

# İSTATİSTİKTE GÜNCEL KONULAR I

EDİTÖR  
PROF. DR. ÖZLEM ALPU

**EĞİTİM**  
yayınevi

## İSTATİSTİKTE GÜNCEL KONULAR I

Editör: Prof. Dr. Özlem ALPU

**Genel Yayın Yönetmeni:** Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

**Genel Yayın Koordinatörü:** Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

**Sayfa Tasarımı:** Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

**Kapak Tasarımı:** Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

**Yayıncı Sertifika No:** 76780

**E-ISBN:** 978-625-5997-61-6

1. Baskı, Kasım 2024

**Kütüphane Kimlik Kartı**

## İSTATİSTİKTE GÜNCEL KONULAR I

Editör: Prof. Dr. Özlem ALPU

VI+145 s., 135x215 mm

Kaynakça var, dizin yok.

E-ISBN: 978-625-5997-61-6

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

**EĞİTİM**  
YAYINEVİ

**Yayınevi Türkiye Ofis:** İstanbul: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

**Konya:** Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye  
+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42, 0 332 502 50 42  
bilgi@egitimyayinevi.com

**Yayınevi Amerika Ofis:** New York: Egitim Publishing Group, Inc.  
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America  
americao@egitimyayinevi.com

**Lojistik ve Sevkiyat Merkezi:** Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye  
sevkiyat@egitimyayinevi.com

**Kitabevi Şubesi:** Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye  
+90 332 499 90 00  
bilgi@egitimkitabevi.com

**İnternet Satış:** www.kitapmatik.com.tr  
+90 537 512 43 00  
bilgi@kitapmatik.com.tr

 **kitapmatik**  
İnternetteki kitapçınız

## ÖNSÖZ

Bu kitap, İstatistik alanında seçilmiş güncel konuları ele alan altı bölümden oluşmaktadır. Özlem Toluk ve İlker Ercan, meta analizinde heterojenlik konusu ve ölçütleri üzerine odaklanmıştır. Güven Pekdemir ve Özlem Alpu farklı kirlenme modelleri altında hücre esaslı ve satır esaslı aykırı değerleri tespit etmek, bu aykırı değerlerin tespitinde kullanılabilen konum ve kovaryans kestirimlerine karar vermek ve bu aykırı değerlerle regresyon analizini gerçekleştirebilmek için literatürde geliştirilen bazı yöntemleri ve yapılan çalışmalarını derlemiştir. Elgiz Askeroğlu ve Gaye Karpat, ekonomik kalkınma ile sanayileşme ve atık üretimi arasındaki ilişkiyi Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi ile açıklamıştır. Bu çerçevede söz konusu hipotezin geçerliliğini panel veri modelleri yardımıyla Türkiye'nin de aralarında bulunduğu beş ülke için 2000-2019 dönemi verileriyle incelemiştir. Sevgi Abdalla, bulanık küme ve nötrosofik küme arasındaki farklılık ve benzerliklere odaklanmıştır. Söz konusu küme teorilerinin gerçek yaşam problemlerini çözmedeki avantaj ve dezavantajlarını sunarak, makine öğrenimi alanındaki uygulamalarını K-en yakın komşu algoritması özelinde açıklamıştır. Ölçeklere dikkatsiz veya yeteri kadar özen göstermeden, hatta ölçeklerin içeriğini düşünmeden maddelere cevap verme, veri kalitesi açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır. Arda Uzunoğlu ve İlker Ercan, çalışmalarında ölçeklerde dikkatsiz veya özensiz yanıtların tespitinde kullanılan yöntemlere yer vermiştir. Son olarak, İrem Varürer ve Özer Özaydın, veri biliminde popüler olan derin öğrenme modellerinden Uzun Kısa Süreli Belleğe Sahip Çift Yönlü Tekrarlayan Sinir Ağları (BILSTM) üzerinde

durmuştur. Çok katmanlı Yapay Sinir Ağları yapısına sahip ve etiketli veriler üzerinden öğrenerek çalışan derin öğrenme modellerinden biri olan BILSTM, değerli madenlerden gümüş fiyatının modellenmesinde kullanılmıştır.

Kitabın akademisyenlere, araştırmacılara ve tüm okuyuculara faydalı olmasını ve çalışmalarına katkı sağlamasını diliyorum.

Çalışmanın gerçekleşmesinde emeği geçen tüm bölüm yazarlarına teşekkür ederim.

Prof. Dr. Özlem ALPU

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ..... iii

## BÖLÜM 1

META ANALİZİNDE HETEROJENLİK ÖLÇÜTLERİ ..... 1

Özlem Toluk, İlker Ercan

## BÖLÜM 2

HÜCRE ESASLI VE SATIR ESASLI AYKIRI DEĞERLERLE KESTİRİM ..... 21

Güven Pekdemir, Özlem Alpu

## BÖLÜM 3

BALKAN ÜLKELERİNDE ATIK ÜRETİMİ VE GERİ DÖNÜŞÜM PERFORMANSINI ETKİLEYEN  
FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ: EŞANLI PANEL VERİ ANALİZİ ..... 47

Elgiz Askeroğlu, Gaye Karpaz

## BÖLÜM 4

BULANIK VE NÖTROSOFİK KÜME TEORİLERİNİN K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASINDA  
KULLANIMI ..... 81

Sevgi Abdalla

## BÖLÜM 5

DİKKATSİZ VEYA ÖZENSİZ YANITLARI TESPİT ETMEK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER..... 107

Arda Uzunoglu, İlker Ercan

## BÖLÜM 6

BİLSİM DERİN ÖĞRENME MODELİ İLE GÜMÜŞ FİYATI TAHMİNİ ..... 123

İrem Varürer, Özer Özyıldın



# BÖLÜM 1

## META ANALİZİNDE HETEROJENLİK ÖLÇÜTLERİ

Özlem Toluk<sup>1</sup>, İlker Ercan<sup>2</sup>

### 1. GİRİŞ

Meta analiz farklı zamanlarda, farklı araştırmacılar tarafından, farklı örneklerde, farklı yerlerde yapılmış olan çalışmaların hariç etme ve dahil etme kriterlerine göre verilerinin birleştirilip analiz edilerek genel bir sonuca varmayı dolayısıyla klinik karar sürecine destek olmayı sağlayan önemli bir yöntemdir.

Meta-analiz, önceki çalışmaların birleştirilmesi ile örneklem büyüklüğünün artması dolayısıyla ilgilenilen etkiler için daha kesin tahmin sağlamaktadır. Meta-analiz matematiksel ve istatistiksel kurallara dayandığından kişisel görüşlerden daha az etkilenerek diğer yöntemlere göre daha objektif olmaktadır (Lee, 2019).

### 2. META ANALİZİNDE HETEROJENLİK

Çalışma içi değişkenliği etkileyen örnekleme hatası ve çalışmalar arasındaki varyasyon sebebiyle meta analizinde

1 Dr., Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye erozlem@outlook.com.tr, ORCID:0000-0001-6495-0839

2 Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye iercan@msn.com, ORCID: 0000-0002-2382-290X

heterojenlik oluşmaktadır. Bu varyasyon, çalışmalar arasındaki klinik veya metodolojik farklılıklardan veya sadece rastgelelikten kaynaklanmaktadır. Klinik heterojenlik, farklı hasta popülasyonlarından, müdahalelerden, takip süreleri veya dahil edilen çalışmaların seçimi ve sonuçların ölçüm farklılıklarından kaynaklanabilmektedir. Farklı çalışma tasarımları ve kalite sorunları (çift körlemenin varlığı veya yokluğu) metodolojik heterojenliğe neden olabilmektedir (Baker, Michael, Cappelleri, Kluger, & Coleman, 2009). Etki büyüklüklerinin bir çalışmadan diğerine nasıl değiştiğini homojenlik analizi ile değerlendiririz. Heterojenliğin neden olduğu artan varyans değeri, heterojenlik testi ve heterojenlik ölçümleri ile doğrudan ilişkilidir.

Meta analizinde heterojenliği değerlendirirken en temel ölçüt istatistiksel test olmakla birlikte, heterojenliğin düzeyini değerlendirmek açısından heterojenlik ölçütleri önemlidir. Ayrıca grafikler yardımıyla da heterojenlik hakkında görsel bilgi edinilebilmektedir.

### **2.1. Heterojenliği Değerlendirmede İstatistiksel Test: Cochran's Q testi**

Heterojenlik ölçütlerinden bahsedilecek olsa da yaygın olarak kullanılan Cochran's Q testinin uygulanması gerekmektedir.

Çalışmalar arasında gerçek heterojenliği değerlendirebilmek için 1954 yılında Cochran (k-1) serbestlik dereceli  $\chi^2$  dağılıma uyan Ki-kare heterojenlik testi olarak da adlandırılan Q istatistiğini önermiştir.

$$H_0 : \tau_1^2 = \tau_2^2 = \tau_3^2 = \dots \tau_k^2 = 0 \quad i=1, 2, 3, \dots, k$$

$$H_1 : \text{en az bir } \tau_i^2 \neq 0$$

$H_0$  hipotezi, “en az bir varyans farklıdır” şeklinde olan hipoteze karşı sınanır.

Q test istatistiği eşitlik (1) ile ifade edilmektedir;



$$Q = \sum_{i=1}^k w_i (Y_i - M)^2 \quad (1)$$

M: gözlenen etki büyüklüklerinin ağırlıklı ortalaması

$Y_i$ : i. çalışmanın gözlenen etki büyüklüğü

$$M = \frac{\sum_{i=1}^k w_i Y_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (2)$$

eşitlik (1)'de yerine koyulduğunda;

$$Q = \sum_{i=1}^k w_i \left( Y_i - \frac{\sum_{i=1}^k w_i Y_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \right)^2 \quad (3)$$

ardından,

$$Q = \sum_{i=1}^k w_i Y_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^k w_i Y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (4)$$

elde edilir.

Q test istatistiği  $\chi_{k-1}^2$  dağılımına sahip tablo değeri ile karşılaştırılır (Rücker, Schwarzer, Carpenter, & Schumacher, 2008). Q test istatistiğinin beklenen değeri eşitlik (5)'teki gibidir;

$$E[Q] = \tau^2 \left( \sum_{i=1}^k w_i - \frac{\sum_{i=1}^k w_i^2}{\sum_{i=1}^k w_i} \right) + (k-1) \quad (5)$$

Q ile  $\hat{\tau}^2$  (çalışmalar arası varyansın tahmin değeri) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır;

$$\hat{\tau}^2 = \frac{Q - (k-1)}{\left( \sum_{i=1}^k w_i - \frac{\sum_{i=1}^k w_i^2}{\sum_{i=1}^k w_i} \right)} \quad (6)$$

$Q < (k-1)$  olduğunda  $\hat{\tau}^2$  negatif bir değer alacaktır. Böyle bir durumda  $\hat{\tau}^2$  değeri  $\max(0, \hat{\tau}^2)$  olarak kullanılacağından sıfır ile değiştirilmektedir (Higgins, & Thompson, 2002). Bunun sonucu olarak, belirli bir çalışma grubu için rastgele etkiler modelinin etki büyüklüğünün ağırlığı  $(1/v_R)$ , sabit etkiler modelinin etki büyüklüğünün ağırlığını  $(1/v_F)$  aşmayacaktır (Mittlböck, & Heinzl, 2006).

Sabit etkiler varsayımı altında çalışmaların ağırlıklarının ortalaması tahmini;

$$\hat{M}_F = \frac{\sum_{i=1}^k w_i Y_i}{\sum_{i=1}^k w_i}, \text{ dir.} \quad (7)$$

Sabit etkiler varsayımı altında  $\hat{M}_F$  'nin varyansı;

$$v_F = \frac{1}{\sum_{i=1}^k w_i}, \text{ dir.} \quad (8)$$

Rasgele etkiler varsayımı altında çalışmaların ağırlıklarının ortalaması tahmini;

$$\hat{M}_R^* = \frac{\sum_{i=1}^k w_i^* Y_i}{\sum_{i=1}^k w_i^*} \quad (9)$$

$$w_i^* = (w_i^{-1} + \hat{\tau}^2)^{-1} \quad (10)$$

Rasgele etkiler varsayımı altında  $\hat{M}_R$  'nin varyansı (Higgins, & Thompson, 2002);

$$v_R = \frac{1}{\sum_{i=1}^k w_i^*}, \text{ dir.} \quad (11)$$

$$v_F = \frac{\sigma^2}{k} \quad (12)$$

$$v_R \cong \frac{(\sigma^2 + \tau^2)}{k} \quad (13)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Çalışma için varyans ( $\sigma^2$ ) iki farklı tahminle yapılabilmektedir. Tahminlerin ilki, eşitlik (14)'de verilmiştir (Bouzas, Takkouche, Cadarso-Suarez, & Spiegelman, 2001);

$$\hat{\sigma}_1^2 = kv_F = \frac{k}{\left(\sum_i^k w_i\right)} \quad (14)$$

İkinci tahmin de eşitlik (15)'deki gibidir;

$$\hat{\sigma}_2^2 = \frac{(k-1)\sum_{i=1}^k w_i}{\left(\sum_{i=1}^k w_i\right)^2 - \sum_{i=1}^k w_i^2} \quad (15)$$

Çalışma içi varyans tahmini ( $\hat{\sigma}^2$ ) ile  $Q$  istatistiğinin beklenen değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır;

$$E[Q] = (k-1) \left( \left( \frac{\hat{\tau}^2}{\hat{\sigma}_2^2} \right) + 1 \right) \quad (16)$$

$\hat{\sigma}_2^2$  heterojenlik testinin gücü ve  $Q$  istatistiğinin beklenen değeri ile ilişkilidir. Bundan dolayı ( $\hat{\sigma}_2^2$ ) heterojenlik etkisini daha iyi göstermektedir. Çalışma içi varyansın heterojenlik testinin gücü üzerine etkisini incelemek için ikinci tahmin olan ( $\hat{\sigma}_2^2$ ), birinci tahmine göre ( $\hat{\sigma}_1^2$ ) daha çok kullanılmaktadır.  $w_1 = w_2 = \dots w_k$  ise  $\hat{\sigma}_2^2 = \hat{\sigma}_1^2$  olmaktadır (Mittlböck, & Heinzl, 2006).

Meta analizine alınan çalışma sayısı Cochran'ın  $Q$  testinin gücü ile ilişkili olduğundan çalışma sayısı düşük ( $k < 20$ ) olduğunda testin gücü düşük olmakla birlikte, fazla olduğunda da yüksek olmaktadır (Baujat, Mah, Pignon, & Hill, 2002). Bu durumun dezavantajı da bulunmaktadır. Çalışma sayısı

artıkça Q değeri de arttığından, meta analizde çok fazla sayıda çalışma yer aldığına, anlamsız olabilecek küçük miktardaki heterojenlik istatistiksel olarak anlamlı hale gelebilmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için heterojenlik ölçütlerinin değerlerinin de hesaplanması gerekmektedir (Mittlböck, & Heinzl, 2006).

## 2.2. Heterojenlik Ölçütleri

Meta analizinde heterojenlik olduğunda, heterojenlik miktarını belirleyebilmek için literatürde en sık kullanılan  $H^2$ ,  $R^2$ ,  $\tau^2$ ,  $I^2$  ve  $R_b$  ölçütleri bulunmaktadır.  $H^2$  ve  $R^2$  ölçütlerinin karekökleri olan H ve R ölçütleri kullanılmaktadır (Mittlböck, & Heinzl, 2006).

### 2.2.1. $\tau^2$ Ölçütü

$\tau^2$  ölçütü çalışmalar arası varyansı ifade etmekte ve tahmini için DerSimonian Laird yönteminden yararlanılmaktadır. Ölçütü orijinal metriğine geri döndürme ve aynı zamanda onu sapmaların karelerinin toplamı yerine ortalama haline getirme etkisine sahip olan bir niceliğe (C) bölünmektedir (Borenstein ve ark., 2009).

$$\tau^2 = \frac{Q - (k - 1)}{C} \quad (17)$$

$$C = \sum_i^k w_i - \frac{\sum_{i=1}^k w_i^2}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (18)$$

eşitlik (17) yerine yerleştirilerek çalışmalar arası varyans tahmini eşitlik (19)'da verilmiştir;

$$\hat{\tau}^2 = \begin{cases} \frac{Q - (k - 1)}{\sum_{i=1}^k w_i - \frac{\sum_{i=1}^k w_i^2}{\sum_{i=1}^k w_i}}, & Q > (k - 1) \\ 0, & Q \leq (k - 1) \end{cases} \quad (19)$$

$\tau^2$  ölçütü normal dağılıma uymamaktadır.  $\tau^2$  ölçütünün güven aralığını elde edebilmek için güven aralığınının %95 sınırları eşitlik (20) ve (21)'de gösterilmektedir.

$$A = \exp\left(0,5 \ln\left(\frac{Q}{k}\right) - 1,96B\right) \quad (20)$$

$$U = \exp\left(0,5 \ln\left(\frac{Q}{k}\right) + 1,96B\right) \quad (21)$$

B: standart hata değeridir. Çalışma sayısına bağlı olarak Cochran'ın Q istatistiğinden faydalanılarak hesaplanmaktadır.

Q > k olduğunda eşitlik (22)'deki gibi;

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{\ln(Q) - \ln(k-1)}{\sqrt{2Q} - \sqrt{(2k-3)}} \right) \quad (22)$$

Q ≤ k olduğunda eşitlik (23)'deki gibi;

$$B = \sqrt{\frac{1}{2(k-2) \left(1 - \frac{1}{3(k-2)^2}\right)}} \quad (23)$$

hesaplanmaktadır (Borenstein ve ark., 2009).

Eşitlik (24) ve eşitlik (25)'de %95 güven aralığı değerleri gösterilmektedir.

$$A_{\tau^2} = \frac{(k-1)(A^2-1)}{C} \quad (24)$$

$$U_{\tau^2} = \frac{(k-1)(U^2-1)}{C} \quad (25)$$

Güven aralığının %95 sınır değerlerinden biri "0" değerinden küçükse gerçek değeri yerine "0" değeri atanır. Eğer güven

aralığının alt sınır değeri 0'dan büyük ise  $\tau^2$  istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmektedir (Borenstein ve ark., 2009).

### 2.2.2. H Ölçütü

Higgins ve Thomson tarafından 2002'de önerilen H ölçütü aşağıdaki eşitlikte Q istatistiği yardımıyla verilmiştir (Higgins, & Thompson, 2002);

$$H^2 = \begin{cases} \frac{Q}{k-1}, & Q > (k-1) \\ 1, & Q \leq (k-1) \end{cases} \quad (26)$$

$H^2$ , 1 ile  $\infty$  arasında değer almaktadır. H=1 olması durumunda homojenliğin mükemmel olarak nitelendirilir.

H değeri, çalışma sayısına bağlı olarak artış göstermektedir. H ölçütünün beklenen değeri ve güven aralığının %95 sınırları aşağıdaki eşitliklerde gösterilmektedir (Mittlböck, & Heinzl, 2006; Rucker ve ark., 2008).

$$E[H^2] = \frac{E[Q]}{(k-1)} = \left( \left( \frac{\tau^2}{\hat{\tau}^2} \right) + 1 \right) = \left( \frac{\tau^2 + \hat{\tau}^2}{\hat{\tau}^2} \right) \quad (27)$$

$$\exp \left[ \ln(H) \mp 1,96SE(\ln(H)) \right] \quad (28)$$

SE: standard hata olmak üzere, eşitlikteki  $SE(\ln(H))$ , Q istatistiğinin çalışma sayısından büyük veya küçük olmasına göre hesaplanması değişmektedir.

$Q > k$  ise,

$$SE(\ln(H)) = \frac{1}{2} \left( \frac{\ln(Q) - \ln(k-1)}{\sqrt{2Q} - \sqrt{(2k-3)}} \right) \quad (29)$$

$Q \leq k$  ise,

$$SE(\ln(H)) = \sqrt{\frac{1}{2(k-2)} \left( 1 - \frac{1}{3(k-2)^2} \right)} \quad (30)$$

olarak hesaplanmaktadır (Higgins, & Thompson, 2002).

### 2.2.3. R Ölçütü

Rasgele etkiler modeline ait güven aralıklarının etkisini belirtmek için genellikle R ölçütü kullanılmaktadır. H ölçütü gibi meta analizine alınacak çalışma sayısına benzemekte ve hesaplanırken eşitlik (31)'de görüldüğü gibi  $\tau^2$  ölçütünden faydalanılmaktadır (Higgins, & Thompson, 2002).

Her çalışmadan tahminlerin örnekleme varyanslarının bilindiği ve eşit olduğu, yani tüm  $i$  için  $1/\sum_{i=1}^k w_i = \sigma^2$  eşit olduğu özel durum göz önünde bulundurularak  $R^2$  hesaplanmaktadır (Higgins, & Thompson, 2002).

$$R^2 = \frac{\tau^2 + \sigma^2}{\sigma^2} \quad (31)$$

$$R^2 = \frac{v_R}{v_F} \quad (32)$$

$R=1$  ise homojenlik mükemmeldir.

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k w_i}{\sum_{i=1}^k w_i^*}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k w_i}{\sum_{i=1}^k (w_i^{-1} + \hat{\tau}^2)^{-1}}} \quad (33)$$

H ile R ölçümlerinin güven aralıkları benzerlik göstermektedir. Tüm tahminler eşit kesinliğe sahip olduğunda H ve R çakışmaktadır (Higgins, & Thompson, 2002).

