 182, (2019).
- [6] Liang, J. Z., Impact fracture behavior and morphology of polypropylene/graphene nanoplatelets composites. *Polymer Composites*, 40(S1), E511-E516, (2019).
- [7] Yunbo, Luan , Gao, Feilong , Li, Yongcun , Yang, Jinglei , Hu, Yinchun , Guo, Zhangxin , Wang, Zhihua , Zhou, Aijuan., Healing Mechanisms Induced by Synergy of Graphene-CNTs and Microwave Focusing Effect for the Thermoplastic Polyurethane Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 106, (2017).
- [8] M. Monti, M.T. Scrivani & V. Gianotti, Effect of SEBS and OBC on the impact strength of recycled polypropylene/talc composites, *Recycling*. 5, (2020).
- [9] S. Yi , S. Xu , Y. Li , W. Gan , X. Yi , W. Liu , Q. Wang , H. Wang & R. Ou, Synergistic toughening effects of grafting modification and elastomer-olefin block copolymer addition on the fracture resistance of wood particle/polypropylene/ elastomer composites, *Mater. Des.* 181, (2019).
- [10] Liang, J.Z., Q. Du, G.C.P. Tsui & C.Y. Tang, Tensile properties of graphene nano- platelets reinforced polypropylene composites, *Compos. Part B Eng.* 95 (2016).
- [11] Liang, J.Z., Effects of tension rates and filler size on tensile properties of polypropylene/graphene nano-platelets composites, *Compos. Part B Eng.* 167, (2019).
- [12] Shokrieh, M. M., Esmkhani, M., Shokrieh, Z., & Zhao, Z., Stiffness prediction of graphene nanoplatelet/epoxy nanocomposites by a combined molecular–micromechanics method. *Computational materials science*, 92, 444-450. (2014).
- [13] Arefi, M., Tabatabaeian, A., & Mohammadi, M., Bending and stress analysis of polymeric composite plates reinforced with functionally graded graphene platelets based on sinusoidal shear-deformation plate theory. *Defence Technology*, 17(1), 64-74, (2021).
- [14] Thorvaldsen, T., "Modelling the elastic stiffness of nanocomposites using the Mori-Tanaka method", (2015).
- [15] MIT, asd *Mean-field homogenization - Massachusetts Institute of Technology*. (n.d.). Retrieved November 24, 2022, from <https://abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAEMATRefM/ap/simamat-c-meanfieldhomogenization.htm>, (2022).
- [16] Kırış, Ahmet. *Hasarlı Malzemelerin Mikro Elastik Teorilerle Modellenmesi Ve Eshelby Tansörleri*. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- [17] Shokrieh, M. M., Esmkhani, M., Shokrieh, Z., & Zhao, Z., Stiffness prediction of graphene nanoplatelet/epoxy nanocomposites by a combined molecular-dynamics–micromechanics method. *Computational materials science*, 92, 444-450, (2014).
- [18] Jain, A., Modified Mori-Tanaka methods for damage modelling of short fibre reinforced

- composites. **In 22nd International Conference on Composite Materials, Melbourne**, (2019).
- [19] Becker, F., & Hopmann, C., Stiffness Estimates for Composites with Elliptic Cylindrical Voids. *Materials*, 13(6), 1354, (2020).
- [20] Kanaun, S. K., & Levin, V., *Self-consistent methods for composites: Vol. 1: Static problems* (Vol. 148). **Springer Science & Business Media**, (2007).
- [21] Okan, C., Kaya, R., Irez, A. B., & Cebe, E., Effect of the Graphene Nanoplatelets (GnPs) on the Mechanical Properties in Recycled PP-Based Hybrid Composites. **In Mechanics of Composite, Hybrid and Multifunctional Materials, Fracture, Fatigue, Failure and Damage Evolution**, Volume 3 (pp. 23-28). Springer, Cham., (2022).
- [22] Yang, W., Jiang, Z., Hu, X., Li, X., Wang, H., & Xiao, R., Enhanced activation of persulfate by nitric acid/annealing modified multi-walled carbon nanotubes via non-radical process. *Chemosphere*, 220, 514-522, (2019).
- [23] Irez, A. B., Okan, C., Kaya, R., & Cebe, E., Development of recycled disposable mask based polypropylene matrix composites: Microwave self-healing via graphene nanoplatelets. *Sustainable Materials and Technologies*, e00389, (2022).
- [24] G. Liu, X. Zhang, X. Li, H. Chen, K. Walton, D. Wang, Correlation of miscibility and mechanical properties of polypropylene/olefin block copolymers: effect of chain composition, *J. Appl. Polym. Sci.* 125, (2012).
- [25] Jun, Y. S., Um, J. G., Jiang, G., & Yu, A., A study on the effects of graphene nano-platelets (GnPs) sheet sizes from a few to hundred microns on the thermal, mechanical, and electrical properties of polypropylene (PP)/GnPs composites. *Express Polymer Letters*, 12(10), 885-897, (2018).
- [26] Irez, A. B., Bayraktar, E., & Miskioglu, I., Fracture toughness analysis of epoxy-recycled rubber-based composite reinforced with graphene nanoplatelets for structural applications in automotive and aeronautics. *Polymers*, 12(2), 448, (2020).

## Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile E-Ticarette Strateji Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Araştırma

*Strategy Selection in E-Commerce with Multi-Criteria Decision-Making Approach: A  
Research in The Retail Industry*

Emine Elif NEBATI<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34303, İstanbul, Türkiye

### Öz

Değişen dünya koşullarında, teknolojik ilerlemeler ve internetin gelişimi, firmaları içinde buldukları rekabet ortamında e-ticaret faaliyetlerine uyum sağlamak zorunda bırakmıştır. Müşteri ve satıcı arasındaki ticari alışveriş işlemi dijital platformlarda, yer ve zaman fark etmeksizin elektronik şekilde gerçekleştirme işine, e-ticaret denmektedir. Son yıllarda, özellikle perakende sektöründe olan firmalar için online mağaza sisteminin önemi artmış ve birçok firma online mağazacılık sistemine kendilerini entegre etmek zorunda kalmıştır. Dijitalleşmeye ayak uydurabilen birçok firma gerek müşteri kitlesini artırma da gerekse firma varlıklarını sürdürmede büyük başarı sağlamıştır. Bu süreçte, doğru başarı faktörleri ve etkin stratejilerin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, perakende sektöründe e-ticarete etki eden başarı kriterlerinin saptanması, ele alınan firmanın e-ticaret faaliyetleri ile birlikte sürecin değerlendirilmesi ve uygun stratejilerin belirlenmesidir. Uygulama yeri olarak Türkiye'nin perakende sektöründe züccaciye alanında hizmet sunan öncü firmalardan biri belirlenmiştir. Çalışmada, 5 ana kriter ve 15 alt kriter olmak üzere 20 kriter ve 9 strateji belirlenmiştir. Kriter öncelikleri ANP ile belirlenirken, stratejiler TOPSIS, ELECTRE ve VIKOR yöntemleri ile karşılaştırmalı sıralanmıştır. Araştırma bulgularına göre, e-ticaret faaliyetlerini etkileyen en önemli ana kriter ürün iken, alt kriterlerde en önemli kriter, ürün çeşitliliğinin bulunmasıdır. Strateji sıralamasında ise, en önemli strateji "Psikolojik fiyatlandırma Stratejisi" olarak belirlenmiştir. Çalışmanın hem perakende sektörüne hem de literatüre katkı sağlayacağı umulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** E-ticaret, Perakende, Strateji, ÇKVV

### Abstract

In the rapidly changing world conditions, technological advances and the development of the internet have forced companies to adapt to e-commerce activities in the competitive environment. E-commerce is the business of performing the commercial shopping transaction between the customer and the seller on digital platforms regardless of place and time. In recent years, the importance of the online store system has increased especially for companies in the retail sector and many companies have had to integrate themselves into the online merchandising system. Many companies that can keep up with digitalization have achieved great success both in increasing their customer base and in maintaining their company assets. In this process, it is of great importance to determine the right success factors and effective strategies. The aim of the study is to determine the success criteria affecting e-commerce in the retail sector, to evaluate the e-commerce activities and e-commerce process of the company in question, and to determine the appropriate strategies. One of the leading companies providing services in the field of glassware in Turkey's retail sector has been determined as the place of application. In the study, 20 criteria and 9 strategies, including 5 main criteria and 15 sub-criteria, were determined. While criteria priorities were determined by ANP, strategies were ranked in comparison with TOPSIS, ELECTRE and VIKOR methods. According to the results, while the most important main criterion affecting e-commerce activities is the product, the most important criterion in the sub-criteria is the availability of product variety. In the strategy ranking, the most important strategy was determined as " Psychological pricing strategy". It is hoped that the study will contribute to both the retail sector and the literature.

**Keywords:** E-commerce, Retail, Strategy, MCDM

## I. GİRİŞ

Geçmişten günümüze ticaret hayatı çeşitli evrelerden geçmiş yeni buluşlar, icatlar ticaretin değişmesi ve gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Hiç şüphesiz ticaretin ilk devrimi paranın icadıyla gerçekleşmiştir. Paranın icadından önce insanlar takas usulü ile ihtiyaçlarını giderirken, paranın icadıyla birlikte ürün ve hizmetlere değer biçilmeye başlanmış ve bu değer karşılığında altın, gümüş, madeni ve kâğıt para gibi değerlerle takas edilmeye başlanmıştır. 19. Yüzyılın sonlarına doğru sanayinin gelişmesi ile ticaret hayatı hız kazanmış ve devrim niteliğinde yeni buluşlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte internetin icadı, insanlara bilgi ve iletişimde büyük kolaylıklar sağladığı gibi ticaret hayatında da kolaylıklar sağlamaya başlamıştır. Firmaların birbirleriyle iletişimini kolaylaştırmış, firmaların öz yapılarını web sitelerine koymalarıyla insanların firmalar hakkında daha fazla bilgi almasını ve güven endeksinin artmasını sağlamıştır.

**Sorumlu yazar:** Emine Elif NEBATI, Tel:0212 692 89 93, e-posta: [emine.nebati@izu.edu.tr](mailto:emine.nebati@izu.edu.tr)

**Gönderilme:** 22.08.2022, **Düzenleme:** 29.10.2022, **Kabul:** 07.11.2022

İnternetin aynı zamanda bir sosyal ağ olması ve insanların buralardan iletişim kurabilmeleri, firmaları da interneti daha etkin kullanmaya yönlendirmiştir. Bu durum e-ticaretin doğmasına, firmaların ürün tanıtımını internet üzerinden daha fazla müşteriye ulaştırabilmesine imkân sağlamıştır. Özellikle son zamanlarda sosyal medya kullanımında yoğun bir artış olması ile insanların online alışverişe olan ilgisi giderek artmıştır [1]. Firmalar müşterilerine daha çok ulaşmak istemektedir. Bu durum, firmaların dijital ortamlarda farklı mecralara yönelmelerine, arama motorları, sosyal medya platformları gibi farklı dijital mecralarda reklamlar vermelerine, burada ki kullanıcı davranışlarını okumak için çeşitli çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Marka savaşlarının yaşandığı günümüz dünyasında firmalar müşterilerine ulaşabilmek, tüketicilerin nezdinden kendilerini konumlandırabilmek ve pazar paylarını arttırabilmek için e-ticareti tercih etmek zorunda kalmıştır. [1]. Son dönemde, Covid-19 salgını sonrası, fiziki çalışma ortamları da olumsuz yönde etkilenmiştir. Karantina süreçleri ve mağazalardan kısıtlı alışveriş imkanlarının olması gibi durumlardan dolayı insanlar online platformlardan alışveriş yapmayı daha çok tercih etmeye başlamıştır. Bu sebeple özellikle perakende sektöründe olan firmalar için online mağaza sisteminin önemi artmış ve birçok firma bu süreçte online mağazacılık sistemine kendilerini entegre etmek zorunda kalmıştır. Dijitalleşmeye ayak uydurabilen birçok firma, gerek müşteri kitlesini arttırma da gerekse firma varlıklarını arttırmada büyük başarı kaydetmiştir. Uyum sağlayamayan firmalar ise, çeşitli zorluklar ve ekonomik çöküşler ile yüzleşmiştir. Rekabetin yoğun olduğu bu süreçte, firmalar rekabette avantajlı olabilmek için birtakım arayışlara yönelmiştir. Nasıl ki fiziki piyasada güvenilirlik, marka değeri, kalite vb. kriterler firmaların ön plana çıkmasını sağlamakta ise, aynı şekilde e-ticarette de birtakım faktörler firmaların bu yoğun rekabet ortamında ön plana çıkıp ürünlerini rahatlıkla satmalarını sağlayabilmektedir. E-ticarette tüketicilerin beklediği kriterler baz alınarak belirlenen bu faktörler; başta güvenilirlik, hızlı teslimat, ürün çeşitliliği, satış sonrası hizmetler ve fiyat vb.dir. Burada firmaların karşılaştığı diğer bir sorun da bu başarı kriterlerin hangisine daha fazla yönelmeleri nasıl bir strateji belirlemeleri ve bu stratejiler belirlerken neye göre hangi yöntemleri kullanarak karar vermeleri gerektiğidir. Çalışmanın motivasyon kaynağı, e-ticarette satışları arttıracak çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte, pazarlama stratejilerinin doğru yapılması çok önemlidir. Böylece, doğru ürünlerde etkili bir stratejiye sahip olmak, tüketicilere daha iyi ulaşabilmeyi ve de onlara daha çok ürün satabilmeye imkân sağlayacaktır.

Bu çalışmada yazındaki çalışmalar ve sektör araştırmalarından faydalanılarak belirlenen kriterlerin ve stratejilerin perakende sektöründeki bir züccaciye firmasının e-ticaret faaliyetleri için değerlendirilmesi

yapılmıştır. Çalışma kapsamında, literatür taraması yapılmış, karar verici görüşlerine başvurulmuş ve 5 ana ve 15 alt kriter olmak üzere toplamda 20 e-ticarete etki eden başarı kriteri belirlenmiştir. Alternatif olarak ise, bu kriterlerle uyumlu ve ilişkilendirilmiş, 9 strateji seçilmiştir. Çalışma ile e-ticaret sektöründe başarı sağlanması için gerekli kriterler ANP yöntemi ile önceliklendirilmiş, sonraki adımda belirlenen 9 strateji TOPSIS, VIKOR, ELECTRE yöntemleri karşılaştırmalı sıralanmıştır. Yazında, e-ticaret alanındaki başarı faktörlerini ve stratejilerini birden fazla çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirmeye alan güncel çalışma sayısının kısıtlı olması bu çalışmayı önemli kılmakta ve yazına katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Çalışmada önerilen yaklaşımın tercih sebepleri sıralanacak olursa; ANP yöntemi karar problemlerini bir ağ yapısı modelleyerek sunar. Model kurulum aşamasında kriterler arasındaki bağımlılıklar göz önünde bulundurulur. Böylece, karar problemlerinin daha gerçekçi ve etkin çözümü sağlanabilir [2]. ELECTRE metodu, alternatif stratejilerin hepsi için tek tek tanımlanan; uyum ve uyumsuzluk indeksinin değerlendirilmesine dayandırılmış bir yöntemdir [3]. VIKOR, grup faydasını maksimize eden ve zıt görüşlerin pişmanlığını minimize etmeye çalışan bir yöntemdir. TOPSIS yöntemi ise, çözüm alternatiflerinin pozitif ideal çözüme en kısa mesafesini; negatif ideal çözüme ise en uzak mesafesinin bulunması mantığıyla ortaya çıkmıştır [4]. Ayrıca önerilen metodolojinin güvenilirliği yazındaki çeşitli çalışmalar ile destek almıştır [5-11]. Önerilen metodolojinin yazında çeşitli kaynaklarda tercih edildiği görülmekle birlikte, e-ticaret ve perakende gibi güncel alanda kısıtlı çalışmanın olduğu söylenebilir. Çalışmanın bu yönüyle, hem literatür katkılarıyla kaynak niteliğinde önem arz etmekte gerek yapılacak yeni çalışmalara gerekse e-ticaret sektörüne giriş yapmak isteyen firmalara yol göstereceği düşünülmektedir.

Çalışmanın ikincisi kısmında, yapılan literatür incelemesi verilerine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, önerilen metodoloji kapsamında, çalışmada kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden, ANP, TOPSIS, VIKOR ve ELECTRE yöntemleri kavramsal çerçeve içerisinde değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmanın uygulama mantığını, sunulan model önerisini ve her bir yöntem için uygulama adımlarına yer verilmiştir. Son bölümde ise, sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

## II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, ulusal ve uluslararası yazın kapsamında e-ticaret, e-ticarete etki eden faktörler, e-ticarette kullanılan stratejiler ve önerilen metodoloji dikkate alınarak araştırma yapılmıştır. 2007-2021 yılları arasındaki çalışmalar kısaca özetlendiğinde,

[12] Fuzzy Topsis yöntemi ile websitelerini, tüketici beğenisiyle sıralamayı hedeflemişlerdir. Karar kriterleri olarak site, dizayn, ürün çeşitliliği ve bilgi yoğunluğu alınmıştır. [13] E-ticarete etki eden başarı faktörlerini ele almış, Türkiye’de faaliyet gösteren 81 büyük ölçekli firmada yöneticilere anket uygulamış, anket sonuçları çoklu regresyon analizi ile rekabet ve müşteri baskısının, teknoloji entegrasyonunun önemli etkileri olduğu saptanmıştır. [14], e-ticareti etkileyen en önemli faktörün internet olduğunu ortaya koymuştur. [15] Özel sektörde veya kamuda yer alan e-hizmetler ile alakalı sorunları, aksaklıkları ve başarıları incelemiştir. Çalışmada perakende alanında bulunan bin firmaya bir anket uygulanmıştır. Anket çalışmasının sonuçlarına göre özel sektörde yer alan işletmeler e-ticaret yapıyor olmalarına rağmen, bu alandaki yasal düzenlemelerin ve devletin sağladığı maddi ve eğitim teşvikinin yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla Türkiye’de e-dönüşüm altyapısının yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. E-dönüşüm alanındaki eksikliklerini tamamlamış bir devletin, başarılı e-ticaret faaliyetleri için ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır. [16] E-ticarete faaliyet gösteren firmaların entelektüel sermaye unsurlarının görünümünü ayırt edebilmek amaçlanmıştır. Firmanın e-ticaret yapısının müşteri, yapısal ve insan değerlerini daha iyi anlamak ve ağ ekonomisi kapsamında geliştirmek gerektiği vurgulanmıştır. [17] E-ticarete başarı faktörlerini ele aldıkları çalışmalarında, etkili olan başarı faktörlerinin işletme içi, işletme dışı ve teknoloji olarak 3 ana grupta toplanabileceğini ifade etmişlerdir. Başarı faktörlerinin işletmenin yer aldığı sektör, işletmenin kapasitesi ve faaliyet gösterdiği ülkeye göre değişiklik gösterebileceğinden söz etmişlerdir. [18] Türkiye’de, 2010 yılında, cirosu en yüksek ilk 10 e-ticaret firmasının web ve sosyal ağ sitelerini içerik analizi yöntemi ile incelemiştir. [19] çalışmasında tüketicilerin ne istediklerini, onları nelerin memnun edebileceğini belirlemek için, e-ticaret kullanıcılarının davranışlarını veri madenciliği ile incelemiştir. Verileri elde etmek için bir anket çalışması yapmıştır. Elde ettiği verileri, SPSS Clementine Veri Madenciliği programı ve SPSS İstatistik Programı ile incelemiştir. Çalışmada birliktelik kuralı ve kümeleme yaklaşımı yaklaşımlarını tercih etmiştir. [20] E-ticarete faaliyet gösteren firmaların müşterilerinin satın almada karar sürecini incelemiştir. Avusturya ve Türkiye’de bulunan 16 adet e-ticaret müşterisiyle görüşülmüş ve böylece farklı ülkelerden vatandaşların satın alma karar süreci arasındaki benzerlik ve farklılıklar incelenmiştir. Değerlendirilen faktörler kullanılabilirlik, fiyat uygunluğu, erişilebilirlik, maliyet, kolaylık, rahatlık ve hızdır. [21] E-ticaretteki müşterilerin satın alma tercihleri ve davranışlarındaki etkileri incelemiştir. E-ticaret müşterilerinden son bir yılda alışveriş yaptıkları e-ticaret sitesini değerlendirmelerini istemiştir. Anket 373 kişiye uygulanmıştır. Analiz kısmında geçerlilik ve güvenilirlik analizlerinden yararlanılmış, sonrasında

ise basit ve çoklu regresyon analizleri kullanılmıştır. [22] E-ticaretteki ergonomik hususlar kapsamında, kullanıcıların en çok online alışverişi diledikleri zamanda gerçekleştirebilmesi, e-ticaretin ürün çeşitliliği sunması, iade ve satış sonrası hizmetleri gibi konuları incelemiştir. Ayrıca, online alışveriş yapan kadın müşterilerin detayları çok daha önemseydiğini ve bu sebeple ürünlerin beklentileri karşılama oranının kadın müşterilerde daha az olduğunu tespit etmişlerdir. [23] Firmalar için uygun marka stratejilerini değerlendirmişlerdir. [24] E-ticaret faaliyetinde bulunan işletmelerin lojistik firma seçiminde, ÇKVY tekniklerinden AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. [25] E-ticaret sitesi için tavsiye sistemi çalışması yapılmıştır. İlk olarak e-ticaret ile alakalı web sitelerinden verileri almıştır ve alınan verilere işbirlikçi öneri sistemi, içerik tabanlı öneri sistemi ve hibrit öneri sistemi uygulayarak bir tavsiye modeli oluşturmuştur. Elde ettiği sonuçları inceleyerek en iyi sonucu sunan algoritma modelini belirlemiştir. Belirlenen model bir web servis arayüzüne dönüştürülmüştür. [26] E-ticaret yapan firmaların; müşterilerin satın alma üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ayrıca memnuniyet, sadakat, kullanım kolaylığı, güven üzerindeki etkilerinin de araştırılmasını hedeflemiştir. Anket çalışması ile toplanılan veriler, yapılan analizler doğrultusunda ayrıntılı olarak açıklanmıştır. [27] Pazar araştırmasının e-ticaretteki öneminden bahsetmiş ve pazar araştırması yöntemlerini açıklamışlardır. Bunun yanında e-ticaret için uygulanabilecek olan SWOT analiziyle alakalı bilgi vermiş ve e-ticaret kavramının SWOT analizini bir tablo yardımıyla çıkarmaya çalışmışlardır. [28] E-perakendecilik sektöründe firmanın yaşam döngüsünü etkileyen faktörleri incelemiş ve e-perakende yaklaşımlarını sınıflandırmıştır. 1970-2018 yıllarına ait yaşam döngüsü ve e-perakende yaşam döngüsü çalışmalarını inceleyerek, e-perakende yaşam döngüsü değişkenlerini oluşturmuştur. [29] E-ticarete uygulanacak stratejilerin öneminden, müşteri sadakati için bu stratejilerin kritik rol oynamasından söz etmiştir. E-ticaret sitesinden aldığı satış ve işlem tutarları, siteye gerçekleştirilen ziyaretçi sayısı, iade ve şikayet sayılarına kümeleme analizi gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, müşteri sadakati oluşturulacak müşteri kitlelerini saptamayı amaçlamıştır. [30] E-ticaret sitelerinin kullanılabilirliğine dair yaptıkları çalışmada, Türkiye’de en çok kullanılan 3 e-ticaret sitesini ele almıştır. Kullanılabilirlik için belirledikleri ölçütlerden bazıları, sayfa tasarımı, etkin ve tutarlı site içeriği şeklindedir. Sitedeki veri girişlerinin kullanıcılara kendilerini önemli hissettirdiği, sitedeki sıkça sorulan sorular kısmının daha az önem arz ettiği belirtilmiş ve e-ticaret sitelerindeki tutarlılığın, bağlantıların iyi düzenlenmesi önerilmiştir. [31] Türkiye ve Avrupa ülkelerinde e-ticaretin belirleyicilerini araştırmaktır. 2004-2015 dönemi için e-ticareti etkileyen faktörlerin makro değişkenler kullanılarak değerlendirilmesi için panel veri analizi metodu kullanılmıştır. Sonuçlara

göre, internet kullanıcıları, kişi başına düşen GSYİH, enflasyon ve eğitim düzeyine göre istihdam oranlarının e-ticaret üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür. [32] E-perakende de hizmet sunan bir işletme için, hizmet kalitesinin, marka değerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, regresyon analizi kullanılarak, e-ticaret hizmet kalitesinin marka değeri üzerinde %44,3 oranında bir etkisi olduğu gözlenmiştir. [33] Öncelikle dijital pazarlama ve arama motoru pazarlamasıyla alakalı bilgiler verdikten sonra, Google firmasının sunduğu AdWords pazarlama ürünü ve Türkiye'deki uygulamasını inceleyerek analizlerde bulunmuştur. [34] Hazır giyim sektöründe yer alan beş markanın sosyal medya hesaplarında benimsedikleri pazarlama stratejilerini incelemiştir. Verilerin elde edilmesinde içerik analizi tekniği, değerlendirilmesinde sıralama, tablolama, gruplama, yüzde istatistik, verilerin analizinde frekans, grafikte betimleme ve ortalama teknikleri kullanılmıştır. İnceleme sonucunda facebook, instagram, youtube, pinterest ve linkedin gibi sitelerin takipçi sayılarını artırarak pazarlama sayılarını arttırmaya yönelik çalışmalar yaptıkları gözlemlenmiştir ve bu kapsamda reklam ve tanıtım içeriği paylaştıkları görülmüştür. [35] E-ticaret alanında müşteri memnuniyetini etkileyen faktörleri araştırmış, 4 ana ve 14 alt kriter belirlemiştir. Anket yöntemi ile karar verici görüşleri saptanarak, elde edilen veriler AHS yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, önem ağırlıklarına göre kriterler sırası ile ürün, kullanıcı deneyimi, müşteri ilişkileri ve lojistik olduğu sonucuna varılmıştır. [36] E-ticaret sitelerinin kullanılabilirliğini ve başarısını etkileyen faktörleri belirlemiştir. Araştırmaya ait veriler 418 öğrenci ile yüz yüze görüşülerek elde edilmiş ve SPSS 20.00 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir.

[37] E-ticaret müşterilerinin websitelerine duydukları güveni etkileyen unsurları tespit etmiş ve bu güvenin müşteri sadakatine dönüşme etkisini incelemiştir. [38] Müşteri ziyaret bakımından en yoğun 10 siteyi ele almıştır. Bu 10 e-ticaret sitesini kullananlara uyguladığı anket sonuçlarını, AHP ve TOPSIS yöntemleriyle analiz ederek, e-ticaret sitelerinin kullanılabilirlik performansına etki eden faktörleri belirlemiştir. Her müşterinin beklentisinin farklı olması yanı sıra, gizlilik ve güvenlik ilkesinin herkes için önem arz ettiği, en önemli kriterin ise site içerisindeki navigasyon olduğu sonucu elde edilmiştir. AHP yöntemince en başarılı siteler, N11 ve Hepsiburada iken, TOPSIS yöntemince Sahibinden.com ve Amazon sonucuna ulaşılmıştır [39] E-ticaret iş şekline SWOT analizi uygulamış, pazarın sunduğu fırsat ve tehditleri, piyasanın hangi yönlerden güçlü ve zayıf olduğunu saptamaya çalışmışlardır. [40] Covid-19 pandemisinin ve e-ticaret pazaryeri web sitelerine ait değişkenler arasındaki ilişkilere etkisini incelemiştir. 16 adet e-ticaret pazaryeri web sitesinin pandeminin farklı dönemlerine ait verilerine göre geliştirdikleri model ve hipotezleri kanonik korelasyon analizi yardımıyla test etmişlerdir. [41] Perakende firması için dijital pazarlama stratejisi seçimini ele aldıkları çalışmada ANP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmış, firmaya sosyal medya çalışmalarına ağırlık vermesi gerektiği tavsiye edilmiştir. [42] E-ticaret site tasarımının müşteri memnuniyeti, güveni ve satın alma niyetine olan etkisini araştırmışlardır. [43] E-ticaret web sitelerinin kullanılabilirliğine ilişkin içeriğin tüketici satın alma davranışları ile ilişkisini incelemiştir. İncelenen çalışmalara ait özet bilgiler Tablo 1'de paylaşılmıştır.