### 2.2.4. $I^2$ Ölçütü

Cochran Q ve  $H^2$  ölçütlerinden yararlanarak Higgins ve Thomson 2002 yılında  $I^2$  ölçütünü önermişlerdir. Aşağıdaki eşitliklerde görüldüğü gibi farklı hesaplamalarla elde edilebilmektedir (Rücker ve ark., 2008).

$$I^2 = \begin{cases} \frac{Q-(k-1)}{Q}, & Q > (k-1) \\ 0, & Q \leq (k-1) \end{cases} \quad (34)$$

$$I^2 = \begin{cases} \frac{H^2-1}{H^2} \cdot 100 & Q > (k-1) \\ 0, & Q \leq (k-1) \end{cases} \quad (35)$$

$$I^2 = \begin{cases} \frac{c\tau^2-1}{Q} \cdot 100 & Q > (k-1) \\ 0, & Q \leq (k-1) \end{cases} \quad (36)$$

$I^2$  ölçütünün beklenen değeri eşitlik (37)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$E(I^2) = \frac{\tau^2}{\tau^2 + \sigma^2} \quad (37)$$

$\tau^2 = 0$  olduğunda  $Q$  değeri yaklaşık olarak  $df=k-1$  serbestlik dereceli  $\chi^2$  dağılıma uymaktadır.  $1/Q$ 'nun beklenen değeri  $df > 2$  veya  $k > 3$  olacak şekilde  $1/(df-2)$  olasılıkla ters ki-kare dağılımı göstermektedir. Bu sebeple,  $I^2$  istatistiğinin beklenen değeri  $\tau^2 = 0$  ve  $k > 3$  olduğunda;

$$E(I^2) = \frac{-2}{k-3} \cdot 100 \quad (38)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$I^2$  ölçütünün güven aralığının %95 sınırları aşağıdaki eşitliklerde gösterilmektedir (Mittlböck, & Heinzl, 2006).

$$A = \exp\left(0,5 \ln\left(\frac{Q}{k-1}\right) - 1,96B\right) \quad (39)$$



$$U = \exp\left(0,5 \ln\left(\frac{Q}{k-1}\right) + 1,96B\right) \quad (40)$$

güven aralığının %95 sınırları aşağıdaki gibidir;

$$A_{I^2} = \frac{(A^2 - 1)}{A^2} \cdot 100 \quad (41)$$

$$U_{I^2} = \frac{(U^2 - 1)}{U^2} \cdot 100 \quad (42)$$

Sınır değerlerinden birisi 0'dan küçükse bu değere 0 atanır. Alt sınır değeri 0'dan büyükse  $I^2$  istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmektedir (Borenstein ve ark., 2009).

Heterojenlik %0 ile %100 arasında değişmekte, %100'e yakın değerler aldığıında heterojenliğin çok, sıfıra yakın değerler aldığıında ise heterojenliğin çok az olduğu şeklinde değerlendirilmektedir.

### 2.2.5. $R_b$ Ölçütü

$R_b$  ölçümü birleştirilmiş rasgele etkiler tahmininin varyansı ile ilişkili olarak  $\tau^2$  katkısını nicelleştirmektedir.  $R_b$  tutarlı ve asimptotik olarak normal dağılıma sahip bir tahmin edici olmaktadır. Heterojenliğe bağlı olarak birleştirilmiş tahminin varyansının oranı olarak yorumlanması kolaydır.  $R_b$  ölçütü, çalışmalar arasındaki varyasyondan kaynaklanan toplam varyans oranının beklenen değerini tahmin eder (Crippa, Khudiyakov, Wang, Orsinia, & Spiegelman, 2016).

$$R_b = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{\tau^2}{\tau^2 + \hat{\tau}^2} \quad (43)$$

$R_b = 1$  olduğunda maksimum heterojenliği göstermektedir (Crippa, 2016).

## 2.3. Heterojenliğin Grafikler İle Gösterimi

### 2.3.1. Forest Grafiği

Forest grafiği meta analiz çalışmasından elde edilen bulguların yorumlanabilmesi için yararlı bilgiler sağlamaktadır. Grafikteki her çizgi ayrı bir çalışmayı temsil etmektedir. Kutunun orta noktası etkinin nokta tahminini (etki büyüklüğü; risk oranı, odds oranı veya ortalama fark) ve kutunun boyutu (alanı) çalışmanın ağırlığını sembolize etmektedir (Dettori, Norvell, & Chapman, 2021). Heterojenlik, her bir çalışmanın sonucunu temsil eden düz çizgilerin ne kadar dağınık olduğuna bakılarak anlaşılabilir. Düz çizgilerin geniş bir aralıkta bulunması, heterojenliğin yüksek olduğunu gösterebilirken, daha dar bir aralık homojenliği gösterebilir. Meta analiz sonucunu yorumlarken değerlendirilmesi gereken üç temel unsur bulunmaktadır (Tran, 2016).

1) Heterojenlik: Dahil edilen çalışmalarda kullanılan sonuçlar, metodoloji veya çalışma popülasyonları arasındaki farklılıklar.

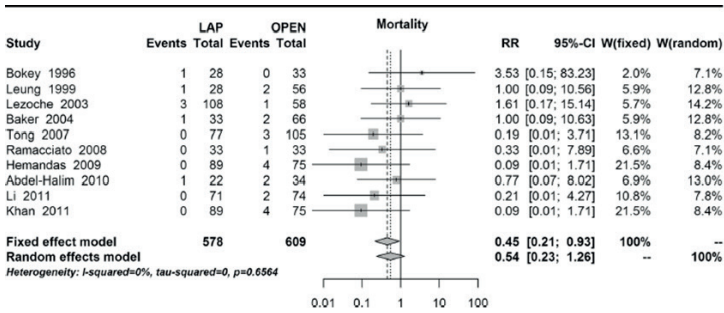
2) Birleştirilmiş sonuç: Bireysel çalışmaların birleştirilmesinden (pooling) elde edilen genel birleşik sonuç.

3) Yayın yanlılığı: Bir meta-analizin amacı, dahil etme kriterlerini karşılayan ilgili tüm çalışmaları bulmak ve değerlendirmek olsa da, bu misyon her zaman mümkün olmamaktadır. Bazı çalışmalar İngilizce yazılmadıkları veya anlamlı olmayan sonuçlar gösterdikleri için (bu nedenle yayınlanma şansları daha düşük olduğu için) gözden kaçabilmektedir. Şekil 1’de sunulan Forest grafiği ilk iki unsuru (heterojenlik ve birleştirilmiş sonuç) gösterebilmektedir. Ancak potansiyel yayın yanlılığını gösteremez.

Arezzo ve ark. (2015) rektum kanserine sahip olgular için laparoskopik ve açık rezeksiyon yapılan çalışmalar ile meta analiz yapmışlardır (Şekil 1). En soldaki sütun, dahil edilen çalışmaların kimliklerini (ID’leri) göstermektedir. Çalışmalar, genellikle zaman sırasına göre düzenlenmiş olarak, ilk yazarın

adı ve yayın yılı ile temsil edilmektedir. Daha sonra sağ tarafta, her çalışmada laparoskopik ve açık rezeksiyon yapılan olgu sayıları ve 30 günlük mortalite verileri görülmektedir. Örneğin, Leung (1999) çalışmasında, laparoskopi grubundaki 28 hastadan 1'i, açık ameliyat yapılan gruptaki 56 hastadan 2'si 30 günlük mortaliteye (event) sahiptir (Arezzo ve ark., 2015) (Şekil 1).

Forest grafiği çalışma sonuçlarını görsel olarak sunmaktadır. Kutular tekli çalışmalardan elde edilen etki tahminlerini gösterirken baklava şekli birleştirilmiş sonucu göstermektedir. Kutuların üzerindeki yatay çizgiler güven aralığının uzunluğunu belirtmektedir. Satırlar ne kadar uzun olursa, güven aralığı o kadar geniş, çalışma sonuçlarının güvenilirliği de o kadar az olmaktadır. Elmasın genişliği de aynı amaca hizmet etmektedir (Tran, 2016).



LAP: laparoskopik rezeksiyon, OPEN: açık rezeksiyon

Şekil 1. Forest Grafiği (Arezzo ve ark., 2015)

### 2.3.2. Radial (Galbraith) Grafiği

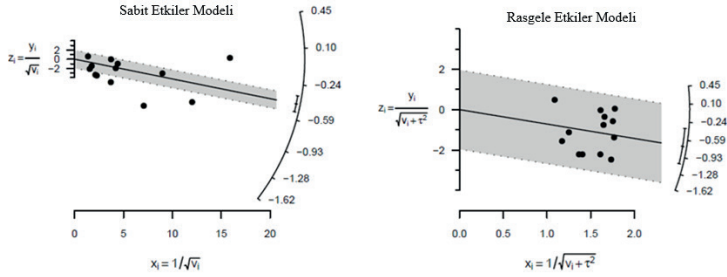
Radial grafik (Galbraith grafiği) Rex Galbraith (1988a, 1988b, 1994) tarafından tanıtılmış ve meta-analizinde verilerin heterojenlik açısından incelemesinde faydalı bulunmuştur (Viecht, 2010). Radial grafiği, her bir çalışmanın etki büyüklüğünü ve güven aralığını gösteren noktaların

dağılımını göstermektedir. Noktaların dağılımı, heterojenliğin derecesi hakkında bilgi vermektedir. Noktaların geniş bir alana yayılması, çalışmalar arasındaki farklılığın yüksek olduğunu gösterebilirken, daha yoğun bir dağılım homojenliği gösterebilmektedir. Bu şekilde, meta-analizdeki heterojenliği anlamak ve çalışmalar arasındaki farkları görsel olarak incelemek mümkün olmaktadır. Forest grafiğine alternatif olarak kullanılabilir.

Şekil 2’de gösterilen Radial grafiği, farklı kesinliğe sahip tahminleri karşılaştırmak için kullanılan grafiksel bir görüntüdür. Standart hataların karşılıklarına karşı standartlaştırılmış tahminler ile çizilen dağılım grafiği, orijinal tahminlerin karşılaştırılıp yorumlanabileceği şekilde tasarlanmıştır. Tahminler; ortalamalar, regresyon katsayıları, oranlar, orantı oranları, rastgele etkiler veya bireyler ya da gruplar arasında karşılaştırma gibi herhangi bir parametre tahmini olabilmektedir (Galbraith, 1994).

Sabit etkiler modeli için çizilen radial grafiğinde, yatay eksenindeki  $(1 / v_i)$  standart hataların tersini, dikey eksenindeki  $(y_i / \sqrt{v_i})$  karşılık gelen standart hatalarla standardize edilmiş bireysel gözlemlenen sonuçlara karşı elde edilen sonuçları göstermektedir. Sağ tarafa çizilen yayda ise  $(0; 0)$  noktasında çizim içindeki belirli bir noktadan bu yayın üzerine yansıtılan bir çizgi, o nokta için gözlemlenen sonucun değerini göstermektedir (Şekil 2).

Rastgele etkiler modeli için, yatay eksen için  $(1 / \sqrt{v_i + \hat{\tau}^2})$  ve dikey eksen için  $(y_i / \sqrt{v_i + \hat{\tau}^2})$  fonksiyonlarını kullanılmaktadır (Viecht, 2010) (Şekil 2).



Şekil 2. Sabit Etkiler ve Rasgele Etkiler Modelleri İçin Radial Grafiği (Galbraith, 1994)

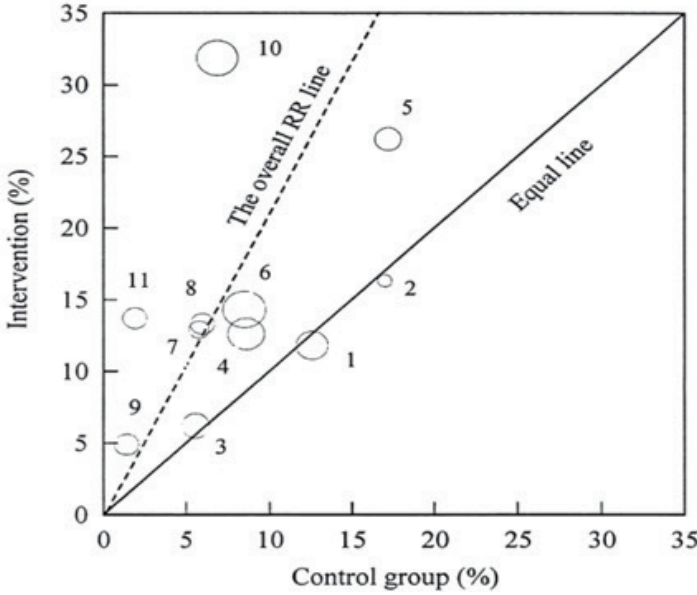
### 2.3.3. L'abbe Grafiği

L'abbe ve meslektaşları, tedavi grubundaki olay oranını dikey eksene ve kontrol grubundaki olay oranını yatay eksene çizerek gözlemlenen sonuçlardaki farklılıkları gösteren bir yöntem önerdiler (Song, 1999). Her çalışma için tedavi ve kontrol grubundaki bir olayın riskini bir dağılım grafiğinde gösterir. Birleştirilmiş etki büyüklüğüne sahip çalışmaların, her bir çalışma için sonuçları ve meta-analitik özet etkisinin risk oranı, olasılık oranı veya risk farkı olarak gösterilmesine olanak tanımaktadır (Kossmeier, Tran, ve Voracek, 2020).

L'abbe grafiği, yalnızca diğer çalışmalardan farklı sonuçlara sahip olan çalışmaları değil, aynı zamanda bu farklılıklardan sorumlu olan çalışma kollarını da belirlemek için faydalıdır. Stokastik simülasyonun sonuçları, tamamen rastgele varyasyon nedeniyle, etken oranları yaklaşık %50 olan çalışmaların bir L'abbé grafiğinde aykırı değerler olarak tanımlanmasının daha muhtemel olduğunu göstermektedir (Song, 1999). Şekil 3 Meta analiz yapılan on bir çalışma için L'abbe grafiğini göstermektedir.

Her daire bir çalışmayı temsil etmekte ve daha büyük daireler daha fazla katılımcının olduğu çalışmaları temsil etmektedir. Kesintisiz çapraz çizgi, çalışmalarda her iki kolda da ilgilenilen etken oranının eşit olduğunu göstermektedir. Noktalı

çizgi, “genel RR (risk ratio) çizgisi” olarak adlandırılmakta, çünkü on bir çalışmanın tümünün sonuçlarının toplanmasıyla tahmin edilen oran oranını temsil etmektedir (Song, 1999). Meta analizine dahil edilen çalışmaların heterojenliği fazla ise kesintisiz çizgiden saçılmalar fazla olmakta, noktalar kesikli çizgiye yaklaşmış ise homojenlik durumu söz konusu olmaktadır (Şekil 3).



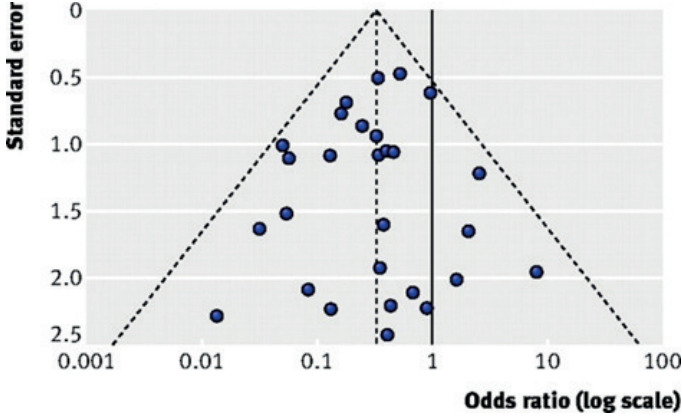
Şekil 3. L'abbe Grafiği (Song, 1999)

#### 2.3.4. Funnel Grafiği

Funnel grafiğinde X eksenini ortalama sonucu temsil etmektedir (odds oranı veya risk oranı veya yüzde fark olabilir) ve Y eksenini örneklem büyüklüğünü veya kesinlik endeksini göstermektedir. Sterne ve Egger (2001) Y eksenini için ters standart hatayı ve X eksenini için odds oranının logaritmasını önermiştir. Grafiğin simetrisi, kesinlik endeksi olarak örneklem büyüklüğünün mü yoksa ters standart hatanın mı kullanıldığına

bağlı olarak değişebilmektedir (Hoffman, 2019). Genellikle büyük örneklemelerden yerine daha çok küçük örneklemeler ile çalışma yapıldığından, her bir ortalama değeri temsil eden noktalar tabanda geniş bir şekilde yayılmakta ve tepeye doğru ilerledikçe daralmaktadır. Böylece ters çevrilmiş bir huniye benzemektedir (Hoffman, 2019).

İlk olarak eğitim araştırmaları ve psikolojide kullanılan Funnel grafikleri, etki büyüklüğü tahminlerinin toplam örneklem büyüklüğüne göre çizilmesi ile elde edilmiştir (Higgins ve ark., 2023). Günümüzde genellikle toplam örneklem büyüklüğünden ziyade tedavi etkisi tahmininin standart hatasının dikey ekseninde çizilmesi tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni, bir çalışmanın istatistiksel gücünün, örneklem büyüklüğüne ek olarak, ikili sonuçlar için ilgilenilen duruma sahip katılımcıların sayısı ve sürekli veriler için yanıtların standart sapması gibi faktörler tarafından belirlenmesidir (Higgins ve ark., 2023). Örneğin, 100.000 katılımcı ve 10 ilgilenilen durumu içeren bir çalışmanın istatistiksel olarak anlamlı bir tedavi etkisi gösterme olasılığı, 1.000 katılımcı ve 100 ilgilenilen durumu içeren bir çalışmaya göre daha düşüktür. Standart hata bunun gibi diğer faktörleri özetlemektedir. Standart hataların ters ölçekte çizilmesi ile, daha büyük veya en güçlü çalışmaları grafiğin en üstüne yerleşir. Standart hataları kullanmanın bir diğer potansiyel avantajı ise hem yanlılık hem de heterojenliğin yokluğunda çalışmaların %95'inin bu bölgede yer almasının beklendiği basit bir üçgen bölgenin çizilebilmesidir (Higgins ve ark., 2023). Simetrik, yanlılık ve heterojenlik bulunmayan çalışmaların Meta analizinden elde edilen Funnel grafiği şekil 4.'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Funnel Grafiği (Simetrik) (Sterne, 2011)

### 3. SONUÇ

Meta analizinde heterojenliği değerlendirirken en temel ölçüt istatistiksel test olmakla birlikte, heterojenliğin düzeyini değerlendirmek açısından heterojenlik ölçütleri de kullanılmaktadır. Ayrıca grafikler yardımıyla da heterojenlik hakkında görsel bilgi edinilmektedir. Meta analizi çalışmalarında Tip-I hata oranı genellikle  $\alpha=0,10$  alınmaktadır. Heterojenlik testi sonucunda  $p > \alpha$  ise çalışmalar arasında homojenlik olduğunu,  $p < \alpha$  ise çalışmalar arasında heterojenlik olduğunu göstermekte; fakat bu konu üzerine farklı görüşler de bulunmaktadır. Meta analizinde, çalışmaların homojen olmaları durumunda sabit etki modeli kullanılırken, heterojen olmaları durumunda da rasgele etki modeli kullanılmaktadır.