**Tablo 1.** E- ticaret hakkında yazında incelenen araştırmalar

| Referans | Çalışma Amacı   | Kullanılan Yöntem       |
|----------|---|-------------------------|
| [12]     | Websitelerini, tüketici beğenisiyle sıralamayı hedeflemişlerdir. Karar kriterleri olarak site, dizayn, ürün çeşitliliği ve bilgi yoğunluğu alınmıştır.  | Fuzzy Topsis            |
| [13]     | E-ticarete etki eden başarı faktörlerini ele almış, Türkiye'de faaliyet gösteren 81 büyük ölçekli firmada yöneticilere anket uygulamış, rekabet ve müşteri baskısının, teknoloji entegrasyonunun önemli etkileri olduğunu saptanmıştır.                                     | Çoklu regresyon analizi |
| [14]     | E-ticareti etkileyen en önemli faktörün internet olduğunu ortaya koymuştur. E ticareti etkileyen önemli faktörler olarak enflasyon, kişi başına düşen GSYİH ve internet değişkenleri tespit edilmiştir.   | Panel Veri Analizi      |
| [15]     | Perakende alanında, özel sektörde veya kamuda yer alan e-hizmetler ile alakalı sorunları, aksaklıkları ve başarıları incelemiştir. E-dönüşüm alanındaki eksikliklerini tamamlamış bir devletin, başarılı e-ticaret faaliyetleri için ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır. | İstatistiksel analiz    |
| [16]     | E-ticarette faaliyet gösteren firmaların entelektüel sermaye unsurlarının görünümünü ayırt edebilmek amaçlanmıştır. Firmanın e-ticaret yapısının müşteri, yapısal ve insan değerlerini daha iyi anlamak ve ağ ekonomisi kapsamında geliştirmek gerektiği vurgulanmıştır.    | Derleme                 |
| [17]     | E-ticarette başarı faktörlerini ele aldıkları çalışmalarında, etkili olan başarı faktörlerinin işletme içi, işletme dışı ve teknoloji olarak 3 ana grupta toplanabileceğini ifade etmişlerdir   | Derleme                 |
| [18]     | Türkiye'de, 2010 yılında, cirosu en yüksek ilk 10 e-ticaret firmasının web ve sosyal ağ sitelerini yöntemi ile incelemiştir.  | İçerik analizi          |

|      |  |   |
|------|--|---|
| [19] | Çalışmasında tüketicilerin ne istediklerini, onları nelerin memnun edebileceğini belirlemek için, e-ticaret kullanıcılarının davranışlarını veri madenciliği ile incelemiştir.   | Veri Madenciliği, istatistiksel analiz  |
| [20] | Avusturya ve Türkiye’de E-ticarette faaliyet gösteren firmaların müşterilerinin satın alma karar sürecini incelemiştir. Değerlendirilen faktörler kullanılabilirlik, fiyat uygunluğu, erişilebilirlik, maliyet, kolaylık, rahatlık ve hızdır.  | İstatistiksel yöntemler, içerik analizi |
| [21] | E-ticaretteki müşterilerin satın alma tercihleri ve davranışlarındaki etkileri incelemiştir.   | Basit ve çoklu regresyon analizleri     |
| [22] | E-ticaretteki ergonomik hususlar kapsamında, kullanıcıların en çok online alışverişi diledikleri zamanda gerçekleştirebilmesi, e-ticaretin ürün çeşitliliği sunması, iade ve satış sonrası hizmetleri gibi konuları incelemiştir.  |   |
| [23] | Firmalar için uygun marka stratejilerini değerlendirmiştir.  |   |
| [24] | E-ticaret faaliyetinde bulunan işletmelerin lojistik firma seçimini yapmıştır.   | AHP ve TOPSIS yöntemi                   |
| [25] | E-ticaret sitesi için tavsiye sistemi çalışması yapılmıştır. Elde ettiği sonuçları inceleyerek en iyi sonucu sunan algoritma modelini belirlemiştir. Belirlenen model bir web servis arayüzüne dönüştürülmüştür.   | İstatistiksel analiz                    |
| [26] | E-ticaret yapan firmaların; müşterilerin satın alma üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ayrıca memnuniyet, sadakat, kullanım kolaylığı, güven üzerindeki etkilerinin de araştırılmasını hedeflemiştir. Anket çalışması ile toplanılan veriler, yapılan analizler doğrultusunda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.  | Anket tekniği                           |
| [27] | Pazar araştırmasının e-ticaretteki öneminden bahsetmiş ve pazar araştırması yöntemlerini açıklamışlardır.  | SWOT analizi                            |
| [28] | E-perakendecilik sektöründe firmanın yaşam döngüsünü etkileyen faktörleri incelemiş ve e-perakende yaklaşımlarını sınıflandırmıştır. 1970-2018 yıllarına ait yaşam döngüsü ve e-perakende yaşam döngüsü çalışmalarını inceleyerek, e-perakende yaşam döngüsü değişkenlerini oluşturmuştur. E-ticarette uygulanacak stratejilerin öneminden, müşteri sadakati için bu stratejilerin kritik rol oynamasından söz etmiştir. | Kümeleme analizi                        |
| [29] | E-ticarette uygulanacak stratejilerin öneminden, müşteri sadakati için bu stratejilerin kritik rol oynamasından söz etmiştir. E-ticaret sitesinden aldığı satış ve işlem tutarları, siteye gerçekleştirilen ziyaretçi sayısı, iade ve şikayet sayılarına kümeleme analizi gerçekleştirmiştir.  | Kümeleme analizi                        |
| [30] | E-ticaret sitelerinin kullanılabilirliğine dair yaptıkları çalışmada, Türkiye’de en çok kullanılan 3 e-ticaret sitesini ele almıştır. Kullanılabilirlik için belirledikleri ölçütlerden bazıları, sayfa tasarımı, etkin ve tutarlı site içeriği şeklindedir.   | İstatistiksel analiz                    |
| [31] | Türkiye ve Avrupa ülkelerinde 2004-2015 dönemi için e-ticareti etkileyen faktörlerin makro değişkenler kullanılarak e-ticaretin belirleyicilerini araştırmıştır.   | Panel Veri Analizi                      |
| [32] | E-perakende de hizmet sunan bir işletme için, hizmet kalitesinin, marka değerine etkisi araştırılmıştır.   | Regresyon Analizi                       |
| [33] | Öncelikle dijital pazarlama ve arama motoru pazarlamasıyla alakalı bilgiler verdikten sonra, Google firmasının sunduğu AdWords pazarlama ürünü ve Türkiye’deki uygulamasını inceleyerek analizlerde bulunmuştur.   | Betimsel analiz yöntemi                 |
| [34] | Hazır giyim sektöründe yer alan beş markanın sosyal medya hesaplarında benimsedikleri pazarlama stratejilerini incelemiştir.   | İstatistiksel analiz                    |
| [35] | E-ticaret alanında müşteri memnuniyetini etkileyen faktörleri araştırmış, 4 ana ve 14 alt kriter belirlemiştir.  | AHP                                     |
| [36] | E-ticaret sitelerinin kullanılabilirliğini ve başarısını etkileyen faktörleri belirlemiştir. Araştırmaya ait veriler 418 öğrenci ile yüz yüze görüşülerek elde edilmiştir.   | İstatistiksel analiz                    |
| [37] | E-ticaret müşterilerinin websitelerine duydukları güveni etkileyen unsurları tespit etmiş ve bu güvenin müşteri sadakatine dönüşme etkisini incelemiştir.  | Yapısal Eşitlik Modellemesi             |
| [38] | Müşteri ziyaret bakımından en yoğun 10 siteyi ele almıştır. E-ticaret sitelerinin kullanılabilirlik performansına etki eden faktörleri belirlemiştir.  | AHP ve TOPSIS                           |
| [39] | E-ticaret iş şekline SWOT analizi uygulamış, pazarın sunduğu fırsat ve tehditleri, piyasanın hangi yönlerden güçlü ve zayıf olduğunu saptamaya çalışmışlardır.   | SWOT                                    |
| [40] | Covid-19 pandemisinin ve e-ticaret pazaryeri web sitelerine ait değişkenler arasındaki ilişkilere etkisini incelemiştir. 16 adet e-ticaret pazaryeri web sitesinin pandeminin farklı dönemlerine ait verilerine göre geliştirdikleri model ve hipotezleri kanonik korelasyon analizi yardımıyla test etmişlerdir.  | SWOT analizi, ÇKVY yöntemleri           |

|      |  |                                     |
|------|--|-------------------------------------|
| [41] | Perakende firması için dijital pazarlama stratejisi seçimini değerlendirmiş ve firmaya sosyal medya çalışmalarına ağırlık vermesi gerektiği tavsiye edilmiştir.  | ANP ve PROMETHEE                    |
| [42] | E-ticaret site tasarımının müşteri memnuniyeti, güveni ve satın alma niyetine olan etkisini araştırmışlardır.  | Anket tekniği                       |
| [43] | E-ticaret web sitelerinin kullanılabilirliğine ilişkin içeriğin tüketici satın alma davranışları ile ilişkisini incelemiştir.  | Anket tekniği, İstatistiksel analiz |
| [44] | E-ticaret platformu (Trendyol, Hepsiburada, gittigidiyor, N11 ve Morhipo) belirlenen 10 ölçüte göre değerlendirilmiş ve performansları ölçülmüştür.  | DEMATEL, ARAS EDAS Yöntemi          |
| [45] | E-ticaret platformlarının tercih analizini yapmışlardır. Analizde 11 adet ölçüt kullanılmıştır.  | AAS ve VIKOR                        |
| [46] | Firmaların e-ticaret uygulamalarına yönelik olarak yurt içi kurumsal operasyonlarında ve dış ticaret faaliyetlerinde internet kullanımlarını ölçmek ve bunların bazı tanımlayıcı özellikler itibarıyla farklılaşıp farklılaşmadığını incelemiştir. | Anket tekniği                       |
| [47] | E-ticaretin Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika'yı kapsayan BRICS ülkelerindeki kırsal ve uzak alanlarda gelişimini incelemiştir.  | Derleme                             |
| [48] | Dünyanın en çok kullanıcı trafiği alan beşinci e-ticaret sitesi olan Trendyol'daki kırk ürüne ait tüketici yorum ve yıldız derecelendirmelerini analiz etmişlerdir.  | Metin Madenciliği                   |

### III. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. ANP Yöntemi

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, karar verme problemlerinde sıkça tercih edilen ÇKVY yöntemlerinden biri de ANP yöntemidir. Uygulama, beş adımda sıralanabilir [49,50].

#### 1. Adım: Karar Verme Probleminin Tanımlanması ve Ağ Modelin Oluşturulması

Uygulamanın ilk adımında karar problemi açık bir şekilde tanımlanmalı ve amaç açıklanmalıdır. Model oluşturulurken başta ağ yapısının temel elemanları belirlenmelidir. Birbirleriyle bağlantılı olan kriter ve alternatifler kümelenir. Son olarak kümelerin içsel bağımlılık, dışsal bağımlılık ve geri bildirimini gösteren bir ağ modeli oluşturulur.

#### 2. Adım: Kriterler Arası İkili Karşılaştırmaların Yapılması ve Göreceli Önem Değerlerinin Hesaplanması

Ağ modelinin oluşturulmasından sonraki aşama kriter veya seçeneklerin birbirine göre ilişkisinin incelenmesidir. İkili karşılaştırma yapılırken verimli sonuç alabilmek için uzman görüşüne veya karar vericinin bilgisine başvurulmalıdır. Başlangıçta faktörlerin ilişkisi nitel olarak ifade edilir. Daha sonra faktörlerin birbirine göre ilişkisinin göreceli önemi, AHP' de de olduğu gibi Saaty' nin önermiş olduğu 1-9 önem skalasından faydalanılarak Tablo 2'deki gibi sayısal ifadeye dönüştürülür [49]. İkili karşılaştırma yapılarak, farklı seviyelerdeki kriter veya seçeneklerin birbirini ne derecede etkilediği veya bağımlı öğelerden hangisinin daha öncelikli olduğu gibi sorulara cevap verilebilir.

**Tablo 1.** AHP Sürecinde Kullanılan Temel Ölçekler

| Değer   | Tanım                 | Açıklama   |
|---------|-----------------------|--|
| 1       | Eşit önemli           | İki faktör de eşdeğer öneme sahip olması                                     |
| 3       | Biraz önemli          | Faktörlerden birinin daha üstün olması                                       |
| 5       | Fazla Önemli          | Faktörlerden birinin belirgin üstünlüğünün olması                            |
| 7       | Çok fazla önemli      | Faktörlerden birinin önemli derecede üstünlüğünün olması                     |
| 9       | Aşırı derecede önemli | Faktörlerden birinin üstünlüğünün kanıtlanabilecek düzeyde olması            |
| 2,4,6,8 | Ara değerler          | Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler |

İkili karşılaştırması yapılan kriter veya alternatifin birbirine göre durumları ile bir kare matris elde edilir.  $v_{ij}$ , i. faktörün j.faktöre göre ikili karşılaştırma değerini ifade eder. İkili karşılaştırma matrisi aşağıdaki V denklemi olarak gösterilebilir.

$$V = [v_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ \frac{1}{v_{12}} & 1 & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{v_{1n}} & \frac{1}{v_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



Elde edilen kare matriste köşegen değerleri aynı kriter veya alternatif birbirine göre değerlendirildiği için "1" dir. Köşegen elemanları için ilişki şu şekilde tanımlanır;

$$v_{ij} = \frac{1}{v_{ji}} \quad (2)$$

İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak faktörlerin birbirine göre göreceli önem değerleri hesaplanabilir. Bunun için ilk olarak her bir eleman, bulunduğu sütundaki bütün değerlerin toplamına bölünür.

$$g_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sum_{i=1}^n v_{ij}} \quad (3)$$

Ardından elde edilen değerler G matrisine yazılır.

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Göreceli önem değeri, Her satırın aritmetik ortalamasıyla elde edilir. Formül aşağıdaki gibidir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n g_{ij}}{n} \quad (5)$$

Aynı işlem her satır için uygulandığında aşağıdaki önem vektörü oluşmuş olur.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

**3. Adım: Tutarlılığın Hesaplanması :** Karar verme sürecinin sonunda verilen kararın tutarlı olması beklenir. Tutarlılık matriste yer alan değerlerin arasındaki matematiksel ilişki olarak tanımlanabilir. ANP' de ikili karşılaştırma matrisi oluşturulurken karar vericilerin yaptığı değerlendirmeler öznelidir. Dolayısıyla yapılan karşılaştırmaların geçerliliğinin olması için tutarlılık analizine bu adımda ihtiyaç duyulur. Tutarlılık Oranı (CR) ile tutarlılık analizi yapılır. CR' nin hesaplanmasında ilk olarak A kıyaslama matrisi ile W önem değeri matrisi çarpılarak E vektörü elde edilir.

$$V * W = E = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

E vektörünün her bir elemanı, w sütun vektöründeki karşılıklı elemanlara bölünürse, her kriter için temel değer sütun vektörü (S) elde edilir.

$$S_i = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

S sütun vektöründeki elemanların aritmetik ortalamasıyla karşılaştırmanın temel değeri elde edilmiş olur.

$$\lambda = \frac{S_i}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

Hesaplanan  $\lambda$  değeri kullanılarak Tutarlılık İndeksi (CI) hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Bu aşamada son olarak CR değerini hesaplamak için CI değeri, Saaty tarafından matris büyüklüğü için hesaplanmış Rastgele İndeks (RI) sabit değerine bölünür.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

Rastgele İndeks (RI) değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Rastgele İndeks Değerleri

| N | RI   | N  | RI   |
|---|------|----|------|
| 1 | 0    | 8  | 1,41 |
| 2 | 0    | 9  | 1,45 |
| 3 | 0,58 | 10 | 1,49 |
| 4 | 0,9  | 11 | 1,51 |
| 5 | 1,12 | 12 | 1,48 |
| 6 | 1,24 | 13 | 1,56 |

Yapılan hesaplamalar sonucunda CR değerinin 0,10' dan küçük veya eşit çıkması ikili karşılaştırmaların tutarlılığının olduğunu gösterir. 0,10' dan büyük çıkması durumunda karşılaştırmaların tutarsız olduğuna kanaat getirilir ve tutarsızlık gösteren yapılar tekrar incelenir.

**4. Adım: Süpermatrislerin Oluşturulması:** Ağ modelinde yer alan bütün faktörlerin ilişkisinin bir arada gösterildiği matrise süpermatris denir. Faktörlerin her biri arasındaki ilişkiyi gösteren değerler parça parça bir araya gelerek süpermatrisi oluşturur. Eğer herhangi bir faktörün bir başka faktörle ilişkisi yoksa bu durum süpermatrisin ilgili bölümünde 0 olarak gösterilir. Ayrıca süpermatriste her bileşen ( $C_n$ ) ve bu bileşenlerin de faktörleri ( $e_{nn}$ ) gösterilir.

$$\begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ e_{11}e_{12} \dots e_{1n1} & e_{21}e_{22} \dots e_{2n2} & \dots & e_{n1}e_{n2} \dots e_{nnn} \end{matrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} W11 & W12 & \dots & W1N \\ W21 & W22 & \dots & W2N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ WN1 & Wn2 & \dots & WNN \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ağırlıklandırılmamış, ağırlıklandırılmış ve limit olmak üzere üç çeşit süpermatris vardır.

- **Ağırlıklandırılmamış Süpermatris:** Ağ modelinde yer alan faktörlerin birbirine göre ikili karşılaştırma değerlerinin yazıldığı kare matristir.
- **Ağırlıklandırılmış Süpermatris:** Ağırlıklandırılmamış süpermatrisindeki değerlerin göreceli önem vektörüyle çarpılmasıyla oluşan yeni süpermatristir.
- **Limit Süpermatris:** Sabit değer elde etmek için ağırlıklandırılmış süpermatrisin sayılar değişmeyinceye kadar üssü alınır. Bu matris Limit Matris olarak isimlendirilir.

**5. Adım: En Uygun Alternatifin Belirlenmesi:** Bir önceki adımda oluşturulan limit süpermatriste her satırda yazan değer karşılaştırılan faktörün diğerlerine göre öncelik değerini göstermektedir. Ağırlıklandırma probleminde ağırlığı en yüksek olan faktör karar sürecini en çok etkileyen faktör kabul edilirken, seçim aşamasında ağırlığı en yüksek olan alternatif en iyi alternatif olarak kabul edilir.

**3.2. TOPSIS Yöntemi**

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında ELECTRE metoduna bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Tüm alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklarından yola çıkılarak, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak olan alternatifin en iyi alternatif olarak seçilmesini sağlar Uygulama aşamaları aşağıda açıklanmıştır [51, 52].

Bu yöntem, kriter ve alternatifleri matris yapısı içerisinde Eşitlik 12’de gösterildiği üzere çözüme ulaştırmaktadır. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır. Adımlar aşağıda detaylı açıklanmıştır.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a11 & a12 & \dots & a1n \\ a21 & a22 & \dots & a2n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ am1 & am2 & \dots & amn \end{bmatrix} \quad (12)$$

**1. Adım:** Eşitlik 13’de matris sütununda bulunan  $a_{ij}$ ’lerin kareleri toplamının karekökü alınır ve tüm  $a_{ij}$ ’ler elde edilen bu değere bölünerek normalize karar matrisinin elemanları ( $n_{ij}$ ) elde edilmiş olur.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i=1, \dots, m \text{ ve } j=1, \dots, n) \quad (13)$$

**2. Adım:** Ağırlıklı normalizasyon oranlarının hesaplanır. Eşitlik 14’de normalize karar matrisinin

her bir sütununda bulunan değerler ( $n_{ij}$ ), o sütunun ait olduğu kriter için belirlenen kriter ağırlığı ( $w_i$ ) ile çarpılması ile ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi ( $V$ ) elde edilir. Burada,  $w_i$  değerler toplamının 1’e eşit olmasına dikkat edilmesi gerekir.

$$V = \begin{bmatrix} n11w1 & n12w2 & \dots & n1nw_n \\ n21w1 & n22w2 & \dots & n2nw_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ nm1w1 & nm2w2 & \dots & nmnw_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v11 & v12 & \dots & v1n \\ v21 & v22 & \dots & v2n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ vm1 & vm2 & \dots & vmn \end{bmatrix} \quad (14)$$

**3. Adım:** Pozitif- ideal ve negatif-ideal çözümleri tespit edilir: Ağırlıklı normal değerler göz önünde bulundurularak, Eşitlik 15 ve Eşitlik 16’da  $A^+$  (pozitif-ideal çözüm) ve  $A^-$  (negatif-ideal çözüm) değerleri bulunmaktadır.

$$A^+ = \{ \max_{vij} \mid j=1, \dots, n; i=1, \dots, m \} = \{ v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+ \} \quad (15)$$

$$A^- = \{ \min_{vij} \mid j=1, \dots, n; i=1, \dots, m \} = \{ v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^- \} \quad (16)$$

**4. Adım:** Ayırım ölçüleri hesaplanır. Alternatifler arasındaki mesafe ölçülür. Her alternatifin pozitif-ideal çözümden ve negatif- ideal çözümden olan mesafesi Eşitlik 7 ve Eşitlik 8’de hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (17)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (18)$$

**5. Adım:** Pozitif-ideal çözüme benzerlik hesaplanır: Her bir alternatifin sıralanması amacıyla kullanılacak ideal çözüme göreli yakınlık ( $C_i^+$ ) değerleri Eşitlik 9’göre hesaplanmaktadır.

$$C_i^+ = S_i^- / S_i^+ + S_i^-, \quad 1 \geq C_i \geq 0 \quad (19)$$

**6. Adım:** Tercih yapılması: Altıncı ve son adımda ise bir önceki adımda Eşitlik 9’da bulunan  $C_i^+$  benzerlik değerleri arasından maksimum olan değer tercih edilir.

**3.3. VIKOR Yöntemi**

VIKOR, 1998 yılında Opricovic tarafından geliştirilmiş bir ÇKKV yöntemidir [53]. Karar vericilerin nihai karara ulaşmalarında kullanacakları çelişkili kriterleri değerlendirerek problemin uzlaşma çözümlerinin belirlenmesini sağlar. Alternatiflerin sıralanmasında 7 uygulama adımı bulunmaktadır [53-55].

**1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması:** Karar probleminin çözümünde gerekli olan alternatifler, kriterler ve değerlendirmede kullanılacak veriler

aracılığıyla karar matrisi oluşturulur. A matrisinin satırlarında alternatifler, sütunlarında ise kriterler yer alır ve örnek karar matrisi Eşitlik 2'deki gibi oluşturulur.

**2. Adım: Kriterlerin en iyi ( $f_i +$ ) ve en kötü ( $f_i -$ ) değerlerinin belirlenmesi:** Karar matrisindeki verilerden her bir kriterin ( $j=1,2,\dots,n$ ) en iyi ( $f_i +$ ) değerleri Eşitlik 20 ; en kötü ( $f_i -$ ) değerleri ise Eşitlik 21 ve ile belirlenir. Bu amaçla her bir kriterin amaca yönelik etkisinin fayda ya da maliyet yönü olup olmadığına dikkat edilir. Eşitlikleri yardımıyla  $f_i +$  ve  $f_i -$  değerleri hesaplanır.

Eğer kriterin amaç üzerinde etkisi fayda yönündeyse;

$$f_i^+ = \max_{ij} \quad f_i^- = \min_{ij} \quad (20)$$

Eğer kriterin amaç üzerinde etkisi maliyet yönündeyse;

$$f_i^+ = \min_{ij} \quad f_i^- = \max_{ij} \quad (21)$$

**3. Adım: Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması:** Karar matrisi verilerinin karşılaştırılabilir hale getirilmesi için lineer normalizasyon işlemi uygulanır. m alternatif ve n kriterli karar matrisi normalize edilerek R normalize matrisine dönüştürülmesi sağlanır. Normalize R matrisinin elemanları ( $r_{ij}$ ) Eşitlik 22'ye göre hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{f_{1+} - x_{ij}}{f_{1+} - f_{1-}} \quad (22)$$

Tüm  $r_{ij}$ 'lerin hesaplanması sonucu ( $i=1,2,\dots,m$ ;  $j=1,2,\dots,n$ ) R normalize karar matrisi Eşitlik 23'de gösterilir.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (23)$$

**4. Adım: Normalize karar matrisinin ağırlıklandırılması:** Normalize karar matrisinin sütunlarında gösterilen elemanların ( $r_{ij}$ ) o kriterler için belirlenen kriter ağırlıkları ( $w_j$ ) ile çarpılması sonucu ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (V) elde edilir. Oluşturulan V matrisi aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (24)$$

**5. Adım:  $S_i$  ve  $R_i$  değerlerinin hesaplanması:** i. alternatif için hesaplanan  $S_i$  değerleri ortalama ve  $R_i$  değerleri ise en kötü değerleri göstermektedir.  $S_i$  değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 1.12 ve  $R_i$

değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 25 ve Eşitlik 26 kullanılmaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad (25)$$

$$R_j = \max V_{ij} \quad (26)$$

**6. Adım:  $Q_i$  değerlerinin hesaplanması:**  $Q_i$  değerlerinin hesaplanmasında kullanılan  $S^+$ ,  $S^-$ ,  $R^+$  ve  $R^-$  değerleri aşağıda gösterilen Eşitlik 17 ve Eşitlik 18 ile hesaplanır.

$$S^+ = \min S_i \quad \text{ve} \quad S^- = \min S_i \quad (27)$$

$$R^+ = \min R_i \quad \text{ve} \quad R^- = \min R_i \quad (28)$$

Burada max ve min ifadeleri ile hesaplanan  $S_i$  ve  $R_i$  değerleri arasında en büyük ve en küçük değerlerin seçilmesi gerektiği ifade edilmektedir.  $Q_i$  değerinin hesaplanması için kullanılan q değeri maksimum grup faydasını sağlayan strateji ağırlığını belirtir.  $(1-q)$  değeri ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade eder.  $Q_i$  değerleri aşağıdaki Eşitlik 19'a göre hesaplanmaktadır.

$$Q_i = \frac{q \cdot (S_i - S^+)}{(S^-) - (S^+)} + \frac{(1-q) \cdot (R_i - R^+)}{(R^-) - (R^+)} \quad (29)$$

**7. Adım: Alternatiflerin sıralanması ve doğruluğun sınanması:** Tüm hesaplamalardan elde edilen  $S_i$ ,  $R_i$  ve  $Q_i$  değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatiflerin 3 farklı sıralaması elde edilir. Alternatiflerin sıralanmasının doğruluğunu kontrol edilebilmek için minimum  $Q_i$  değerine sahip alternatifin kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşullarını sağlaması gereklidir.

Kabul edilebilir avantaj koşulu: Sıralanan  $Q_i$  değerlerine göre birinci alternatif  $A1$  ve ikinci alternatif  $A2$  ise kabul edilebilir avantaj koşulunun Eşitlik 30'ye göre sağlanması gereklidir.

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ \quad (30)$$

Burada,  $DQ$  alternatif sayısına (n) bağlı olmak üzere Eşitlik 31'e göre hesaplanmaktadır.

$$DQ = \frac{1}{n-1} \quad (31)$$

Kabul edilebilir istikrar koşulu:  $Q_i$  değerlerine göre sıralama yapılır. En iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden biridir. Bu koşulun sağlanmasıyla, karar verme sürecinde belirlenen uzlaşık çözümün istikrarlı olduğu kabul edilmektedir.

Belirtilen koşulların sağlanamaması durumunda; Kabul edilebilir istikrar koşulu sağlanmıyorsa,  $A1$  ve  $A2$  alternatiflerinin ikisi de uzlaşık çözüm olarak kabul edilir. Kabul edilebilir avantaj koşulu

sağlanmıyorsa,  $A_1$ ,  $A_2$ , ...,  $A_m$  alternatiflerinin tamamı uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.

### 3.4. ELECTRE Yöntemi

ELECTRE 1966'da Beneyoun tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntem, her değerlendirme kriteri için alternatifler arasında, baskınlık veya öne geçme ilişkisine dayanır. Yöntem 7 adımda çözümlenir. Aşağıda ELECTRE yönteminin adımları verilmiştir [56].

**Adım 1: Karar matrisinin (A) oluşturulması:** Karar matrisinde, satırlarda karar noktaları, sütunlarda ise, değerlendirme faktörleri bulunur. Eşitlik 12'de A matrisi karar vericinin oluşturduğu başlangıç matrisidir.

**Adım 2: Standart karar matrisi (X) oluşturulması:** Standart Karar Matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanılarak Eşitlik 32 ile hesaplanır.

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (32)$$

Hesaplamalar sonunda X matrisi Eşitlik 33 ile elde edilir:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (33)$$

**Adım 3: Ağırlıklı standart karar matrisi (Y) oluşturulması:** Eşitlik 34 ve Eşitlik 35 ile karar verici önce değerlendirme faktörlerinin ağırlıklarını ( $w_i$ ) belirlemelidir. Sonrasında X matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili  $w_i$  değeri ile çarpılarak Y matrisi oluşturulur.

$$\left(\sum_{i=1}^n w_i = 1\right) \quad (34)$$

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1x_{11} & w_2x_{12} & \dots & w_nx_{1n} \\ w_1x_{21} & w_2x_{22} & \dots & w_nx_{2n} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ w_1x_{m1} & w_2x_{m2} & \dots & w_nx_{mn} \end{bmatrix} \quad (35)$$

**Adım 4: Uyum ( $C_{kl}$ ) ve uyumsuzluk ( $D_{kl}$ ) setleri oluşturulması:** Uyum setleri için, Y matrisi kullanılır. Karar noktaları, değerlendirme kriterleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılır ve setler Eşitlik 36 ile belirlenir:

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \quad (36)$$

ELECTRE yönteminde her uyum setine ( $C_{kl}$ ) bir uyumsuzluk seti ( $D_{kl}$ ) karşılık gelir. Diğer bir deyişle uyum seti sayısı kadar uyumsuzluk seti sayısı vardır.

Uyumsuzluk seti elemanları, ilgili uyum setine ait olmayan j değerlerinden oluşur.

$$D_{kl} = \{j, y_{kj} < y_{lj}\} \quad (37)$$

**Adım 5: Uyum (C) ve Uyumsuzluk Matrislerinin (D) Oluşturulması:** Uyum matrisinin (C) oluşturulması için uyum setlerinden yararlanılır. C matrisi  $m \times m$  boyutludur ve  $k = 1$  için değer almaz. C matrisinin elemanları Eşitlik 38 yardımıyla hesaplanır.

$$C_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} W_j \quad (38)$$

Uyumsuzluk matrisinin (D) elemanları ise Eşitlik 39 ile hesaplanır.

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_j |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (39)$$

**Adım 6: Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin Oluşturulması:** Uyum üstünlük matrisi (F), matrisin elemanları uyum eşik değerinin ( $\underline{c}$ ) uyum matrisinin elemanlarıyla ( $c_{kl}$ ) karşılaştırılarak elde edilir. Uyum eşik değerinin ( $\underline{c}$ ) Eşitlik 40 ile bulunur.

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \quad (40)$$

Formüldeki m karar noktası sayısını göstermektedir. Daha açık bir anlatımla  $\underline{c}$  değeri  $\frac{1}{m(m-1)}$  ile C matrisini oluşturan elemanların toplamının çarpımına eşittir. Uyumsuzluk üstünlük matrisi (G) de  $m \times m$  boyutludur ve F matrisine benzer şekilde oluşturulur. Uyumsuzluk eşik değeri ( $\underline{d}$ ) Eşitlik 41 ile bulunur.

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \quad (41)$$

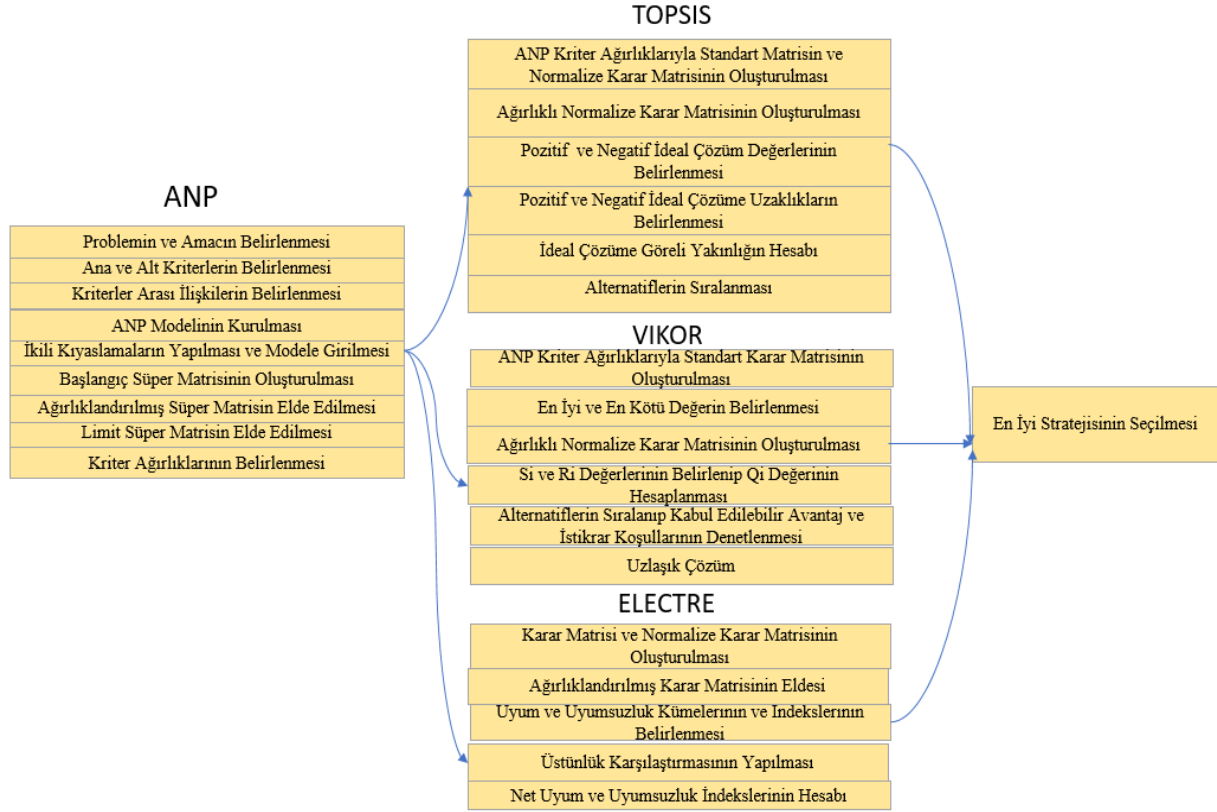
**Adım 7: Karar verme:** Alternatifler arasında sıralama yapılır. Uyum indeksinin büyüklüğü ve uyumsuzluk indeksinin küçüklüğüne göre karar verilir. İkili karşılaştırmalarda uyum indeksi büyük olan ya da uyumsuzluk indeksi küçük olan alternatif seçilir.

## IV. UYGULAMA

Perakende sektöründe züccaciye alanında hizmet veren bir firma için yazın taraması ve araştırmalar sonucu e-ticaret faaliyetlerinde başarısını arttıracak, uygun başarı kriterleri ve stratejiler belirlenmiştir. Uygulama adımları Şekil 1'de gösterilmiştir. Kriterlerin belirlenmesi ve verilerin analizi sürecinde Tablo 4'deki karar vericilerin görüşlerinden faydalanılmıştır.

**Tablo 4.** Karar verici bilgileri

| Karar Verici   | Sektörde Tecrübe Yılı | Kurumdaki Pozisyonu        |
|----------------|-----------------------|----------------------------|
| Karar verici-1 | 10                    | E-Ticaret Uzmanı           |
| Karar verici-2 | 3,5                   | E-Ticaret Operasyon Uzmanı |
| Karar verici-3 | 12                    | E-Ticaret Bölüm Müdürü     |

**Şekil 1.** Uygulama süreci

#### 4.1. Önerilen Model, Kriterlerin ve Stratejilerin Belirlenmesi

Çalışmada, ürün, zaman, ergonomik ara yüz tasarımı, satış ve satış sonrası hizmetler ve finans olmak üzere 5 ana kriter ve 15 alt kriter olmak üzere toplamda 20 kriter belirlenmiştir. Önerilen modeldeki kriter ve strateji açıklamaları ve referansları Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Önerilen model kapsamında alternatif olarak 9 strateji belirlenmiştir. Bunlar, belirlenen stratejiler başarı kriterleriyle ilişkilendirilmiştir. Oluşturulan stratejiler e-ticaret sektöründe büyük önem arz eden odaklanma, maliyet ve farklılaştırma stratejilerinden esinlenerek oluşturulmuştur. Oluşturulan stratejiler aşağıda açıklanmıştır. Bu alandaki çalışmalar yetersiz olduğundan, kısıtlı çalışmalardan faydalanılmıştır [72], [41], [73]. Stratejilerin oluşturulma sürecinde yapılan yazın çalışmaları doğrultusunda, müşterilerin ve satıcıların talep ve beklentilerine uygun stratejiler seçilmeye çalışılmıştır. İki tarafın da fayda elde edeceği stratejiler, Odaklanma, farklılaştırma, maliyet

olmak üzere 3 farklı stratejiden esinlenerek hazırlanmıştır. Odaklanma stratejileri kategorisi, e-ticaret gerçekleştiren işletmenin internette yer alan pek çok Pazaryeri ile koordine ve işbirlikçi bir çalışma şekli edinmesi, paylaşım alanı olmaktan çıkarak ticari faaliyetlerinde yürütüldüğü bir mecra haline gelen sosyal medyada, pazarlama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi, akıllı telefonların ve mobil uygulamaların hayatlarımızda giderek artan yerinden yola çıkarak aplikasyon ile pazarlama ve satış faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ve arama motoru optimizasyonları ile görünürlüğün ve ulaşılan müşteri kitlesinin artırılması stratejilerinden inşa edilmiştir. Farklılaştırma stratejileri kategorisinde, müşterine uygunluk ve müşteri memnuniyeti ile sadakatini kazanma esas alınmış, anket ve gelen taleplere uygun hareket etme stratejileri oluşturulmuştur. Maliyet stratejisi grubunda ise, satışı artırıcı uygun fiyatlı ve indirimli ürünler ile hem müşteriye hem satıcıya fayda sunmak, markanın kendi yeri, kararları, çıkarları doğrultusunda piyasadaki fiyatlarını bu kıstaslar üzerinden fiyatlandırması için stratejiler sunulmuştur.

**Tablo 5.** Kriter açıklamaları ve faydalanılan kaynaklar

| Ana Kriter:                             | Alt Kriterler:   | Kriter Açıklaması   | Referans Alman Çalışmalar:   |
|---|--|---|------------------------------|
| <b>Ürün</b>                             | Ürün çeşitliliğinin bulunması (K1)                             | Model, şekil, kullanım amacı vb. hususlarda birbirinden farklı ürün sayısını ifade eder.  | [35], [41], [57], [58], [59] |
|   | Ürün Kalitesi (ÜK) (K2)  | Sunulan ürünün, müşteri beklenti ve isteklerini karşılama düzeyidir.  | [35], [41]                   |
|   | Ürün Tasarımı (ÜT) (K3)  | Kullanıcı istekleri dikkate alınarak, üretilen ürünün şekil, renk, kesim, desen vb. tüm fiziksel özellikleridir.  | [41]                         |
| <b>Zaman</b>                            | Teslim Süresi, (K4)  | İşletmenin satışını gerçekleştirdiği ürünü, kullanıcıya ulaştırma zamanıdır.  | [22], [60], [61]             |
|   | Zaman tasarrufu sağlanması, (K5)                               | Tüketicilerin, fiziksel bir mağaza ortamına giderek alışveriş eylemini, ulaşım, bekleme süresi vb. şekillerde harcadıkları zamanı, e-ticaret iş modeliyle minimize etmesidir. | [62], [63], [22], [64]       |
|   | Teslimat saatlerinin esnekliği (K6)                            | İşletmenin, tüketiciye ürün ulaştırırken kargo teslim süreleri için, esnek bir çalışma şekli benimsemesidir.  | [59]                         |
| <b>Ergonomik Ara Yüz Tasarımı</b>       | Kolay ve anlaşılır, arama ve site tasarımı sunması,(K7)        | E-ticaret sitesinin; kullanıcılarına, kolayca anlaşılır, gözü yormayan bir ara yüz ve tasarım sunmasıdır.   | [62], [65], [38], [66], [59] |
|   | Hızlı sonuç alabilme ve verme,(K8)                             | Tüketicinin sitede yapmak istediği işlemleri kısa sürede ve zorlanmadan gerçekleştirebilmesidir.  | [67]                         |
|   | Etkin içerik sunumu ,(K9)                                      | Sitenin, müşteri beklenti ve sorularına uygun fotoğraf, açıklama vb. öğeleri içermesidir.   | [68], [38], [22], [69]       |
| <b>Satış ve Satış Sonrası Hizmetler</b> | İade ve değişim kolaylığı,(K10)                                | Satın alınan ürün için tüketiciye, değişim ve iade seçenekleri sunmasıdır.  | [63], [22], [38]             |
|   | Sipariş sürecinin etkin yönetimi,(K11)                         | Ürünün satışından, müşteriye ulaştırılması ve kullanılmasına kadar olan sürecin doğru ve efektif bir şekilde gerçekleştirilmesidir.   | [35], [70], [65],[57], [63]  |
|   | Kargonun zamanında, ürünün doğru şekilde teslim edilmesi,(K12) | Ürün teslimatının, taahhüt edilen zamanda ve şekilde müşteriye ulaştırılmasıdır.  | [65], [63]                   |
| <b>Finans</b>                           | Uygun fiyat seçeneği sunması,(K13)                             | Sanal mağazaların, fiziksel mağazalara göreceli olarak daha uygun fiyatlara sahip olmasıdır.  | [70]                         |
|   | Ödeme çeşitliliği ve kolaylığı,(K14)                           | Birden çok ödeme şekli sunmasıdır.  | [71], [22]                   |
|   | İndirim ve kampanya seçenekleri sunması,(K15)                  | Ürünlerde dönemsel iskontolar uygulanmasıdır.   | [22], [63]                   |

**Tablo 6.** Strateji açıklamaları

|  |  |
|--|--|
| <b>Odaklanma stratejileri</b>                  | Hedef pazardaki müşteri kitlesini gruplara bölen ve seçtiği gruba hitap etmeyi hedefleyen, bu sayede rekabet üstünlüğünü elinde tutar.   |
| Sanal mağazalara entegre olma stratejisi       | Firmalar, pazaryerlerinde sanal mağazalar açarak, farklı yerlerdeki müşterilerine daha kolay ulaşabilmekte, nispeten daha ucuz şekilde pazarlama faaliyetlerini gerçekleştirebilmektedir.  |
| Sosyal medya pazarlama stratejisi              | Teknolojiyi, bir getiri olan sosyal medya iletişim araçları sayesinde, firmalar müşterilerine satışa sundukları ürünlerini tanıtmakta, müşterileri ile iletişime geçebilmektedir. Bu ve benzerleri hedeflerle gerçekleştirilen pazarlama faaliyetleridir.  |
| Mobil pazarlama stratejisi                     | Geliştirilen mobil uygulamalar ile, müşteriler uygun satış ve pazarlama faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir.   |
| Arama motoru pazarlama stratejisi (SEM ve SEO) | Firmalar satışa sunduğu ürünlerini ve içeriklerini, e-ticaret sitelerinin, internet araması sırasında üst sıralarda gözükmesi ve görünürlüklerini arttırmak için ek bir maliyete katlanmayı tercih edebilmektedir.   |
| <b>Farklaştırma stratejileri</b>               | Müşteri beklentisini karşılamak ve fiyatlandırmada rakiplere kıyasla daha yüksek fiyatlar atamak amacıyla, mevcut ürün ve hizmette rakiplerden farklı olarak, çeşitli iyileştirme ve geliştirmeleri düstur edinen stratejileri   |
| Ürün ve hizmet tasarımı için anket stratejisi  | Firmanın, satışa sunacağı ürün ve hizmetlerin müşteriler tarafından daha cazip bulunması, müşteri beklentilerine olan uygunluğunu maksimize etmek için, müşterilerine ürün veya hizmetin tasarımı için anket uygulamasıdır.  |
| Müşteri beklentisine uygunluk stratejisi       | Firmanın, üreteceği ürüne dair müşteri isteklerine olan uygunluğu ve beklentilere yönelik bir çalışma gerçekleştirmek için pazardaki düşünceleri ölçmeye çalışma şeklidir.   |
| <b>Maliyet stratejileri</b>                    | İşletmenin rakiplerinden daha az bir maliyetle karşılaşarak, kârını arttırmayı hedefleyen stratejiler olarak karşımıza çıkmaktadır.  |
| Marka odaklı fiyatlandırma stratejisi          | Büyük müşteri gruplarına sahip, müşterilerce tanınırlığı yüksek firmaların tercih ettiği bir stratejidir. Firma, bilinirliğinin sunduğu güven ve müşteri sadakatinin yanı sıra sahip olduğu çok sayıda müşterisine, markasına odaklı ve kendine özgü bir fiyatlandırma uygulamaktadır.   |
| Paket halinde fiyatlandırma stratejisi         | Müşteri beğenisini toplayan, benzer işlevlerde konseptlerdeki ürünlerin, firma tarafından birleştirilerek tek paket haline getirilmesidir. Firma bu paketi, satın alan müşterilerine, paket içerisindeki ürünleri tek tek aldıkları takdirde karşılaşacakları ödeme yükümlülüğüne nispeten daha uygun bir fiyat seçeneği sunmaktadır. Firmalar satışlarını arttırmak için bu stratejiyi uygulayabilmektedir. |
| Psikolojik fiyatlandırma stratejisi            | Ürün fiyatlarında virgülden sonra 0.99 gibi sayısal değerler, tüketici tarafından daha ucuz bir fiyat olarak algılanmaktadır. Örneğin; 19.99 sayısı müşteride ürünün fiyatını 20 değil de 19 olarak algılanmasına sebebiyet vermektedir.   |

## 4.2. ANP Yönteminin Uygulanması

**1. Adım: Karar verme problemin belirlenmesi ve ağ modeli yapısının oluşturulması:** Öncelikle, problem net olarak tanımlanır ve ağ modeli yapısı oluşturulur. ANP yöntemi hesaplamalarında Super Decision paket programı tercih edilmiştir. Programda Şekil 2 'de yer alan ağ yapısı oluşturulmuştur.

**2. Adım: İkili karşılaştırılma yapılması:** Ağ yapısı oluşturulduktan sonra kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Saaty' nin 1-9 ölçeğindeki önem skalasına göre ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Bu karşılaştırmalar şirket bünyesindeki, e-ticaret departmanında çalışan karar vericilerin görüşleri doğrultusunda geometrik ortalamaları alınarak son değer programına girişi ile yapılmıştır. Bir grubun her üyesinin tüm kriterler için yargıda bulunacağı düşünülürse bu yargıların bir uzlaşma sağlayacak şekilde birleştirilmesi gerekmektedir. Bu durumda grup üyelerinin konu üzerinde uzlaşmaya varmaları sağlanabileceği gibi farklı yargıları geometrik ortalama ile birleştirmek gibi yöntemler uygulanabilir. Bu yöntemlerden literatürde en sık kullanılanı geometrik ortalama yoluyla uzlaşma sağlamaktır [74,75]. Grup karar vermede temelde iki yaklaşım bulunmaktadır birinci yaklaşımda görüşler birleştirip tek bir karar çıkmaktadır ikinci yaklaşımda ise geometrik ortalama alınmasıdır [76,77]. Tutarlılık oranlarının (CR) tamamı 0,1'den küçük çıkmıştır. Şekil 3'de örnek olması açısından ana kriterlerin ikili karşılaştırılması verilmiştir.

### 3. Adım: Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra kriter ağırlıkları elde edilmiş ve Tablo 7' de yer verilmiştir.

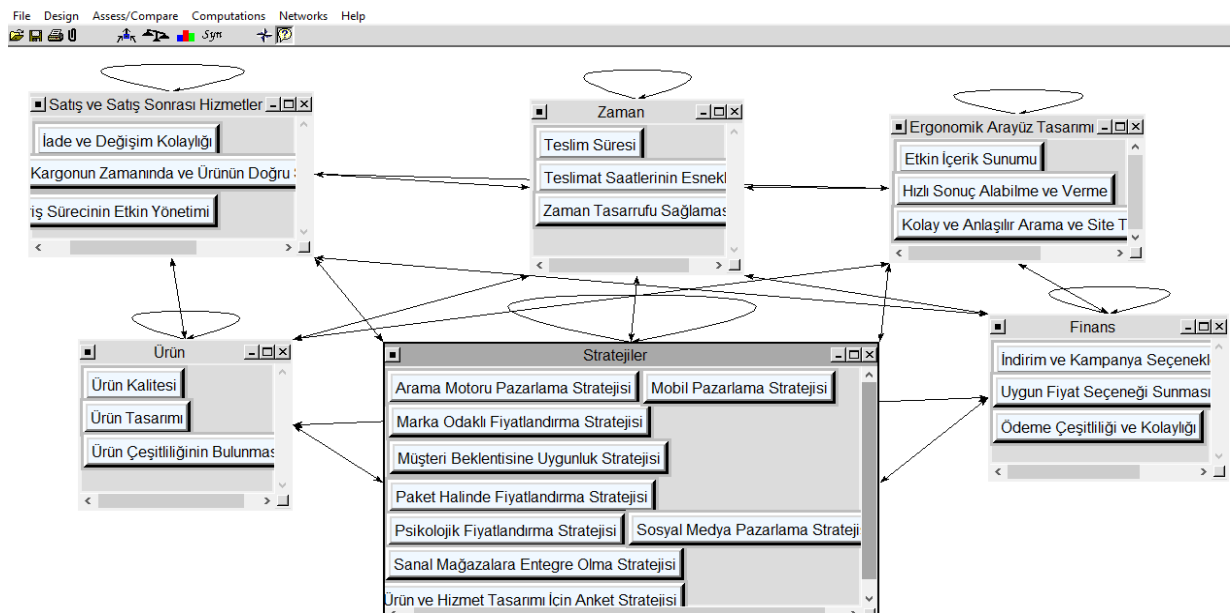
**Adım 4: Çözüm ve sonuçların değerlendirilmesi:** Yapılan Analiz ve değerlendirmeler sonucunda, “Ürün” ana kriteri %38’lik bir önem derecesi ile ön plana çıkmıştır. Sıralamayı “Ergonomik Arayüz Tasarımı” % 29, “Finans” %14, “Zaman” %11 ve “Satış ve Satış Sonrası Hizmetler” %7 ile takip etmektedir. Alt kriterler arasında da “ürün çeşitliliğinin bulunması” % 29 ile en önemli kriter iken, “kolay ve anlaşılır, arama ve site tasarımı sunması ikinci sıradadır.” Sipariş sürecinin etkin yönetimi” ise en az önem verilen kriter olarak ortaya çıkmıştır.

## 4.3. TOPSIS Yönteminin Uygulanması

İlk adımda karar matrisi oluşturulmuştur. Matris oluşturulurken karar verici grubu tarafından 1-10 puan ölçeğine göre değerlendirilmiş ve puanların geometrik ortalaması alınmıştır. Tablo 8’de karar matrisi verilmiştir. Diğer adımlar sırası ile aşağıda verildiği gibidir: Oluşturulan karar matrisine normalizasyon yapılarak Tablo 9 elde edilmiştir. ANP’de elde edilen kriter ağırlıkları ve standart karar matrisi çarpılarak Tablo 10’da ağırlıklandırılmış standart karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 11’de her bir kriter için pozitif ve negatif ideal çözüm setleri gösterilmektedir. Her kriter için, ilgili sütundaki değerlerden pozitif ideal ve negatif ideal değerler çıkarılıp, pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık değerleri belirlenir.

Tablo 12 ‘de sonuç sıralaması paylaşılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 0,7280 değeri ile en yüksek orana sahip olan “Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi” en uygun alternatif strateji olarak gözlenmiştir.