## KAYNAKÇA

- Lee, Y.H., (2019). Strengths and Limitations of Meta-Analysis. *The Korean Journal of Medicine*, 94(5), 391-395. <https://doi.org/10.3904/kjm.2019.94.5.391>
- Rücker, G., Schwarzer, G., Carpenter, J. R., & Schumacher, M., (2008). Undue Reliance on  $I^2$  in Assessing Heterogeneity May Mislead. *BMC Medical Research Methodology*, 8, 79. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-79>
- Higgins, J.P.T., & Thompson, S.G., (2002). Quantifying heterogeneity in a meta analysis. *Statistics in Medicine*, 21 (11), 1539-1558. <https://doi.org/10.1002/sim.1186>
- Mittlböck, M., & Heinzl, H., (2006). A simulation study comparing properties of heterogeneity measures in meta analyses. *Statistics in Medicine*, 25(24), 4321-4333. <https://doi.org/10.1002/sim.2692>
- Bouzas, J.C., Takkouche, B., Cadarso-Suarez, C., & Spiegelman, D., (2001). HEpiMA: software for the identification of heterogeneity in meta-analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 64(2), 101-107. [https://doi.org/10.1016/S0169-2607\(00\)00087-0](https://doi.org/10.1016/S0169-2607(00)00087-0)
- Baujat, B., Mah, C., Pignon, J., & Hill, C., (2002). A graphical method for exploring heterogeneity in meta-analyses: application to a meta-analysis of 65 trials. *Statistics in Medicine*, 21(18), 2641-2652. <https://doi.org/10.1002/sim.1221>
- Baker, W. L. C., Michael, W. C., Cappelleri, J. C., Kluger, J., Coleman, C. I., (2009). From the Health Outcomes, Policy, and Economics (HOPE) Collaborative Group. Understanding heterogeneity in meta-analysis: the role of meta-regression. *International Journal of Clinical Practice*, 63, 10, 1426-1434. <https://doi.org/10.1111/j.1742-1241.2009.02168.x>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R., (2009). *Introduction to Meta Analysis*. United Kingdom, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication.
- Crippa, A., Khudyakov, P., Wang, M., Orsinia, N., & Spiegelman, D., (2016). A new measure of between-studies heterogeneity in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 35(21), 3661-3675. <https://doi.org/10.1002/sim.6980>
- Crippa, A., (2016). A new measure of between-studies heterogeneity in meta-analysis. XXVIIIth International Biometric Conference.
- Dettori, J.R., Norvell, D.C., & Chapman, J.R., (2021). Seeing the Forest by Looking at the Trees: How to Interpret a Meta-Analysis Forest Plot. *Global Spine Journal*, 11(4), 614-616. <https://doi.org/10.1177/21925682211003889>
- Tran, Q. H., (2016). How to read a forest plot? Cochrane UK. Erişim adresi: <https://uk.cochrane.org/news/how-read-forest-plot>
- Arezzo, A., Passera, R., Ferri, V., Gonella F., Cirocchi, R. & Morino, M., (2015). Laparoscopic right colectomy reduces short-term mortality and morbidity. Results of a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Colorectal Disease*, 30(11), 1457-1472. Erişim adresi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00384-015-2304-9>

- Galbraith, R. F., (1988a). Graphical display of estimates having differing standard errors. *Technometrics*, 30(3), 271–281.
- Galbraith, R. F., (1988b). A note on graphical presentation of estimated odds ratios from several clinical trials. *Statistics in Medicine*, 7(8), 889–894.
- Galbraith, R.F., (1994). Some Applications of Radial Plots. *Journal of the American Statistical Association*, 89(428), 1232-1242. <https://doi.org/10.2307/2290987>
- Song, F., (1999). Exploring Heterogeneity in Meta-Analysis: Is the L'Abbé Plot Useful? *Journal of Clinical Epidemiology*, 52(8), 725–730. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(99)00066-9)
- Kossmeyer, M., Tran, U.S., & Voracek, M., (2020). Charting the landscape of graphical displays for meta-analysis and systematic reviews: a comprehensive review, taxonomy, and feature analysis. *BMC Medical Research Methodology*, 20, 26. <https://doi.org/10.1186/s12874-020-0911-9>
- Sterne, J.A.C., (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ*, 343. <https://doi.org/10.1136/bmj.d4002>
- Hoffman, J.I.E., (2019). *Basic Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners* Cambridge: Academic press. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128170847/basic-biostatistics-for-medical-and-biomedical-practitioners>
- Higgins, J.P.T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M.J. & Welch, V.A. (Ed.) (2023). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.4* (updated August 2023). Cochrane. Erişim: [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook)

## BÖLÜM 2

# HÜCRE ESASLI VE SATIR ESASLI AYKIRI DEĞERLERLE KESTİRİM

Güven Pekdemir<sup>1</sup>, Özlem Alpu<sup>2</sup>

### 1.GİRİŞ

İstatistik literatüründe klasik istatistiksel prosedürlere karşı sağlam alternatiflerin performansını incelemek için kirlenme (kontaminasyon) veya karışım modellerinden faydalanılır. Son dönemlere kadar yapılan kirlenmiş veri setine sahip çalışmalarda veri setindeki gözlemlerin çoğunun çok değişkenli normal dağılım gibi nominal bir olasılık dağılımından geldiği, az bir kısmının da aykırı değere neden olan bir başka dağılımdan geldiği varsayılmaktaydı. Ayrıca ortaya çıkan aykırı değerlerin sadece birim bazında ortaya çıkabileceği düşünüldüğünden geliştirilen yöntem ve kestiriciler buna dayalı olarak önerilmiştir. Gerçek yaşam verilerinde hücre esaslı aykırı değerlerin, veri setlerinde satır esaslı aykırı değerlerle birlikte görülmesi sık karşılaşılan bir durumdur. Çok değişkenli veri analizinin temel taşları olan

- 1 Yüksek Lisans Öğrencisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye gpekdemir8@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4652-4091
- 2 Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Eskişehir, Türkiye oalpu@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2302-2953

konum parametresi ve kovaryans matrisinin kestirimi ve istatistiksel çıkarsamada regresyon katsayılarının kestirimini yapmak bu noktada büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada farklı kirlenme modelleri (THCM ve ICM) altında hücre esaslı ve satır esaslı aykırı değerleri tespit etmede, bu aykırı değerlerin tespitinde kullanılacak konum ve kovaryans kestirimlerine karar vermede ve bu aykırı değerlerle regresyon analizini gerçekleştirebilmek için geliştirilen bazı yöntemler ve yapılan çalışmalar derlenmiştir. Konum parametresi ve kovaryans matrisleri doğrusal kestirim teorisinin temellerini oluşturdukları için büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda veriler bağımsız hücre esasında ve satır esasında aykırı değerler içerebildiğinde bu konum parametresi ve kovaryans matrisleri göz önünde bulundurulur. Bu tip veri setlerinde analiz klasik sağlam prosedürlerle yapıldığında, bir satırın tamamının genel olarak düşük ağırlıklandırılması kötü sonuçlara yol açabilir. Bu durum hücre esaslı aykırı değerlerle etkili bir biçimde başa çıkabilen ve aynı zamanda satır esaslı aykırı değerler varlığında performansı yüksek olan sağlam kestiricilere olan ihtiyacı oluşturmuştur (Alqallaf vd., 2009).

Hücre esaslı aykırı değerlerin dikkate alınması ihtiyacının ortaya çıktığı alanlardan birinin bilgisayarlı görüşü olduğu, bu yöndeki çalışmaların ağırlıklı olarak temel bileşenler üzerinde yoğunlaştığı bilinmektedir. Bu çalışmalarda amaçlanan şey, her iki tür aykırı değer varlığında sağlam ve ilave olarak hesaplama hızını da yavaşlatmayan kestiriciler geliştirmektir. Alqallaf vd. (2009) tarafından formüle edilmeden önce bu tür aykırı değerlere olan dikkati ilk olarak De la Torre ve Black (2001) çekmiştir. Maronna ve Yohai (2008) ise hem satır esaslı aykırı değerlerin hem de dağınık(hücreesel) aykırı değerlerin varlığına karşı dirençli ve ayrıca eksik değerlerle de başa çıkabilen sağlam bir yöntem önermiştir. Candés vd. (2011) ise, çok hızlı olan ve hücre esaslı aykırı değerlere dirençli olan, ancak satır esaslı aykırı değerlere dirençli olmayan oldukça farklı bir yaklaşım önermiştir (Maronna, 2015; Croux vd., 2015).

Çok değişkenli sağlam konum kestirimini, Alqallaf (2003) değişkenlerin birbirlerinden bağımsız olarak kirlendiği standart olmayan kirlenme modeli altında ele almıştır. En iyi bilinen ve en önemli kirlenme modelinin Tukey-Huber modeli olduğunu ancak değişken sayısının fazla olduğu ve görece olarak aykırı değerlerin az olduğu veri setlerinin modern istatistiksel çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığını ayrıca bu gibi durumlarda, geleneksel sağlam prosedürlerle gerçekleştirildiği gibi, aykırı değerlerin tamamının genel olarak ağırlıklandırılmasının istenmeyen sonuçlara neden olabileceğini ifade etmiştir. Bu bağlamda yeni bir kirlenme modeli olan bağımsız kontaminasyon (Independent Contamination Model, ICM) modelini önermiştir.

Gerçek yaşam verilerinde satır esaslı aykırı değerlerle birlikte hücre esaslı aykırı değerlerin, birlikte ortaya çıkmasının sıklıkla karşılaşılan bir durum olduğu anlaşıldığından beri, çok değişkenli veri analizinin temel taşları olan konum parametresinin ve kovaryans matrisinin kestirimi ve istatistiksel çıkarsama bağlamında regresyon katsayılarının kestirimini bu tip aykırı değerlerle birlikte yapabilmenin önemi daha da artmıştır. Bu çalışmada farklı kirlenme modelleri (THCM ve ICM) altında hücre esaslı ve satır esaslı aykırı değerleri tespit etmek, bu aykırı değerlerin tespitinde kullanılacak konum ve kovaryans kestirimlerine karar vermek ve bu aykırı değerlerle regresyon analizini gerçekleştirebilmek için literatürde geliştirilen bazı yöntemler ve yapılan çalışmalar derlenmiştir.

## 2. AYKIRI DEĞERLER

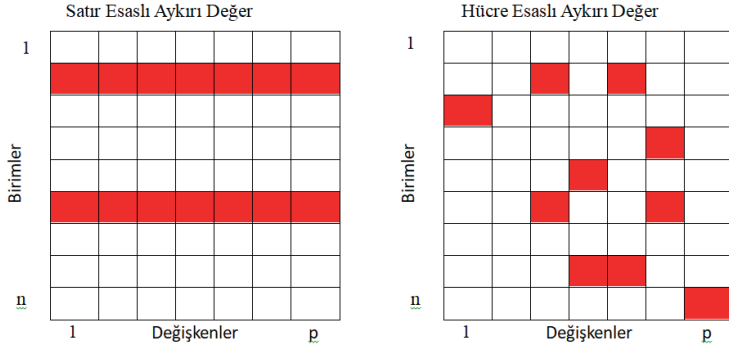
İstatistik bilimi ile uğraşanlar geçmişten günümüze inceledikleri veri setlerinde “aykırı olan” veya “olağandışı olan” gözlemleri belirlemekle ilgilenmektedir. Veri setinde yanlışlıkla bulunan veya gözlemlerin çoğunluğunun geldiği evrene ait olmayan değerler, yapılan kestirimleri saptırabilir ve yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu nedenle aykırı değerlerin belirlenmesi ve/veya bu değerleri de hesaba katan istatistiksel

teknikler geliştirilmiştir. Kayıt, kopyalama veya veri girişi gibi insandan kaynaklanan, makinalardan kaynaklanan veya doğal rastgelelikten kaynaklanan hatalar, çoğunlukla veri kümesinin uzağında ve çoğu istatistiksek teknik için zararlı olabilecek aykırı değer olarak karşımıza çıkmaktadır.

Temel tanım olarak aykırı değer, veri setinin çoğunluğundan farklı bir modele uyan bir gözlem değeri veya değerleridir. Özel tanımlar Barnett ve Lewis (1994), Grubbs (1969) ve Hawkins (1980) tarafından verilmiştir. Barnett ve Lewis (1994)'e göre aykırı değer öyle bir noktadır ki, pratik bir durumda bir dizi gözlemi gözlemlerken, gözlemlerden biri ya da daha fazlası diğer gözlemlerin aksine aşırı değer olarak göze çarpar. Grubbs (1969) ise aykırı gözlemi ya da aykırı değeri, içinde yer aldığı örneklemin diğer üyelerinden belirgin bir şekilde farklı görünen gözlem olarak ifade etmektedir. Hawkins (1980) de aykırı değeri, farklı bir prosedür tarafından oluşturulduğunu düşündürecek derecede gözlemlerin geri kalanından sapan bir gözlem olarak nitelemektedir.

Aykırı değer problemi kestirim, çıkarsama ve öngörü üzerinde büyük sapmalara neden olabildiğinden veri analizinde yaygın bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Geçtiğimiz on yılda, sağlam doğrusal regresyon kestiricilerinin büyük çoğunluğu satır esaslı kirlenmeye karşı sağlamlığa odaklanmıştır. Yüksek bozulma noktasına sahip kestiriciler bile regresyon matrisinin satırlarının çoğunluğunun aykırı değerlerden etkilenmediği varsayımına dayanmaktadır. Ancak Rousseeuw ve Bossche (2018)'e göre bir bütün olarak satırların aykırı değer olarak kabul edilip ağırlıklandırıldığı geleneksel aykırı değer teşhisçilerinin çok boyutlu veriler söz konusu olduğunda araştırmacılara artık yeterli olmadığını belirtmektedir. Bu nedenle, 2000'li yılların başlarında hücre esaslı aykırı değer kavramı ele alınmaya başlanmıştır. Bu kavramın arkasındaki düşünce, verilerin kirlenmemiş kısmından azami ölçüde faydalanmak için, uygulamada aykırı değerlerin satırlar temel alınarak değil, hücre temelinde araştırılmasıdır. Diğer bir deyişle, veri

matrisinde satırlar yerine hücrelerin şüpheli gözlemler olarak değerlendirildiği ve satırın tamamının dikkate alınmadığı anlamına gelmektedir. Şekil 1'de satır esaslı ve hücre esaslı aykırı değerlerin veri setindeki durumu resmedilmiştir.



**Şekil 1.** Satır Esaslı Aykırı Değer Modeli (Sol Panelde) Ve Hücre Esaslı Aykırı Değer Modeli (sağ panelde). Siyah gözeler, aykırı değer anlamına gelmektedir (Raymaekers and Rousseuw 2024).

Gerçek hayattaki veri setlerinin hem satır esaslı hem de hücre esaslı aykırı değerler içerebilmesi varolan sorunu daha da karmaşık hale getirebilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde geleneksel satır esaslı sağlam yöntemlerin, bu iki tür aykırı değerle aynı anda başa çıkmada yeterli olmadığı bilinmektedir. Sonuç olarak, bu geleneksel sağlam yöntemler verilerin büyük bir kısmına satır temelli iyi uyum sağlarlar ancak hücre temelinde aykırı değerleri gözden kaçırmaktadırlar. İzleyen bölümde satır esaslı ve hücre esaslı aykırı değerlere ayrı ayrı değinilmiştir.

### Satır Esaslı Aykırı Değerler

Huber (1964) ve Hampel vd. (1986) tarafından resmileştirilen sağlam istatistik yaklaşımı, önce sağlam bir uyum, yani verilerin çoğuna iyi uyan bir model elde etmek ve daha sonra bu uyumdan sapan satırları arama amaçlı oluşturulmuştur. Bu

yaklaşımın altında yatan önemli bir varsayım, bir satırın ya aykırı değer olduğu ya da herhangi bir kirlilik içermediğidir.

Satır esaslı olarak kirlenmeden bahsedilmesi, aykırı değerlerin veri matrisinin satırlarında ortaya çıktığının düşünülmesindedir. Satır esaslı kirlenmenin farklı biçimlendirmeleri mevcuttur, ancak en yaygın olanı, gözlemlenen verilerin  $1-\varepsilon > 0,5$  olasılıkla temiz bir  $F$  dağılımından ve  $\varepsilon < 0,5$  olasılıkla rastgele bir  $H$  dağılımından üretildiğini varsaymaktır ve  $X$  aşağıdaki gibi gözlemlenir.

$$X = (1-B)Y + BZ \quad (1)$$

$B \sim \text{Bernoulli}(\varepsilon)$  dağılımına sahip olup, 0 veya 1 değerlerini alır.  $Y \sim F$  temiz bir dağılımdan,  $Z \sim H$  rasgele bir başka dağılımdan gelmekte ve  $B$  ise,  $Y$  ve  $Z$ 'den bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Eşitlik (1), Tukey-Huber kirlenme modeli (THCM) olarak isimlendirilmektedir. Bu eşitlikte amaç,  $Y$ 'nin gözlemlendiği ve  $Z$  hakkında herhangi bir varsayımımızın olmadığı  $X$ 'in özelliklerini tahmin etmektir.

Bu model göz önünde bulundurularak geçmişten günümüze, konum ve kovaryans kestirimi, regresyon modellerinin kurulması, temel bileşen analizi ve diskriminant analizinin gerçekleştirilmesi, zaman serilerinin analiz edilmesi vb. konularda çeşitli sağlam istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir (bakınız Hampel vd. 1986; Rousseeuw ve Leroy 1987; Maronna vd. 2019).

Klasik Tukey-Huber kirlenme modelinde, bir satırın (birimin) ya  $Y$  ile hiçbir ilişkisi olmayan keyfi bir  $Z$  dağılımından geldiği ya da tam olarak  $Y$ 'den geldiği varsayıldığından, bu model altında önerilen teknikler ya bir satırın tüm hücrelerinin iyi gözlem olarak kabul edilmesi ya da satırın tüm hücrelerine aynı anda ağırlık verme eğilimindedir. Ancak, bir aykırı değer bir veya daha fazla koordinatının (hücresinin) şüpheli olduğu, diğerlerinin ise iyi olduğu durumlar da vardır. Böyle bir birimin ağırlığını tamamen



düşürerek, kirlenmemiş hücrelerinde bulunan değerli bilgiler kaybedilebilir (Raymaekers ve Rousseeuw 2024).

### Hücre Esaslı Aykırı Değerler

Hücre esaslı kirlenme ilk olarak De la Torre (2001), Alqallaf vd. (2002) tarafından veri madenciliği kapsamında araştırılmış ve ardından Maronna ve Yohai (2008) tarafından dile getirilmiş, daha sonra Alqallaf vd. (2009) tarafından kapsamlı bir şekilde tanımlanmıştır. Bu kirlenme biçimi, girdiler (hücreler) üzerinde genellikle çok az kalite kontrolünün olduğu veri madenciliği ve biyoinformatikte yer alan büyük, otomatik olarak oluşturulan veri setlerinde yaygındır. Alqallaf vd. (2009), hücre esaslı kirlenme modelini, ilk olarak tek değişkenli konum ölçeği düzeninde tanımlanan standart Tukey-Huber kirlenme modelinin (Tukey, 1962; Huber, 1964) bir uzantısı olarak formüle ederek özetlemiştir.

$p$  sayıda değişkene ilişkin  $n$  gözlemden oluşan bir  $X \in \mathbb{R}^{n \times p}$  veri kümesi olsun. Klasik olarak, en sağlam prosedürler bile yalnızca  $X$  'teki satırların en fazla yarısında kirlenme mevcut olduğunda çalışacak şekilde tasarlanmıştır.  $X$  'teki  $n$  satır için veri üretme süreci için  $x_i = (I - B_i)y_i + B_iz_i$  burada  $y_i \sim F$ , iyi gözlem olarak nitelendirilen, aykırı değer olmayan verilerin dağılımı,  $z_i \sim G$  ise aykırı değer üreten dağılım,  $B_i = \text{diag}(B_1, \dots, B_p)$  köşegen bir matris ve  $B_j \sim \mathcal{B}(1, \varepsilon_j)$  Bernoulli rastgele değişkenleridir.  $y$ ,  $B$  ve  $z$  bağımsız olduğunda, eksik gözlemlerin  $y$  değerlerine bağlı olmadığı tamamen rastgele eksik gözlem modeline benzer bir durumla karşılaşılır.

Kirlenme modeli  $B_i$ 'nin yapısına göre benimsenir. Eğer  $B_1, \dots, B_p$  tamamen bağımlıysa,  $B_i = U_i I$ , burada  $U_i \sim \mathcal{B}(1, \varepsilon)$ , ve klasik prosedürlerin dayandığı standart model olan tam bağımlı kirlenme modeli elde edilir. Eğer  $B_1, \dots, B_p$  karşılıklı olarak bağımsızsa,  $x_i$ 'deki diğer  $p - 1$  değişkenden bağımsız olarak  $F$  veya  $G$ 'den gelen tam bağımsız kirlenme modeli elde edilir.

Veri matrisi gözlem bazında rastgele kirlenmişse, değişken sayısı arttıkça satırların yarısından fazlasının kirlenmiş olma ihtimali üstel olarak artar.  $\varepsilon$ , veri matrisindeki herhangi bir gözlemin kirlenmiş olma olasılığı olmak üzere, kirlenmenin veri matrisi boyunca rastgele dağıldığı varsayımına dayanarak herhangi bir satırın kirlenmemiş olma olasılığı  $(1 - \varepsilon)^p$  'dir (Raymaekers ve Rousseeuw, 2024).

Tamamen bağımsız kirlenme modelinin, kirlenmiş bir veri setinin sütunlarının doğrusal kombinasyonlarının ‘aykırı değer yayılımı’ ile sonuçlanması anlamında afin eşdeğerlikten yoksun olduğu belirtilir (Alqallaf vd., 2009). Bu nedenle, bu ortamda herhangi bir kestirici için afin eşdeğerlik elde edilebilir bir sonuç değildir.

Hücre esaslı aykırı değer problemine dair var olan çalışmalar, her seferinde sadece bir değişkeni inceleyen sürece odaklanmıştır. De la Torre ve Black (2001) piksel seviyesinde (hücre esaslı) ortaya çıkan aykırı değeri modelleyecek yeni bir sağlam temel bileşenler analizini önermiştir. Croux vd. (2003) veri setindeki herhangi bir satır, bir aykırı değer içerdiğinde satırın tamamını aykırı değer olarak görmeyip, ilgili satırdaki diğer hücrelerin bilgilerini kullanan RAR kestiricisini önerirken, Maronna ve Yohai (2008) hücre ve satır esaslı kirlenme içerebilecek bir veri setine Yohai (1987) tarafından önerilen MM kestirim yaklaşımını, belirli bir etkinlik ve yüksek bozulma noktası ile doğrusal regresyon kestirimlerini elde etmeyi ve temel bileşen analizi için uygulanışını açıklamıştır. Liu vd. (2003) aykırı değerlere ve eksik gözlemlere büyük ölçüde sağlam bir tekil değer ayrıştırması varyantına dayalı analizi mikro dizi verileri üzerinde uygulamayı önermişlerdir.

### 3. BAZI KİRLENME MODELLERİ

#### 3.1.Klasik Kirlenme Modeli (THCM)

Çok değişkenli bir veri kümesinin, satırları gözlem ve sütunları değişken olan bir tabloda düzenlendiğini varsayalım, yani  $\mathbb{X} = (X_1, \dots, X_n)$ , ile  $X_i = (X_{i1}, \dots, X_{ip})$  olsun.