Şekil 2. Model ağ yapısı



| 1. Choose      |                   | 2. Cluster comparisons with respect to anakriterler                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                  |
|----------------|-------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|----------|------------------|
| Node Cluster   |                   | Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                  |
| Choose Cluster |                   | Ergonomik Arayüz Tasarımı is moderately more important than Finans |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                  |
| anakriterler   |                   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                  |
| 1.             | Ergonomik Arayüz~ | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Finans           |
| 2.             | Ergonomik Arayüz~ | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Satış ve Satış ~ |
| 3.             | Ergonomik Arayüz~ | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Zaman            |
| 4.             | Ergonomik Arayüz~ | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Ürün             |
| 5.             | Finans            | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Satış ve Satış ~ |
| 6.             | Finans            | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Zaman            |
| 7.             | Finans            | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Ürün             |
| 8.             | Satış ve Satış ~  | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Zaman            |
| 9.             | Satış ve Satış ~  | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Ürün             |
| 10.            | Zaman             | >=9.5  | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Ürün             |

Şekil 3. İkili karşılaştırma matrisi

Tablo 7. Ana ve alt kriter önem ağırlıkları

| Ana Kriter                       | Ana Kriter Ağırlıkları | Alt Kriterler  | Alt Kriter Ağırlıkları | Genel Kriter Ağırlıkları |
|----------------------------------|------------------------|--|------------------------|--------------------------|
| Satış ve Satış Sonrası Hizmetler | 0.07                   | İade ve değişim kolaylığı                                | 0.258                  | 0.018                    |
|                                  |                        | Kargonun zamanında, ürünün doğru şekilde teslim edilmesi | 0.535                  | 0.037                    |
|                                  |                        | Sipariş sürecinin etkin yönetimi                         | 0.207                  | 0.015                    |
| Ürün                             | 0.38                   | Ürün Kalitesi (ÜK)                                       | 0.117                  | 0.044                    |
|                                  |                        | Ürün Tasarımı (ÜT)                                       | 0.274                  | 0.104                    |
|                                  |                        | Ürün çeşitliliğinin bulunması                            | 0.608                  | 0.231                    |
| Zaman                            | 0.11                   | Teslim Süresi  | 0.474                  | 0.052                    |
|                                  |                        | Teslimat saatlerinin esnekliği                           | 0.240                  | 0.026                    |
|                                  |                        | Zaman tasarrufu sağlaması                                | 0.286                  | 0.031                    |
| Ergonomik Ara Yüz Tasarımı       | 0.29                   | Etkin içerik sunumu                                      | 0.102                  | 0.030                    |
|                                  |                        | Hızlı sonuç alabilme ve verme,                           | 0.391                  | 0.113                    |
|                                  |                        | Kolay ve anlaşılır, arama ve site tasarımı sunması       | 0.508                  | 0.147                    |
| Finans                           | 0.14                   | İndirim ve kampanya seçenekleri sunması                  | 0.380                  | 0.053                    |
|                                  |                        | Uygun fiyat seçeneği sunması                             | 0.414                  | 0.058                    |
|                                  |                        | Ödeme çeşitliliği ve kolaylığı                           | 0.206                  | 0.029                    |

**Tablo 8.** Karar matrisi

|   | K1    | K2    | K3    | K4     | K5    | K6    | K7     | K8     | K9    | K10   | K11   | K12    | K13    | K14   | K15    |
|---|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| Sanal mağazalara entegre olma stratejisi      | 8.618 | 7.230 | 7.958 | 10.000 | 8.573 | 7.862 | 9.655  | 10.000 | 8.277 | 9.655 | 9.655 | 10     | 9.283  | 7.830 | 9.655  |
| Sosyal Medya Pazarlama Stratejisi             | 8.618 | 7.862 | 8.573 | 10.000 | 8.573 | 8.143 | 9.283  | 9.655  | 7.958 | 9.655 | 9.322 | 10.000 | 9.655  | 7.560 | 9.655  |
| Mobil Pazarlama Stratejisi                    | 8.963 | 8.143 | 8.277 | 10.000 | 8.243 | 7.560 | 9.283  | 9.655  | 8.277 | 9.655 | 9.655 | 9.655  | 9.283  | 7.560 | 9.655  |
| Arama Motoru Pazarlama Stratejisi(SEM ve SEO) | 9.283 | 7.862 | 7.958 | 9.655  | 8.277 | 7.560 | 10.000 | 9.655  | 8.573 | 9.322 | 9.283 | 9.655  | 8.963  | 7.560 | 9.655  |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket Stratejisi | 8.573 | 7.560 | 8.277 | 8.879  | 8.243 | 7.862 | 9.655  | 8.963  | 7.958 | 9.655 | 8.963 | 9.655  | 9.283  | 9.655 | 8.963  |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk Stratejisi      | 9.322 | 7.830 | 8.277 | 9.283  | 8.573 | 7.862 | 10.000 | 8.963  | 8.243 | 8.963 | 8.879 | 9.322  | 9.283  | 7.862 | 9.283  |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma Stratejisi         | 9.322 | 7.560 | 8.277 | 9.655  | 7.958 | 9.322 | 9.655  | 9.322  | 8.243 | 9.322 | 8.618 | 9.655  | 9.322  | 7.268 | 9.322  |
| Paket Halinde Fiyatlandırma Stratejisi        | 8.573 | 7.230 | 7.319 | 8.573  | 8.277 | 7.830 | 10.000 | 9.655  | 8.573 | 9.655 | 9.322 | 10.000 | 9.655  | 7.830 | 9.655  |
| Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi           | 8.573 | 7.268 | 7.958 | 7.884  | 7.652 | 7.862 | 9.322  | 8.618  | 8.277 | 9.655 | 8.618 | 9.655  | 10.000 | 8.143 | 10.000 |

**Tablo 9.** Normalize karar matrisi

|   | K1     | K2     | K3     | K4     | K5    | K6    | K7    | K8    | K9    | K10   | K11   | K12   | K13   | K14   | K15   |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sanal mağazalara entegre olma stratejisi      | 0.3236 | 0.3162 | 0.3273 | 0.3564 | 0.346 | 0.328 | 0.333 | 0.355 | 0.334 | 0.339 | 0.352 | 0.342 | 0.329 | 0.328 | 0.337 |
| Sosyal Medya Pazarlama Stratejisi             | 0.3236 | 0.3438 | 0.3526 | 0.3564 | 0.346 | 0.339 | 0.321 | 0.342 | 0.321 | 0.339 | 0.339 | 0.342 | 0.342 | 0.317 | 0.337 |
| Mobil Pazarlama Stratejisi                    | 0.3365 | 0.3561 | 0.3404 | 0.3564 | 0.332 | 0.315 | 0.321 | 0.342 | 0.334 | 0.339 | 0.352 | 0.331 | 0.329 | 0.317 | 0.337 |
| Arama Motoru Pazarlama Stratejisi(SEM ve SEO) | 0.3486 | 0.3438 | 0.3273 | 0.3441 | 0.334 | 0.315 | 0.345 | 0.342 | 0.346 | 0.327 | 0.338 | 0.331 | 0.317 | 0.317 | 0.337 |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket Stratejisi | 0.3219 | 0.3306 | 0.3404 | 0.3165 | 0.332 | 0.328 | 0.333 | 0.318 | 0.321 | 0.339 | 0.326 | 0.331 | 0.329 | 0.405 | 0.313 |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk Stratejisi      | 0.35   | 0.3424 | 0.3404 | 0.3309 | 0.346 | 0.328 | 0.345 | 0.318 | 0.332 | 0.314 | 0.323 | 0.319 | 0.329 | 0.33  | 0.324 |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma Stratejisi         | 0.35   | 0.3306 | 0.3404 | 0.3441 | 0.321 | 0.388 | 0.333 | 0.331 | 0.332 | 0.327 | 0.314 | 0.331 | 0.33  | 0.305 | 0.326 |
| Paket Halinde Fiyatlandırma Stratejisi        | 0.3219 | 0.3162 | 0.301  | 0.3056 | 0.334 | 0.326 | 0.345 | 0.342 | 0.346 | 0.339 | 0.339 | 0.342 | 0.342 | 0.328 | 0.337 |
| Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi           | 0.3219 | 0.3179 | 0.3273 | 0.281  | 0.308 | 0.328 | 0.322 | 0.306 | 0.334 | 0.339 | 0.314 | 0.331 | 0.354 | 0.342 | 0.349 |

**Tablo 10.** Ağırlıklandırılmış karar matrisi

|                                     | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    | K9    | K10   | K11   | K12   | K13   | K14   | K15   |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sanal mağazalara entegre olma       | 0.081 | 0.014 | 0.034 | 0.019 | 0.011 | 0.009 | 0.049 | 0.040 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.013 | 0.019 | 0.009 | 0.018 |
| Sosyal Medya Pazarlama              | 0.081 | 0.015 | 0.037 | 0.019 | 0.011 | 0.009 | 0.047 | 0.039 | 0.009 | 0.006 | 0.005 | 0.013 | 0.020 | 0.009 | 0.018 |
| Mobil Pazarlama                     | 0.085 | 0.016 | 0.036 | 0.019 | 0.010 | 0.008 | 0.047 | 0.039 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.012 | 0.019 | 0.009 | 0.018 |
| Arama Motoru Pazarlama (SEM ve SEO) | 0.088 | 0.015 | 0.034 | 0.018 | 0.010 | 0.008 | 0.051 | 0.039 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.012 | 0.018 | 0.009 | 0.018 |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket  | 0.081 | 0.015 | 0.036 | 0.016 | 0.010 | 0.009 | 0.049 | 0.036 | 0.009 | 0.006 | 0.005 | 0.012 | 0.019 | 0.012 | 0.017 |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk       | 0.088 | 0.015 | 0.036 | 0.017 | 0.011 | 0.009 | 0.051 | 0.036 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.012 | 0.019 | 0.010 | 0.017 |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma          | 0.088 | 0.015 | 0.036 | 0.018 | 0.010 | 0.010 | 0.049 | 0.037 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.012 | 0.019 | 0.009 | 0.017 |
| Paket Halinde Fiyatlandırma         | 0.081 | 0.014 | 0.031 | 0.016 | 0.010 | 0.009 | 0.051 | 0.039 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.013 | 0.020 | 0.009 | 0.018 |
| Psikolojik Fiyatlandırma            | 0.081 | 0.014 | 0.034 | 0.015 | 0.010 | 0.009 | 0.047 | 0.035 | 0.010 | 0.006 | 0.005 | 0.012 | 0.021 | 0.010 | 0.019 |

**Tablo 11.** Pozitif negatif ideal değerden uzaklık değerleri

| Alternatifler                       | S*    | S <sup>-</sup> |
|-------------------------------------|-------|----------------|
| Sanal mağazalara entegre olma       | 0.008 | 0.008          |
| Sosyal Medya Pazarlama              | 0.008 | 0.008          |
| Mobil Pazarlama                     | 0.006 | 0.008          |
| Arama Motoru Pazarlama (SEM ve SEO) | 0.005 | 0.010          |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket  | 0.009 | 0.006          |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk       | 0.006 | 0.010          |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma          | 0.005 | 0.010          |
| Paket Halinde Fiyatlandırma         | 0.010 | 0.006          |
| Psikolojik Fiyatlandırma            | 0.011 | 0.004          |

**Tablo 12.** Pozitif ideal çözüme göre yakınlık

| Alternatifler                                 | C <sub>i</sub> | Sıralama |
|---|----------------|----------|
| Sanal mağazalara entegre olma stratejisi      | 0.508          | 4        |
| Sosyal Medya Pazarlama Stratejisi             | 0.498          | 5        |
| Mobil Pazarlama Stratejisi                    | 0.435          | 6        |
| Arama Motoru Pazarlama Stratejisi(SEM ve SEO) | 0.336          | 9        |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket Stratejisi | 0.608          | 3        |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk Stratejisi      | 0.375          | 7        |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma Stratejisi         | 0.348          | 8        |
| Paket Halinde Fiyatlandırma Stratejisi        | 0.616          | 2        |
| Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi           | 0.728          | 1        |

#### 4.4. VIKOR Yönteminin Uygulanması

VIKOR yönteminde de ANP yöntemi ile elde edilen kriterlerin ağırlıkları ve topsis yöntemindeki karar matrisi kullanılmıştır. Veri matrisinde bulunan bilgiler ile her kriter için en iyi ve en kötü değerler belirlenmiş ve kriterlerin maliyet yada fayda seçimi yapılmıştır. En iyi ve en kötü değerlerin belirlenmesinin ardından, karar matrisi normalize edilmiştir. Daha sonra ANP ile hesaplanan kriter ağırlıkları hesaplamalara eklenmiştir. VIKOR yöntemi adımları takip edilerek, her bir alternatif için  $S_j$  (en iyi değere olan uzaklıkların toplamı) ve  $R_j$  (maksimum uzaklığı) değerleri ve ardından  $Q_j$  değerleri hesaplanmaktadır [54]. Hesaplanan değerler Tablo 13'de verilmiştir. Tablo 8 'de yer alan sonuçlarda görüldüğü gibi  $Q_j$  değeri en küçük olan en önemli strateji Psikolojik Fiyatlandırma'dır.

Tablo 9'da, 0, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1 olmak üzere farklı ağırlıklara göre  $Q_j$  değerleri hesaplanmıştır. Ardından, yapılan sıralamaların uzlaşık çözümü yansıtıp yansıtmadığını anlamak için "kabul edilebilir avantaj" ve "kabul edilebilir istikrar" koşullarına bakılmıştır [54]. Koşul 1 olan kabul edilebilir avantaj koşulu sağlanamadığından, stratejilerin tamamı uzlaşık çözüm kümesinde yer almaktadır. Koşul 2 olan kabul edilebilir istikrar koşulu ise, sağlanmıştır. Bu bağlamda, Tablo 15'da paylaşıldığı üzere, Eşitlik 30 ve Eşitlik 31 hesaplamaları sonucunda, en iyi alternatif, psikolojik fiyatlandırma stratejisi iken, en az öneme sahip arama motoru pazarlama stratejisidir.

#### 4.5. ELECTRE Yönteminin Uygulanması

ELECTRE yönteminde kullanılacak olan karar matrisi TOPSIS ve VIKOR ile aynıdır. Karar matrisi ve ANP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak EXCEL programının Sanna eklentisi ile çözümlenerek sıralama sonucu elde edilmiştir. Tablo 16'de elde edilen sonuçlara göre, alternatifler arasında Sosyal Medya Pazarlama Stratejisi en önemli iken, Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi sıralamada en sonda yer almaktadır.

#### 4.6. Sonuçların Karşılaştırılması

Tablo 17 'de ELECTRE, VIKOR ve TOPSIS ile elde edilen sıralamalar karşılaştırılmıştır.

Diğer sıralamalarda farklılık yöntemlerin adımlarının ve kullanılan metodolojinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Fakat bu farklılıkların çok önemli sayılabilecek düzeyde olmadığı görülmektedir. Tablo 12 'de, strateji alternatiflerinin sıralanmasında ELECTRE, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin sıralama sonuçlarının birbirine yakın olduğu hepsinde en önemli stratejinin Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi görülmektedir. Psikolojik fiyatlandırma, satışa sunulan ürünlerin fiyatlandırma yapılırken izlenen stratejik adımlar ile müşterilerde bir algı oluşturulmasını hedeflemektedir. Ürün veya sunulan hizmet fiyatını belirtirken uygulanacak bu taktik müşterinizi olumlu yönde etkileyebilir, satışları artırmanın en verimli yollarından biri olduğu söylenebilir. Bunun sebebi müşterilerin yuvarlama yapmaktansa, en az anlamlı basamakları yok saymalarıdır. Kuruluşlar görünüyorsa da bilinçaltında göz ardı edilebilir. En az önerilenler ise, arama motoru ve sosyal medya pazarlama olarak ortaya çıkmıştır. Yöntemler arasındaki fark karşılaştırıldığında, TOPSIS yönteminde pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatifler maliyet ve fayda kriterlerinin maksimize ve minimize edilerek seçilmiş ve sıralanmıştır, ELECTRE da ise alternatifler arasındaki ikili üstünlük ilişkisine bakılmış, oluşturulan uyumluluk ve uyumsuzluk kümeleri yardımıyla hesaplanan indeks değerleri ile ortalama eşik değeri ile karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan sıralamanın, diğer yöntemlere göre farklı çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. İlaveten, arama motoru reklamlarında karşılaşılan rekabet, işletmelerin pazarlama bütçelerini zorlayan ve bu reklam türünün kullanmasını kısıtlayan unsurlardandır. Kurumun yapılan SEM, SEO ve sosyal medya pazarlama çalışmalarının marka imajına katkısının diğer stratejilere göre daha az katkısı olduğu da söylenebilir.

**Tablo 13.**  $S_j$ ,  $R_j$  ve  $Q_j$  değerleri

| Alternatif stratejiler              | $S_i$ Değeri | $R_i$ Değeri | $Q_i$ Değeri |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Sanal mağazalara entegre olma       | 0.566        | 0.235        | 0.778        |
| Sosyal Medya Pazarlama              | 0.591        | 0.235        | 0.81         |
| Mobil Pazarlama                     | 0.531        | 0.15         | 0.509        |
| Arama Motoru Pazarlama (SEM ve SEO) | 0.708        | 0.25         | 1            |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket  | 0.532        | 0.25         | 0.773        |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk       | 0.662        | 0.25         | 0.94         |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma          | 0.36         | 0.083        | 0.111        |
| Paket Halinde Fiyatlandırma         | 0.395        | 0.072        | 0.13         |
| Psikolojik Fiyatlandırma            | 0.32         | 0.06         | 0            |

**Tablo 14.** Farklı strateji ağırlıklarına göre Qj sonuçları

| Alternatifler stratejiler                     | v=0   | v= 0,25 | v= 0,50 | v= 0,75 | v= 1  |
|---|-------|---------|---------|---------|-------|
| Sanal mağazalara entegre olma stratejisi      | 0.921 | 0.849   | 0.778   | 1.167   | 0.636 |
| Sosyal Medya Pazarlama Stratejisi             | 0.921 | 0.865   | 0.810   | 1.215   | 0.699 |
| Mobil Pazarlama Stratejisi                    | 0.474 | 0.491   | 0.509   | 0.763   | 0.544 |
| Arama Motoru Pazarlama Stratejisi(SEM ve SEO) | 1.000 | 1.000   | 1.000   | 1.500   | 1.000 |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket Stratejisi | 1.000 | 0.886   | 0.773   | 1.159   | 0.546 |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk Stratejisi      | 1.000 | 0.970   | 0.940   | 1.410   | 0.881 |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma Stratejisi         | 0.119 | 0.115   | 0.111   | 0.167   | 0.104 |
| Paket Halinde Fiyatlandırma Stratejisi        | 0.064 | 0.097   | 0.130   | 0.194   | 0.195 |
| Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi           | 0.000 | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000 |

**Tablo 15.** Kabul edilir avantaj ve istikrar koşullarının sonuçları

| Stratejiler                                    | Qj    | Sıralama |
|--|-------|----------|
| Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi            | 0.000 | 1        |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma Stratejisi          | 0.111 | 2        |
| Paket Halinde Fiyatlandırma Stratejisi         | 0.130 | 3        |
| Mobil Pazarlama Stratejisi                     | 0.509 | 4        |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket Stratejisi  | 0.773 | 5        |
| Sanal mağazalara entegre olma stratejisi       | 0.778 | 6        |
| Sosyal Medya Pazarlama Stratejisi              | 0.810 | 7        |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk Stratejisi       | 0.940 | 8        |
| Arama Motoru Pazarlama Stratejisi (SEM ve SEO) | 1.000 | 9        |

**Tablo 16.** ELECTRE yöntemi ile alternatiflerin sıralanması

| Stratejiler                                   | Sıralama |
|---|----------|
| Sanal mağazalara entegre olma stratejisi      | 5        |
| Sosyal Medya Pazarlama Stratejisi             | 9        |
| Mobil Pazarlama Stratejisi                    | 4        |
| Arama Motoru Pazarlama Stratejisi(SEM ve SEO) | 6        |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket Stratejisi | 2        |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk Stratejisi      | 7        |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma Stratejisi         | 8        |
| Paket Halinde Fiyatlandırma Stratejisi        | 3        |
| Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi           | 1        |

**Tablo 17.** Sonuçların karşılaştırılması

| Stratejiler                         | TOPSIS | VIKOR | ELECTRE |
|-------------------------------------|--------|-------|---------|
| Sanal mağazalara entegre olma       | 4      | 6     | 5       |
| Sosyal Medya Pazarlama              | 5      | 7     | 9       |
| Mobil Pazarlama                     | 6      | 4     | 4       |
| Arama Motoru Pazarlama (SEM ve SEO) | 9      | 9     | 6       |
| Ürün ve Hizmet Tasarımı için Anket  | 3      | 5     | 2       |
| Müşteri Beklentisine Uygunluk       | 7      | 8     | 7       |
| Marka Odaklı Fiyatlandırma          | 8      | 2     | 8       |
| Paket Halinde Fiyatlandırma         | 2      | 3     | 3       |
| Psikolojik Fiyatlandırma            | 1      | 1     | 1       |

## V. BULGULAR VE TARTIŞMA

E-Ticaret internetin gelişip yaygınlaşmasıyla birlikte artık hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Bu sebeple firmalar e-ticarete daha fazla önem vermeye başlamıştır. Dijital anlamda perakendecilik faaliyetleri yaygınlaşmış, Hepsiburada, N11, Trendyol gibi dijital pazar yerleri ortaya çıkmıştır. Erken hareket edip e-ticarete hızlı entegre olan firmalar pazarda büyük pay edinirken, yeni firmalar çeşitli stratejilere ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple, e-ticaret faaliyetlerinde firmalar için doğru strateji belirleyip, perakende satışlarını arttırmak büyük önem arz etmektedir. E-ticarette müşteriler, kendilerine en çok fayda sağlayabilecekleri işletmeleri tercih etmektedir. Bu fayda, zaman, yer, fiyat, kalite, performans, çeşitlilik ve satış sonrası destek vb. unsurlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada amaçlanan, perakende sektöründe bir firmanın e-ticaret faaliyetlerinde başarısını etkileyen faktörlerin ve e-ticaret alanında uygulanan stratejilerin değerlendirilmesi ile, yazına katkı sağlamaktır. Bu çalışmada elde edilen model ve kriter literatürdeki benzer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir.

Önerilen model ile birlikte sunulan metodolojinin yazında kabul görmüş olması çalışmanın güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Literatür araştırması sonucunda, elde edilen bilgilere göre; e-ticaret sitelerinin kolay, anlaşılır ve güvenilir bir tasarım ve içeriğe sahip olmasının, firmanın e-ticarette başarılı ve uzun ömürlü olmasına etken olduğudur. Buradan hareketle, e-ticaret sitelerinin tasarımının karmaşadan uzak, herkesçe anlaşılır ve kullanılabilir, sitedeki içerik ve bilgilerin net olması, ürüne dair detayları içermesi ve ürün görsellerinin gerçeği yansıtır şekilde olması tavsiye edilmektedir. Belirlenen kriterler arasından ANP yöntemi kriter önceliklerinin elde edilmesinde “ürün” ana kriterinin %38 lik önem derecesiyle diğer kriterler arasından ön plana çıktığı gözlemlenmiş ve alt kriterleri arasından da “ürün çeşitliliğinin bulunması” %23'lük puanla ön plana çıkmıştır. Yapılan strateji sıralamalarında, 9 strateji arasından önem derecesi en yüksek olarak üç yöntem sonucunda da “Psikolojik Fiyatlandırma Stratejisi” olarak ortaya çıkmıştır. Bunun başlıca nedeni müşterinin, ürün fiyatı hakkında, aklında daha ucuz ve uygun fiyat algısı oluşturmaktır. Bu sayede müşteriler satın alım kararlarını daha hızlı vermekte ucuzluk algısıyla ürünün fiyatı üzerine daha fazla düşünerek alternatiflere yönelmemektedir. Ayrıca, benzer işlemlere sahip konseptlerdeki ürünlerin, müşterilerde ürün veya hizmetin tasarımının, müşterilerce tanınırlığı yüksek prestijli firmaların tercih edilmesine yönelik stratejilerin belirlenmesinin önemli olduğu söylenebilir. Elde edilen bulgular, neticesinde önem derecesi en düşük strateji ise TOPSİS ve VIKOR da “Arama Motoru Pazarlama Stratejisi” iken, ELECTRE de “Sosyal Medya Pazarlama” olarak ortaya çıkmıştır. Buna sebep olarak Arama Motoru Pazarlama her ne kadar günümüzde revaçta gibi gözükse de belirlenen diğer pazarlama stratejilerinin

etkinlikleri yanında daha pasif kalmıştır. Zira; sosyal medya ve mobil pazarlar kullanıcılar tarafından alışveriş endekslisi olarak daha aktif kullanılması arama motoru pazarlama stratejisinin puanını aşağıya çekmiştir.

Yazında, e-ticaret alanındaki başarı faktörlerini ve stratejilerini karar verme yöntemleri ile değerlendirmeye alan çalışma sayısının fazla olmayışı bu çalışmayı önemli kılmakta ve yazına katkı sağlayacağı umulmaktadır. Bu çalışmayla birlikte E-ticaret alanına yeni giren, ya da başarısını arttırmak isteyen perakende firmalarının yol haritalarını çizmesi kolaylaşmış olacak ve kendi özgün stratejilerini rahatlıkla belirleyebileceklerdir. Ülkemizdeki internet kullanımının önündeki engellerin kaldırılması, maddi boyutta indirime gidilerek insanların internet kullanımının yaygınlaştırılması da e-ticaret sitelerinin kullanılabilirliği ve sektör gelişimini arttıracak düşünülmektedir. E-ticarette satışlarınızı arttıracak çeşitli yöntem bulunmakla birlikte, pazarlama stratejilerinin doğru yapılması çok önemlidir. Doğru ürünlerde etkili bir stratejiye sahip olmak, tüketicilere daha iyi ulaşabilmeyi ve de onlara daha çok ürün satabilmeye imkân sağlayacaktır. İlavenen, E-ticaret faaliyetlerini iyileştirmek adına bazı hususlar tavsiye edilmektedir; kargo teslimat süresinin, kargonun doğru ve hızlı teslim edilmesi unsurlarının e-ticaretteki başarıya bir etmen olduğu ve bu hususta depo optimizasyonu yapılarak kargo hazırlama süreçlerinin hızlandırılması, kargo teslimatları için iş birliği gerçekleştirilen firmaların değerlendirmeye tabii tutularak gerekli durumlarda, sayısının artırılması tavsiye edilmektedir. Benzer analizlerin e-ticaret sektöründe faaliyet gösteren farklı iş kolundaki firmalara da uygulanabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1]Ülger Y.T. ve Toksarı M. (2020). E-ticaret sitelerinin kullanılabilirliği ve başarısına etki eden faktörlerin belirlenmesi, *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6 (2), 116-128.
- [2]Dağdeviren, M., Dönmez, N., ve Kurt., M. (2006). Bir işletmede tedarikçi değerlendirme süreci için yeni bir model tasarımı ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2), 247-255.
- [3]Wang, X. and Triantaphyllou, E., (2008). Ranking Irregularities when Evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega the International Journal of Management Science*, 36(1), 45-63.
- [4]Hwang C.L.,Lai Y.J. and Liu T.Y. (1993). A new approach for multiple objective decision making, *Computers and Operational Research*, 20(8), 889-899.
- [5]Özdoğanlı, A. (2014). Üretim faaliyetinde bulunan işletmeler için cnc torna tezgahı alternatiflerinin VIKOR ve TOPSIS yöntemleri ile

- karşılaştırılması. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14(2), 37-58.
- [6]Akgönül, R., ÖZCAN, E. ve Eren, T. (2021). Medikal İşletmesi için çok kriterli karar verme yöntemleri ile bakım stratejisi seçimi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 448-461.
- [7]Tunca M.Z., Aksoy E., Bülbül H. ve Ömürbek N., (2015). AHP temelli TOPSIS ve ELECTRE yöntemiyle muhasebe paket programı seçimi. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 53-71.
- [8]Shyur, H. (2006). COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP. *Applied Mathematics and Computation*, 177 (1), 251-259.
- [9]Başdar, C. (2018). TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri ile finansal performansın sıralanması: BIST bilişim sektörü uygulaması, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Türkiye.
- [10]Özcan, E. C., Ünlüsoy, S. ve Eren, T. (2017). ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219.
- [11]Yanık, L. ve Eren, T. (2017). Borsa İstanbul'da işlem gören otomotiv imalat sektörü firmalarının finansal performanslarının AHP, TOPSIS, ELECTRE ve VIKOR Yöntemleri ile Analizi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 7 (13) , 165-188.
- [12]Dündar, S. , Ecer, F. ve Özdemir, Ş. (2010). FUZZY TOPSIS yöntemi ile sanal mağazaların web sitelerinin değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21 (1), 287-305.
- [13]Eriş, Ö. U. (2008). E-ticaret performansına etki eden faktörlerin analizi, Yüksek lisans tezi, İstanbul teknik üniversitesi, Türkiye.
- [14]Baydar, V. (2010). E-Ticaret Kavramı ve E-Ticareti Etkileyen Faktörlerin Panel Veri Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye.
- [15]Yıldırım, E. (2011), "Türkiye'de perakende ticaret yapan firmalarda e-ticaretin uygulanabilirliği üzerine bir araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- [16]Oğuztürk, B. S. ve Alparslan, A. M. (2011). E-Ticaret Stratejisinde Entelektüel Sermayenin Görünümü. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (13), 145-168.
- [17]Acılar, A. ve Karamaşa, Ç. (2011). Küçük işletmeler için E-Ticarette kritik başarı faktörleri. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 3(2), 13-22.
- [18]Marangoz, M., Yeşildağ, B., ve Saltık, İ. A. (2012). E-ticaret işletmelerinin web ve sosyal ağ sitelerinin içerik analizi yöntemiyle incelenmesi. *Journal of Internet Applications and Management*, 3(2), 53-78.
- [19]Kahraman, N. (2013). E-Ticarette kullanıcı davranışlarının veri madenciliği yöntemleriyle incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye.
- [20]Albayrak, M. (2015). Elektronik ticaretin gelişimi ve internetin tüketici satın alma karar sürecine etkisi: Salzburg - Ankara örneği. Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye.
- [21]Erçetin, C. (2015). Elektronik ticarette tüketicilerin satın alma davranış ve tercihlerini etkileyen unsurlar: E-ticaret siteleri üzerine bir çalışma. Yüksek lisans tezi. Doğu Üniversitesi. Türkiye.
- [22]Saraç, S., Fikri, E. G. E., Miman, M. ve Aktaş, M. A. (2015). E-ticaret sitelerinin tasarımında ergonominin önemi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 355-364.
- [23]Vuran, A. (2016), İşletmelerde marka ve marka stratejileri, *International Journal of Academic Value Studies*, 2,(6), 28-39.
- [24]Eren, G. (2017), Online alışveriş siteleri için AHP ve TOPSIS yöntemleri ile 3PL firma seçimi, *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 819-834.
- [25]Ayan A. (2018), E-ticaret sitelerinin satışlarının artırılması için bulut bilişim tabanlı yapay öğrenme, Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye.
- [26]Özdemir, M. E. (2018), E-ticareti kullanan tüketicilerin satın alma kararlarını etkileyen unsurlar. Okan üniversitesi öğrencileri örneğinde yapılan uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi, Türkiye.
- [27]Keleş, M. K., Kılıç, Ü. ve Keleş, A. (2018). E-Ticarette Pazar Araştırması ve SWOT Analizi. *El-Cezeri*, 5(2), 596-604.
- [28]Akbulut, M. (2018). Elektronik perakendecilikte firma yaşam döngüsü yaklaşımları. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16(4), 237-255.
- [29]Fidan, H. (2018). E-ticaret müşteri bağlılığı gri ilişkisel kümeleme analizi. *AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, 9 (32), 163-182.
- [30]Özmen,E., Karaman, G. ve Karaman, E. (2017). E-Ticaret sitelerinin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesine yönelik ölçek geliştirme ve uygulama. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(12), 74-91.
- [31]Özekenci, E. K., Gülmez, M., & Erbas, C. Ü. (2017). The determinants of e-commerce in Turkey and European countries: A panel data analysis. *Journal of Business in The Digital Age*, 2(1), 15-23.
- [32]Özdener, İ. H. ve Duygun, A. (2020). E-perakende hizmet kalitesinin marka değerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (38), 1-18.
- [33]Atakul, E. (2020). Markaların dijital pazarlama stratejileri: arama motoru uygulamaları üzerine bir değerlendirme Yüksek lisans tezi, Maltepe Üniversitesi, Türkiye.