Sağlam analiz prosedürlerinin büyük çoğunluğu çok değişkenli veriler, veri tablosundaki satırların küçük bir kısmının kirlenmiş olabileceği klasik Tukey-Huber kirlenme modeline (THCM) dayanmaktadır. Bu modelde kirlenme prosedürü biri sınıflayıcı model, diğeri aykırı değerlere karşılık gelen iki dağılımın bir karışımı olarak modellenir. Daha doğrusu, THCM Eşitlik (2)'deki dağılım ailesini dikkate almaktadır:

$$\varphi_\epsilon = \{H = (1-\epsilon)H_0 + \epsilon\tilde{H} : \tilde{H}, \mathbb{R}^p \text{ üzerindeki herhangi bir dağılımdır}\}, \quad (2)$$

Burada  $H_0$  çok değişkenli normal gibi merkezi bir parametrik dağılımdır. Ayrıca  $N_p(\mu, \Sigma)$  ve  $\tilde{H}$  belirtilmemiş bir aykırı değer üreten dağılım olarak tanımlanmaktadır. Daha sonra, bir satırın yukarıdaki dağılım ailesinden geldiği ( $X \sim H$  burada  $H \in \varphi_\epsilon$ ) varsayılmaktadır. Bu nedenle, aykırı değerlerin teşhisi ve ağırlıklandırılması uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek bozulma noktasına sahip afin eşdeğer kestiricilerine örnek olarak; Rousseeuw (1985)'ün önerdiği minimum hacimli elipsoid (MVE) ve minimum kovaryans determinanı (MCD) kestiricileri, Davies (1987) tarafından önerilen S kestiricisi, Tatsuoka ve Tyler (2000)'in sunduğu MM kestiricisi, Stahel (1981) ve Donoho (1982)'nin ileri sürdüğü Stahel–Donoho kestiricileri verilebilmektedir (Agostinelli vd., 2015; Leung, 2016).

### 3.2. Bağımsız Kirlenme Modeli (ICM)

Gerçek yaşam uygulamalarında, veri matrisindeki bileşenler (veya hücreler) birbirlerinden bağımsız olarak kirlenebilmektedir. Özellikle yüksek boyutlu verilerle çalışıldığında, ayrı ayrı toplanan değişkenler birbirlerinden bağımsız biçimde kirlenebilir. Alqallaf vd. (2009) bu türdeki birbirinden bağımsız kirlenme gösterebilecek bir kirlenme modeli önermiştir. Hücre esaslı kirlenme mekanizması prensipte oldukça zararsız görünebilmektedir, ancak çok maliyetli kestirim sonuçları vardır.

ICM çerçevesinde farklı bir dağılım ailesi olarak düşünülen:

$$\delta_\epsilon = \{H : H, X = (I - B_\epsilon)X_0 + B_\epsilon\tilde{X} \text{ dağılımının herhangi bir dağılımdır}\},$$

burada  $X \sim H_0$ ,  $\tilde{X} \sim \tilde{H}$ ,  $B_\delta = \text{diag}(B_1, \dots, B_p)$  ve  $B_j$  'nin bağımsız olduğu  $\text{Bin}(1, \epsilon)$  dağılımıdır. Başka bir deyişle,  $X$  'in her bir bileşeninin bağımsız olarak kirlenme olasılığı  $\epsilon$  'dir. Ayrıca,  $X$  'in en az bir bileşeninin kirlenme olasılığı:

$$\bar{\epsilon} = 1 - (1 - \epsilon)^p \quad (3)$$

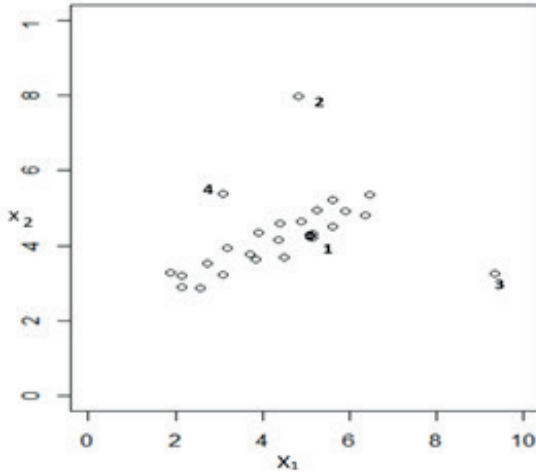
$\epsilon$  küçük olsa bile,  $\bar{\epsilon}$  büyük  $p$  için büyük olabileceği gibi, THCM altındaki oldukça sağlam afin eşdeğer kestiricilerin 0.5 bozulma noktasını aşabileceği anlamına gelmektedir. Örneğin, eğer  $\epsilon = 0.1$  ve  $p = 10$  ise o zaman  $\bar{\epsilon} = 0.65$ ; eğer  $\epsilon = 0.5$  ve  $p = 20$ , ise o zaman  $\bar{\epsilon} = 0.64$ ; ve eğer ki  $\epsilon = 0.1$  ve  $p = 100$ , ise  $\bar{\epsilon} = 0.63$  olması beklenmektedir.

### 3.3. Farklı Kirlenme Modelleri Altında Sağlam Kestirim

Birçok veri kümesinin aykırı değerler içerdiği iyi bilindiğinden, 1960'lı yıllardan bu yana çözüm geliştirmek için pek çok araştırma yapılmıştır. Koşullara bağlı olarak aykırı değerler istenmeyen hatalar olabildiğinden, veri analizini olumsuz yönde etkileyebilecek beklenmedik bilgi yığınları olabilmektedir. Farklı kirlenme modelleri altında global sağlam kestirimin temel amacı hücre esaslı ve satır esaslı aykırı değerlerin varlığında sağlam kestirim ihtiyacını vurgulamaktır. Hücre esaslı aykırı değerlerin varlığında, sıradan sağlam regresyon kestirim yöntemlerinin kullanılması tüm satırın ağırlığını azaltmaya çalıştığından bir miktar bilgi kaybına neden olabilmektedir. Bu bağlamda global sağlam kestirim iki adımdan oluşmaktadır. İlk adım olarak yapılan işlem hücre esaslı aykırı değerlerin filtrelenerek, işaretlenmesi ve işaretlenen hücrelerin eksik gözlem olarak değiştirilmesidir. Böylece aykırı değer problemi eksik gözlem sorununa çevrilmiş olup, ikinci adım ise filtrelenmiş veriler üzerinde satır esaslı aykırı değerler ile başa çıkmak için GSE yönteminin uygulanmasıdır (Danilov vd., 2012; Agostinelli vd., 2015; Rousseeuw ve Bossche, 2015; Leung, 2016; Filzmoser vd., 2020; Toka vd., 2021).

#### 4. HÜCRE ESASLI AYKIRI DEĞERLERİ TEŞHİS ETME YÖNTEMLERİ

Hücre esaslı aykırı değerlerin belirlenmesinin en kestirme yolu, aykırı değerleri değişken bazında tek tek incelemektir. Basit bir yaklaşım olarak her değişkeni sağlam bir şekilde standartlaştırarak sağlam bir z-skoru elde etmek ve daha sonra bu z-skorlarını bir referans dağılımın (örneğin standart Gauss) kantilleriyle karşılaştırmak için bir hücrenin işaretlenip işaretlenmeyeceğine karar vermektir. Gervini ve Yohai (2002) tarafından önerildiği gibi tek değişkenli bir filtre kullanarak marjinal aykırı değerlerin teşhisi gerçekleştirilebilmektedir. Marjinal aykırı değerlerin işaretlenmesi hızlı olsa dahi, değişkenler arasındaki ilişkiler dikkate alınmadığından, yalnızca oldukça aşırı hücre esaslı aykırı değerler güvenilir bir biçimde tanımlanacaktır.



Şekil 2. Hücre Esaslı Aykırı Değerler (Raymaekers ve Rousseeuw 2024).

İki değişkenin yer aldığı iki boyutlu Şekil 2’de marjinal yaklaşımda 2 no’lu gözlem  $X_2$  değişkeni için, 3 no’lu gözlem de  $X_1$  değişkeni için aykırı değer olarak gözükmektedir,  $X_1$  ve  $X_2$  ‘nin negatif ilişkili olduğu gözlem noktalarının büyük

çoğunluğundan uzakta açıkça bir aykırı değer olmasına rağmen 4 no'lu gözlem için bunu söylemek kolay değildir. Bu durum, marjinal aykırı değerlerin işaretlenmesinin genel olarak yetersiz olduğunu göstermektedir.

Bu fikir, hücre esaslı aykırı değerleri tespit etmek için marjinal dağılımlardan daha fazlasını dikkate alan yaklaşımları önermektedir. Bu yaklaşımlardan biri, Gervini ve Yohai'nin (2002) tek değişkenli GY filtresini genişletmektir. Agostinelli vd. (2015) hücre esaslı aykırı değerleri belirlemek için sütunlar bazında tek değişkenli bir filtreleme sonrası S kestirimini benimsemiştir. Leung vd. (2017) ise bunu iki değişkenli bir filtrelemeyle konum ve kovaryans kestirimi için genişletmiştir. Saraceno and Agostinelli (2021) ise bu filtreyi daha da geliştirerek ikiden fazla değişkene taşımışlardır.

Rousseeuw ve Van den Bossche'nin (2018) önerdiği bir başka yaklaşım ise değişkenler arasındaki ilişkiyi hesaba katan çok değişkenli bir veri setindeki sapan hücrelerin belirlenmesi (DDC) algoritmasıdır. Satır esaslı aykırı değer teşhisine yönelik satırların en az yarısının temiz olmasını isteyen yöntemlerden farklı olarak bu algoritmada temiz satır sayısında herhangi bir kısıtlama söz konusu olmayıp, yüksek boyutlarla başa çıkabileceği belirtilmektedir. Veri setinde değişken sayısının fazla olması elde edilecek bilgi miktarına bağlı olarak da kestirimi yapılan hücrelerin doğruluğunu arttırmaktadır. Değişkenler arasında ilişkinin düşük olması halinde, sütun esaslı aykırı değer teşhisi kadar performansının iyi olmasına ilaveten, ilişkinin yüksek olması durumunda çok daha iyi bir performans sunduğu belirtilmektedir. Ayrıca algoritma konum parametresi ve kovaryans matrisi kestiriminde başlangıç adımı olarak ileri sürülmektedir. Agostinelli vd. (2015)'nin önerdiği yöntemin ilk adım olarak kullanılmasının nedeni, sütun esaslı başlangıç kestirimlerinden çok daha iyi performans göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu algoritma, sağlam doğrusal regresyon aracılığıyla elde edilen hücre esaslı standartlaştırılmış artıklardan büyük değerli

olanların aykırı değer olarak işaretlenmesini DDC filtresi ile gerçekleştirmektedir.

Hücre esaslı aykırı değerleri tespit etmek için çeşitli yaklaşımlar bulunduğundan, belirli bir durumda bunlardan birini seçmek için bazı yönlendirmeler yararlı olacaktır. Tüm hücre esaslı aykırı değerlerin marjinal olarak aykırı olduğunu varsaymak için nedenler olduğunda, tek değişkenli bir filtre yeterlidir. İki değişkenli grafiklerde öne çıkmaları beklendiğinde, örneğin iki değişkenli Gervini-Yohai filtresi kullanılabilir (Leung, 2016). Ancak hesaplama yükünü azaltmak için çok sayıda değişkenin bulunduğu bilgilerden yola çıkarak belirlenmiş hücre esaslı aykırı değerler altında kestirim değerlerini sunan DDC algoritması da tercih edilebilir. Benzer işi *cellHandler* algoritması gerçekleştirse bile, ikinci çift arasında seçim yapmak için *cellHandler*'ın  $n > p$  olduğunu varsayan sağlam bir kovaryans kestirimi gerektirdiğini ve ayrıca yaklaşık eliptik bir dağılım varsaydığını göz ardı etmemek gerekir. DDC'de bu varsayımlar söz konusu olmayıp, aynı zamanda algoritma daha hızlı sonuçlar sunmaktadır.

Uygulamada popüler olan bir başka yaklaşım ise Debruyne vd. (2019) tarafından geliştirilen SPADIMO algoritmasıdır. Tamamen hücre bazlı değildir çünkü satır bazında sağlam bir konum ve kovaryans matrisinden büyük sağlam uzaklıklarla aykırı satırları belirleyerek başlamaktadır. Ardından hangi değişkenlerin hücre esaslı aykırı değer olmasına en fazla katkıda bulunduğunu belirlemeye çalışmaktadır.

Son dönemde Raymaekers ve Rousseeuw (2021a)'un önerdiği *cellHandler* algoritması ise hücre esaslı aykırı değerleri teşhis edip, eksik gözlem olarak işaretleyerek, kovaryans matrisinin yeniden kestiriminde beklenti-maksimizasyon (EM) algoritmasını kullanmaktadır. Önerilen bu yaklaşımın performansı iyi olsa da algoritmik yapısı gereği sahip olduğu özelliklerin analiz edilmesinin zor olması, bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Bu düşünceden hareketle Raymaekers ve Rousseeuw (2024a), satır esaslı sağlam minimum kovaryans

determinantı (MCD, Rousseeuw'un (1984)) kestiricisinin hücre esaslı sağlam bir formunu önermiştir. Önerilen *cellMCD* yaklaşımı, önceki algoritmada olmayan bir amaç fonksiyonunu küçülterek, hücre esaslı aykırı değerlerin varlığında yüksek bozulma noktasına sahip olma gibi özellikleri göstermişlerdir. Yaklaşım satır esaslı klasik MCD'de olduğu gibi, amaç fonksiyonunu azaltan bir C-adımını yinelemekte, dolayısıyla da algoritmanın yerel minimuma yakınsaması sağlanmaktadır. Başlangıç kestiricisi Raymaekers ve Rousseeuw (2021b) ile DDC'nin sağlam korelasyon kestiricisinin birleşimini kullanmaktadır (Raymaekers ve Rousseeuw, 2023).

Rousseeuw (2023) ise verileri hücre bazında ağırlıklarla istatistiksel olarak analiz etmek için bir yöntem önermiş, bunu konum ve kovaryans kestirimlerini elde etmek amacıyla kullanmıştır. Bu amaçla, öncelikle hücreleri uzaklıklarına göre ağırlıklandırılarak, ardından hücre esaslı ağırlıklandırılmış maksimum olabilirlik aracılığıyla yeniden ağırlıklandırılmış konum ve kovaryans matrisi elde edilmektedir.

Zaccaria vd. (2024) karışım modellerinde hücre esaslı aykırı değer tespiti için bir yöntem önermiştir. Önerilerinde yer verilen *cellGMM* metodolojisi bir veri matrisinin kirlenmiş hücrelerini işaretleyip, daha sonra bunları parametre tahmininden önce atmak yerine atamak için ek bir adım içeren bir beklenti maksimizasyon (EM) algoritması aracılığıyla tahmin söz konusudur. Bu prosedür, heterojen yapıdaki veri yığnında kirlenmiş hücreleri eksik değerler olarak ele alarak EM algoritması ile işleme amacıyla tasarlanmıştır. Önerilen modelin performansı, farklı senaryolara sahip bir simülasyon çalışması aracılığıyla mevcut diğer yöntemlerle karşılaştırılmış ve üç gerçek veri seti üzerinde kümeleme, aykırı değer tespiti ve atama için potansiyel kullanımı gösterilmiştir.

Sonuç olarak Raymaekers ve Rousseeuw (2024b), hücre esaslı aykırı değerlerin teşhisi, konum ve kovaryans matrisinin kestiriminde literatürde önerilen yöntemlerin hesaplama süresinde dezavantaj oluşturmadığını ifade etmektedir. Sezgisel



olarak konum, kovaryans ve regresyon kestiricilerinin hücre esaslı bozulma değerlerinin oldukça düşük olması nedeniyle halen bu alanda kapatılmayan bir açık olduğu belirtilmektedir.

#### **4.1. Konum Parametresi ve Kovaryans Matrisinin Kestirimi**

Danilov (2010), kovaryans matrisinin kestiriminde önce hücre esaslı aykırı değerleri belirleyip, ağırlıklandırmak ve ardından konum ve kovaryans kestirimlerini elde edecek biçimde üç adımlı bir süreç önermiştir. Aykırı değer teşhisi aşamasında sağlam standartlaştırılmış değerlere ilaveten kısmi Mahalanobis uzaklıklarına göre çok değişkenli yaklaşımları değerlendirmiştir. Sonunda, olası tüm alt uzaylarda hücre esaslı aykırı değerlerin belirlenmesi isteniyorsa, hesaplama süresinin  $d$  boyutlu üstel olarak artması nedeniyle ikinci önerisini sunmuştur. Aykırı hücrelerle baş etmede winsorize, sansürleme ve eksik gözlemlerin kestirimi yöntemlerini karşılaştırmıştır. Son olarak, çok değişkenli hücre esaslı aykırı değer teşhis yöntemi ile aykırı hücreleri eksik olarak nitelemiş ve ardından ortaya çıkan eksik veri kümesi için en çok olabilirlik kestirimlerini kullanmıştır.

Van Aelst vd. (2011) hücre esaslı Stahel-Donoho kestiricisini kovaryans matrisinin hücre esaslı sağlam kestirimi için önermiştir. Hücre esaslı kirlenme altında oldukça iyi performans gösterdiği görülmüştür. Danilov vd. (2012) ise eksik verilerin olduğu veri setlerinde iki değişkenli filtrelemeyi genelleştirilmiş S kestirimi ile birleştirmeyi önermiştir (Leung vd., 2019).

Hücre esaslı kirlenme ortamında, Agostinelli vd. (2015) tarafından iki adımlı genelleştirilmiş S-kestiricisi (2SGS) önerilmiş ve Leung vd. (2017) tarafından genişletilmiştir. Bu, birkaç yıl boyunca en iyi performans gösteren yöntem olmuştur. Bu çalışmaların devamında Rousseeuw ve Van den Bossche'nin (2018) önerdikleri daha yeni yöntemlerin daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

## 4.2. Hassasiyet Matrisinin Kestirimi

İstatistiksel çalışmalarda öncelikle kovaryans matrisinin tersi alınarak elde edilen hassasiyet matrisi üzerinde durulur. Değişken sayısının az olması durumunda kovaryans matrisinin kestirimi ve tersinin alınması kolayca gerçekleştirilebilse de değişken sayısı arttığında (yüksek boyutta) araştırmacı tekil kovaryans matrisi ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu durumda kovaryans matrisini regülerize etmektense hassasiyet matrisinin doğrudan kestirimi ve aynı anda regülerize edilmesi tercih edilebilir. Friedman vd. (2008) tarafından önerilen grafik LASSO, yüksek boyutlu hassasiyet matrisinin en bilinen kestiricilerinden biri olarak nitelendirilir. Klasik örneklem kovaryans matrisi  $\hat{\Sigma}$  olmak üzere, hassasiyet matrisi ( $\Theta$ ) kestirimi Eşitlik (4) verildiği gibi ifade edilir.

$$\hat{\Theta} = \underset{\Theta \succeq 0}{\operatorname{argmin}} \left( \operatorname{trace}(\hat{\Sigma}\Theta) - \log(\det(\Theta)) + \lambda \sum_{j \neq \ell} |\Theta_{j\ell}| \right). \quad (4)$$

Bu eşitlikte akla gelen ilk düşünce, sağlam örneklem kovaryans kestirimi ( $\hat{\Sigma}$ ) alınarak sağlam hassasiyet matrisi kestiriminin elde edilip edilemeyeceğidir. Bu fikir, araştırmacılar tarafından, sağlam ikili korelasyonlara dayalı farklı yöntemler kullanılarak ampirik ve teorik olarak incelenmiştir. Literatürde var olan (Öllerer ve Croux (2015); Croux ve Öllerer (2016); Tarr vd. (2016); Loh and Tan (2018), ve Katayama vd. (2018)) çalışmalardaki ikili korelasyonların kestirimi Eşitlik (5)'teki gibidir.

$$\hat{\Sigma}_{j\ell} = s(X_{\cdot j})s(X_{\cdot \ell})r(X_{\cdot j}, X_{\cdot \ell}) \quad (5)$$

Burada  $s(\cdot)$  sağlam bir ölçek kestiricisini ve  $r(\cdot)$  sağlam bir korelasyon kestiricisini gösterir. Eşitlik (4)'teki  $\hat{\Sigma}$ 'nın pozitif yarı tanımlı bir matris olması gerektiğinden, hücre esaslı kirlenme altında elde edilen hassasiyet matrisinin kestiricileri hızlıca hesaplanmakta ve iyi performans göstermektedir. Ayrıca Eşitlik (4)'teki iyi tanımlanmış amaç fonksiyonu teorik olarak da çözümlenebilmektedir. Ancak algoritma ikili

korelasyonların hesaplanmasına odaklandığından, daha fazla sayıdaki hücre esaslı aykırı değer varlığında performansının azalması beklenmektedir (Tarr vd., 2016; Raymaekers ve Rousseeuw, 2024).

Loh ve Tan (2018) yüksek boyutlu hassasiyet matrisi için sağlam tahmincilerin istatistiksel tutarlılığını incelemektedir. Veri matrisi üzerinde hücresel aykırıdeğer olarak nitelendirilen kirlenme mekanizmasına odaklanılmıştır. Uygun şekilde seçilmiş sağlam kovaryans matrisi tahmincilerinin grafiksel Lasso ve CLIME’da kullanılmasıyla yeni tahminciler oluşturulmuştur. Yakın zamanda sağlam istatistik literatüründe önerilen bu kestiricilerin sadece bozulma noktası açısından matematiksel olarak analiz edildiği çalışmada ifade edilmiştir. Loh ve Tan (2015) çalışmalarında, hassasiyet matrisinin tahmincileri için yüksek boyutlu hata sınırlarını sunmaktadır. Ayrıca, grafiksel Lasso ve CLIME tahmincilerinin istatistiksel tutarlılık açısından eşit derecede iyi performans göstermesine rağmen, grafiksel Lasso’nun bozulma noktası özelliğinin CLIME’inkinden daha üstün olduğunu göstermişlerdir.