- [34] Arslan, O. (2020). Hazır giyim sektörünün sosyal medyada kullandığı pazarlama stratejilerinin analizi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Türkiye.
- [35] Razani H. (2020). E-ticaret alanında müşteri memnuniyeti takibini etkileyen faktörlerin AHS yöntemi ile değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye.
- [36] Ülger Y.T. ve Toksarı M. (2020), E-ticaret sitelerinin kullanılabilirliği ve başarısına etki eden faktörlerin belirlenmesi, *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6 (2), 116-128.
- [37] Sönmezay, M. ve Özdemir, E. (2020). E-ticarette tüketici güvenini etkileyen faktörler ve tüketicilerin çevrim içi satın alma niyeti üzerinde güvenin etkisi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(4), 4252-4268.
- [38] Bulak, M. E., Kozanoğlu, O., Aydoğduoğlu, Ş. N., Göçer, F. ve Algül, R. (2021). E-ticaret sitelerinin kullanılabilirliğinin AHP ve TOPSİS yöntemleriyle karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 493-509.
- [39] Aslan, E. ve Manavgat, G. (2021). Yeni ekonomide teknolojik gelişmelerin uluslararası rekabet gücüne etkisi: Türkiye’de e-ticaret SWOT analizi, *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (14), 67-92.
- [40] Nacar, R., ve Özdemir, K. (2021). E-ticaret pazaryeri web sitelerinin dinamikleri: covid-19 pandemi sürecindeki değişim. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 16 (1), 205-226.
- [41] Saçan, B. ve Eren T. (2021). Dijital pazarlama strateji seçimi: SWOT analizi ve çok ölçütlü karar verme yöntemleri. *Politeknik Dergisi*, 1-1.
- [42] Alhussein, H. ve Atılgan, K. Ö. (2021). İnternet sitesi tasarımının müşteri güveni, müşteri memnuniyeti ve satın alma niyetine etkisi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 351-375 .
- [43] Durna, S. (2022). E-ticaret web sitelerinin kullanılabilirliğine ilişkin içeriğin tüketici satın alma niyetine etkisi. Doktora tezi, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye.
- [44] Özbek, A. ve Sırakaya, Ö. (2022). Türkiye’de kullanılan e-ticaret platformlarının performanslarının karşılaştırılması . *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* , 12 (2), 469-492.
- [45] Şahin, Y. ve Sara, D. M. (2019). E-shopping sites preference analysis with multi-criteria decisionmaking Methods, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12(4), 265-275.
- [46] Kalalı, G. ve Aydemir, C. (2022). İşletmelerin E-ticaret uygulamalarına yönelik internet kullanımlarının bazı değişkenler açısından incelenmesi. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 8 (1), 171-187
- [47] Karine, H. A. J. I. (2021). E-commerce development in rural and remote areas of BRICS countries. *Journal of Integrative Agriculture*, 20 (4), 979-997.
- [48] Baz Aktaş, N. , Aktaş, B. ve Akbıyık, A. (2021). Koronavirüs’ün (Covid-19) Türkiye’de e-ticaret müşteri memnuniyetine etkisi: Trendyol Örneği. *Journal of Information Systems and Management Research*. 3(1), 39-50.
- [49] Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Manage. Sci.*, 32(7), 841-855.
- [50] Dağdeviren, M., Dönmez, N. ve Kurt, M. (2006). Bir işletmede tedarikçi değerlendirme süreci için yeni bir model tasarımı ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Dergisi*, 21( 2), 247-255.
- [51] Hwang, C. L., and Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In multiple attribute decision making, Springer, Heidelberg, (58-191).
- [52] Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S. N. and Ray, T. (1998). Multi-criteria decision making: an operations research approach. *Encyclopedia Of Electrical And Electronics Engineering*, 15, 175-186.
- [53] Opricovic, S. and Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.
- [54] Opricovic, S. and Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514-529.
- [55] Ar, İ. M., Baki, B. ve Özdemir, F. (2014). Kuruluş yeri seçiminde bulanık AHS-VIKOR yaklaşımının kullanımı: Otel sektöründe bir uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (13), 93-114.
- [56] Benayoun, R., Roy, B., and Sussman, B. (1966). ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. *Note de travail*, 49, 2-120.
- [57] Souitaris, V., and Balabanis, G. (2007). Tailoring online retail strategies to increase customer satisfaction and loyalty. *Long range planning*, 40(2), 244-261.
- [58] Evanschitzky, H., Iyer, G. R., Hesse, J., and Ahlert, D. (2004). E-satisfaction: a re-examination. *Journal of retailing*, 80(3), 239-247.
- [59] Saraç, S., Fikri, E. G. E., Miman, M., ve Aktaş, M. A. (2015). E-ticaret sitelerinin tasarımında ergonominin önemi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 355-364.
- [60] Altunışık, R., Sütütemiz N. ve Çallı, L. (2010). E-memnuniyeti etkileyen performans kriterlerinin tespiti üzerine bir araştırma (E-Perakendecilik Örneği), *Akademik Bakış Dergisi*, 20, 1-17.



- [61]Quaddus, M., and Achjari, D. (2005). A model for electronic commerce success. *Telecommunications Policy*, 29(2-3), 127-152.
- [62]Szymanski, D. M., and Hise, R. T. (2000). E-satisfaction: an initial examination. *Journal of retailing*, 76(3), 309-322.
- [63]Çallı, L., Sütütemiz, N. ve Yılmaz, M. (2009). E-perakendecilik sektöründe e-memnuniyet öncülleri üzerine bir araştırma. *14. Ulusal Pazarlama Kongresi Kitabı*, 14-17 Ekim, Yozgat, 217-227.
- [64]Eriş, Ö. U. (2008). E-ticaret performansına etki eden faktörlerin analizi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- [65]Wolfenbarger, M., and Gilly, M. C. (2003). eTailQ: dimensionalizing, measuring and predicting etail quality. *Journal of retailing*, 79(3), 183-198.
- [66]Özmen,E. ,Karaman,G. ve Karaman,E. (2017).E-Ticaret sitelerinin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesine yönelik ölçek geliştirme ve uygulama. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*,5(12),74-91.
- [67]Raijas, A., and Tuunainen, V. K. (2001). Critical factors in electronic grocery shopping. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 11(3), 255-265.
- [68]Chen, M. Y., and Teng, C. I. (2013). A comprehensive model of the effects of online store image on purchase intention in an e-commerce environment. *Electronic Commerce Research*, 13(1), 1-23.
- [69]Ludin, I.H.B.H. and Cheng, B. (2014). Factors influencing customer satisfaction and e-loyalty:online shopping environment among the young adults. *Management Dynamics in the Knowledge Economy*, 2(3),461-472.
- [70]Erik, D. (2005). Firmaların başarı kriterlerinin tanımlanması ve çalışanların memnuniyeti kriterinin bulanık mantık yöntemi ile ölçülmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(8), 131-142.
- [71]Durmuş, M., ve Tayyar, N. (2017). AHP ve TOPSIS ile farklı kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanılması ve karar verici görüşleriyle karşılaştırılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(3), 65-80.
- [72]Özgener, Ş. (2004). Kobilerin E-ticarette karşılaştıkları sorunların çözümüne yönelik alternatif stratejiler. *Öneri*, 6(22), 167-181.
- [73]Oypan,S. (2016). E-ticarette ürün fiyatlandırma stratejileri nelerdir? , <https://www.ideasoft.com.tr/urun-fiyatlandirma-stratejileri/>.
- [74]Ömürbek, N. (2013). Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemlerinde grup karar verilmesi aşamasına ilişkin bir örnek uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 47-70.
- [75]Kuruüzüm, A., ve Atsan, N. (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları. *Akdeniz IIBF dergisi*, 1(1), 83-105.
- [76]Liberatore, M. J., ve Nydick, R. L. (1997). Group decision making in higher education using the analytic hierarchy process. *Research in Higher Education*, 38(5), 593-614.
- [77]Saaty, T. L., Peniwati, K., ve Shang, J. S. (2007). The analytic hierarchy process and human resource allocation: Half the story. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7-8), 1041-1053.



## Solar Power Plant Efficiency and Economically Analysis in Different Regional Climate for Selected Cities in Turkey

*Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinden Seçilmiş Bazı İllerin Güneş Enerji Santrali Verimliliklerinin İncelenmesi ve Ekonomik Analizi*

Ahmet Talat İNAN<sup>1</sup>  Anıl ŞİMŞEK<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Marmara University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 34854, İstanbul, Turkey

<sup>2</sup>Marmara University, Institute of Pure and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering, 34722, İstanbul, Turkey

### Abstract

Solar power plants are one of the increasingly important energy production facilities with clean and renewable properties. In this context, an advanced solar power plant is the one that includes panels operating on the basis of photovoltaic principle. In this study, performance ratio as part of energy efficiency of photovoltaic solar power plants of İstanbul, Konya, Van and Ordu provinces in different regions were analyzed and economics analyzes were performed. The facilities located in different climatic regions were evaluated comparatively. Considering the increase in investments in the renewable energy sector, the efficiency evaluation of solar power plants will be a useful study both in terms of scientific and economic efficiency of investments. In this study, the design and analysis of 1 MW solar power plants were performed with PVsyst software. As a result, the annual power plant performance ratio is %87.52 in İstanbul, %86.97 in Konya, %87.19 in Van, and %88.14 in Ordu. According to the average electricity unit price in Turkey, the installation cost of a power plant with an installed power of 1 MWe was found to be 616,270 \$. The depreciation period was found to be 4.54 years in İstanbul, 3.47 years in Konya, 3.67 years in Van, and 5.1 years in Ordu. Also, energy efficiency and economic analysis were completed.

**Keywords:** Solar power plant, Photovoltaic, PVsyst, economical analysis, comparison of different regions.

### Öz

Güneş enerjisi santralleri temiz ve yenilenebilir özellikleri nedeniyle önemi giderek artan enerji üretim tesislerinden biri durumundadır. Gelişmiş güneş enerjisi santrali, fotovoltaik prensibine göre çalışan panelleri içeren bir santraldir. Bu çalışmada İstanbul, Konya, Van ve Ordu illerinin farklı bölgelerinde bulunan fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin enerji verimliliği bağlamında performans oranları analiz edilmiş ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Farklı iklim bölgelerinde yer alan tesisler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yenilenebilir enerji sektöründeki yatırımların artması göz önünde bulundurulduğunda, güneş enerjisi santrallerinin verimlilik değerlendirmesinin yapılması, yatırımların hem bilimsel hem de ekonomik verimliliği açısından faydalı bir çalışma olacaktır. Bu çalışmada 1 MW'lık güneş enerjisi santrallerinin tasarımı ve analizi, PVsyst yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; yıllık performans verimi İstanbul için %87,52; Konya'da %86,97; Van'da %87,19 ve Ordu'da %88,14 olarak bulunmuştur. Türkiye'deki birim elektrik fiyatına bağlı olarak; 1 MWe kurulu güçteki santral için kurulum maliyeti 616,270 \$ olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi İstanbul için 4,54 yıl, Konya için 3,47 yıl, Van için 3,67 yıl ve Ordu için 5,1 yıl olmaktadır. Böylece enerji verimliliği ve ekonomik analizler tamamlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi santrali, Fotovoltaik, PVsyst, ekonomik analiz, farklı şehirlerin karşılaştırılması.

## I. INTRODUCTION

Energy needs are increasing day by day in parallel with living conditions in society and developments in the industry. Two types of sources are used to meet the energy need, namely non-renewable energies and renewable energies. With the use of fossil fuels, which are non-renewable energy sources, carbon emissions and greenhouse gas emissions increase [1]. For this reason, fossil fuel power generation directly affect the ecosystem and human life. Beside, since fossil fuel reserves are limited and decreasing, the demand for renewable energy sources has increased as an alternative to fossil fuels. Among the renewable energy sources, the most important one in terms of cost and efficiency is solar energy [2-6].

Turkey is one of the most remarkable locations in the world in terms of solar energy potential. Annual and daily sunshine duration is way above the world average. In Turkey annual average solar radiation is 1303 kWh/m<sup>2</sup> year, and the average annual sunshine duration is 2623 hours. This figure corresponds to 3.6 kWh/m<sup>2</sup>-day

energy, approximately 7.2 hours/day, and annually 110 days of sunshine. In other words, there is a potential of 26.2 million toe per year [7].

Turkey can benefit of solar energy from 63% of the country's surface area technically and economically in 10 months of the year and 17% throughout the year. Investment and R&D activities for solar energy in Turkey have increased significantly since 2013. With the significant increase in investments in Turkey, researches on issues such as efficiency and optimization have started. Many variables such as sunshine duration, radiation angles, temperature, humidity, wind, location (detailed coordinates), panel type and inverter efficiency are investigated in detail by R&D companies and universities [8-11].

While planning solar energy application, regional climatic differences in Turkey are generally not taken into account. In this study, one province was selected from the regions showing different climate characteristics, and solar power plants suitable for those provinces were designed and their efficiency was examined. Purpose of the study; to assist in the planning of future energy investments by making a comparative evaluation of solar power plants under different climatic conditions. Since this will guide the investor, it will contribute to a more accurate planning and project design. Efficiency evaluations have been made in different countries by taking into account the climatic conditions, but there is not enough work in this field in our country. With this study, it is aimed to make an important contribution to the missing interregional SPP efficiency studies.

In this study, performance ratio (PR) as part of energy efficiency was calculated and economic analysis was carried out with the same capacity solar power plant project in Istanbul, Konya, Van and Ordu provinces which each of the cities located in 4 different climate zones. PR calculations were made for each climate zone separately. According to these calculations, ideal SPP elements were selected. After the selection process, the calculation of the SPP cost according to each climatic region and the interregional differences were found. In line with the aims and objectives stated in the study, the PVsyst program was used. With this program, hourly, daily and monthly sunshine durations, solar radiation and radiation values between regions were determined. The solar maps of the selected provinces are shown in Figure 1.

In the study, an economic comparison was made by designing a solar power plant with an installed power of 1 MWe in the selected provinces and taking into account the energy efficiency of the facilities with the same capacity among the regions.

## II. MATERIAL AND METHODS

PVSyst software was used to design the solar power plant. In the software, the exact coordinates of the selected provinces were inputted the radiation values, average temperature, wind speed and humidity values were found. The latitude and longitude values of the selected provinces are shown in Table 1. According to these data, photovoltaic panels and inverters, which are the main power plant elements, were selected and their numbers and details were determined according to these selections. At the end of the design, the monthly energy production data of the power plant with an installed power of 1 MWe in each province and the average PR of the facility were also calculated. PR is calculated by formula;

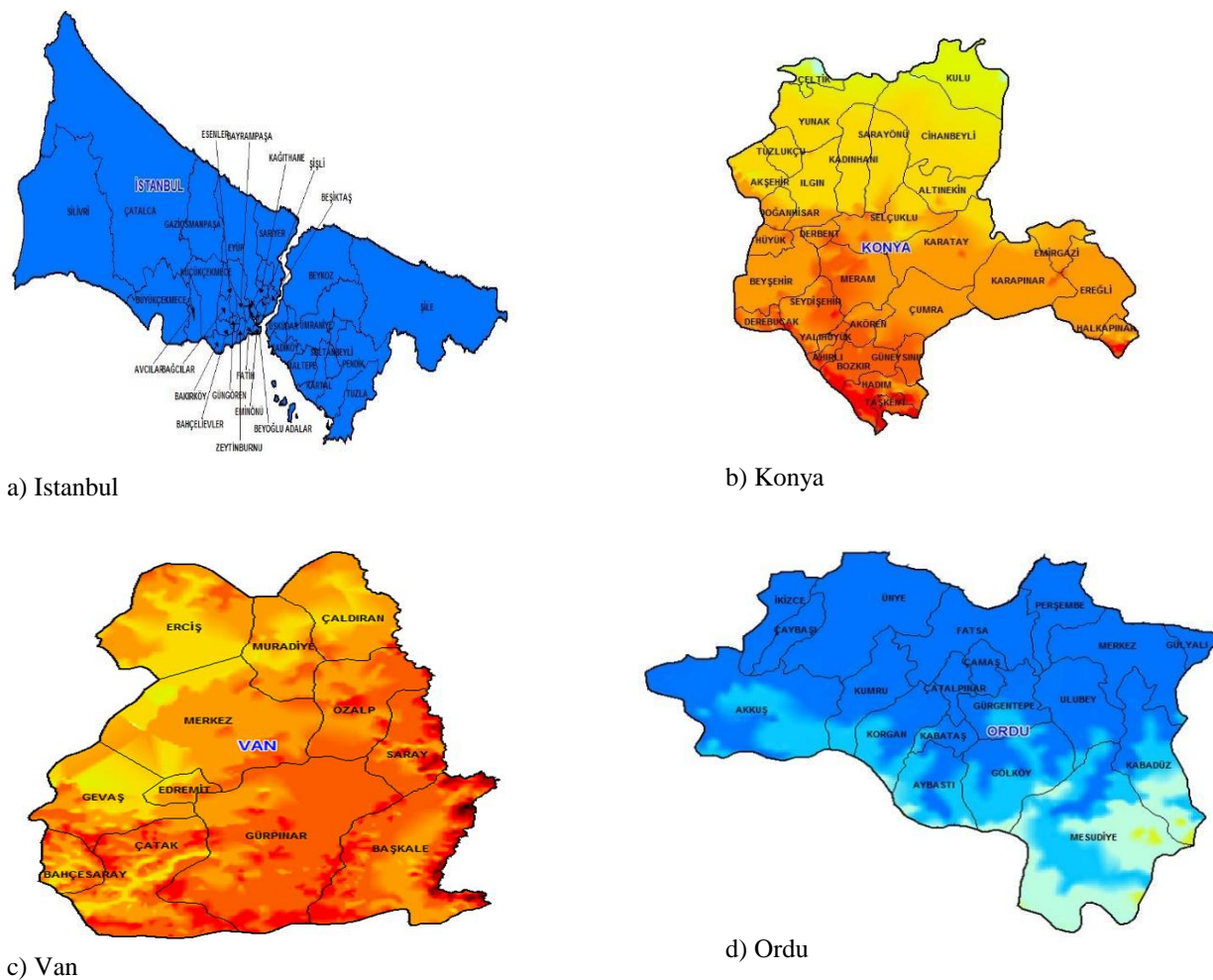
$$PR = \frac{E_{grid}}{G_{inc} \cdot P_{nom}}$$

Where  $E_{grid}$  is the available energy,  $G_{inc}$  is the global incident, and  $P_{nom}$  is the standard conditions installed power.

In this study, to compare the performance of power plants considered for the regions, SPP elements were accepted with the same capacity. In order to make a correct comparison, the number of panels connected in series was determined as the same number of PV panels installed at the same angle of inclination in each project.

**Table 1.** Coordinates of selected provinces

| Province | Latitude (North) | Longitude (East) |
|----------|------------------|------------------|
| Istanbul | 41.01384         | 28.94966         |
| Konya    | 37.87135         | 32.48464         |
| Van      | 38.6909          | 43.2957          |
| Ordu     | 40.9706          | 37.8822          |



**Figure 1.** Solar energy maps of provinces a) Istanbul, b) Konya, c) Van, d) Ordu [12].

## 2.1. Design of solar power plant

In solar power plant design, in order to obtain the maximum efficiency of 12 months, the panel tilt angle and azimuth value must be entered first. The software can determine the most suitable panel inclination angle and azimuth angle by creating scenarios according to different angles considering seasonal differences according to the selected location. The appropriate inclination angle and azimuth value determined by the software as a result of the rapid scenario creation method in terms of Turkey's location are shown in Table 2.

**Table 2.** Orientation of PV array

|            |     |
|------------|-----|
| Tilt angle | 30° |
| Azimuth    | 0°  |

In the continuation of the design, panel and inverter selection will be made. In this study, Canadian Solar was chosen as the panel and Fronius brand was chosen as the inverter. The technical specifications of these selected switchboard elements are shown in Table 3 and Table 4 [13,14].

**Table 3.** Technical data of Canadian Solar Module

| Specification                           | Data             |
|---|------------------|
| Cell type                               | Mono-crystalline |
| Dimensions                              | 1650×992×40 mm   |
| Nominal Max. Power                      | 280W             |
| Optimum Operating Voltage               | 31.5V            |
| Optimum Operating Current               | 8.89A            |
| Open Circuit Voltage                    | 38.5V            |
| Short Circuit Current                   | 9.43A            |
| Temperature Coefficient (at max. power) | -0,41% / °C      |
| Module Efficiency                       | 17,11%           |

**Table 4.** Technical data of Fronius Inverter

| Specification              | Data         |
|----------------------------|--------------|
| Number of MPP trackers     | 1            |
| Max. input current         | 47,7 A       |
| Max. short circuit current | 71,6 A       |
| DC input voltage range     | 580-1000 V   |
| Feed-in start voltage      | 650 V        |
| Nominal input voltage      | 580 V        |
| MPP voltage range          | 580-850 V    |
| Usable voltage range       | 580-850 V    |
| Number of DC connections   | 6            |
| Max. PV generator power    | 37,8 kW-peak |

The common design details of the power plant designed for each province are shown in Table 5.

**Table 5.** Design details

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Installed capacity (kWe) | 1000 |
| Inverter (kW)            | 25   |

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Number of inverters        | 37       |
| Number of strings          | 5        |
| Number of arrays           | 23       |
| Number of modules/Inverter | 115      |
| Total number of modules    | 4255     |
| Module power (kW)          | 265      |
| Total peak power (Wp)      | 1127575  |
| Total peak power (kWp)     | 1127,575 |

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Energy analysis

In Istanbul, Konya, Van and Ordu, the radiation, ambient temperature, loads, energy coming out of the PV system, energy supplied to the grid and power plant performance ratio in these regions were obtained by projecting with PVSyst software. The distribution of the data obtained from the power plants by months is shown in Table 6, Table 7, Table 8 and Table 9 for 4 provinces.

The data obtained from four different regions are shown in Figure 2 and Figure 3 graphically, comparing energy production data and power plant efficiencies. Annual total energy production and power plant PR of the plants are shown in Table 10.

**Table 6.** Data obtained in the province of Istanbul

|               | Horizontal Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Vertical Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Ambient temperature °C | Global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective produced energy MWh | Energy injected into grid MWh | PR           |
|---------------|--|--|------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| January       | 46.2                                     | 24.46                                  | 6.25                   | 70.8                               | 69.6   | 80.8                          | 78.9                          | 0.935        |
| February      | 57.7                                     | 32.86                                  | 6.27                   | 75                                 | 73.7   | 84.4                          | 82.4                          | 0.922        |
| March         | 96.5                                     | 46.85                                  | 8.96                   | 117.30                             | 115.1  | 129.3                         | 126.4                         | 0.905        |
| April         | 134.6                                    | 72.27                                  | 12.32                  | 144.5                              | 141.3  | 157.1                         | 153.6                         | 0.893        |
| May           | 175.2                                    | 76.37                                  | 17.78                  | 172.4                              | 168.7  | 181.5                         | 177.6                         | 0.865        |
| June          | 187.3                                    | 91.28                                  | 22.37                  | 178.2                              | 174.2  | 185.5                         | 181.6                         | 0.855        |
| July          | 194.3                                    | 83.09                                  | 25.59                  | 187.3                              | 183.2  | 190.9                         | 186.9                         | 0.838        |
| August        | 167.7                                    | 74.08                                  | 25.54                  | 177.2                              | 173.5  | 180.5                         | 176.8                         | 0.837        |
| September     | 128                                      | 53.7                                   | 20.93                  | 150.7                              | 147.8  | 156.6                         | 153.3                         | 0.854        |
| October       | 87.3                                     | 49.37                                  | 17.05                  | 112.5                              | 110.3  | 122.3                         | 119.6                         | 0.892        |
| November      | 55.4                                     | 30.14                                  | 11.93                  | 81.8                               | 80.3   | 90.9                          | 88.9                          | 0.912        |
| December      | 41.7                                     | 25.87                                  | 8.25                   | 63.2                               | 62   | 72.1                          | 70.4                          | 0.935        |
| <b>Annual</b> | <b>1371.9</b>                            | <b>660.35</b>                          | <b>15.33</b>           | <b>1530.7</b>                      | <b>1499.6</b>                                | <b>1632</b>                   | <b>1596.2</b>                 | <b>0.875</b> |

**Table 7.** Data obtained in the province of Konya

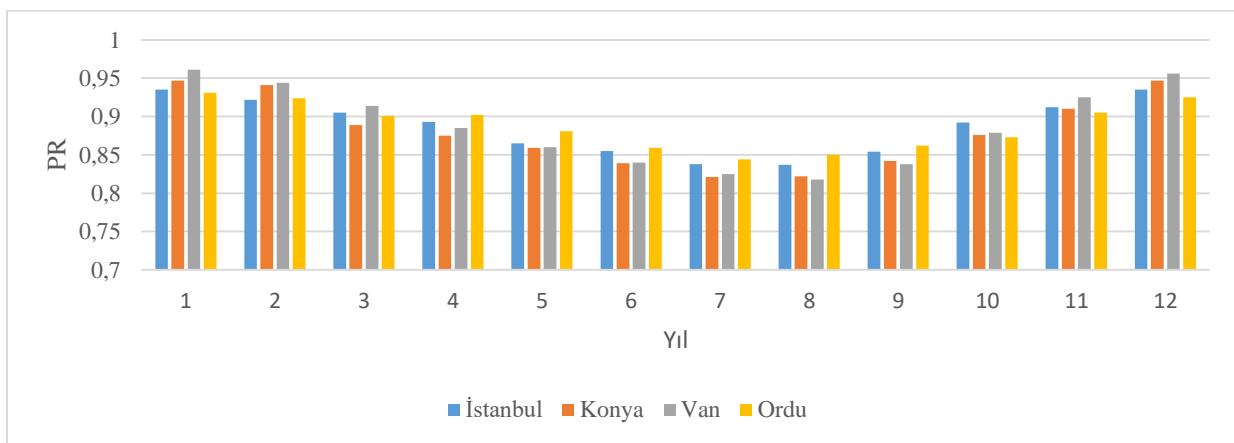
|               | Horizontal Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Vertical Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Ambient temperature °C | Global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective produced energy MWh | Energy injected into grid MWh | PR          |
|---------------|--|--|------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| January       | 70.4                                     | 28.2                                   | -0.70                  | 110.8                              | 109.2  | 128                           | 125                           | 0.947       |
| February      | 89.1                                     | 36.1                                   | 1                      | 126.4                              | 124.4  | 144.9                         | 141.7                         | 0.941       |
| March         | 136.5                                    | 53.2                                   | 6.5                    | 167.10                             | 164.1  | 181                           | 177                           | 0.889       |
| April         | 159.3                                    | 73.5                                   | 11                     | 168.2                              | 164.7  | 179.3                         | 175.4                         | 0.875       |
| May           | 204.1                                    | 76                                     | 16.3                   | 199.3                              | 195  | 208.5                         | 204                           | 0.859       |
| June          | 224                                      | 62.8                                   | 21                     | 208.4                              | 203.9  | 212.7                         | 208.3                         | 0.839       |
| July          | 236.7                                    | 58.1                                   | 24.9                   | 224.5                              | 219.8  | 224.2                         | 219.6                         | 0.821       |
| August        | 215.1                                    | 52.5                                   | 24.3                   | 225.6                              | 221.2  | 225.4                         | 220.8                         | 0.822       |
| September     | 165.4                                    | 50.1                                   | 18.6                   | 194.9                              | 191.3  | 199.7                         | 195.6                         | 0.842       |
| October       | 119.5                                    | 41.1                                   | 13.3                   | 161.3                              | 158.8  | 172                           | 168.3                         | 0.876       |
| November      | 79.3                                     | 28.9                                   | 6.1                    | 122.4                              | 120.6  | 135.8                         | 132.8                         | 0.91        |
| December      | 61.7                                     | 23.8                                   | 1.1                    | 105.2                              | 103.5  | 121.4                         | 118.6                         | 0.947       |
| <b>Annual</b> | <b>1761.1</b>                            | <b>584.3</b>                           | <b>12.02</b>           | <b>2014.2</b>                      | <b>1976.5</b>                                | <b>2133</b>                   | <b>2087</b>                   | <b>0.87</b> |

**Table 8.** Data obtained in the province of Van

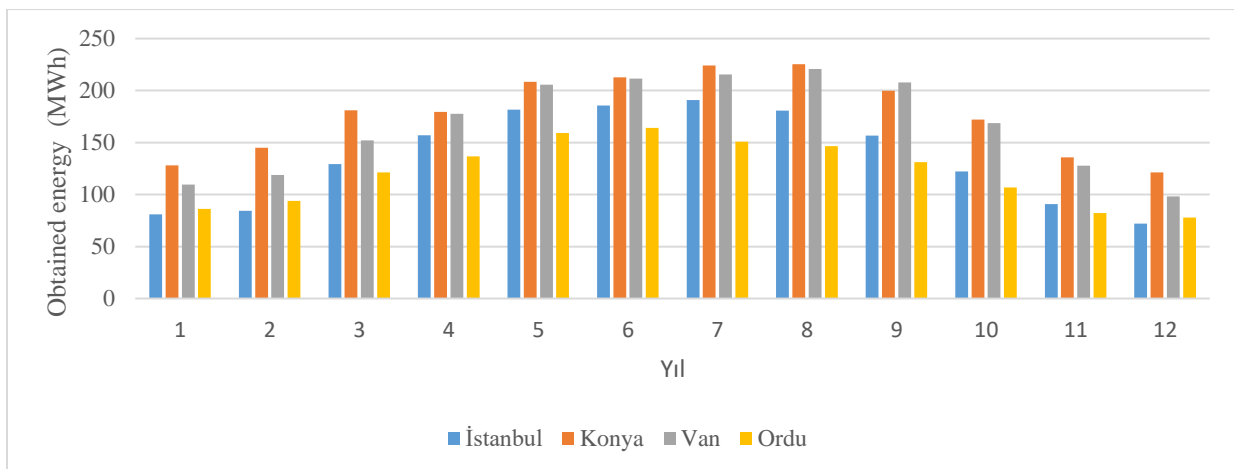
|               | Horizontal Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Vertical Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Ambient temperature °C | Global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective produced energy MWh | Energy injected into grid MWh | PR           |
|---------------|--|--|------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| January       | 61.7                                     | 30.99                                  | -2.23                  | 93.6                               | 92   | 109.7                         | 107.1                         | 0.961        |
| February      | 79.3                                     | 46.75                                  | 2.74                   | 103.4                              | 101.6  | 118.9                         | 116.2                         | 0.944        |
| March         | 117.3                                    | 71.86                                  | 8.97                   | 136.50                             | 133.9  | 152                           | 148.7                         | 0.914        |
| April         | 153                                      | 79.82                                  | 13.72                  | 164.6                              | 161.3  | 177.5                         | 173.6                         | 0.885        |
| May           | 198.8                                    | 85.03                                  | 18.47                  | 196.3                              | 192.3  | 205.5                         | 201.1                         | 0.86         |
| June          | 218                                      | 85.77                                  | 23.31                  | 207.1                              | 202.8  | 211.5                         | 207.2                         | 0.84         |
| July          | 221.5                                    | 86.45                                  | 26.76                  | 214.8                              | 210.4  | 215.5                         | 211.2                         | 0.825        |
| August        | 209.7                                    | 67.8                                   | 26.86                  | 222                                | 217.9  | 220.8                         | 216.3                         | 0.818        |
| September     | 169.5                                    | 49.48                                  | 21.69                  | 203.8                              | 200.3  | 207.8                         | 203.5                         | 0.838        |
| October       | 117.6                                    | 48                                     | 15.67                  | 157.7                              | 155.2  | 168.7                         | 165.1                         | 0.879        |
| November      | 75.9                                     | 36.92                                  | 7.73                   | 113.4                              | 111.6  | 127.8                         | 125                           | 0.925        |
| December      | 55.1                                     | 31.22                                  | 1.08                   | 84.3                               | 82.8   | 98.3                          | 96.1                          | 0.956        |
| <b>Annual</b> | <b>1677.4</b>                            | <b>720.1</b>                           | <b>13.79</b>           | <b>1897.6</b>                      | <b>1862.1</b>                                | <b>2014.1</b>                 | <b>1971.2</b>                 | <b>0.872</b> |

**Table 9.** Data obtained in the province of Ordu

|               | Horizontal Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Vertical Irradiance kWh/m <sup>2</sup> | Ambient temperature °C | Global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective global incident kWh/m <sup>2</sup> | Effective produced energy MWh | Energy injected into grid MWh | PR           |
|---------------|--|--|------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| January       | 48.5                                     | 24.6                                   | 6.41                   | 76                                 | 74.7   | 86.3                          | 84.3                          | 0.931        |
| February      | 62.4                                     | 33.4                                   | 6.58                   | 83.2                               | 81.8   | 93.8                          | 91.6                          | 0.924        |
| March         | 94.6                                     | 50.32                                  | 8.87                   | 110.20                             | 108.1  | 121.2                         | 118.3                         | 0.901        |
| April         | 117.9                                    | 73.7                                   | 11.15                  | 124.2                              | 121.5  | 136.6                         | 133.5                         | 0.902        |
| May           | 151.3                                    | 87.7                                   | 15.66                  | 148.3                              | 144.7  | 159.1                         | 155.6                         | 0.881        |
| June          | 164                                      | 82                                     | 20.04                  | 156.7                              | 153.1  | 163.9                         | 160.4                         | 0.859        |
| July          | 153.1                                    | 78                                     | 23.78                  | 146.8                              | 143.3  | 150.9                         | 147.6                         | 0.844        |
| August        | 138.8                                    | 81.37                                  | 24.43                  | 141.4                              | 138.1  | 146.4                         | 143.2                         | 0.85         |
| September     | 110                                      | 61.64                                  | 20.6                   | 124.8                              | 122.3  | 131.1                         | 128.2                         | 0.862        |
| October       | 78.6                                     | 40.08                                  | 17.06                  | 100.3                              | 98.5   | 106.7                         | 104.3                         | 0.873        |
| November      | 50.3                                     | 27.05                                  | 11.85                  | 74.3                               | 73   | 82.1                          | 80.2                          | 0.905        |
| December      | 43.3                                     | 23.6                                   | 8.22                   | 69                                 | 67.7   | 77.9                          | 76.1                          | 0.925        |
| <b>Annual</b> | <b>1212.7</b>                            | <b>663.47</b>                          | <b>14.61</b>           | <b>1355.3</b>                      | <b>1326.9</b>                                | <b>1455.9</b>                 | <b>1423.2</b>                 | <b>0.881</b> |



**Figure 2.** Monthly power plant PR by province



**Figure 3.** Monthly energy obtained by provinces (MWh)



**Table 10.** Annual electricity production and power plant PR

|          | MWh/year | Power plant PR |
|----------|----------|----------------|
| Istanbul | 1596     | 87.52%         |
| Konya    | 2087     | 86.97%         |
| Van      | 1971     | 87.19%         |
| Ordu     | 1423     | 88.14%         |

### 3.2 Economic analysis

Since the solar power plants in four different provinces are planned with the same capacity, system elements and other processes will be the same. Because of this situation, it will be sufficient to make a single cost feasibility.

The requirements for cost analysis and their unit element costs and total costs are shown in Table 11. With this analysis, the power plant installation cost was calculated as \$616,270.00.

**Table 11.** Cost analysis

|                           | Unit cost (\$) | Total cost(\$) |
|---------------------------|----------------|----------------|
| PV module (Wp)            | 0.28           | 338,800        |
| Construction (Wp)         | 0.07           | 85,470         |
| DC-AC Cable               |                | 20,000         |
| Inverter                  | 2,000.00       | 74,000         |
| AC panel                  | 5,000.00       | 5,000          |
| Transformer               | 25,000.00      | 25,000         |
| Power transmission line   | 20,000.00      | 20,000         |
| Ground                    | 3,000.00       | 3,000          |
| Wire fence, cameras       | 15,000.00      | 15,000         |
| Field leveling, transport | 30,000.00      | 30,000         |
| Power plant installation  |                | 616,270        |

For the economic analysis, the income calculation was made depending on the annual electricity values produced by the power plants, taking into account the electricity market clearing price, and the annual income values are shown in Table 12. With these data, amortization periods were calculated and shown in Table 13.

**Table 12.** Annual income estimation

|          | Electricity generation (mWh/year) | Electricity market clearing price (\$) | Annual earnings (\$) |
|----------|-----------------------------------|--|----------------------|
| Istanbul | 1596                              | 85.00                                  | 135,660.00           |
| Konya    | 2087                              |  | 177,395.00           |
| Van      | 1971                              |  | 167,535.00           |
| Ordu     | 1423                              |  | 120,955.00           |

**Table 13.** Depreciation time

|          |      |
|----------|------|
| Istanbul | 4.54 |
| Konya    | 3.47 |
| Van      | 3.67 |
| Ordu     | 5.1  |

## IV. CONCLUSION

Solar power plant projects were carried out in the provinces of Istanbul, Konya, Van and Ordu located in different regions. With this project, meteorological data were obtained by using the PVsyst software, and then the panel and inverter, which are the main solar power plant elements, were selected.

Comparative results of energy production data and efficiencies in each province are shown graphically with the PVsyst software. In the continuation of the study, the installation cost of a facility with an installed power of 1 mWe was calculated by calculating the power plant elements and all other expenses.

As a result, with the projects carried out in the provinces of Istanbul, Konya, Van and Ordu, it is expected to produce 1596 mWh electricity per year in Istanbul, 2087 mWh per year in Konya, 1971 mWh per year in Van and 1423 mWh in Ordu.

The average electricity unit price in Turkey in 2018 and 2019 is approximately \$85/mWh. The installation cost of a power plant with an installed power of 1 MWe was found to be 616,270.00 \$.

As a result, annual income will be \$135,660.00 in Istanbul, \$177,395.00 in Konya, and \$167,535.00 in Van. In the framework of these data, the depreciation period in a power plant established with 100% capital was found to be 4.54 years in Istanbul, 3.47 years in Konya, 3.67 years in Van, and 5.1 years in Ordu.

## REFERENCES

- [1] Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., Alonso-Gómez, V. (2019) A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance, Solar Energy Volume 188 Page 426-440.
- [2] Çukurçayır A., Sağır, H., (2008) Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları No 20 pp. 257-278

- [3] Demiröz, E., Kurban, M., Dokur, E., (2018) Güneş Enerji Sistemlerinin Verimlilik Analizi, Bilecik – Kütahya Uygulaması, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, No 2 Part 5 Page 87-100.
- [4] Eroğlu, H. (2018) Güneş Enerji Santralleri İçin Uygunluk Haritasının Elde Edilmesi: Bir Uygulama, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, No 8, Page. 97-106.
- [5] Jung, S. (2014) Solar Energy Potential in China, South Korea and Japan, Master Thesis, University of Vienna
- [6] Ceylan, M., Coşkun, F., Yerzhanov, M. S. & Mukhtarovna, Y. A. (2019) Design and Simulation of an Off-Grid Photovoltaics System for a Campus Building, Engineering Sciences Proceeding Book, Volume 1, 6<sup>th</sup> Multidisciplinary Studies Congress, p 31, Gaziantep.
- [7] Taşova, M. (2018) Türkiye' nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri Ve Güneş enerjisinden Faydalanma Olanaklar, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi No 3.
- [8] Kaya, K., Şenel, M., Koç, E., (2018) Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi, Technological Applied Sciences, No 13 pp.219-234.
- [9] Georgitsioti, T. (2015) Photovoltaic Potential and Performance Evaluation Studies in India and the UK- Doctoral thesis, Northumbria University, England.
- [10] Eltayeb, S. (2013) Renewable Energy Potential in New Zealand – By the Numbers, Master Thesis, Massey University, New Zealand.
- [11] Dr. Wirth, H., (2018) Recent Facts about Photovoltaics in Germany, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 1, pp 894-900.
- [12] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA), [gepa.enerji.gov.tr](http://gepa.enerji.gov.tr) (June 2021).
- [13] Fronius Solar Energy, Fronius ECO, [www.fronius.com](http://www.fronius.com) (June 2021).
- [14] Canadian Solar, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com) (June 2021).

## Investigation of Rheological and Mechanical Properties of Polypropylene During Recycling Processes

*Polipropilenin Geri Dönüşüm Süreçleri Boyunca Reolojik ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*

Ali İmran AYTEN<sup>1</sup> , Gökçe KURT<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Yalova University/Polymer Materials Engineering Department/Yalova Üniversitesi, Merkez Kampusu, 77200, Yalova, TURKEY

### Abstract

In this study, the changes in the molecular structure, rheological and mechanical properties of polypropylene (PP), which is the most widely used industrial polymer, were investigated quantitatively during the recycling processes. In order to represent the recycling process, neat PP-homopolymer was subjected to recycling by extrusion and granulation process for five times, and rheological properties, molecular weights and molecular weight distribution of the samples obtained after each step were examined by a rotational rheometer, and then the tensile test results of the samples prepared in the film forms were evaluated. It was observed that the molecular weight decrease in the recycling processes was mainly occurred in the first recycling process and the decrease continued in each recycling process. It has also been determined that the mechanical strength of the samples below a certain molecular weight causes deterioration in a way that does not even allow forming of film samples.

**Keywords:** Polypropylene, Recycling, Extrusion, Rheology, Mechanical properties.

### Öz

Bu çalışmada, en yaygın kullanılan endüstriyel polimer olan polipropilenin (PP) geri dönüşüm prosesleri sırasında moleküler yapısında, reolojik ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Geri dönüşüm sürecini temsil etmek için, saf PP-homopolimer beş kez ekstrüzyon ve granülasyon işlemi ile geri dönüşüme tabi tutulmuş ve her aşamadan sonra elde edilen numunelerin reolojik özellikleri, moleküler ağırlıkları ve moleküler ağırlık dağılımı bir rotasyonel reometre ile incelenmiş ve daha sonra film formlarında hazırlanan numunelerin çekme testi sonuçları değerlendirilmiştir. Geri dönüşüm proseslerinde moleküler ağırlık azalmasının ağırlıklı olarak ilk geri dönüşüm prosesinde gerçekleştiği ve her bir geri dönüşüm prosesinde azalmanın devam ettiği görülmüştür. Ayrıca belirli bir moleküler ağırlığın altındaki numunelerin dayanımının, film numunelerinin oluşmasına bile izin vermeyecek şekilde bozulmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen, Geri dönüşüm, Ekstrüzyon, Reoloji, Mekanik özellikler.

## I. INTRODUCTION

Polypropylene (PP) is a well-known polymer which have been commonly using in industrial applications such as automotive, construction, consumer goods, packaging etc. Providing sustainability and cost reduction of PP without sacrificing its mechanical and rheological properties has been one of the important aims in polymer science. For this purpose, physical, mechanical, and rheological properties of recycled polypropylene (rPP) and using it in different structures has always been a trend topic investigated by researchers. These researches are generally focused on mechanical and rheological properties of rPP [1-4], rPP blends [5-7] and its composite structures [8-14]. Composites structures of rPP such as rPP/microcrystalline cellulose composite [9], rPP/rubberwood flour composite [10], rPP/wood composite [11], rCF/(rPP+Maleic Anhydride grafted Polypropylene) composite [12], rCF/rPP composite [13], rPP/hemp composite [14] perform better properties than its neat form in terms of tensile, flexural and creep.

Aurrekoetxea et al. [1] investigated the effects of recycling process on microstructure and mechanical properties of isotactic PP. It was determined that melt viscosity is the primary parameter affected by recycling due to the molecular weight decreasing. Recycled PP performed higher crystallization rate, crystallinity and equilibrium melting temperature than that of virgin grade. Elastic modulus and yield stress increased with the number of recycling steps while elongation at break and fracture toughness decreased. Rogueda-Berriet et al. [2] performed a study on the effects of the recycling process on the mechanical behavior of polypropylene (PP)/elastomeric, talc particles filled and non-filled. They applied different tests such as tensile (small and finite strain), bending

and creep. Creep test results showed the impact velocity was less important with the talc filled polymer. Stoian et al. [3] studied improving thermal stability and melt processability of recycled PP. PP waste/ virgin PP blends were prepared and the effect of waste PP on thermal and mechanical properties was investigated. All polymer blends performed better thermal stability when they are compared to the virgin PP. Their results recommend the blends including 30–50% virgin PP for the PP recycling waste from raffia in high performance applications. Szpieg et al. [4] developed and characterized a composite material constitutes from fully recycled CFR maleic anhydride grafted polypropylene modified polypropylene. Viscoelastic behavior of the material had a linear trend while viscoplastic strain was following a power law. In addition, results of tensile test having constant stress rate was compatible with material model even at the around of rupture stress. Zdiri et al. [15] investigated the effect of reinforcement of recycled PP by nanoparticles addition. Different nanofillers were added to the structure of rPP such as  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , carbon clack and CNT etc. It is concluded that nanofillers may have positive effect on rPP like improving mechanical and rheological properties.

In this study, effect of recycling on mechanical and rheological properties of PP homopolymer having two different molecular weights was investigated. Results were comparatively presented for virgin PP and each of recycled forms. This study will bring a detailed understanding of the mechanical and creep properties of different molecular weight PP throughout their recycling processes.

## II. MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Material

Two different industrial grade isotactic PP homopolymer grade materials were used in the study. Their melt flow index (MFI) values were 11 g/min and 2.5 g/min, respectively. These two samples will be mentioned as PP3 (210.000 g/mol) and PP4 (300.000 g/mol) throughout this study.

### 2.2. Method

In order to represent the recycling process, virgin PP-homopolymer was subjected to extrusion and granulation processes five times. Samples were prepared in a co-rotating twin-screw extruder which has a granulator equipment and screw has a diameter 16 mm,  $L/D = 40$ . Temperature profile was 185–220–230–240 °C from the feeding zone to the die. All sample granules were dried in an oven at 60 °C for 24 h before melt processing. Rheological and solid-state tensional properties, molecular weights, and molecular weight distribution (in term of polydispersity index-(PDI)) of the samples measured (or calculated) after each step.

The rheology tests were performed by a rotational dynamic oscillatory rheometer has a 25 mm diameter parallel plate. The measurements were performed at 200 °C with 1000  $\mu\text{m}$  distance between plates. First, a dynamic strain sweep test was done to the specimens to find their linear viscoelastic region (LVR). Then, a frequency sweep test was performed between 600–0.1 rad/s at a strain value in LVR (1%). Additionally, solid state creep tests were conducted under 5 MPa constant stress.

Tension test was applied according to the ASTM 882–02 test standard at different temperatures such as 30, 40, and 50 °C for each specimen by using a hybrid rotational rheometer has tension grips. The tests were done at 3 mm/min and continued up to 100% elongation. Dynamic mechanical analysis (DMA) in tension mode were performed by using a hybrid rheometer at a 1 Hz frequency in the temperature between 30–200 °C with a 3 °C/min heating rate.

## III. RESULT AND DISCUSSION

In Figure 1a, c and Figure 1b, d,  $G' - \omega$  and  $G'' - \omega$  were presented, respectively. Both modulus values decrease in all samples with the decreasing angular frequency. Decreasing modulus value can be explained by the relaxation characteristics of the polymer chains. The reason of observing higher modulus value at high frequencies is that non-reorganized polymer chains present a rigid behavior. On the other hand, the reason of low modulus value at low frequencies is the viscous deformation, which is more effective at long-time deformation.

It is also noted in the graphs that while the module values decrease in each recycling process. This difference can be clearly observed at the low frequency region. Finally, it is seen that reduction in the modulus values decreases more effectively compared to the others, especially in the first recycling process, and the  $G'$  value, which is the indicator of elastic properties, decreases more than the  $G''$  value. From this point of view, it has been evaluated that the ability of the materials to elastically store the energy during deformation during each recycling process decreases and the viscous character becomes more effective.

Figure 2 presents the changing in molecular weight and polydispersity index values which were calculated by the modeling frequency scanning test results during the recycling period. Evaluation of the molecular weight changing in the recycling process shows that the molecular weight values decrease with each recycling process and this decrease is especially effective in the first recycling process.

In addition, the fact that the PP-3 sample did not have the mechanical strength to make a film after the third recycling suggested that recycled PPs would not be

suitable for film applications when the Mw value dropped below approximately 70,000 g/mol. Finally, when the molecular weight distribution values in the polymer chains are examined by considering the PDI parameter (Mw/Mn), it is seen that the PDI values decrease in each recycling process and that even different PP derivatives have similar PDI values after the third recycling.

Figure 3 presents viscosity behavior depends on shear rate. Herein, viscosity getting reduces with the number of recycling due to the molecular weight of samples getting reduces. It is also seen that newtonian behavior at the shear rate range of the samples becomes wider with recycling process which is probably caused by reducing in PDI.

Creep test results of the samples can be seen in Figure 4. Only first and second recycled samples of PP-3 could be tested because the other recycled samples

could not form a stable polymeric film. Any tertiary creep region did not observe because the creep tests were conducted in the linear viscoelastic region. When the maximum strain values were compared, it can be observed recycled polypropylene samples generally performed less maximum strain than their virgin forms. In the case of PP3, its first recycled form showed some higher maximum strain value than its original one. This behavior may be caused from first recycled form of PP3 could not perform enough molecular orientation to gain higher crystallinity. Therefore, it exhibited more strain value than original PP3. But other forms of samples showed less strain because their molecular structure re-oriented after every recycling process and this caused an increasing their crystallinity. There is an inversely proportional relationship between crystallinity and maximum strain value.