Avagyan ve Mei (2022), örneklem verileri hücresel kirlenme içerdiğinde hassasiyet matrisinin kestirimi problemi üzerinde durmuştur. Araştırmacılar grafiksel Lasso gibi yaygın olarak kullanılan yöntemlerde, başlangıç matrisi olarak örneklem kovaryans matrisinin kullanılmasının, aykırı değerlerin varlığında hassasiyet matrisinin kestirim performansını bozacağını belirtmiştir. Önerdikleri yöntem, iki sağlam korelasyon kestiricisinin üç sağlam değişkenlik ölçüsüyle birleştirilmesiyle elde edilen birkaç sağlam kovaryans tahmin edicilerine dayanmaktadır. Simülasyon çalışmaları sayesinde, önerdikleri yaklaşımlarının, örneklem kovaryans matrisine dayalı standart yöntemlere kıyasla sağlam performansını göstermişlerdir. Ayrıca, önerilerini, Şanghai Menkul Kıymetler Borsası Bileşik endeksindeki en uygun portföy dağılımlarını incelemeyi amaçlayan gerçek bir veri uygulamasına uygulamışlardır. Sonuçlarında, önerilen

sağlam kovaryans kestiricilerinin Shapre oranı bakımından iyi performans sağladığı gösterilmektedir.

### 4.3. Hücre ve Satır Esaslı Aykırı Değerlerle Regresyon Analizi

Veri setinde hücre esaslı aykırı değer söz konusu olduğunda literatürde ilk olarak doğrusal regresyon modelleri üzerinde durulmuştur. Daha açık bir ifadeyle,  $x_i$ ,  $i=1, \dots, n$  için bir  $p \times 1$  vektör olmak üzere  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  gözlem çiftleri modellenmeye çalışılmıştır.

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

Modeldeki  $\alpha$  ve  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p)$  regresyon katsayılarının kestirimine odaklanılmıştır.

Satıra göre sağlam doğrusal regresyonda, gözlenen bir çiftin  $(x_i, y_i)$  ya aykırı olduğu ya da tamamen temiz olduğu kabul edilmektedir. Ancak hücre esaslı sağlam regresyon için tek değişkenli ve yalnızca bir hücresi olan yanıt değişkeni  $y_i$  'nin ya aykırı ya da temiz olduğu durum söz konusudur. Bu nedenle satır esaslı ve hücre esaslı sağlam doğrusal regresyon arasındaki farklılığın bağımsız değişkenlerin kirlenme düzeyine bağlı olmasıdır.

Hücre esaslı sağlam regresyon için en eski önerilerden biri Öllerer vd. (2016) tarafından atış algoritması olarak da adlandırılan shooting S-kestiricisidir.

Leung (2016)'un sunduğu alternatif öneriye göre, hücreler kirlenmeden önce  $(x_i, y_i)$  çiftlerinin ortak çok değişkenli normalliğini varsaymaktadır. Agostinelli vd. (2015)'nin ileri sürdüğü birinci aşamada değiştirilmiş bir filtre kullanarak iki aşamalı genelleştirilmiş S (2SGS) kestiricisi ile  $(x_i, y_i)$  çiftlerinin ortak dağılımının  $\hat{\mu}$  konumu ve  $\hat{\Sigma}$  kovaryans matrisinin kestirimi yapılarak başlanır. Devamında filtrelenerek işaretlenen hücrelere yeniden atama yapılır.

Filzmoser vd. (2020)'nin önerisi, MM-regresyon gibi duruma göre sağlam bir yöntemle başlamaktadır. Daha sonra SPADIMO (Sparse Directions of Maximal Outlyingness,

Debruyne vd., 2019) algoritması, aykırı olmalarından sorumlu hücreleri belirleme umuduyla işaretlenmiş hücelere uygulanır. Diğer bir deyişle, SPADIMO hangi değişkenlerin bir satırın aykırı değer olarak tespit edilmesine en çok katkıda bulunduğunu belirleyen bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Daha sonra, bu işaretli hücreler, işaretlenmemiş hücelere uygulanan en yakın komşular tarafından yeniden atama yapılıp ve yeniden atanan verilerle regresyon artıkları güncellenir. Son olarak, standartlaştırılmış artıklardan hücre esaslı ağırlıklar elde edilir ve güncellenmiş regresyon katsayılarını elde etmek için ağırlıklı en küçük kareler regresyonunda kullanılır. Üç adımdan oluşan bu süreç tekrarlanır. Algoritma satıra göre sağlam bir başlangıç kestiricisine dayandığından, genel anlamda hücre bazında sağlam olamaz. Ancak, başlangıç kestiricisinin değiştirilmesiyle hücre esaslı sağlamlığın elde edilmesi mümkündür. SPADIMO tarafından işaretlenen hücrelerin düşük ağırlıklandırılmasıyla, Filzmoser vd. (2020) tarafından önerilen yöntemin hücre esaslı sağlam olması sağlanmaktadır.

Uygulamada sıkça yer alan görünüşte ilişkisiz regresyon (SUR) modellerinde ise bilinmeyen parametreler, regresyon katsayıları ve hata terimleri arasındaki kovaryanslar, genelleştirilmiş en küçük kareler veya maksimum olabilirliğe dayalı algoritmalar kullanılarak tahmin edilmektedir ve yöntem bir bütün olarak aykırı değerlere karşı çok hassastır. Bu problemin üstesinden gelmek için, literatürde hızlı algoritmalarla birlikte M-tahmin edicileri ve S-tahmin edicileri önerilmektedir. Ancak bu prosedürler hata terimlerinde yalnızca satır esaslı aykırı değerlerle başa çıkabilmekte, hücre esaslı aykırı değerlerin varlığında ve denklem sayısı artıkkça performansları çok zayıflamaktadır. Saraceno, Alqallaf ve Agostinelli (2021) çalışmalarında SUR modeli için hem satır esaslı hem de hücre esaslı aykırı değerleri dikkate alan, her iki kirlenme türü altında da iyi performans gösterebilen ve ayrıca hesaplanması hızlı olan yeni bir sağlam *surerob* yaklaşımını önermiştir. THCM kapsamında, önerilen kestirici,

yüksek kirlenme seviyelerinde güçlü rakibini geride bıraktığı ve düşük kirlenme seviyelerinde rekabetçiliğini koruduğu belirtilmektedir. Klasik kesin yöntemlere göre daha yavaş olsa bile *surrob* yönteminin diğer sağlam kestiricilere göre hesaplama açısından daha az maliyetli olduğu, özellikle de örneklem hacminin artması durumunda iyi bir özellik olması bakımından önemi vurgulanmıştır. Hücre esaslı kirlenme dikkate alındığında önerilen kestiricinin en iyi performansı gösterdiği ifade edilmektedir.

Regresyon çözümlemesinde parametre kestirimi ve çok sayıda bağımsız değişkenin varlığında modelde kalması gereken değişkenlerin seçimi geçmişten günümüze popülerliğini sürdürmektedir. Bu konuya ilave olarak aykırı değerlerin varlığı da modellemeye eklendiğinde hücre esaslı aykırı değer varlığında geçmişte kullanılan satır esaslı aykırı değerler için ileri sürülen sağlam regresyon yöntemlerinin yeterli olmadığı ileri sürülmüştür. Bu doğrultuda Toka vd. (2021) çalışmasında, veri setinde hem hücre hem de satır esaslı aykırı değerleri hesaba katan sağlam kestirim ve değişken seçim yöntemini önermiştir. Üç adımdan oluşan bu yöntemde, hücre esaslı aykırı değerlerin teşhisi sonrası, bu hücrelerin silinerek eksik gözlem olarak işaretlenmesi söz konusudur. Eksik gözlemlerin sağlam atama yöntemiyle ataması gerçekleştirilip, sağlam regresyon yöntemiyle değişken seçim yöntemi olan Lasso'nun birlikte kullanımı gerçekleştirilmiştir. Hücre ve satır esaslı aykırı değer varlığında yürüttükleri simülasyon ve bir veri seti sonuçlarının iyi performans sergilediği ortaya konmuştur.

Machkour vd. (2020) hücre ve satır esaslı aykırı değerlerle kirlenmiş, kötü koşullu doğrusal regresyon problemlerine seyrek (sparse) çözümler bulma sorununu ele almıştır. Sağlam ağırlıklandırılmış ve uyarlanabilir Lasso tipi düzenleme terimini, MM kestiricisinin amaç fonksiyonuna entegre ederek, MM-Sağlam-Ağırlıklı Uyarlanabilir Lasso (MM-RWAL) önermişlerdir. Düzenleme terimi, regresyon matrisindeki

hücre esaslı aykırı değeri hesaba katar ve bu bilgiyi sağlam değişken seçimi için kullanır. MM-RWAL, hücre ve satır esaslı aykırı değerler içeren kötü koşullu ve seyrek dağılım modeli için simülasyon çalışmaları ve gerçek veri uygulamaları mevcut sağlam seyrek tahmin edicilerden daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamışlardır.

Werner (2023) belirli tür aykırı değer konfigürasyonlarının model seçiminde tamamen yanıltıcı olabileceğini göstermiştir. Kararlı değişken seçimi için bozulma noktasını yeniden örneklemeyle birleştirmiş, topluluk makine öğrenmesinde model seçim tekniği olan Kararlılık Seçim tekniğinin sağlamlığını ölçen Kararlılık Seçimi bozulma noktasını önermiştir. Yalnızca en iyi performansa sahip modelleri bir araya getiren budanmış bir Kararlılık Seçimi önerilmiş, böylece sezgisel olarak, aşırı kirlenmiş yeniden örneklemler üzerinde hesaplanan modellerin budanması gerekliliği ortaya konmuştur. Sağlam olmayan regresyon ve sınıflandırma algoritmalarının yanı sıra iki sağlam regresyon algoritmasıyla yapılan kapsamlı bir simülasyon çalışması, Werner'in yaklaşımının hem son derece küçük bir hücre esaslı kirlenme oranı için model seçim sağlamlığını artırma potansiyelini hem de sağlam olmayan algoritmaların değişken seçiminin kırılganlığını ortaya koymuştur.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Son dönemlerde satır esaslı ve hücre esaslı aykırı değer kavramları bazı yorumlama sorularını gündeme getirmektedir. Satır esaslı kirlenme ve hücre esaslı kirlenme terimleri, aykırı değer oluşturmanın farklı yollarının olabileceği fikrini ortaya koymaktadır. Öte yandan, istatistiksel çözümlerinin yer aldığı her bilimsel araştırmada kullanılan veri setlerinde, olağandışı bir gözlemin satır esaslı bir aykırı değer mi yoksa bazı aykırı hücrelere sahip çoğunlukla temiz bir birim mi olduğu sonucuna varmak genellikle tanımlanamayan bir sorun olarak araştırmacıların karşısına çıkmaktadır.

Bu çalışmada farklı kirlenme (THCM ve ICM) modelleri altında hücre esaslı ve satır esaslı aykırı değer ayrımı ortaya konmuş, konum parametresinin ve kovaryans matrisinin kestirimi ve regresyon için literatürde son dönemlerde geliştirilen bazı yöntemler ve yapılan çalışmalar gözden geçirilmiştir.



## KAYNAKÇA

- Alqallaf, F. A., Konis, K. P., Martin, R. D., ve Zamar, R. H., (2002). Scalable robust covariance and correlation estimates for data mining. In *Proceedings of the eighth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '02, (pp. 14–23).
- Alqallaf, F., (2003). A New Contamination Model for Robust Estimation with Large High-Dimensional Data Sets. PhD thesis, University of British Columbia.
- Alqallaf, F., Van Aelst, S., Yohai, V. J., ve Zamar, R. H., (2009). Propagation of outliers in multivariate data. *Ann Statist*, 37 (1), 311–331.
- Agostinelli, C., Leung, A., Yohai, V. J., ve Zamar, R. H., (2015). Robust estimation of multivariate location and scatter in the presence of cellwise and casewise contamination. *Test*, 24 (3), 441–461.
- Avagyan V., Mei, X., (2022). Precision matrix estimation under data contamination with an application to minimum variance portfolio selection, *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 51:4, 1381-1400.
- Barnett, V. ve Lewis, T., (1994). *Outliers in Statistical Data*. John Wiley.
- Candès, E.J., Li, X., Ma, Y., Wright, J., (2011). Robust principal component analysis. *Journal of the ACM*, 58 (3), 1–37.
- Croux, C., Filzmoser, P., Pison, G., Rousseeuw, P.J., (2003). Fitting multiplicative models by robust alternating regressions. *Statistics and Computing*, 13, 23–36.
- Croux, C., ve Ollerer, V., (2015). Comments on: Robust estimation of multivariate location and scatter in the presence of cellwise and casewise contamination. *Test*, 24 (3), 462–466. 37, 38
- Danilov, M., (2010). Robust estimation of multivariate scatter in non-affine equivariant scenarios Ph.d. thesis. University of British Columbia
- Danilov, M., Yohai, V. J., ve Zamar, R. H., (2012). Robust estimation of multivariate location and scatter in the presence of missing data. *J Amer Statist Assoc*, 107, 1178–1186.
- Davies, P., (1987). Asymptotic behaviour of S-estimators of multivariate location parameters and dispersion matrices. *Ann Statist*, 15, 1269–1292.
- Debruyne, M., S. Höppner, S., Serneels, S., ve Verdonck T., (2019). Outlyingness: Which variables contribute most, *Statistics and Computing* 29, 707–723.
- De la Torre, F., Black, M.J., (2001). Robust principal components analysis for computer vision. In: *Proceedings of international conference on computer vision*. <http://citeseer.ist.psu.edu/torre01robust.html>
- Donoho, D. L., (1982). Breakdown Properties of Multivariate Location Estimators. PhD thesis, Harvard University.
- Filzmoser, P., Höppner, S., Ortner, I., Serneels, S., ve Verdonck T., (2020). Cellwise robust M regression. *Computational Statistics and Data Analysis* 147, 106944.

- Gervini, D., Yohai, V.J., (2002). A class of robust and fully efficient regression estimators. *The Annals of Statistics* 30 (2), 583–616.
- Grubbs, F., (1969). Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, 11, 1-21.
- Hampel, F.R., Ronchetti, E.M., Rousseeuw, P., Stahel, W.A., (1986). *Robust Statistics: the Approach based on Influence Functions*. Wiley-Interscience, New York.
- Hawkins, D., (1980). *Identification of Outliers*. Chapman and Hall, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Huber, P. J., (1964). Robust estimation of a location parameter. *Ann. Math. Statist.* 35, 73–101.
- Leung, A., (2016). Robust Estimation and inference under cellwise and casewise contamination. PhD thesis, University of British Columbia.
- Liu, L., Hawkins, D.M., Ghosh, S., Young, S.S., (2003). Robust singular value decomposition analysis of microarray data. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100, 13167–13172. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1733249100>
- Loh, P-L., Tan, X.L., (2018). High-dimensional robust precision matrix estimation: Cellwise corruption under  $\mathcal{E}$ -contamination. *Electronic Journal of Statistics*, 12, 1429–1467 ISSN: 1935-7524. <https://doi.org/10.1214/18-EJS1427>
- Machkour, J., Muma, M., Alt, B., Zoubir, A.M., (2020). A robust adaptive Lasso estimator for the independent contamination model. *Signal Processing*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2020.107608>
- Maronna R.A., Yohai V.J., (2008). Robust lower-rank approximation of data matrices with element-wise contamination. *Technometrics*, 50:295–304
- Maronna, R.A., Martin, R.D., Yohai, V.J., Salibián-Barrera, M., (2019). *Robust statistics: Theory and methods (with R)*. John Wiley & Sons.
- Maronna, R.A., (2015). Comments on: Robust estimation of multivariate location and scatter in the presence of cellwise and casewise contamination. *Test*, 24:471–472
- Öllerer, V., Alfons, A., Croux, C., (2016). The shooting S-estimator for robust regression. *Computational Statistics* 31, 829–844.
- Raymaekers, J., Rousseeuw, P., (2021a). Handling cellwise outliers by sparse regression and robust covariance. *Journal of Data Science, Statistics, and Visualisation*, 1 (3). doi:10.52933/jdssv.v1i3.18.
- Raymaekers, J., Rousseeuw, P.J., (2021b). Fast robust correlation for high-dimensional data. *Technometrics*, 63, 184–198. doi:10.1080/00401706.2019.1677270.
- Raymaekers, J., Rousseeuw, P., (2023). cellwise: Analyzing data with cellwise outliers. R package. <https://CRAN.R-project.org/package=cellWise>
- Raymaekers, J., Rousseeuw, P.J., (2024a). The cellwise minimum covariance determinant estimator. *Journal of the American Statistical Association*, doi:10.1080/01621459.2023.2267777

- Raymaekers, J., ve Rousseeuw, P. J., (2024b). Challenges of cellwise outliers. *Econometrics and Statistics*. In Press <https://doi.org/10.1016/j.ecosta.2024.02.002>
- Rousseeuw, P.J., Leroy, A.M., (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*. John Wiley & Sons.
- Rousseeuw, P.J., Croux, C., (1993). Alternatives to the median absolute deviation. *Journal of the American Statistical Association*, 88, 1273–1283.
- Rousseeuw, P. J., ve Van den Bossche, W., (2015). Comments on: Robust estimation of multivariate location and scatter in the presence of cellwise and casewise contamination. *Test*, 24 (3), 473–477.
- Rousseeuw, P. J., (1985). *Multivariate estimation with high breakdown point*. In W. Grossmann, G. Pflug, I. Vincze, & W. Wertz (Eds.), *Mathematical statistics and applications*, volume B (pp. 256–272). Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- Rousseeuw, P. J. ve Van den Bossche, W., (2018). Detecting deviating data cells. *Technometrics*, 60, 135–145. URL: <https://doi.org/10.1080/00401706.2017.1340909>.
- Saraceno, G., Agostinelli, C., (2021). Robust multivariate estimation based on statistical depth filters. *Test*, 1–25.
- Saraceno, G., Alqallaf, F., & Agostinelli, C., (2021). A robust seemingly unrelated regressions for row-wise and cell-wise contamination. arXiv:2107.00975.
- Stahel, W. A., (1981). Breakdown of covariance estimators. Technical Report 31, Fachgruppe für Statistik, ETH Zürich, Switzerland.
- Tarr, G., Müller, S., Weber, N., (2016). Robust estimation of precision matrices under cellwise contamination. *Computational Statistics & Data Analysis*, 93, 404–420.
- Tatsuoka, K. S., ve Tyler, D. E., (2000). On the uniqueness of S-functionals and M-functionals under nonelliptical distributions. *Ann Statist*, 28, 1219–1243.
- Toka, O., Çetin, M., ve Arslan, O., (2021). Robust regression estimation and variable selection when cellwise and casewise outliers are present. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 50(1), 289-303. <https://doi.org/10.15672/hujms>.
- Tukey, J. W., (1962). The future of data analysis. *Ann. Math. Statist*, 33, 1–67.
- Van Aelst, S., Vandervieren, E., Willems, G., (2011). Stahel-Donoho estimators with cellwise weights. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81,1–27.
- Werner, T., (2023). Trimming stability selection increases variable selection robustness. *Machine Learning*, 112:4995–5055 <https://doi.org/10.1007/s10994-023-06384-z>
- Zaccaria G., Garcia-Escudero L.A., Greselin F., Mayo-Íscar A., (2024). Cellwise outlier detection in heterogeneous populations. <https://arxiv.org/html/2409.07881v1>



## BÖLÜM 3

# BALKAN ÜLKELERİNDE ATIK ÜRETİMİ VE GERİ DÖNÜŞÜM PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ: EŞANLI PANEL VERİ ANALİZİ<sup>1</sup>

Elgiz Askeroğlu<sup>2</sup>, Gaye Karpat<sup>3</sup>

### 1.GİRİŞ

İnsanın çevreyle ilişkisi tarihçiler tarafından sınıflandırılan tarih öncesi devirlerden şu an içinde bulunduğumuz yakın çağa kadar çeşitli şartlar altında karşılıklı olarak devam etmiştir. Bu ilişki kaba taş devrinden cilalı taş devrine kadar çevresel koşullar ve diğer avcılar ile rekabet şeklinde olmuştur. Ancak cilalı taş devrinde insanlığın tarım ile buluşması ve daha sonra sonrasında yabani hayvanları evcilleştirerek kendi işleri ve gıda amaçlı kullanması ile doğadaki mücadelesini başka boyuta taşımış ve bugünkü medeniyetimizin temellerini atmıştır. Yakın tarih dönemine bakıldığında Avrupa’da 18. ve 19. yüzyıllar arasında üretimde makineleşmenin getirdiği sanayi

1 “Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kurulu’nun 19.07.2022 tarih ve 2022-29/3 sayılı kararıyla onaylanmış Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.”

2 Doktora Öğrencisi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Giresun, Türkiye elgiz\_askeroglu@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-5883-5527

3 Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Eskişehir, Türkiye gkarpat@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6348-8881

devrimi insanlığın çevre ile olan ilişkisini farklı bir boyuta taşımıştır. Sanayideki makineleşme beraberinde üretimin artması, insanların çalışma şartlarının iyileşmesi gibi olumlu etkilerinin yanında fosil yakıtlara duyulan ihtiyaç ve artan üretim ile çevresel atıkların artması negatif sonuçları olarak değerlendirilebilir.

Özellikle sanayi devriminden sonra insanlık üretimde eskisi kadar çaba sarf etmek zorunda kalmadığı için bilim ve teknik, sanayi devriminin öncesine göre kıyaslanmayacak derecede hızla gelişerek medeniyetimizi bugüne getirmiştir. Dünya genelinde artan bu refah, nüfusun hızla artmasına ve yaşam kalitesinin yükselmesine yol açmıştır. Artan bu nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması adına doğal kaynaklar daha fazla ve hoyratça kullanılmıştır. Bu kullanımın sonucunda günümüzde hava, toprak ve su kirliliği gibi yaşanan çevre sorunları ile yüzleşilmektedir.