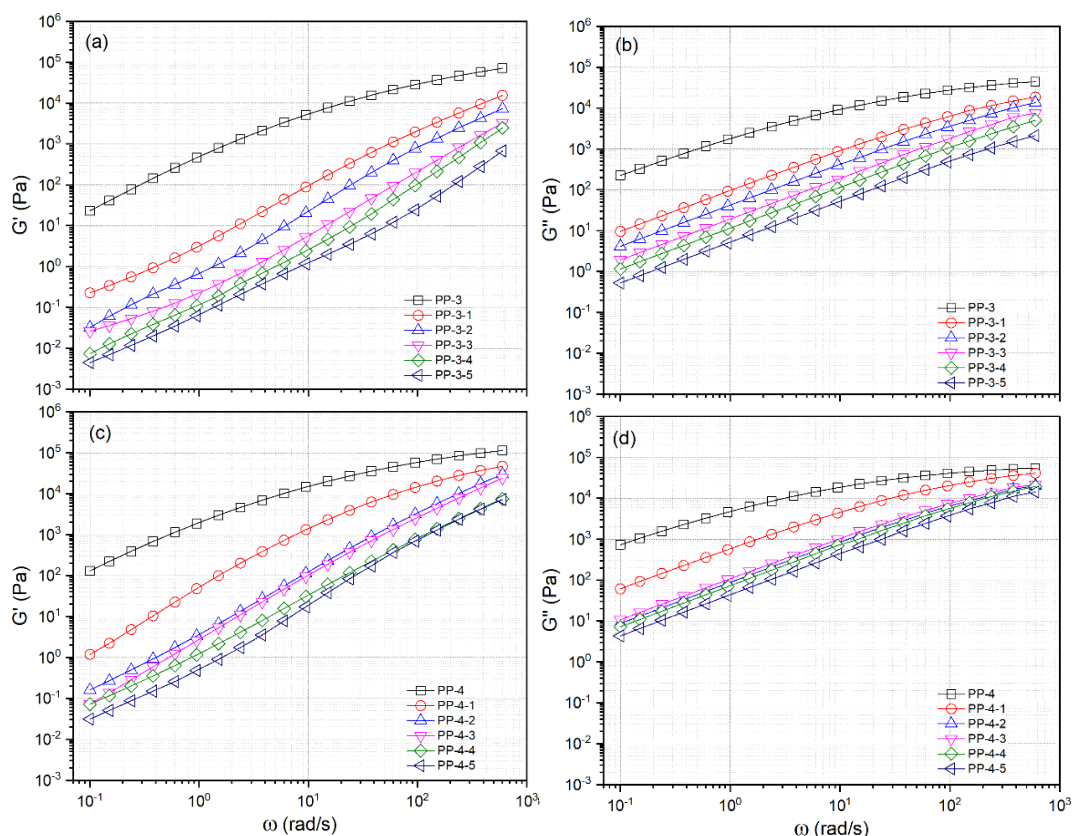


Figure 1. G'-ω and G''- ω graphs of pure and recycled PPs

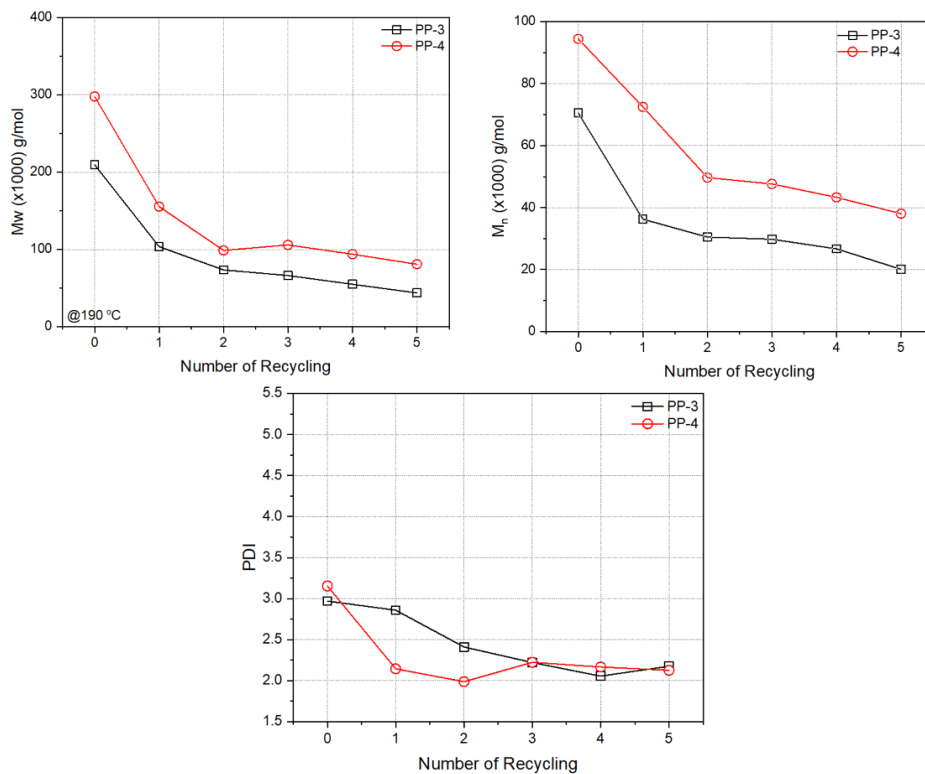


Figure 2. Changing of  $M_w$ ,  $M_n$  and PDI values depend on the number of recycling

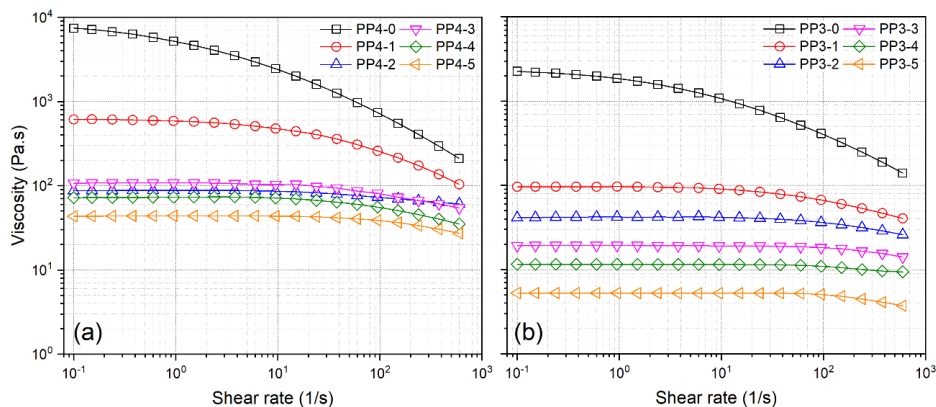


Figure 3. Rheological properties of pure and recycled PPs

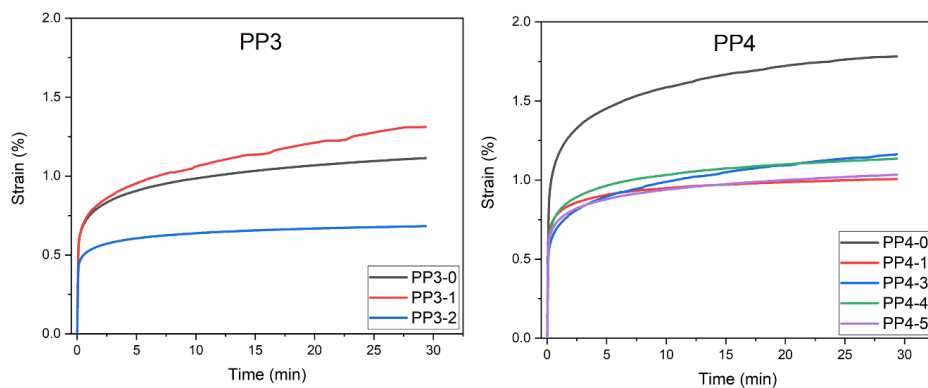


Figure 4. Creep test results of pure and recycled PPs

Table 1 summarizes to tensile test results of the samples at 30 °C. Strain at break values of samples can be compared to each other to understand the mechanical behavior of samples at each step. 4th and 5th recycled samples of low molecular weight PP could not be tested because they are extremely brittle. Conversely, high molecular weight PP could be tested, and it can keep its elastic character even its fifth recycle. It can be observed from Table 1 that elastic modulus of PP4 getting increased with the increasing number of recycle. This behavior may be explained polymer chains in PP4 can perform enough arrangements. Thereby, high molecular weight PP can be assumed as more environmental because it can resist more recycling process without loss its mechanical properties.

Figure 5 and Figure 6 show stress-strain graphs for each form of polymers at 30, 40 and 50 °C temperatures. As it is mentioned before, PP3 performed so brittle behavior after third recycle that it could not be tested. Mechanical behavior of PP3 is compatible with number of recycle. Its elastic behavior getting decrease with the increasing number of recycling. As expected, it performed more viscous behavior with increasing number of recycling. It can be concluded from Figure 6 that PP4 can preserve its elastic properties at high temperatures. This behavior originates from its high molecular weight structure, and it can keep its chain arrangement even the temperatures above room temperature.

Recycled polymers perform better characteristic than their virgin forms because of the polymer structure recrystallized after each recycle. This situation provided higher stiffness rigidity and ultimate tensile strength than its neat form to the structure. It was

stated elastic properties of the samples showed in Figure 2 getting lost after their second recycling. However, it can be seen how the elastic behavior progresses in Figure 5 and 6, especially for PP4. The difference of these two situations is due to the tests and sample forms applied. Since the samples were in the film forms and the applied load was the tensile force in the tensile tests, the samples were able to perform strength due to the recrystallization and their reorientation.

Figure 7 presents storage modulus changing depends on temperature for PP3 and PP4. Fourth and fifth recycled PP3 samples could not be tested because of their high crystallinity. PP3 behaves stable until its third recycling in term of storage modulus. There is a decreasing in the modulus value at the third recycled sample until around the temperature of 90 °C. All neat and recycled samples behave compatible with each other after this value because the crystalline structure degrades, and their behaviors completely turn over viscous character. But the high molecular weight PP (PP4) did not show a large degradation behavior and modulus decreasing because it could keep its elastic properties even its fifth recycled form. A scaling view was added to PP4 graph because six curves closely matched to each other. It can be concluded from the second detail view of PP4 graph that there is a small amount of difference between fifth recycle of PP4 and the others because of the increasing crystallinity. Melting temperatures of the samples were determined from the graphs in Figure 7. Melting temperature of the sample is the point which shows sudden drop in storage modulus. So, melting temperatures of the samples are 160 °C and 175 °C for the PP3 and PP4, respectively.

**Table 1.** Tensile test results of the samples at 30 °C

| Sample Code | E' (MPa) | Ultimate Stress (MPa) | Strain at Break (%) |
|-------------|----------|-----------------------|---------------------|
| PP-3        | 7.4      | 19.7                  | no.                 |
| PP-3-1      | 6.78     | 20.43                 | 12.18               |
| PP-3-2      | 7.07     | 19.2                  | 6.88                |
| PP-3-3      | 5.43     | 7.53                  | 1.92                |
| PP-4        | 6.53     | 14.94                 | no.                 |
| PP-4-1      | 6.91     | 16.06                 | no.                 |
| PP-4-2      | 7.58     | 20.09                 | no.                 |
| PP-4-3      | 7.61     | 15.2                  | no.                 |
| PP-4-4      | 7.64     | 18.52                 | no.                 |
| PP-4-5      | 8.52     | 13.18                 | 13.03               |

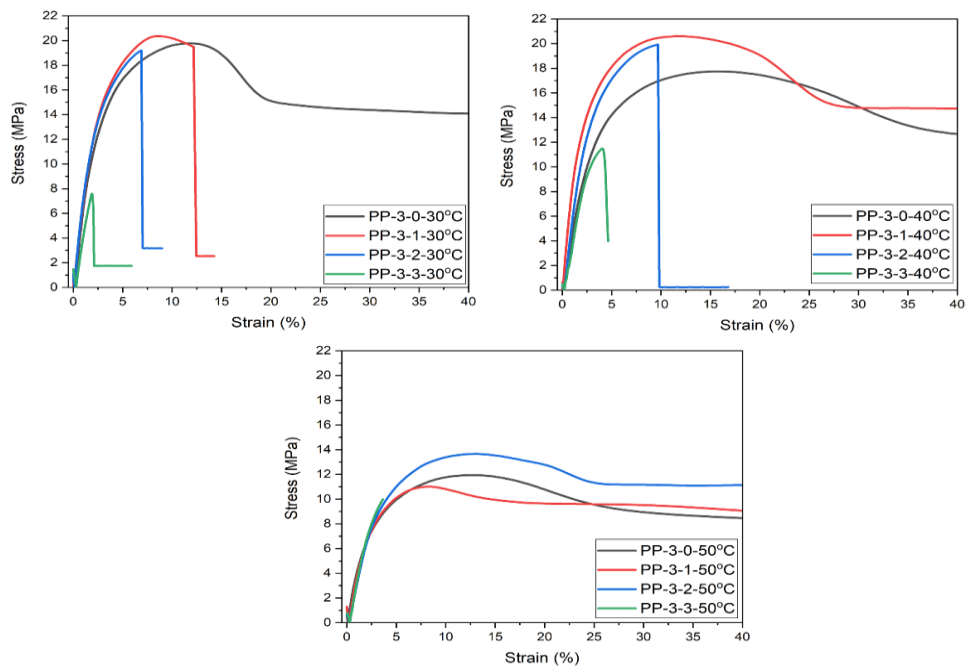


Figure 5. Tensile test results of PP3 sample for every recycle at different temperatures.

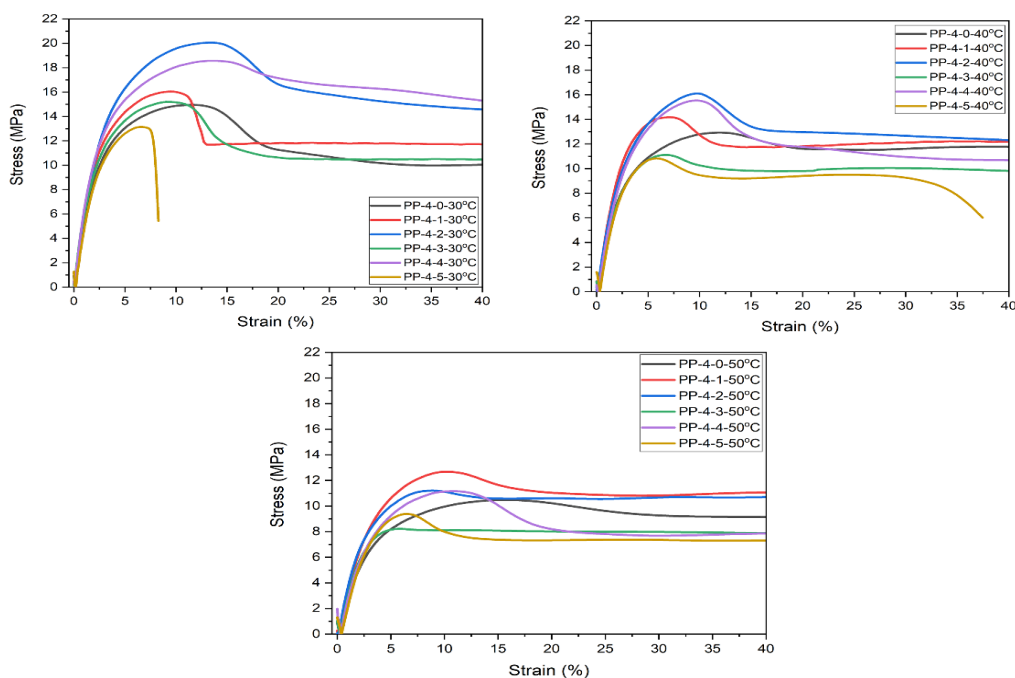


Figure 6. Tensile test results of PP4 sample for every recycle at different temperatures.

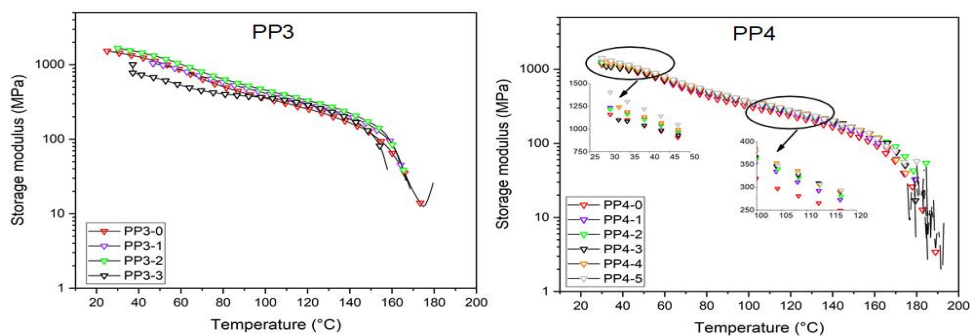


Figure 7. DMA test results of PP3 and PP4 samples for every recycle at different temperatures.



#### IV. CONCLUSION

Results of this study shows that high molecular weight PP exhibits better characteristics in terms of mechanical and rheological properties. As the recycling number increases, samples showed brittle behaviors due to their crystallinity getting higher. In spite of this, higher molecular weight sample can resist against the loading even at its fourth or fifth recycle. These results can bring a different perspective for environmental issues. For example, using polypropylene having a molecular weight above a defined value may be a requirement to provide several times of recycling.

#### REFERENCES

- [1] Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M.A., Urrutibeascoa, I. (2001). Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene, *Journal of Materials Science*, 36, 2607-2613.
- [2] Rogueda-Berriet, C., Bahlouii, N., Pessey, D., Rémond, Y. (2011). Mechanical Behavior of Recycled Polypropylene Composites Under Tensile, Bending, and Creep Loading: Experimental and Modeling, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 133 (3), 1-7.
- [3] Stoian, S.A., Gabor, A.G., Albu, A.M., Nicolae, C.A., Raditoiu, V., Panaitescu, D.M. 2019. Recycled polypropylene with improved thermal stability and melt processability, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138 (4), 2469-2480.
- [4] Incarnato, L., Scarfato, P., Acierno, D. (1999). Rheological and Mechanical Properties of Recycled Polypropylene, *Polymer Engineering and Science*, 39 (4), 749-755.
- [5] Brachet, P., Hoydal, L.T., Hinrichsen, E.L., Melum, F. (2008). Modification of mechanical properties of recycled polypropylene from post-consumer containers, *Waste Management*, 28, 2456-2464.
- [6] Zander, N.E., Gillan, M., Burckhard, Z., Gardea, F. (2019). Recycled polypropylene blends as novel 3D printing materials, *Additive Manufacturing*, 25, 122-130.
- [7] Matei, E., Rapa, M., Andras, A.A., Predescu, A.M., Pantilimon, C., Pica, A., Predescu, C. (2017). Recycled Polypropylene Improved with Thermoplastic Elastomers, *International Journal of Polymer Science*, 2017, 1-10.
- [8] Szpieg, M., Wysocki, M., Asp, L.E. (2011). Mechanical performance and modelling of a fully recycled modified CF/PP composite, *Journal of Composite Materials*, 46 (12), 1503-1517.
- [9] Zulkifli, N.I., Samat, N., Anuar, H., Zainuddin, N. (2015). Mechanical properties and failure modes of recycled polypropylene/microcrystalline cellulose composites, *Materials and Design*, 69, 114-123.
- [10] Homkhiew, C., Ratanawilai, T., Thongruang, W. (2014). Time-temperature and stress dependent behaviors of composites made from recycled polypropylene and rubberwood flour, *Construction and Building Materials*, 66, 98-104.
- [11] Hung, K., Wu, T., Chen, Y., Wu, J. (2016). Assessing the effect of wood acetylation on mechanical properties and extended creep behavior of wood/recycled-polypropylene composites, *Construction and Building Materials*, 108, 139-145.
- [12] Szpieg, M., Giannadakis, K., Asp, L.E. (2011). Viscoelastic and viscoplastic behavior of a fully recycled carbon fiber-reinforced maleic anhydride grafted polypropylene modified polypropylene composite, *Journal of Composite Materials*, 46 (13), 1633-1646.
- [13] Giannadakis, K., Szpieg, M., Varna, J. (2011). Mechanical Performance of a Recycled Carbon Fibre/PP Composite, *Experimental Mechanics*, 51, 767-777.
- [14] Kakroodi, A.R., Leduc, S., Rodrigue, D. (2012). Effect of Hybridization and Compatibilization on the Mechanical Properties of Recycled Polypropylene-Hemp Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 2494-2500.
- [15] Zdiri, K., Elamria, A., Hamdaouia, M., Harzallah, O., Khenoussi, N., Brendlé, J. 2018. "Reinforcement of recycled PP polymers by nanoparticles incorporation", *Green Chemistry Letters and Reviews*, 11 (3), 296-311.

# Alüminyum Profil Bükümünde Dolgu Takviyesinin Etkisinin İncelenmesi

## Investigation of the Effect of Filler Reinforcement in Aluminum Profile Bending

Esra ÇETİN<sup>1</sup> , Yiğit GÜLLER<sup>1</sup> , Eren BOYACI<sup>1</sup> , Kübra BAŞARAN<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye

### Öz

Teknolojideki gelişmeler ile beraber mimari tasarımlarda artan çeşitlilik ile kullanıcıya/sektöre farklı seçenekler sunma imkanı yakalanmaktadır. Tasarımın çeşitlenmesi ile bu tasarımların üretilebilmesi için üretim yöntemlerinde de gelişmeler yaşanmaktadır. Teknolojik imkanların yapı, malzeme ve inşaat yöntemlerini de geliştirmesiyle, cephe üzerinde karmaşık geometrileri yakalayabilmek için kullanılan profillerin farklı açı, boyut ve ölçülerde bükülmesi kolaylaşmıştır. Bu çalışmada Alüminyum doğrama ve cephe sistemlerinde kullanılan ekstrüzyon yöntemi ile üretilen alüminyum profillerin üç silindirik bükme yöntemi kullanılarak bükülmesiyle ilgili proses parametrelerinin tespit ve iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Profil büküm prosesi için sonlu elemanlar analiz programı olarak Ansys kullanılmıştır. Ansys ile yapılan simülasyon sonuçları ile üç silindirik bükme cihazında bükülen profillerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Üretim sürekliliği ve maliyet için önemli parametrelerden biri olan profiller, içerisi dolgu malzemeli ve dolgu malzemesiz olarak profillerin iki eksenli büküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel teorik ve sayısal çalışmalar yapılarak dolgu malzemeli ve boş profillerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Dolgu malzemeleri olmadan yapılan büküm işlemlerinde istenmeyen deformasyonlar ve profilin geometrisinde bozulmalar görülmüş olup bunların sayısal analizlerle de belirlenme çalışmaları hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekstrüzyon, Profil, Alüminyum, Büküm, Dolgu Maddesi.

### Abstract

With the developments in technology and the increasing diversity in architectural designs, it is possible to offer different options to the user/industry. With the development of technological opportunities, construction, materials and construction methods, it has become easier to bend the profiles used to capture complex geometries on the facade at different angles, sizes and dimensions. In this study, determination and improvement of the process parameters related to the bending of aluminum profiles produced by the extrusion method used in aluminum joinery and facade systems using the three-rolling bending method were carried out. Ansys was used as the finite element analysis program for the profile bending process. Comparisons were made between the simulation results made with Ansys and the bent profiles in the three-rolling bending device. Profiles, one of the important parameters in terms of production continuity and cost, biaxial bending tests of the profiles with and without filling material were carried out. Experimental, theoretical and numerical studies were carried out and the results of the filled and without filled profiles were compared. Undesirable deformations in bending operations without filling materials and deformations in the geometry of the profile were observed, and it was aimed to determine them by numerical analysis.

**Keywords:** Extrusion, Profile, Aluminum, Bending, Filler.

## I. GİRİŞ

Endüstri 4.0 çağına geçişle birlikte metal şekillendirme sektörü de bu köklü değişikliklerden etkilenmekte ve gelişmektedir. İmalattaki bu devrimin en önemli yönlerinden biri ürünlerin, makinelerin ve süreçlerin potansiyellerini artırmak, geleneksel seri üretimden kitlesel özelleştirme için daha fazla talep tipi üretime geçişi mümkün kılmaktır. Binaların ve kentlerin yüzü olan cepheler, tasarımları ile kente ve kullanıcıya etki eden bölümlerdir. Cephe tasarımında biçim, boyut, renk, kullanılan malzeme gibi birçok önemli parametre vardır. Özellikle cephenin bütününde görsel olarak varlığını gösteren tasarımın biçimi, yer aldığı çevre içerisinde hem işlevsel hem de görsel olarak rol oynamaktadır. İki boyutta bükülen profiller, mimari endüstrisinde artan çeşitlilik ve talepleri karşılamak için giderek daha fazla dikkat çekmektedir [1].

Bu ihtiyaç, yeni ve yenilikçi şekillendirme teknolojilerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bükme bazı şekillendirme teknolojileri, profil benzeri ürünlerin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu süreçlerin geliştirilmesi ve optimizasyonu zaman alıcı aynı zamanda maliyetlidir. Bu nedenle, sonlu eleman simülasyonları,

üretim öncesinde profil tasarım parametrelerine ve çıktının kalite güvencesine yol gösterici olarak çok sık kullanılmaktadır [2]. Bu çalışmada, bir alüminyum profilin üç silindri bükülmesini analiz etmek için Ansys sonlu eleman programı kullanılmıştır.

Bu sürecin üç boyutlu bir sonlu eleman modeli, temas sınır koşul şartları, malzeme özellik tanımları, ağ oluşturma tekniği vb. gibi birkaç temel tekniğin çözümüne dayalı olarak oluşturulmuştur. Bugüne kadar bu tür ürünlerin farklı gereksinimlerine yönelik döner çekme bükme rotary draw bending (RDB), gerdirme bükme, tork üst üste uzamsal bükme torque superposed spatial bending (TSSB) ve üç silindri bükme three-roll bending (TRB) gibi bir dizi yöntem geliştirilmiştir [3].

Çalışmada bu yöntemlerden, profillerin çok çeşitli kesitlerin bükülmesine olanak sağlayan TRB yöntemi kullanılmıştır. TRB yönteminin avantajı, bükme şeklinin mekanik olarak ayarlanmasıdır, bu da daha yüksek esnekliğe ve daha düşük üretim maliyetine yol açmakta ve seri üretim için tercih edilir kılınmaktadır [4].

TRB yöntemi ile bükümün avantajları yanında dezavantaj olarak bükülme sırasında boş profillerin dolu profillere oranla bükülmeye karşı dayanıksız olduğu gözlemlenmiştir. Bükülmeye karşı dayanıklılık için ince duvarlı kare profillerin takviye optimizasyonu kapsamında enerji absorbe etme ve koruma performansını değerlendirmek için SEA (spesifik enerji absorpsiyonu) ve CLE (çarpma yükü verimliliği) iki temel gösterge tanımlanarak SEA ve CLE değerlerini, geleneksel boş profil ile karşılaştırıldığında sırasıyla %93,5 ve %68,1 oranında önemli ölçüde iyileştirdiği bulunmuştur [5]. Dolgu destekli merdane bükme işleminin deformasyon davranışının malzemenin değişken kalınlıkta silindirin eğrilik tutarlılığını iyileştirebildiğini göstermiştir. Dolgu malzemesinin sertliğinin artması, naylon-metal kalınlık oranının azalması ve silindir darbesinin artmasıyla rulo bükülmüş ince duvarlı alüminyum silindirin yarıçapının azaldığını ve uygun kalınlık telafisinin dolgu malzemesi olduğu belirtilmiştir [6]. Çalışmada maliyet ve proste uygulanabilirlik açısından dolgu malzemesi olarak silis kumu, simülasyon çalışmasında ise PVC Foam seçilmiş ve profil büküm işleminde dolgu etkisinin deneysel ve simülasyon analizleri yapılmıştır.

A. Wang ve arkadaşları tarafından sunulan çalışmaya dayanarak TRB yönteminde büküm kusurları ve büküm kontrol stratejisini etkileyen önemli parametrelerden biri de büküm profilin kesitidir [7]. Bu doğrultuda simülasyonda profil kesit belirleme çalışmaları yapılmıştır.

C. Chen ve arkadaşları, geri esnemeyi azaltmak için süreç parametrelerini optimize etmek ve geri esneme

sapması üzerindeki etki yasadını kontrol etmek üzerine çalışma yaparak, yatay bükülme yarıçapı ve dikey bükülme yarıçapı, Y profilinin geri esneme sapması üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu görmüş, yatay bükülme yarıçapındaki artışla, yatay bükülme ve dikey bükülmenin geri esneme sapmasının giderek azaldığını gözlemlemişlerdir [8].

Yukarıdaki çalışmalar, deneysel ve sayısal yöntemlerin büküm analizinde yaygın olarak kullanıldığını ve ilgili şekillendirme işleminde belirli bir kesite sahip profiller için bunu etkili bir şekilde tahmin edebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada pek çok mühendislik alanında yaygın olarak uygulanan alüminyum profillerin dolgu malzemeli ve dolgu malzemesiz olarak aksel sıkıştırma, eğilme momenti veya birleşik yük altındaki davranışları teori, deney ve simülasyon yoluyla kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Bununla birlikte, bu araştırmalar, sayısal tahmin ve kontrol stratejisini içermeden, üç silindri bükme işleminde mimari sistemde kullanılan alüminyum profil parçalarının dolgulu ve dolgunsuz bükülme etkilerine odaklanılmamıştır. Bu nedenle, güvenilir bir sonlu eleman analiz modeli oluşturmak ve hadde bükmede bu tür profiller için şekillendirme kalitesini iyileştirmek için ilgili kontrol stratejileri geliştirmek için bu çalışma yapılmıştır.

## II. MATERYAL METOT

### 2.1. Malzeme Özellikleri

Mimari cephe sistemlerindeki eğimli ve karmaşık tasarımlar için en çok tercih edilen 6000 serisinden 2 farklı geometriye sahip alüminyum profiller belirlenerek çalışma ve analizler yapılmıştır.

6000 seri alüminyum malzeme özellikleri Young modülü E, yoğunluk  $\rho$  ve Poisson oranı kullanılarak Ansys de tanımlamalar yapılmıştır.

Sayısal ve deneysel incelemelerde 2800 mm uzunluğunda ve yaklaşık 15 kg ağırlığında alüminyum profil kullanılmıştır. Profil malzemesi için izotropik yapısal davranış varsayılmıştır. Mekanik özellikler ise akma mukavemeti = 240 MPa, elastisite modülü E = 69 GPa, poisson katsayısı  $\nu = 0.33$ , yoğunluk  $\rho = 2.71 \text{ g / cm}^3$  ve sürtünme katsayısı 0,32 olarak tanımlanmıştır.

Merdane malzemesi için Ansys programında rijit malzeme olarak yapı çeliği kullanılmıştır. Mekanik özellikler ise akma mukavemeti = 235 MPa, elastisite modülü E = 210 GPa, poisson katsayısı  $\nu = 0.33$ , yoğunluk  $\rho = 7.850 \text{ g / cm}^3$  ve sürtünme katsayısı 0,32 olarak tanımlanmıştır.