Çevreye verilen bu zararları önlemek adına günümüzde OECD, Avrupa Birliği ve Birleşmiş Milletler gibi ülke grupları ve birlikler bu konu üzerine çeşitli anlaşmalar ve çalışmalar düzenlemektedirler. Örneğin, Birleşmiş Milletler üye ülkeleri tarafından 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması'nın küresel ortalama sıcaklık artışını sanayileşme öncesi seviyeler olan 2°C'nin çok altında tutmak ve sıcaklık artışını sanayileşme öncesi seviyeler olan 1,5°C'nin üzerinde sınırlandırmak ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uyum sağlama yeteneğini artırmak, ancak bunu yaparken gıda üretimini tehdit etmeyecek şekilde iklim direncini ve düşük sera gazı emisyonu gelişimini teşvik etmek gibi çeşitli amaçları bulunmaktadır. Atık üretimi ve geri dönüşüm seviyesi için ise OECD ülkeleri 2022 yılında yayınladığı raporda atık, geri dönüşüm, bertaraf, sızıntı ve sera gazı emisyonları dâhil olmak üzere küresel olarak plastiğin tüm yaşam döngüsü üzerinde durur ve plastiğin yaşamını daha döngüsel bir hale getirmek adına yöntemler önermektedir.

Sanayi devriminin bir sonucu olarak ortaya çıkan fosil yakıtlar gerek atmosfere salınan karbon gerekse petrol bazlı üretilen ürünler olmak üzere doğada hava, toprak ve su kirliliği gibi çeşitli çevresel sorunlar yaratmıştır. Petrol bazlı üretilen petrokimyasal (plastik) ürünler ucuz ve kolay üretilebilir olduğu için günümüzde araba sanayinden evlerde kullanılan basit eşyalara kadar her alanda geniş bir yelpaze ile kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak plastik atık miktarı giderek artmaktadır. Bu atıkların doğru yönetilmesi içinde bulunduğumuz çevre için hayati önem taşımaktadır. Üretilen bu atıkların geri dönüşüm oranları çok yüksek olmamakla birlikte geri dönüştürülebilen ürünlerin de en fazla iki veya üç defa daha geri dönüştürülebileceği gerçeği ile karşı karşıya kalınmaktadır. Geri dönüştürülemeyen atıklar ise çoğunlukla gömme, yakma ve depolama yöntemleri ile kontrol altına alınmaktadır. Ancak bu yöntemlerden yakma, atmosfere saldığı zararlı gazlar bakımından hava kirliliği ve uzun vadede sera etkisine neden olabilmektedir. Diğer yöntem olan atıkların gömülmesi ise toprak kirliliğine sebep olmaktadır.

Petrokimyasal ürünlerin geri dönüştürülmesi işlemi devletler için çeşitli hukuksal düzenlemeler ve maddi zorluklar getirmektedir. Bu zorluklarla gelişmiş ülkeler maddi olanakları ve toplum bilinci sayesinde bir nebze olsun başa çıkabilir. Ancak gelişmekte olan ülkeler ile ekonomik ve eğitimsel bazda sorun yaşayan ülkeler bu zorluklarla başa çıkmakta güçlük çekmektedir. Gelişmiş ülkeler atıkları sınıflandırarak ayrı şekilde toplanması ve sonrasında geri dönüşüm tesislerinde işlenmesi işlenemeyecek olan atıkları da gelişmekte olan ülkelere para vererek göndermesi yoluyla bu sorunu çözmeye çalışmaktadır. Ancak bu atık ihracatı gelişmekte olan ülkeler için kısa vadede bir ekonomik rahatlama sağladığı gibi uzun vadede hali hazırda kendi atıkları ile dışardan alınan bu atıkların iyi yönetilememesi ülkede çevresel sorunlar ve refah durumunda azalmaya yol açmaktadır.

Atık üretimi nüfus yoğunluğu, kentleşme derecesi ve ekonomik büyüme ile aynı eğilime sahiptir. Yaşam standardı ve gelir düzeyi yükseldikçe daha fazla kaynak kullanımı dolayısıyla atık üretimi de artmaktadır. Kentsel atıktaki artış, vatandaşların sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik için bir tehdit oluşturmaktadır. Dolayısıyla atık üretimi, modern toplumlarda çok önemli bir sorundur. Atık üretimini azaltmayı ve geri dönüşümü geliştirmeyi amaçlayan ülkelerin katı atık yöntemi, çevrenin bozulmadan korunması için temel eylemlerden biridir.

Çevre sorunları ile ekonomik kalkınma arasındaki ilişkinin analizi için birçok yöntem mevcuttur. Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) de bunlardan biridir. Atık üretimi sorunu Kuznets (1995) tarafından ortaya atılan ve Grossman ve Krueger tarafından çevresel sorunlara uyarlanan Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi ile incelenmektedir. Bu hipotez, ekonomik gelişmişlik seviyelerinin başlarda çevresel sorunlar yarattığını ancak belli bir eşik noktasından sonra bu çevresel sorunların azaldığını ifade etmektedir (Grossman ve Krueger, 1995).

Çalışmada kullanılan panel veri modelindeki değişkenlere ait veriler 2000-2019 dönemi için elde edilebilmiştir. OECD'ye üye Balkanlar'da yer alan Türkiye, Yunanistan, Slovakya, Slovenya ve Macaristan olmak üzere 5 ülkedeki atık üretimi ve geri dönüşüm süreçlerinin Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezine dayalı olarak analiz edilmesi amaçlandığı çalışmada söz konusu ülkeler geri dönüşüm seviyesi ve belediye atık üretimi bakımından OECD'nin Avrupa coğrafyasının diğer bölümlerinde yer alan ülkelere göre daha az efektif olduğu düşünülmüş ve seçilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1** Ülke Gruplarının Atık Üretimi ve Geri Dönüşüm Seviyeleri Ortalamaları

	Balkan Ülkeleri	Güney Avrupa	Kuzey Avrupa
Gerİ Dönüşüm Seviyesi Ortalamaları	15.49	40.10	27.96
Atık Üretimi Ortalaması	8.65	15.20	1.74



Türkiye, 2018 yılında dünyanın en büyük plastik atık ithalatçısı olan Çin'in plastik atık ithalatını yasaklaması sonrasında bu görevi devralmıştır. Bunun sonucunda son yıllarda Türkiye'nin plastik atık ithalatı diğer ülkelere göre önemli ölçüde artış göstermiştir (Gündoğdu ve Walker (2021). Bu özelliği nedeniyle Türkiye analize dahil edilmiştir.

Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi araştırmacılar tarafından çeşitli açılardan incelenmiştir. 1990'lı yılların başında yaygınlaşan belediyelerin geri dönüşüm programları literatürdeki çalışmaları bu yönde etkilemiştir. Bu analizlerde geri dönüşüm seviyeleri açıklayıcı değişkenini baz alan fonksiyonlar kurularak geri dönüşümün başarısı incelenmiştir.

Callan ve Thomas (1997), 1994-1995 yılları arasında Massachusetts eyaletindeki 351 belediye için yaptıkları çalışmada geri dönüşüm oranının bağımlı değişken olduğu çoklu doğrusal regresyon modeli kullanılmaktadır. Modelden çıkan sonuçlara göre birim bazlı fiyatlandırma, kaldırım kenarı geri dönüşüm ve malzeme geri dönüşüm tesisinin varlığının geri dönüşüm oranını olumlu yönde etkilediği raporlanmaktadır. Sosyoekonomik değişkenlerden eğitim ve kırsal topluluk değişkenlerinin pozitif etkisi var iken nüfus yoğunluğunun negatif yönde bir etkisinin olduğu görülmektedir. Ancak negatif yönlü bu etki önemli ölçüde değildir.

Abrate ve Ferraris (2010) çalışmalarında Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin özel bir uygulaması ile gelir ve evsel atık üretimi arasındaki ilişkiyi açıklamayı amaçlamışlardır. Çalışmada 2004-2006 yılları arasında İtalya'da yer alan 547 belediyenin verileri kullanılmıştır. Kullanılan değişkenler bir yıl içerisinde toplanan toplam katı atık miktarı, bir yıl içerisinde toplanan toplam ayrılmamış atık miktarı, bir yıl içerisinde toplanan toplam ayrılmış atık miktarı, kişi başına gelir, nüfus, rakım, nüfus sıklığı, hane halkı büyüklüğü, lise mezunu yetişkinlerin nüfus içerisindeki payı şeklindedir. Uygulamanın ekonometrik sonuçlara göre İtalya'da belediye düzeyinde Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi gelir ile evsel atık üretimi

arasındaki ilişkinin varlığını desteklemektedir. Çalışmada, nüfus yoğunluğunun yanı sıra hanehalkı büyüklüğü de analize dahil edilmiştir.

Ercolano vd. (2018), Lombardy bölgesinde bulunan 1497 belediyenin 2005-2011 yılları arasında günlük kişi başına düşen atık miktarı, kişi başına düşen ortalama vergi beyannamesi, nüfus sıklığı, 65 yaş üstü bireylerin toplum içerisindeki yüzdeleri, kişi başına kalacak yer sayısı ve yabancıların nüfusa oranı istatistiklerini kullanarak Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini test etmişlerdir. Çalışmada sabit etkiler regresyonu, genelleştirilmiş momentler yöntemi ve bir dizi sağlamlık kontrolü yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre belediyeler arasında ekonomik kalkınma ve atık üretimi arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğuna rastlanırken çalışmada yer alan belediyelerden sadece birkaçı tahmin edilen eğrinin dönüm noktasına ulaşmaktadır.

Gui vd. (2019), Çin'de bulunan 285 şehrin 2006-2015 yılları arasında yer alan kişi başına düşen toplam belediye katı atık miktarı, kişi başına düşen gayri safi milli hasıla, şehirde yaşayan topluluğun toplam kitle içerisindeki yüzdesi, yüksek öğretim kurumlarının sayısı, temizlik işleri için ayrılan yıllık bütçe, üçüncül sanayi üretiminin gayri safi milli hasıla içerisindeki payı ve toplam yol uzunluğu verilerini kullanarak panel veri analizi yöntemiyle analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre toplam yol uzunluğu ve üçüncül sanayi üretiminin gayri safi milli hasıla içerisindeki payı belediye katı atık miktarını arttırırken temizlik işleri için ayrılan yıllık bütçe ve eğitim düzeyinin belediye katı atık üretimi ile negatif ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinde mercek altına alınmıştır. Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin öngördüğü U şekilli ilişkilie rastlanmamıştır.

Valenzuela ve Levi (2019) çalışmasında 2013-2017 yılları arasında Şili'de bulunan 42 belediye için kaldırım kenarı geri dönüşüm, geri dönüşüm programlarının süresi, atık yönetimine yapılan kişi başına harcama, nüfus yoğunluğu toplam nüfus

ve yoksulluk oranı değişkenlerini kullanarak panel veri analizi yöntemi ile geri dönüşüm oranları arasındaki ilişkiyi araştırılmak istenmiştir. Analiz sonuçlarına göre kaldırım kenarı geri dönüşümü, geri dönüşüm programlarının süresi ve atık yönetimine kişi başı yapılan harcamalarının geri dönüşüm oranları ile anlamlı bir şekilde pozitif ilişkili olduğu saptanmış iken nüfus yoğunluğu, toplam nüfus ve yoksulluk oranının geri dönüşüm sürecini açıklamakta önemli olmadığı sonucuna varılmıştır.

Soukiazis ve Proença'nın (2020) çalışmasında Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini 2009-2018 yılları arasındaki Portekiz'de yer alan belediyelerin kişi başına düşen atık üretimi, kişi başına geri dönüşüm seviyesinin içsel değişkenler olarak aldığı çalışmada eşanlı panel veri modeli üç aşamalı en küçük kareler tahmin yöntemi ile tahmin edilmiştir. Analiz sonuçlarında, atık üretimi ile kişi başına düşen toplam üretimi arasında ters U biçiminde ilişkiyi doğrular iken kişi başına geri dönüşüm ile kişi başına atık üretimi ve kişi başına geri dönüşüm ile hizmetler sektörü arasında U şeklinde bir ilişkinin varlığı saptanmıştır.

Gnonlonfin vd. (2017) Akdeniz'e kıyısı olan 19 ülke için 1990-2010 yılları arası kişi başına düşen belediye atık üretimi, gelir düzeyi, endüstrinin gayri safi milli hasıla içerisindeki yüzdesi, hizmetlerin gayri safi milli hasıla içerisindeki yüzdesi, uluslararası rekabetin yoğunluğu, ithalatın gayri safi yurt içi hası içerisindeki yüzdesi, kadın çalışanların nüfus içerisindeki yüzdesi, 0-14 yaş aralığındaki bireylerin nüfus içerisindeki yüzdesi, eğitim açısından insani gelişim göstergesi, nüfus sıklığı, şehirlerde yaşayan nüfusun yüzdesi, AR-GE harcamalarının nüfus gayri safi yurt içi hasıla içerisindeki yüzdesi, kamu harcamalarının gayri safi yurt içi hasıla içerisindeki yüzdesi, ortalama yağış miktarı (1961-1990) ve ortalama sıcaklık (1961-1990) değişkenleri ile Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini test etmişlerdir. Bunun yanı sıra araştırmada belediye atık üretiminin ana belirleyicilerinin de belirlenmesi hedeflenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre

Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi sadece yüksek gelirli ülkeler için geçerli olurken grafikte bulunan dönüm noktalarında yüksek olduğu gözlenmiştir. Politikacıların belediye katı atık üretimini kısa ve orta vadeli kalkınma politikalarıyla düşüremeyecekleri sonucuna varılmıştır.

Destek vd. (2018) makalesinde 1980-2013 yılları arasında Avrupa Birliği ülkeleri için çevresel Kuznets eğrisi hipotezini ve ekolojik ayak izinin rolünü incelemişlerdir. Araştırmada; ekolojik ayak izi, kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi ve ticari açıklık değişkenleri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre gelir ile ekolojik ayak izi arasında U şeklinde bir ilişki olduğu saptanmıştır. Ayrıca AB ülkeleri için yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının kullanımı çevresel bozulmayı artırırken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve ticarete açık olma durumu çevresel bozulmayı azaltmaktadır.

Tatoğlu ve İçen (2019) Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini çok boyutlu panel veri modelleri ile incelemiştir. Bu inceleme için 66 ülkenin 1971-2014 yıllarındaki verileri kullanılmıştır. Ülkeler için düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek olacak şekilde 4 farklı grup oluşturulmuştur. Çalışmada ÇKE hipotezini ülke, zaman ve ülke gelir grupları olmak üzere 3 boyutlu panel veri modeli ile incelemiştir. Çalışma sonucunda ülke gelir gruplarının tesirinin olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra alt ve üst gelir gruplarında yer alan ülkeler için ÇKE hipotezi sağlanmıştır ancak orta grupta yer alan ülkeler için sağlanamadığı saptanmıştır.

Baalbaki ve Marrouch'nin (2020) çalışmalarında Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi test edilmiştir. Hipotezin testi için 1995-2012 yılları arasında 33 OECD ülkesinden alınan veriler kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan değişkenler; belediye yıllık katı atık miktarı, kişi başına düşen gayri safi milli hasıla, nüfus sıklığı, kentsel nüfus sıklığı, enerji yoğunluğu şeklindedir. Araştırma sonuçlarına göre kişi başına düşen milli gelir ile belediye katı atık miktarı arasında hipotezin ön gördüğü ters U şeklinde bir Çevresel Kuznets Eğrisi ilişkisi bulunmamaktadır.

Boubellouta ve Brandt (2020) yayımladıkları çalışmalarında Avrupa’da bulunan 30 ülke üzerinde 2000-2016 yılları arasında kişi başına düşen e-atık üretimi, yıllık bilgi ve iletişim teknolojisi malları ihracatı, kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla ve nüfus verileri ile dengeli bir panel oluşturarak Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi kişi başına düşen e-atık değişkeni için desteklediği sonucuna varılmıştır.

Literatürdeki çalışmalara genel olarak bakıldığında, atık üretiminin tanımı ülkeden ülkeye farklılık gösterdiği için ülkeler arası analiz sonuçlarının da farklılık gösterdiği görülmektedir. Dolayısıyla atık üretimi ile gelir göstergeleri arasında ters U biçimindeki bir ilişkiyi destekleyen çalışmalar mevcut iken desteklemeyen çalışmalar da mevcuttur. Sonuçlar üzerinde fikir birliğine varılamamıştır.

Atık yönetimi literatürü, genellikle atık oluşumu ile ekonomik göstergeler arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır. Geri dönüşüm büyük oranda atık oluşum miktarına bağlı olmasına rağmen literatürde genellikle geri dönüşüm faaliyetlerini ve atık üretim performansını ayrı ayrı analiz eden çalışmaların daha yaygın olduğu görülmektedir. Bu çalışma hem söz konusu iki faktörü bir arada incelemesi bakımından hem de uygulandığı ülkeler bakımından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın giriş ve literatür bölümünden sonra analizde kullanılan model, modelde yer alan değişkenlerin tanımları ve tanımlayıcı istatistiklerine yer verilerek, atık üretimi ile geri dönüşüm değişkenleri ve bunları belirleyen değişkenler arasındaki ilişkiler açıklanmıştır. İzleyen bölümde modelin tahmininde kullanılan model, veri ve tahmin yönteminden bahsedilmiştir.

## **2. METODOLOJİ**

### **2.1. Model ve Veri Seti**

İktisadi ilişkileri açıklamakta zamanı ya da birimi ifade eden tek boyut yetersiz kaldığı gibi tek bir denklemle ifade

edilmesinde de yetersiz kalmaktadır. Bu durumda en az 2 boyut içeren eşanlı panel veri modelleri kullanılmaktadır (Tatoğlu, 2020). Veri seti panel veri özelliği taşıdığına Eşitlik 1 ve 2 ile verilen eşanlı denklem sistemi  $i$  (birim) ve  $t$  (zaman) indisleri kullanılarak eşanlı panel veri denklem sistemi adını alır ve genel olarak;

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{it} + \beta_2 Z_{it} + u_{it} \quad (1)$$

$$X_{it} = \lambda + \delta_1 L_{it} + \delta_2 Y_{it} + \delta_3 K_{it} + v_{it} \quad (2)$$

ile gösterilir. Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'deki gibi iki denklemden oluşan eşanlı panel veri modelinde bağımlı ve bağımsız değişken yerine içsel ve dışsal değişken ifadeleri kullanılmaktadır. Buna göre,  $Y$  ve  $X$  modelin içsel değişkenleri iken  $Z$ ,  $K$  ve  $L$  ise dışsal değişkenleri olarak isimlendirilir. Çalışmada kullanılan eşanlı panel veri modeli ise aşağıda verilmiştir:

$$MWGpc_{it} = \alpha + \beta_3 GDPpc_{it} + \beta_4 GDPpc_{it}^2 + \beta_5 RECpc_{it} + \beta_6 Z_{it} + u_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$RECpc_{it} = \lambda + \delta_3 MWGpc_{it} + \delta_4 MWGpc_{it}^2 + \delta_5 GDPpc_{it} + \delta_6 X_{it} + v_{it} + \mu_{it} \quad (4)$$

Atık üretimi denklemi (Eş.3.) ve geri dönüşüm denkleminde (Eş. 4) oluşan eşanlı panel veri modelinde  $Z_{it}$ , ve  $X_{it}$ , kontrol değişkenlerine ait bir vektör olup  $Z_{it}$ ,  $GVA1r_{it}$ ,  $GVA2r_{it}$ ,  $GVA3r_{it}$ ,  $Pop > 65_{it}$ ,  $PopDen_{it}$ ,  $Ddev_{it}$ ,  $Dcrisis_{it}$ ,  $Pop15-64_{it}$  değişkenlerinden,  $X_{it}$ , ise  $GVA1r_{it}$ ,  $GVA2r_{it}$ ,  $GVA3r_{it}$ ,  $PopDen_{it}$ ,  $Ddev_{it}$ ,  $Dcrisis_{it}$  değişkenlerinden oluşmaktadır.  $\varepsilon_{it}$  ve  $\mu_{it}$  ülke sabit etkisini,  $u_{it}$  ve  $v_{it}$  ise hata terimini ifade etmektedir (Soukiazis & Proença, 2020; Askeroğlu, 2022).

İki denklemden oluşan eşanlı panel veri modelindeki değişkenlerin seçiminde aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır:

Çevresel faktörleri ölçmek için kullanılan kentsel atık oluşumu (MWGpc) ve geri dönüşüm seviyesi (RECpc) eşanlı denklem sisteminden oluşan modelin içsel değişkenlerini oluşturmaktadır. Modelin dışsal değişkenleri ise şu şekilde tanımlanmıştır:

Ülkelerin yıllık ekonomik aktivitelerini göstermek amacıyla kişi başına Bütçe Katma Değer (GVApc) değişkeni kullanılmıştır. Kuznets eğrisi ile tutarlı ters U şeklindeki hipotezi test etmek amacıyla GVApc değişkeninin karesi modele alınmıştır. Eğer  $\beta_3 > 0$  ve  $\beta_4 < 0$  ise ve her iki katsayı da istatistiksel olarak anlamlı ise söz konusu hipotezin geçerli olduğuna karar verilir. Geri dönüşüm süreci ile atık oluşumu birbirini etkileyen değişkenler olarak düşünüldüğü için iki denklemde ayrı bir bağımsız değişken olarak alınmıştır.

Ülke ekonomisinin üretim yapısının atık üretimindeki etkisini incelemek amacıyla birincil (tarım\_GVA1), ikincil (sanayi\_GVA2) ve üçüncül (hizmetler\_GVA3) sektörlerin toplam Gayri Safi Yurtiçi Hasıla içindeki payları da bağımsız değişken olarak modele dahil edilmiştir.