Deneysel çalışma için tercih edilen kestamit mardanelerin özellikleri ise; akma mukavemeti = 80

MPa, elastisite modülü  $E = 3.1$  GPa, poisson katsayısı  $\nu = 0.39$ , yoğunluk  $\rho = 1.15$  g / cm<sup>3</sup> ve sürtünme katsayısı 0,36 olarak tanımlanmıştır [9].

Deneyisel çalışmalarda , dolgu malzemesi olarak üretim hattında tekrar tekrar kullanılabilir malzeme olan silis kumu tercih edilmiştir. Silis kumu için Young modülü 19.89 GPa, poisson oranı 0,3, kayma modülü 76.9 MPa olarak tarif edilmiştir [10]-[11].

Ansys programında dolgu malzemesi için PVC Foam atanmıştır. PVC Foam young modülü 1.1 GPa, poisson oranı 0,3, kayma modülü (Shear modulus) 27 MPa olarak tanımlanmıştır.

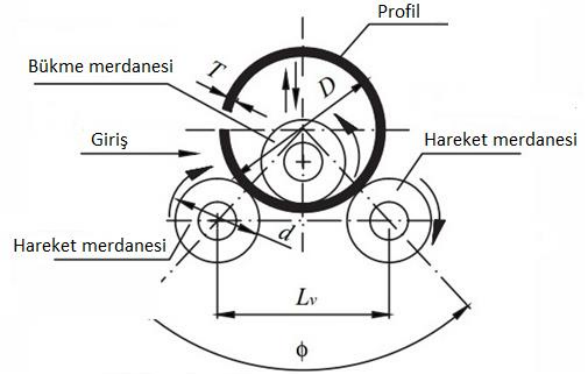
## 2.2. Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

TRB yöntemi ile bükmenin sonlu eleman simülasyonu için ilk koşul, sonlu eleman modelinin oluşturulması ve sınır koşullarının belirlenmesidir. Simülasyon sonuçları, kuruluş modeli ile deneysel sonuç arasındaki eşleştirme durumlarından doğrudan etkilenmektedir.

Üç silindirli bükme makinesi için Ansys’de kullanılan model, gerçek ekstrüzyon boyutuna ve işleme teknolojisine göre oluşturulmuştur (Şekil 1).

Bu çalışmanın Ansys tanımlamasında “Yüzeyden yüzeye (surface to surface)” temas tipi, profil ve tüm yüzeyin arasındaki temas davranışlarını tanımlamak için kullanılmıştır. Büküm sırasında profil ve yüzey arasındaki kayma davranışlarını tanımlamak için ise

“Sürtünmeli kayma tipi (frictional contact)” kullanılmıştır.

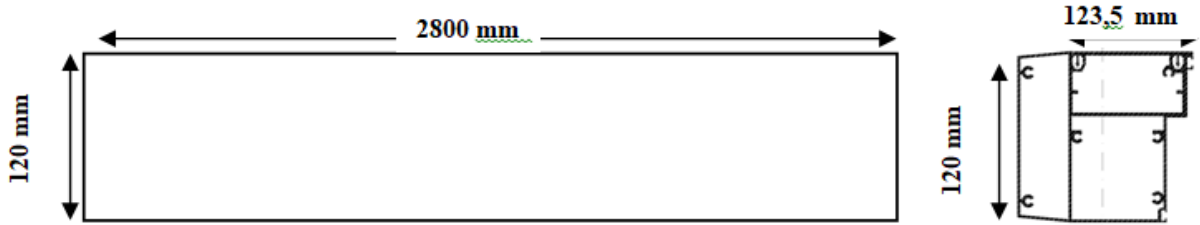


Şekil 1. Üç Silindirli Bükme [12].

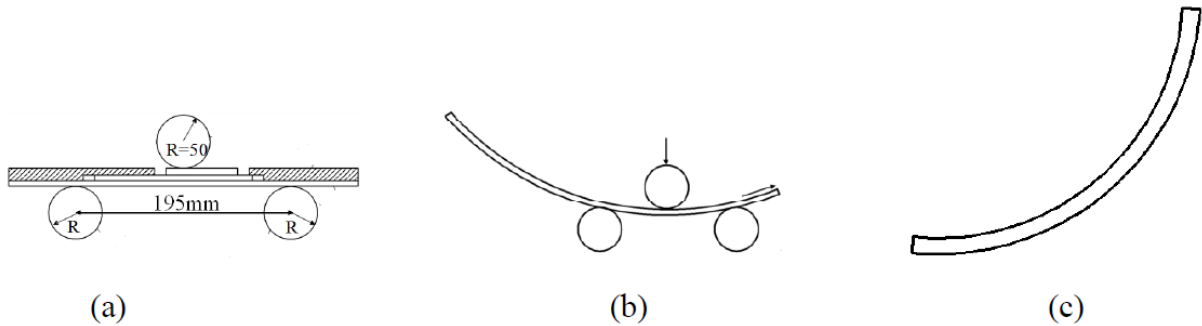
## 2.3. Deneyisel TRB Numunesinin oluşturulması

TRB Büküm için 2800mm × 120 mm × 123,5 mm ebatlarında bir numune profili tasarlanmıştır (Şekil 2). Alüminyum profil üzerinde Şekil 2’de görüldüğü gibi farklı ölçülerde üç bölüm bulunmaktadır. Dolgulu bükümde, dolgu malzemesi bu b 2800 mm ldurarak büküm gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, değişken kalınlıkta karmaşık mimari tasarımlarda kullanılmak üzere alüminyum profillerin üretimi için üç silindirli bükme makinesi kullanılmıştır.



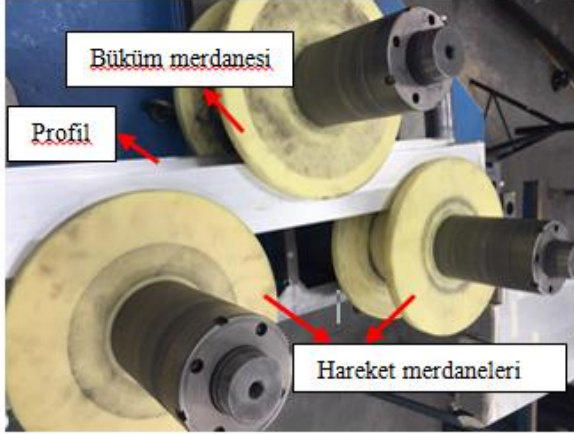
Şekil 2. Alüminyum profilin geometrik boyutları



Şekil 3. Üç Silindirli Bükme adımları [6].

Bükme adımları Şekil 3'te gösterilmiştir:

- (a) Bükülecek profil tabaka hatta yerleştirilir;
- (b) Üst silindir ve iki alt silindiri ileri doğru hareket ettirilir ve kademeli olarak bükülür;
- (c) Belirli bir eğrilige sahip profil tabaka merdaneler arasında ilerleyerek şekillendirilir.



Şekil 4. Deneysel çalışmaların yapıldığı TRB makinesi.

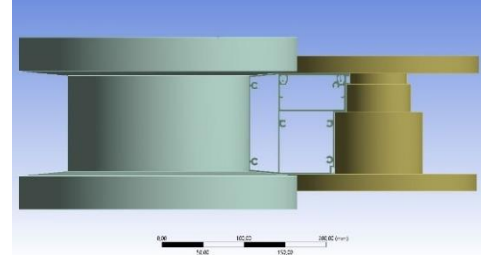
Şekil 4, mevcut incelemede uygulamanın gerçekleştirildiği TRB makinesini göstermektedir. Merdaneler için yaygın olarak ısıl işlem görmüş çelik veya kestamit kullanılmaktadır. Bu çalışmada hızlı ve kolay şekillendirilebilmenin yanında düşük maliyet avantajlarından dolayı deneysel çalışmalarda kestamit tercih edilmiştir. Yatak ile profil arasındaki sürtünmeyi azaltıp rahat ilerlemesini sağlamak için WD40 ve uçucu yağ kullanılmıştır. Büküm işlemleri silindir başına maksimum tork 3000 Nm (3 kNm) kapasiteye sahip TRB makinesinde gerçekleştirilmiştir [13]. Alüminyum profil, kalıp çapı 10 inch olan 4000 tonluk alüminyum ekstrüzyonda işlenmiştir. Silis kumu profili tam doldurması için dikkatlice hazırlanarak, büküm işlemi sırasında dolgu malzemesinin aksenel olarak hareket etmesini önlemek amacıyla başlangıçta profil uçları kapaklar ile kapatılarak sabitlenmiştir. Büküm işleminde çıkış hızı farkıyla bükülme yarıçapının oluşumu her zaman önce gerçekleşmekte ve bükülme yarıçapı yatak yüzü kenarında başlamazsa, deformasyon kısmı artmaktadır” Ekstrüzyon işlemi sırasında ekstrüde profillerin bükülmesi” Bu veriler doğrultusunda içi dolu profiller 1 sn'de 135° Açısal hız: 2,3 rad/s ve içi boş profiller ise 1 sn'de 360° Açısal hız: 6,2 rad/s ile büküm işlemine tabii tutulmuştur.

Elde edilen profillerin büküm sonu fotoğrafları ve radyus değerleri bulgular kısmında sunulmaktadır. Bu şekillerin her biri, bu profil tipi için araştırılan tüm parametre kombinasyonları dahil olmak üzere, 6000 serisi alüminyumun davranışını temsil etmektedir.

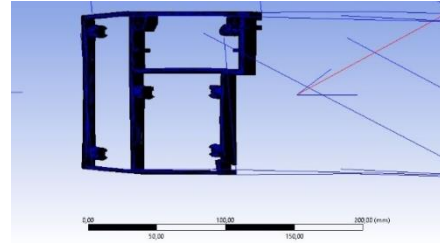
### III. BULGULAR

#### 3.1 Sonlu Eleman Analizi Sonuçları

Ansys analizinde boş profil ve PVC Foam dolgulu profillerin bükümü simüle edilmiştir. Simülasyonda içi boş büküm öncesi ve sonrası kesitler Şekil 5'te, içi dolu büküm öncesi ve sonrası kesitler Şekil 6'da yer almaktadır.

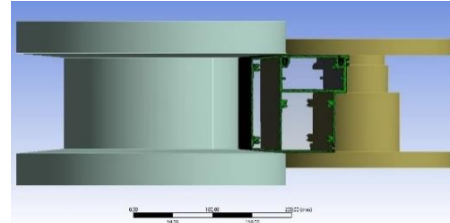


(a)

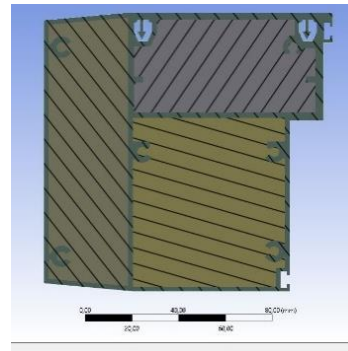


(b)

Şekil 5. (a) İçi boş büküm öncesi kesit, (b) İçi boş büküm sonrası kesit.



(a)



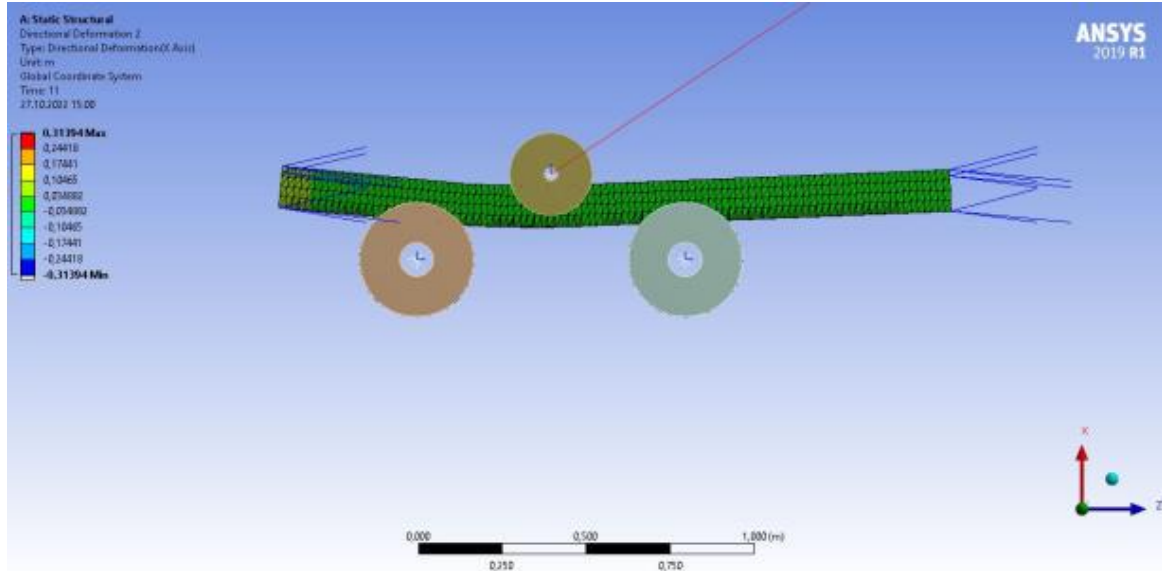
(b)

Şekil 6. (a) İçi dolu büküm öncesi kesit, (b) İçi dolu büküm sonrası kesit.

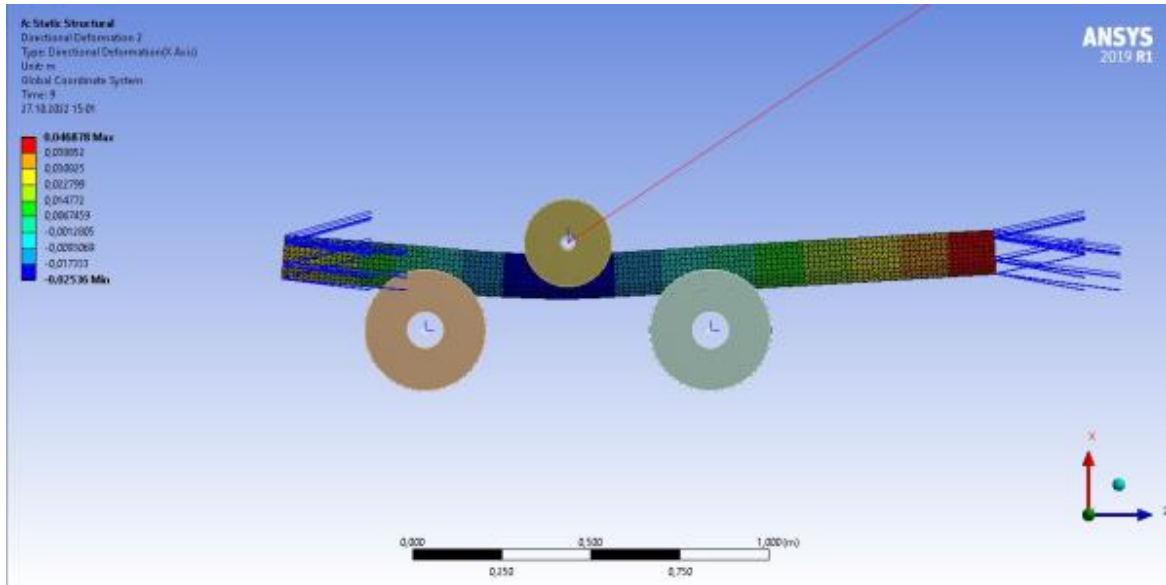
Simülasyon sonrası boş profilin radyus görseli ile PVC Foam dolgulu profilin radyus görseline Şekil 7'de yer verilmiştir.



Şekil 7. (a) İçi boş büküm sonrası radyus değeri, (b) İçi dolu büküm sonrası radyus değeri.



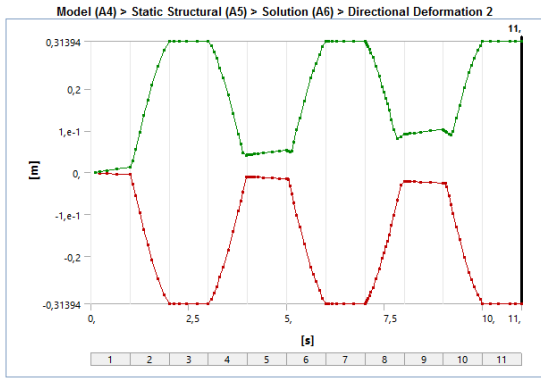
(a)



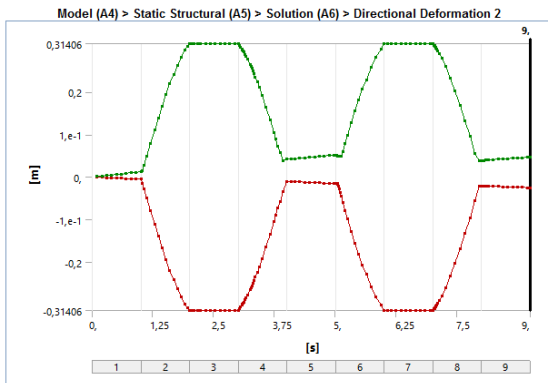
(b)

Şekil 8. (a) İçi boş büküm sonrası deformasyon , (b) İçi dolu büküm sonrası deformasyon.

İçi boş profil ve PVC Foam dolgulı profillerin 25 mm merdane hareketi sonucunda deformasyon değişimi incelenmiştir. Şekil 8'de içi boş büküm sonrası deformasyon ve içi dolu büküm sonrası deformasyon görselleri ile deformasyon değerleri yer almaktadır. Şekil 8(a) görselinde dolgu malzemesiz profili analiz ettiğimizde minimum deformasyonun 34 mm , maksimum deformasyonun ise 313 mm olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8(b) görselinde dolgu malzemeli profili analiz ettiğimizde minimum deformasyonun 1 mm, maksimum deformasyonun ise 40 mm olduğu gözlemlenmiştir. Profillerin hareket halindeki deformasyon grafikleri ise Şekil 9'da gösterilmektedir.



(a)



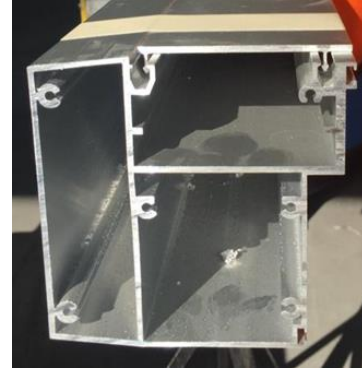
(b)

Şekil 9. (a) İçi boş profilin hareket halindeki deformasyon tablosu, (b) İçi dolu profilin hareket halindeki deformasyon tablosu.

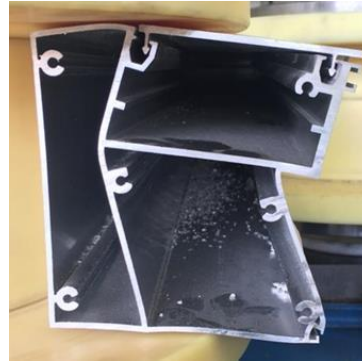
Analizde Şekil 9'da görüldüğü üzere merdanelerin hareket halindeki mesafe değerlerinin değişkenliğine göre deformasyon değerleri değişkenliği incelenmiştir. Analiz sonucuna göre PVC Foam dolgu malzemeli profilin içi boş profile göre daha düşük deformasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.2. Deneysel Büküm Sonuçları

Deneysel büküm ile boş profil ve silis kumu dolgulı profillerin bükümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da içi boş büküm öncesi kesit ve içi boş büküm sonrası kesit görselleri, içi dolu büküm öncesi ve sonrası kesit görselleri Şekil 11'de yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 10. (a) İçi boş büküm öncesi kesit, (b) İçi boş büküm sonrası kesit.



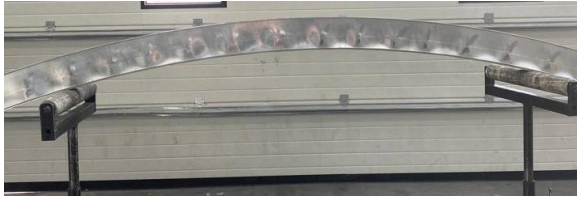
(a)



(b)

Şekil 11. (a) İçi dolu büküm öncesi kesit, (b) İçi dolu büküm sonrası kesit.

Deney sonrası dolgunsuz profil ile silis kumu dolgulu profilin görseline Şekil 12’de yer verilmiştir.



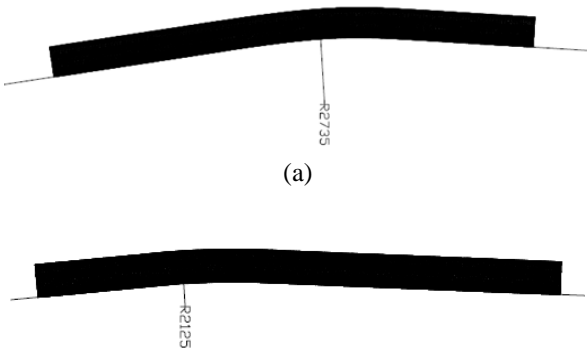
(a)



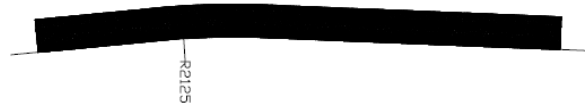
(b)

**Şekil 12.** (a) Dolgunsuz profilin deney sonrası görseli, (b) Silis kumu dolgulu profilin deney sonrası görseli.

Deney sonrası içi boş profilin radyus görseline ile silis kumu dolgulu profilin radyus görseline Şekil 13’te yer verilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 13.** (a) Deney sonrası içi boş büküm sonrası radyus değeri, (b) Deney sonrası içi dolu büküm sonrası radyus değeri.

#### IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, alt ve yan silindirlerin silindirik ve dışbükey geometrileri olmak üzere 3 boyutlu model ile FEA modeli oluşturulmuş ardından ansys çıktısı deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Deneysel ve analiz çalışmalarında benzer deformasyon sonuçları elde edildiğinden, ansys geometri, profil boyutu, profil ve merdaneler arası sürtünme katsayısı ve dolgu malzemesi kullanımı gibi farklı parametrelere sahip FEA modeli oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, dolgu malzemesi faktörünün önemi, dolgu malzemesiz çekilen profil ile kıyaslanarak tartışılmıştır.

Metal şekillendirme alanındaki araştırmacılar için bu çalışma ile alüminyum bir profilin 2 eksenli bükülmesinin FEA simülasyonu ve dolgu malzemesi kullanımı gibi önemli parametrelerle 3 boyutlu bir

modelin oluşturulması için kapsamlı bir açıklama sunmak amaçlanmıştır. Dolgu malzemesinin kusurlar üzerindeki etkilerini araştırmak için içi boş olarak bükülen alüminyum profil ve silis kumu ile doldurulmuş bir profil için bir dizi deneysel ve sayısal FEA çalışması uygulanmış aynı zamanda bu çalışmalar üretimi gerçekleştirilen profillerle karşılaştırılmıştır. Deney ve simülasyon arasındaki farklar kıyaslandığında, içi dolu profillerin deney ve simülasyon radyus değerlerinde %2,52'lik  $((2180-2125) \times 100) / 2180$  bir sapma olduğu, içi boş profillerin deney ve simülasyon radyus değerlerinde %3  $((2820-2735) \times 100) / 2820$  'lik bir sapma olduğu gözlemlenmiştir. Deneyde kullanılan silis kumu Ansys malzeme kütüphanesinde bulunmamaktadır. Buna alternatif olarak PVC foam, analizde dolgu malzemesi olarak atanmıştır. İki farklı dolgu malzemesi kullanılmasına rağmen düşük oranda sapma ile birbirine yakın sonuçlar meydana gelmiştir. Yapılan sayısal ve deneysel karşılaştırmanın %2-3 oranında tutması ile çalışmanın hedefleri doğrultusunda oldukça büyük bir başarı elde edilmiştir. Bu gözlemlerin yanında profillerin deformasyon yönünden kıyaslanması yapıldığında ise dolgu malzemesi kullanılarak bükülen profillerin çok daha az deformasyona uğradı, büküm sonrası bükülmenin dış hatlar formunu bozmadan hedeflenen şekilde gerçekleştiği gözlenirken (Şekil 10. (b)), dolgu kullanmadan bükülen profillerde deformasyonun daha fazla olduğu ve dış hatlar formunda bozulma gerçekleştiği (Şekil 9. (b)) gözlemlenmektedir. Bu sonuçlar, endüstrinin üç silindirik bir bükme makinesinin tasarımında gerekli olan ayar parametrelerini tahmin etmesi için pratik öneme sahiptir. Bununla birlikte gelecekteki araştırmalar, geliştirilen bu modellerin deneysel doğrulamasından faydalanabileceklerdir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş Ar-Ge Müdürlüğü bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma boyunca değerli bilgilerinizi bizlerle paylaşan saygıdeğer hocamız Prof. Dr. Bülent Ekici'ye teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- [1] Durmuş, B.G., Tekin, Ç., (2021). Bina ve Bina Cephesinin Kullanıcı-Tasarımcı İletişiminin Alan Çalışması ile Sorgulanması. *Tasarım + Kuram*, 7(33), 138–162.
- [2] Kamaş, T., Sarıkaya, M., (2021). Explicit Dynamics Finite Element Analyses of Asymmetrical Roll Bending Process. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 05(02), 278-290.
- [3] Welo, T., Ma, J., Blindheim, J., Ha, & T., Ringen, G., (2020). Flexible 3D Stretch Bending Of Aluminium Alloy Profiles: An Experimental And Numerical Study. *Procedia Manufacturing*, 50, 37–44.



- [4] Ktari, A., Antar, Z., Haddar, N., & Elleuch, K., (2012). Modeling and Computation of The Three-Roller Bending Process of Steel Sheets. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26 (1), 123-128.
- [5] Xie, Z., (2020). The Reinforcement Optimization of Thin-Walled Square Tubes for Bending Crashworthiness. *International journal of crashworthiness*, 25, 240-248.
- [6] Baoguo, C., Zhibin, H., Xueting, H., Lei, L., & Zhibo, Z., (2015). Numerical Simulation Analysis for Padding Assisted Roll-Bending Process, *Advanced Materials Research*, 1153-1157.
- [7] Wang, A., Xue, H., Bayraktar, E., Yang, Y., & Chen, P., (2020). Analysis and Control of Twist Defects of Aluminum Profiles with Large Z-Section in Roll Bending Process, *Metals*, 10, 2-16.
- [8] Chen, C., Li, J., Liang C., Jin, W., (2021). Springback Analysis of Flexible Stretch Bending of Multi-Point Roller Dies Process for Y-Profile under Different Process Parameters. *Metals*, 11, 2-14.
- [9] Filiz Plastik (2021). *Kestamit-Döküm Poliamid*. 11.08.2022, <https://filizplastik.com.tr/urun/pa6-g-kestamit-levha-dokum-poliamid>.
- [10] Massarsch, K.R., (2015). Determination of Shear Modulus of Soil from Static and Seismic Penetration Testing. *Tsotras*, 335-352.
- [11] Ateş, B., Şadoğlu, E., (2020). Donatılı Kum Zeminlerde Düzlem Deformasyon Koşullarında Düşey Gerilme Dağılışı. *Teknik Dergi*, 575, 9967-9985.
- [12] Oberg, E., Jones, F.D., (2012). H.Horton, H.Ryffel, machinery's handbook 29th edition. New York, Industrial Press.
- [13] Profile Bending Technology (2022), *PBT profile bending machines overview*. 10.09.2022, <https://www.pbt-ag.com/en/products/profile-bending-machines/profile-bending-machine-pbt35>.