Ülkelerin demografik özellikleri önemli olduğundan ülkelerin kentleşme derecesini gösteren nüfus yoğunluğu değişkeni de bağımsız değişken olarak analize dahil edilmiştir. Ayrıca, nüfusun yaş yapısı da atık üretiminde etkili bir faktör olarak düşünülmüş ve 15-64 ile 65 yaş ve üstü olma üzere 2 gruba ayrılarak incelenmiştir. Bu ayrımın nedeni ise söz konusu iki grubun atık üretimi açısından farklılık gösterip göstermediğinin belirlenmesidir.

Bütçe Katma Değerini ortalamaya göre karşılaştırmak amacıyla bir kukla değişken kullanılmıştır. Burada amaç, Bütçe Katma Değeri ortalamanın üstünde ve altında olan ülkeleri birbirinden ayırarak ülkeler arasındaki kalkınma ikilemini ifade etmektir. Daha çok gelişmiş ülkelerin daha az gelişmiş ülkelere göre daha fazla atık üreteceği beklenmektedir (Soukiazis & Proença, 2020).

2008 yılında yaşanan küresel ekonomik krizin ekonominin küçülmesi sebebiyle daha düşük tüketim yoluyla atık üretimini etkileyip etkilemediğini incelemek amacıyla da ikinci bir kukla değişken tanımlanarak bağımsız değişken olarak eşanlı panel veri modeline dahil edilmiştir.

Atık üretiminin geçmişteki miktarının mevcut atık üretimini açıklamada önemli olup olmadığını, benzer bir şekilde geçmişteki geri dönüşüm gerçekleştirmelerinin mevcut geri dönüşüm seviyelerini açıklamak için önemli olup olmadığını test etmek için söz konusu değişkenlerin 1 ve 2. gecikmeleri modele bağımsız değişken olarak alınmıştır.

Eşanlı panel veri modelinde yer alan tüm değişkenlere ait bilgiler Tablo 2’de, verilmiştir.

**Tablo 2.** Eşanlı Panel Veri Modelinde Yer Alan Değişkenlerin Tanımı

İşsel Değişkenler	Tanımı	Kaynak
$MWGpc_{it}$	Kişi Başına Atık Üretimi (Kişi başı/ton)	TUİK ve EUROSTAT
$RECpc_{it}$	Kişi Başına Geri Dönüşüm Seviyesi (Kişi başı/ton)	TUİK ve PORDATA
<b>Dışsal Değişkenler</b>		
$PopDen_{it}$	Nüfus Yoğunluğu (%)	World Bank
$Pop > 65_{it}$	65 Yaş üstü bireylerin yüzdesi (%)	World Bank
$Pop15-64_{it}$	15-64 Yaş arası bireylerin yüzdesi (%)	World Bank
$GVApc_{it}$	Kişi Başı Brüt katma Değer (2015 sabit fiyatlarla) (\$)	OECD
$GVA1r_{it}$	Birincil (Tarım) Sektörünün toplam Brüt Katma Değer içindeki oranı (%)	OECD
$GVA2r_{it}$	İkincil (Sanayi) Sektörünün toplam Brüt Katma Değer içindeki oranı (%)	OECD
$GVA3r_{it}$	Üçüncül (Hizmetler) Sektörünün toplam Brüt Katma Değer içindeki oranı (%)	OECD



$Ddev_{it}$	GDPpc Ortalama Kıyaslaması	Tüm ülkelerin GVApc değerlerinin ortalaması ülkenin o yılıki GVApc değerinden düşükse 1, değilse 0 olarak alınmıştır.
$Dcrisis_{it}$	2008 küresel kriz etkisi	2008 ve sonrası için 1 öncesi için 0 olarak alınmıştır.

## 2.2. Üç Aşamalı En Küçük Kareler Tahmincisi

Eşanlı panel veri modellerinin tahmininde yaygın olarak kullanılan ve bir sistem tahmin edici olan Üç Aşamalı En Küçük Kareler (3AEKK) tahmincisi, değişkenler arasındaki içselliği kontrol eden ve denklemler arası hata korelasyonunu dikkate alarak iki denklemi birlikte tahmin etmek için tutarlı ve etkin bir tahmin yöntemi olarak kullanılmaktadır (Soukiazis ve Proença, 2020; Timo, 2010).

Genel olarak bakıldığında, iki aşamalı en küçük kareler yönteminin ilk aşamasında indirgenmiş kalıp bozuklukları moment matrisi tahmin edilirken ikinci aşamasında tek bir yapısal denklemin katsayıları tahmin edildikten sonra ortak bağımlı değişkenler biraz önce bahsedilen momentler matrisi tarafından “Arındırılır”. Üç Aşamalı En Küçük Kareler (3AEKK) yöntemi ise bütün sistemindeki tüm katsayıları tahmin etmek için yapısal bozuklukların iki aşamalı en küçük kareler tahmini moment matrisini kullanır (Zellner & Theil, 1962).

M tane tanımlanmış eşitlik sistemi,

$$y = Z\delta + u \quad (5)$$

ile verilir. Burada  $y' = (y'_1, \dots, y'_M)$ ,  $Z = \text{diag}[Z_j]$ ,  $\delta' = (\delta'_1, \dots, \delta'_M)$  ve  $u' = (u'_1, \dots, u'_M)$ ,  $J = 1, \dots, M$

şeklinindedir. Xidışsal değişkenler matrisi olarak düşünelim. Model

$5'$ i  $\Omega_{11}^{-1/2}$  ile işleme sokulduğumuzda  $B = [I_M \otimes \tilde{X}, I_M \otimes \bar{X}]$ ,  $\tilde{X} = QX$ ,  $\bar{X} = PX$ ,  $y^* = \Omega^{-1/2}y$ ,  $Z^* = \Omega^{-1/2}Z$  bileşenleri ile hata bileşenleri üç aşamalı en küçük kareler tahmin edicisi olan  $\hat{\delta}_{EC3SLS} = (Z^{*'} P_B Z^*)^{-1} Z^{*'} P_B y^*$  yi vermekle beraber

alternatif yöntem de gösterilmiştir.  $\Sigma_1 = T\Sigma_\mu + \Sigma_\nu$  olmak üzere;

$$\Omega^{-1/2} = \Sigma_1^{-1/2} \otimes P + \Sigma_\nu^{-1/2} \otimes Q \quad (6)$$

$\Omega^{-1/2}$  elde edilebilir (Baltagi ve Liu, 2009). Alternatif yöntemde Model 5 ( $I_M \otimes Q$ ) ile işleme sokulduğunda grup içi üç aşamalı en küçük kareler yöntemi tahmincisi elde edilir ( $\tilde{\delta}_{W3SLS}$ ). Burada  $\tilde{X} = QX$  olacak şekilde ( $I_M \otimes \tilde{X}$ ) alınarak,

$$\tilde{\delta}_{W3SLS} = [\tilde{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\tilde{X}})\tilde{Z}]^{-1} [\tilde{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\tilde{X}})\tilde{y}] \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir (Şükrüoğlu, 2018). Eş. (5) ( $I_M \otimes P$ ) ile işleme tabi tutularak gruplar arası dönüşüm yapılmaktadır.

$$\bar{y} = \bar{Z}\delta + u \quad (8)$$

Burada  $\bar{y} = (I_M \otimes P)y$ ,  $\bar{Z} = (I_M \otimes P)Z$  ve  $\bar{u} = (I_M \otimes P)u$  'dir olmak koşuluyla Model (8)'e üç aşamalı en küçük kareler uygulandığında gruplar arası üç aşamalı en küçük kareler tahmin edicisine ulaşılmaktadır ( $\tilde{\delta}_{B3SLS}$ ).

$$\tilde{\delta}_{B3SLS} = [\bar{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\bar{X}})\bar{Z}]^{-1} [\bar{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\bar{X}})\bar{y}] \quad (9)$$

Eş. (7)'de yer alan eşitlikte  $\bar{X} = PX$  'dir. Üç aşamalı en küçük kareler yönteminde hata bileşenleri tahmincisi elde etmek için  $\bar{y} = \bar{Z}\delta + u$  denklemi ( $I_M \otimes \bar{X}$ ) ile  $\tilde{y} = \tilde{Z}\delta + \tilde{u}$  denklemi ise ( $I_M \otimes \tilde{X}$ ) ile işleme sokmak gerekmektedir. Bu işlem neticesinde hata bileşenleri üç aşamalı en küçük kareler tahmincisi:

$$\hat{\delta}_{EC3SLS} = \left[ \tilde{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\tilde{X}}) \tilde{Z} + \bar{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\bar{X}}) \bar{Z} \right]^{-1} \\ \times \left[ \tilde{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\tilde{X}}) \tilde{y} + \bar{Z}'(\Sigma_u^{-1} \otimes P_{\bar{X}}) \bar{y} \right] \quad (10)$$

ile ifade edilmektedir. Eş. (8)'in varyansı ise,

$$var(\hat{\delta}_{EC3SLS}) = \left[ \frac{\tilde{Z}'_1 P_{\tilde{X}} \tilde{Z}_1}{\sigma_{u_{11}}} + \frac{\bar{Z}'_1 P_{\bar{X}} \bar{Z}_1}{\sigma_{11}} \right]^{-1} \quad (11)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Tatoğlu, 2020; Şüküroğlu, 2015).

### 3. AMPİRİK BULGULAR

Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezi eşanlı panel veri modeli yardımıyla OECD'ye üye Balkan ülkelerinden Türkiye, Yunanistan, Slovakya, Slovenya ve Macaristan için 2000-2019 dönemi verileriyle incelendiği çalışmada öncelikle analizde kullanılan değişkenlere ait betimleyici istatistikleri hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Eşanlı Panel Veri Modelinde Yer Alan Değişkenlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Gözlemler	Ortalama	S. Sapma	Min.	Maks.
<i>MWGpc<sub>it</sub></i>	100	8658,37	11517,133	744	35017
<i>RECpc<sub>it</sub></i>	100	15,487	14,724	0,28	59,2
<i>GVA1r<sub>it</sub></i>	100	4,495	2,554	1,732	11,534
<i>GVA2r<sub>it</sub></i>	100	23,08	5,174	12,16	30,99

$GVA3r_{it}$	100	66,287	5,96	58,89	80,25
$PopDen_{it}$	100	100,601	10,982	82,17	113,936
$Pop > 65_{it}$	100	14,52	4,415	6,092	21,941
$Pop15 - 64_{it}$	100	67,894	2,342	63,305	72,224
$GVApc_{it}$	100	13062,88	4402,002	5432,252	20899,418
$Ddev_{it}$	100	0,53	0,502	0	1
$Dcrisis_{it}$	100	0,6	0,492	0	1

Analizde, çoklu doğrusal bağıntı sorunundan kaçınmak için bağımsız değişkenlerin birbiriyle korelasyon durumları dikkate alınarak sektör paylarının ve iki yaş gurubundaki nüfusun etkisi ayrı ayrı incelenmiş ve her bir denklem için 6 farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller Üç Aşamalı EKK (3AEKK) yöntemi ile tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçları Tablo 4 ve 5’de verilmiştir<sup>4</sup>.

Geri dönüşüm ( $REC_{pc}$ ) denkleminde ait tahmin sonuçları Tablo 4’te verilmiştir. Tahmin edilen 6 modelin her biri istatistiksel olarak topluca anlamlı ve belirlilik katsayıları da tüm modeller için %96 bulunmuştur. Tahmin edilen modellerdeki değişkenler ayrı ayrı incelendiğinde geri dönüşüm seviyesine ait gecikmeli değişkenlerden sadece

4 Modelin tahminine geçmeden önce eşanlı panel veri modelinde yer alan 2 denklemin boy ve rank şartını sağlayarak tam belirlendiği tespit edilmiştir. Ayrıca Panel birim kök testleri yapılmış ve değişkenlerin düzeyde durağan olduğu sonucuna varılmıştır. Yer kısıdından olayı sonuçlar çalışmada verilmemiştir.

$RECPc_{it-1}$  değişkeni tüm modellerde istatistiksel olarak anlamlı ve işaretli pozitif bulunmuştur. Bu, sadece bir dönem önceki geri dönüşüm davranışının mevcut geri dönüşüm seviyesini olumlu etkilediğini göstermektedir.

Kişi başına düşen belediye atık üretimi ( $MWG_{pc}$ ) değişkeni istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkili bulunmuştur (Model 1, 2 ve 6). Belediye atık üretiminin karesi değişkeni ise sadece Model 1 ve 2 için anlamlı ve pozitif etkili olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, hem geri dönüşüm oranı ile atık üretimi arasında doğrusal olmayan ilişkiyi göstermekte hem de U biçimindeki hipotezi destekler niteliktedir. Atık oluşumu değişkeninin söz konusu modellerde katsayının işaretinin negatif, karesi alınmış değerinin katsayısının işaretinin pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunması atık oluşumunda bir eşik değere ulaşıldığını da ortaya koymaktadır. Bu sonuç, belirlenen eşik değer üzerinde geri dönüşümün, atık oluşumundan daha yüksek oranda artacağı anlamına gelmektedir. Atık üretimindeki dönüm noktası kişi başına 21 bin tonun üzerinde olup bu değer tüm ülkelerin ortalaması olan 8658,37 ton değerinin oldukça üzerindedir.

Üretimi ifade eden kişi başı Brüt Katma Değer ( $GVA_{pc}$ ) değişkeni Model 2, 4 ve 6 için istatistiksel olarak anlamlı ve etkisi düşük olmakla birlikte pozitif etkili olarak bulunmuştur. Geri dönüşüm genellikle atık hacmi tarafından yönlendirildiği için üretimin doğrudan geri dönüşüm üzerinde çok fazla etkiye sahip olmadığı söylenebilir. Bu yüzden sektör paylarının geri dönüşüm süreci üzerindeki etkilerini incelemek daha önemlidir. Bu nedenle tarım, sanayi ve hizmetlerin toplam üretimin içerisindeki paylarını gösteren değişkenler olan  $GVA1r_{it}$ ,  $GVA2r_{it}$ ,  $GVA3r_{it}$  değişkenler 6 modelde ayrı ayrı incelenmiş ve tarım, sanayi ve hizmetler sektörünün payının geri dönüşüm düzeyini açıklamada önemli rol oynadığı ortaya çıkarılmıştır. Model 1 ve 2 için  $GVA1r_{it}$  değişkeni istatistiksel olarak anlamlı ve katsayısı pozitif olarak bulunmuştur. Model 3 ve 4 için  $GVA2r_{it}$  değişkeni istatistiksel olarak anlamlı ve

pozitif olarak bulunmuştur. Buradan hareketle, tarım ve sanayi sektörlerinin geri dönüşüm üzerinde olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca, tarım sektörünün geri dönüşümü olumlu yönde etkilemesi oluşan atıkların hayvancılıkta saman, tarımda gübre olarak kullanılması gibi örneklerle açıklanabilir. Diğer bir ifade ile diğer sektörlerle nazaran kendi içerisinde atık verim döngüsünün daha iyi işlediği söylenebilir. Bununla birlikte, tarım sektöründe bireylerin doğa ile iç içe yaşaması ve çevreyi korumanın gerekliliğini daha iyi bildiklerinden böyle bir sonucun çıkması beklenmektedir (Soukiazis & Proença, 2019). Sanayi sektörünün geri dönüşüm seviyesi üzerindeki olumlu etkisinin, çevre kirliliğini önlemek amacıyla katı atıkların kontrolü konusunda uygulanan yönetmelikler ve denetimlerin çeşitli (atıkların tekrar geri kazandırması konusunda) zorunluluklar getirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

$GVA3r_{it}$  değişkeni ise Model 5 için istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkili bulunmuştur. Bu ise hizmetler sektörünün payının geri dönüşüm oranını azalttığını göstermektedir. Buradan hareketle, hizmetler sektörünün ülke ekonomisindeki payı arttıkça geri dönüşümün arttığını söylemek mümkündür. Ayrıca Model 6 için ise  $GVA3r_{it}$  değişkeni istatistiksel olarak anlamlı (%10) ve pozitif,  $GVA3r_{it}^2$  değişkeni istatistiksel olarak anlamlı ve negatif etkili bulunmuştur. Bu sonuç, hizmet sektöründeki üretim ile geri dönüşüm arasında doğrusal olmayan ters U şeklinde bir ilişkiyi doğrulamaktadır. Hizmetler sektörünün üretim içindeki payı arttıkça geri dönüşüm seviyesi artmakta ancak belli bir eşik değerinden (%59,62) sonra geri dönüşüm seviyesinin azalacağı anlamına gelmektedir. Başka bir ifade ile hizmet sektörünün üretim içindeki payı yaklaşık % 60 ve daha fazla olduğunda artık geri dönüşüm seviyesi azalacaktır. Bu sonuç pek çok nedene bağlanabilir. Birincisi, söz konusu ülkelerde çevre koruma politikalarına daha az kaynak tahsis edilmesi, ikincisi, bazı işletmelerin çevreye duyarlı ve geri dönüşümü göz önünde bulunduran teknolojiler kullanarak üretimi bir maliyet unsuru olarak görmesi ve bu maliyetlerden kaçınmasıdır. Ayrıca hizmetler sektöründe fazlaca kullanılan

özellikle plastik atıkların geri dönüşümünün en fazla 2 kez yapılabilmesi de nedenler arasında verilebilir. Başka bir neden olarak da söz konusu ülkelerde okur yazarlık seviyelerinin hizmetler sektöründe daha düşük olmasından dolayı çevreyi koruma bilincinin çok gelişmemiş olması sebebiyle bu sektörde kullanılan atıkların geri dönüşümü konusunda çok aktif olmadıkları söylenebilir.

Demografik özelliklerden nüfusun yaş yapısının etkisini belirlemek için  $Pop > 65_{it}$  ve  $Pop15-64_{it}$  değişkenleri modele eklenmiştir. Bu değişkenlerden  $Pop > 65_{it}$  değişkeni Model 3 ve 5 için anlamlı ve pozitif olarak bulunmuştur. Yaşlı nüfusun geri dönüşüm faaliyetlerine daha fazla zaman ayırdığı için geri dönüşüme olumlu katkıda bulunduğunu göstermektedir (Kinneman, 2005). Öte yandan,  $Pop15-64_{it}$  değişkeni Model 2, 4 ve 6'da anlamlı ve negatif etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç daha genç ve orta yaştaki nüfusun fiziksel hareketlilik nedeniyle geri dönüşüm faaliyetlerine aktif olarak 65 yaş üstü nüfusa oranla görece daha az katıldıklarını ortaya çıkarmıştır (Romano vd., 2019; Soukiazis ve Proença, 2019). Nüfus yoğunluğunun etkisini ölçmek amacıyla kullanılan  $PopDen_{it}$  değişkeni sadece Model 1 ve 2 için istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bulunmuştur. Araştırmaya dahil edilen ülkelerde nüfusun artışı ile artan tüketimin atık oluşumuna neden olması ve atık oluşumunun da geri dönüşüm üzerindeki azaltıcı etkisinden dolayı söz konusu katsayının negatif çıkması şaşırtıcı değildir.

Ülkelerin gelişmişlik seviyesini gösteren  $Ddev_{it}$  kukla değişkeni tüm modeller için istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Buna göre geri dönüşüm konusunda ülkelerin gelişmişlik düzeyleri arasında bir farklılık olmadığı sonucuna varılabilir. 2008 krizini baz alarak oluşturulan  $Dcrisis_{it}$  kukla değişkeni sadece Model 4 ve 6 için istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkili olarak bulunmuştur. Ekonomik kriz dönemlerinde daha az tüketim gerçekleşmesi nedeniyle daha az atık oluşması sonucunda geri dönüşüm performansı olumlu etkilenmiştir.

**Tablo 4.** Geri Dönüşüm Seviyesi ( $RECpc_{it}$ ) Denklem Tahmin Sonuçları

Değişkenler	$RECpc_{it}$					
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
$RECpc_{it-1}$	0,9335***	0,86251***	0,9129***	0,8243***	0,9283***	0,7447***
	(0,1029)	(0,1037)	(0,1049)	(0,1064)	(0,1039)	(0,1065)
$RECpc_{it-2}$	-0,01299	-0,0772	-0,0374	-0,1088	-0,0405189	-0,1501
	(0,1088)	(0,1084)	(0,1096)	(0,1093)	(0,1101)	(0,1068)
$MWGpc_{it}$	-9025x10 <sup>-7*</sup>	-17464x10 <sup>-7***</sup>	8169x10 <sup>-7</sup>	4294x10 <sup>-7</sup>	562x10 <sup>-7</sup>	-10241x10 <sup>-7**</sup>
	(0,00049)	(0,00058)	(0,00059)	(0,00059)	(0,00044)	(0,00049)
$MWGcp_{it}^2$	21x10 <sup>-9</sup>	371x10 <sup>-10***</sup>	-24x10 <sup>-9</sup>	-175x10 <sup>-10</sup>	-135x10 <sup>-11</sup>	133x10 <sup>-10</sup>
	(129x10 <sup>-10</sup> )	(137x10 <sup>-10</sup> )	(163x10 <sup>-10</sup> )	(159x10 <sup>-10</sup> )	(126x10 <sup>-10</sup> )	(126x10 <sup>-10</sup> )
$GVApc_{it}$	3614x10 <sup>-7</sup>	5984x10 <sup>-7**</sup>	4312x10 <sup>-7</sup>	7882x10 <sup>-7***</sup>	1629x10 <sup>-7</sup>	664x10 <sup>-6***</sup>
	(0,00026)	(0,00025)	(0,00027)	(0,00028)	(0,00023)	(0,00023)
$GVA1r_{it}$	1,3744**	1,6776***				
	(0,5590)	(0,5544603)				
$GVA2r_{it}$			0,5959**	0,7655***		
			(0,2399)	(0,2350)		
$GVA3r_{it}$					-0,4442**	3,0720*
					(0,1903)	(1,9175)
$GVA3r_{it}^2$						-0,0269**
						(0,01363)
$Pop > 65_{it}$	0,2692		0,4081		0,6472**	
	(0,2377)		(0,2515)		(0,3026)	
$Pop15-64_{it}$		-1,3219***		-1,5466***		-2,6887***
		(0,4841)		(0,5064)		(0,6112)



$PopDen_{it}$	0,1499**	0,2756514***	0,0049	0,1104	-0,0216	0,0869
	(0,0753)	0,0887	0,0751	(0,0807)	(0,0812)	(0,0782)
$Ddev_{it}$	0,1216	-0,5419	0,8264	0,1201	0,4220	-1,2994
	(1,6078)	(1,5483)	(1,5743)	(1,5091)	(1,5927)	(1,5148)
$Dcrisis_{it}$	0,5421	1,2447	0,8444	1,8823*	1,1003	3,6605***
	(1,0247)	(0,9884)	(1,0718)	(1,0752)	(1,1469)	(1,2312)
<b>Sabit</b>	-24,1617**	58,2231**	-26,4661**	70,0362**	22,0159	92,6499
	(11,7309)	(30,5764)	(12,1409)	(31,0531)	(16,6902)	(73,8104)
N	90	90	90	90	90	90
$R^2$	0,9553	0,9581	0,9555	0,9584	0,9552	0,9615
$\chi^2$	1910,84***	2058,13***	1930,84***	2075,79***	1917,58***	2250,44***
DN	21488,0952	23536,38814	20022,058	12268,5714	20814,8148	38500
$MWGpc_{it}$						59,62
DN $GVA3r_{it}$						

**Notlar:** Parantez içindeki değerler standart hatalardır. DN: Dönüm noktasıdır. \*, \*\*, \*\*\* katsayıların sırasıyla %10, %5, %1 anlamlılıklarını göstermektedir. İçsel Değişkenler:  $MWGpc_{it}$ ,  $RECpc_{it}$ , Dışsal Değişkenler:  $MWGpc_{it-1}$ ,  $MWGpc_{it-2}$ ,  $GVApc_{it}$ ,  $GVApc_{it}^2$ ,  $GVA1r_{it}$ ,  $GVA2r_{it}$ ,  $GVA3r_{it}$ ,  $Pop > 65_{it}$ ,  $Pop15-64_{it}$ ,  $PopDen_{it}$ ,  $Ddev_{it}$ ,  $Dcrisis_{it}$ ,  $MWGpc_{it}^2$ ,  $GVA3r_{it}^2$

Kişi başına düşen belediye atık üretimi ( $MWG_{pc}$ ) denklem tahmin sonuçları ise Tablo 5'te verilmiştir. Tahmin sonuçlarına bakıldığında tahmin edilen 6 modelin her biri istatistiksel olarak topluca anlamlı ve belirlilik katsayıları da tüm modeller için %99'un üzerinde bulunmuştur.

**Tablo 5.** Atık Üretimi ( $MWGpc_{it}$ ) Denklem Tahmin Sonuçları

Değişkenler	$MWGpc_{it}$					
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
$MWGpc_{it-1}$	0,4468*** (0,0871)	0,4278*** (0,08674)	0,4537*** (0,0867)	0,4408*** (0,08676)	0,4586*** (0,0868)	0,4358*** (0,0877)
$MWGpc_{it-2}$	0,5850*** (0,0889)	0,5889*** (0,0875)	0,5842*** (0,0890)	0,5846*** (0,0882)	0,5829*** (0,0892)	0,5830*** (0,0883)
$GVApc_{it}$	0,2844** (0,1383)	0,3669*** (0,1253)	0,2596** (0,1301)	0,3023*** (0,1169)	0,2410* (0,1265)	0,3125** (0,1247)
$GVApc_{it}^2$	-629x10 <sup>-7</sup> (441x10 <sup>-8</sup> )	-847x10 <sup>-7**</sup> (403x10 <sup>-8</sup> )	-625 x10 <sup>-7</sup> (448x10 <sup>-8</sup> )	-7x10 <sup>-7*</sup> (394x10 <sup>-8</sup> )	-548x10 <sup>-7</sup> (43x10 <sup>-7</sup> )	-703 x10 <sup>-7*</sup> (407x10 <sup>-7</sup> )
$RECpc_{it}$	-8,1788 (5,2869)	-12,8611** (6,3185)	-3,0851 (7,7378)	-12,0580 (9,2840)	-4,3763 (7,3205)	-16,7337* (9,8446)
$GVA1r_{it}$	59,0954 (68,7016)	74,6448 (65,8035)				
$GVA2r_{it}$			-21,8931 (23,3404)	-6,8449 (22,8381)		
$GVA3r_{it}$					16,2799 (23,1672)	-7,8361 (24,5039)
$Pop > 65_{it}$	26,5715 (27,8827)		13,8148 (35,2672)		13,2184 (40,1071)	
$Pop15-64_{it}$		-75,4462 (46,4635)		-80,3362 (60,0295)		-110,0083 (73,7966)
$PopDen_{it}$	26,6305*** (9,6865)	35,3868*** (11,6708)	27,7475*** (9,6781)	33,1430*** (10,6630)	27,2548*** (10,2550)	31,7375*** (10,7145)

$Ddev_{it}$	-256,9698	-305,1992	-218,564	-249,5365	-197,9426	-277,6942
	(218,6931)	(197,6875)	(212,3607)	(198,3342)	(212,4867)	(209,2046)
$Dcrisis_{it}$	-41,7178	-48,6209	-123,8795	-77,9886	-120,6541	-19,59148
	(125,18)	(120,881)	(142,7646)	(143,0025)	(151,6303)	(156,4176)
$Sabit$	-5774,417***	-1645,085	-4719,451***	-128,9059	-6172,431***	2372,937
	(1602,139)	(2730,489)	(1221,722)	(3328,63)	(2185,039)	(6114,629)
$N$	90	90	90	90	90	90
$R^2$	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9988	0,9989
$\chi^2$	78269,82***	80205,32***	78248,97***	79152,4***	77819,48***	78924,80***
$DN\ GVAp_{it}$	22612,21781	21661,2928	20769,776	21593,7071	21989,93613	22227,5533

**Notlar:** Parantez içindeki değerler standart hatalardır. DN: Dönüm noktasıdır. \*, \*\*, \*\*\* katsayıların sırasıyla %10, %5, %1 anlamlılıklarını göstermektedir. İçsel Değişkenler:  $MWGpc_{it}$ ,  $RECpc_{it}$ , Dışsal Değişkenler:  $MWGpc_{it-1}$ ,  $MWGpc_{it-2}$ ,  $GVAp_{it}$ ,  $GVAp_{it}^2$ ,  $GVA1r_{it}$ ,  $GVA2r_{it}$ ,  $GVA3r_{it}$ ,  $Pop > 65_{it}$ ,  $Pop15-64_{it}$ ,  $PopDen_{it}$ ,  $Ddev_{it}$ ,  $Dcrisis_{it}$ ,  $MWGcp_{it}^2$ ,  $GVA3r_{it}^2$

Atık oluşumuyla ilgili geçmiş davranışların mevcut atık üretimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla modele birinci ( $MWGpc_{it-1}$ ) ve ikinci ( $MWGpc_{it-2}$ ) gecikmeleri eklenmiştir. Söz konusu değişkenlerin katsayıları tüm modellerde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Dolayısıyla atık oluşumuyla ilgili geçmiş davranışlar mevcut atık oluşumunu artırıcı rol oynamaktadır.

Atık üretimi ile ekonomik gösterge olan kişi başı Brüt Katma Değer ( $GVAp$ ) arasında ters U şeklinde bir ilişki, ekonomik faaliyet genişledikçe atık üretiminin mutlak olarak azaldığı anlamına gelmektedir (Model 2, 4 ve 6). Elde edilen tahmin sonuçlarına göre kişi başı  $GVAp$  değişkeninin katsayısı

pozitif ve  $GVApc$ 'nin karesi değişkeninin katsayısı negatif aynı zamanda her ikisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu sonuçla atık oluşumu ile kişi başı  $GVApc$  arasında ters U şeklinde doğrusal olmayan bir ilişki ortaya çıkarılmıştır ki (Model 2, 4 ve 6) bu da EKC hipotezini destekler niteliktedir (Mazzanti vd., 2009; Ichinose vd., 2011; Soukiazis ve Proença, 2019). Başka bir ifade ile belediye atık, ekonomik faaliyetlerin artması ile belli bir eşik noktasına kadar artar, daha sonra atık oluşumu azalmaya başlar. Brüt Katma Değer için hesaplanan dönüm noktası kişi başı yaklaşık 22 bin \$ civarında olup bu seviyeye sadece 2 ülkenin (Yunanistan ve Slovenya) ulaşabildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, kişi başına gelir açısından bu seviyeye ulaşamayan diğer ülkeler atık oluşumunu azaltmak için daha aktif politikalar uygulamalıdır (Tablo 5).

Tablo 5'te geri dönüşüm ile atık oluşumu arasında negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Model 2 ve Model 6). Söz konusu modellerde marjinal etki negatif işaretli olup 3 ile 17 arasında tahmin edilmiştir. Geri dönüşüm seviyesindeki her 1 tonluk artış atık oluşumunda 10 bin tonun üzerinde bir azalışa neden olmaktadır. Geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar üretim süreçlerine kazandırılması atık oluşumunun azalmasına katkı sağlayacaktır.

Ülke ekonomilerinin üretim yapısı atık performansını farklı şekilde etkileyeceği düşüncesinden hareketle modele alınan tarım, sanayi ve hizmetlerin toplam üretim içerisindeki paylarını gösteren  $GVA1r_{it}$ ,  $GVA2r_{it}$ ,  $GVA3r_{it}$  değişkenleri hiçbir model için istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır. Dolayısıyla, üretim yapısının atık oluşumu üzerinde herhangi bir farklılığa neden olmadığı söylenebilir.

Nüfusun yaş yapısının atık üretimi üzerindeki etkisini belirlemek için eklenen değişkenlerden  $Pop > 65_{it}$  ve  $Pop15 - 64_{it}$  değişkenleri hiçbir model için istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır. Dolayısıyla atık oluşumunda genç ve yaşlı kuşakların davranışı arasında fark bulunamamıştır

(Kinnaman ve Fullerton, 2000; Romano vd. 2019; Soukiazis ve Proença, 2019). Demografik özelliklerden bir diğeri olan kentleşme derecesini yansıtan  $PopDen_{it}$  değişkeni tüm modeller için istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bulunmuştur. Bu sonuç  $km^2$  başına düşen kişi sayısındaki artışla birlikte tüketimin artması sonucu atık oluşumunun artmasından dolayı beklenen bir sonuçtur (Tablo 5).

Ülkelerin gelişmişlik seviyesini gösteren  $Ddev_{it}$  kukla değişkeni ile 2008 yılında yaşanan ekonomik krizin ülkede bireylerin geri dönüşüm davranışını etkileyip etkilemediğini belirlemek amacıyla modele ilave edilen  $Dcrisis_{it}$  kukla değişkeni tüm modeller için istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ülkelerin gelişmişlik farklılıkları atık oluşumu üzerinde anlamlı bir etkiye sahip bulunmamıştır (Soukiazis ve Proença, 2019). Bu sonuç, az sayıda ülkenin üretimle birlikte atık oluşumunun azaldığı dönüm noktasına ulaştığı sonucunu desteklemektedir. Benzer şekilde ekonomik krizin de atık oluşumu üzerinde anlamlı bir etkisi bulunamamıştır (Tablo 5).

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sosyo ekonomik faktörler, demografik faktörler ve üretim türünün atık üretimi ve geri dönüşüm üzerindeki etkisinin Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezine dayalı olarak incelenmesinin amaçlandığı çalışmada Balkanlar’da bulunan 5 OECD ülkesi 2000-2019 dönemi verileri ile iki denklemden oluşan bir eşanlı panel veri modeli Üç Aşamalı En Küçük Kareler tahmin yöntemi ile tahmin edilmiştir. Analizde ÇKE hipotezi ilk denklemden geri dönüşüm seviyesi ile atık üretimi arasında test edilmişken, ikinci denklemden ekonomik gelişmişlik ile atık üretimi arasında test edilmiştir.

Geri dönüşüm seviyesi ile atık üretimi arasında ters U şeklinde bir ilişki tespit edilmiştir (Model 3, 4 ve 5). Bu sonuca göre belediye atık üretimi artarak eşik değerini aştığı takdirde geri dönüşüm seviyesinde bir azalış olacağı söylenebilir. Geri dönüşüm oranları atıklara göre farklılık göstermektedir. Ambalaj atıkları, AB mevzuatının başarılı bir şekilde

uygulandığı bir alandır. Ambalaj atıklarının geri dönüşümü ise alt atık türlerine (cam, plastik, metal, kağıt ve karton gibi) göre farklılık göstermektedir. En yüksek geri dönüşüm oranı kağıt ve kartonda, en düşük oran ise plastikte yaşanmaktadır (BSTB, 2014). Dolayısıyla atık üretiminin geri dönüşüm üzerindeki etkisi ve büyüklüğü sektörlere göre değişkenlik göstermektedir. Geri dönüşüm seviyesi ile atık üretimi arasında ilişki sektörel olarak incelendiğinde birinci sektör olan tarım sektörünün payı, ikincil sektör olan sanayinin payı ve hizmet sektörünün payının geri dönüşüm üzerindeki etkisi pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Tarım sektörü payının geri dönüşüm üzerindeki etkisinin olumlu olmasının nedeni olarak tarımla uğraşan kişilerin doğa ile iç içe olmasından dolayı çevrenin korunması gerektiğini daha iyi kavradıkları gösterilebilir. Benzer şekilde atık üretiminin yanında atık yönetiminde de önemli rol oynayan sanayi sektörünün geri dönüşüm seviyesindeki olumlu etkisinin nedeni olarak sanayide üretilen atıkların geri dönüşüm oranı yüksek materyaller olması verilebilir. Ayrıca AB ile 2009 yılında başlayan çevre müzakereleri bu alandaki tüm uygulamaları zorunlu hale getirmiş ve bu yüzden pek çok ülke çevre stratejilerini belirlemek zorunda kalmıştır. Bu zorunluluklar kapsamında sanayi alanında mal üretiminde ortaya çıkan atıkların geri dönüşümü ile ilgili önlemler alma yoluna giderek hem enerji hem de hammadde konusunda ciddi tasarruf etmeyi amaçlamaktadırlar. Hizmet sektörünün geri dönüşüm üzerindeki olumlu etkisi değerlendirildiğinde, geri dönüştürülen atıkların en yaygın olarak kağıt, plastik, cam, tekstil ve metal gibi malzemeler olduğu ve bu malzemelerin hizmet sektöründe yaygın bir şekilde kullanıldığı gözlemlenmektedir.

Demografik değişken olan 15-64 yaş aralığında olan bireylerin oranı geri dönüşüm üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bulunmuştur. Bu durum genç ve orta yaştaki nüfusun geri dönüşüm sürecine aktif olarak katılmadığının bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Sanayinin geri dönüşüm üzerindeki etkisiyle birlikte düşünüldüğünde

sanayide üretilen atıkların geri dönüşüme daha uygun olması eşik değerine gelene kadar geri dönüşüm üzerinde bu pozitif etkiyi yarattığı söylenebilir. Ancak toplumun çalışma hayatı bakımından aktif bireylerinden oluşan 15-64 yaş aralığındaki bireylerin bu konu hakkında hassas olmamaları eşik değerinin aşılmasından sonra azalan geri dönüşüm oranını açıklayabilmektedir. Hizmetler sektörünün payı ve 15-64 yaş aralığındaki bireylerin oranının geri dönüşüm üzerindeki anlamlı ve negatif etkisi birlikte değerlendirildiğinde hizmetler sektörü geri dönüşüm oranını azaltmakta iken nüfusun aktif kesimi bu oranı arttırmaktadır. Diğer bir ifade ile toplumun aktif bireyleri hizmetler sektöründe geri dönüşüm konusundaki hassasiyeti eşik değerine ulaşana kadarki artışı açıklayabilirken hizmet sektörünün payı eşik değerinden sonraki azalmayı anlamlı kılmaktadır.

ÇKE hipotezi, geri dönüşüm seviyesi ile hizmetler sektörü arasında test edilmiş ve sonuçta ters U şeklinde bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bu durum, hizmetler sektöründeki artış eşik değerini aştığında geri dönüşüm seviyesinde bir düşüş olacağı şeklinde yorumlanabilir. Bu sonuç yukarıda belirtilen endüstriyel atık ile hizmetlerin ürettiği atıklar arasındaki ilişkiden hareketle yapılan değerlendirmeyi destekler niteliktedir. Turizm hizmetlerine odaklanıldığında, hizmet sektöründeki atıkların çoğunlukla geri dönüşümü zor olan ambalajlama ürünleri olduğu gözlenmektedir. Avrupa Parlamentosu'nun 2021 yılında yayımladığı ve EUROSTAT'ın veri bankasından 2018 yılı verileri ile yayınladıkları rapora göre Avrupa'da 1 yıl içerisinde üretilen atıkların %39.9 gibi bir çoğunluğu turizm sektöründe de bolca üretilen ambalaj atıkları olduğu tespit edilmiştir. Bu oran, diğer üretilen plastik atıklar arasında açık ara farkla birinci sırada bulunmaktadır. Bu çalışmada yer alan ülkelerden Türkiye ve Yunanistan için turizmin önemli bir gelir kaynağı olduğu bilinmektedir. Söz konusu ülkeler için turizm sektöründe yasa belirleyiciler tarafından düzenlemeler getirilerek üretilen atık miktarının azaltılması sağlanabilir.

Geri dönüşüm seviyesi ile atık üretimi arasında U şeklinde bir ilişki mevcuttur. Buna göre belediye atık üretiminin geri dönüşüm seviyesi üzerindeki azaltıcı etkisi belli bir eşik değerini (22000 ton) aştığı takdirde geri dönüşüm seviyesinde bir artışa neden olacağı gözlemlenmektedir. Bu durumun sektörler açısından detaylı bir şekilde incelenmesi daha anlamlı sonuçlar verecektir. Analiz sonuçlarına bakıldığında tarım sektörünün anlamlı ve geri dönüşüm miktarına pozitif bir etki yaptığı gözlemlenmektedir.

Demografik değişkenler incelendiğinde, nüfus yoğunluğu Model 1 ve 2 için anlamlı ve pozitifken Model 2’de buna ek olarak 15-64 yaş aralığında olan bireylerin oranı değişkeni de anlamlı ancak negatif bulunmuştur. Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde her ne kadar genç ve orta yaştaki nüfus geri dönüşüme aktif olarak katılmasa da tarımla uğraşan kişilerin doğa ile kurdukları bağdan dolayı doğayı korumanın gerekli olduğu düşüncesiyle tarım sektöründeki gelişimle birlikte bu geri dönüşüm seviyesini pozitif yönde etkilemiştir denilebilir. Ayrıca, tarım sektörünün geri dönüşümü olumlu yönde etkilemesi oluşan atıkların hayvancılıkta saman, tarımda gübre olarak kullanılması gibi örneklerle açıklanabilir. Diğer bir ifade ile diğer sektörlerle nazaran kendi içerisinde atık verim döngüsünün daha iyi işlediği söylenebilir. Model 6, tek başına incelenecek olursa gayri safi yurt içi üretim pozitif ve anlamlı iken demografik değişkenlerden sadece 15-64 yaş aralığında olan bireylerin oranı istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bulunmuştur. Bu durum sektörel bazda bir değerlendirmeden ziyade tüm sektörlerin toplamı olan gayri safi üretim ile bir değerlendirme yapılması gerekmektedir.

Atık üretimi denkleminin tahmin sonuçları ÇKE hipotezi bağlamında değerlendirildiğinde 6 model için de ters U şeklinde bir ilişki tespit edilmiş olup ÇKE Hipotezinin geçerliliği doğrulanmıştır. Gayri safi üretim artarak eşik değeri olan ortalama 22 bin dolar seviyesine ulaştıktan sonra çevreye verilen zarar azalacaktır. Bu ilişkiyi modeller için sektör ve demografi



bazında incelemek yararlı olacaktır. Sektörler bakımından tüm modeller içinde anlamlı bir sonuç bulunamamıştır. Ancak gayri safi üretim değişkeni bütün değişkenler için pozitif ve anlamlı olarak bulunmuştur. Ülkelerin nüfus yoğunluğu tüm modellerde pozitif ve anlamlı bulunmuştur. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde üretimin sektörel bazdan ziyade topluca olarak modele kattığı anlamın daha anlamlı olduğu düşünülebilir. Bununla birlikte, artan nüfus ve kentleşme ile artan ihtiyaçlar bireyleri daha fazla tüketim yapmalarına yöneltmiştir. Dolayısıyla artan tüketim ile seçilen ülke grupları için atık üretimini arttırdığı da görülmektedir. Bu sorun ülkelerin nüfusunu oluşturan bireyleri gereksiz atık üretimini azaltmak adına eğiterek çözümlenebilir. Okullarda, eğitim programlarında yer alan çevre eğitimi ve öğretimi aşamalarında geri dönüşümün ekonomik, çevresel ve sosyal etkilerinin de yer alması sağlanmalı, yerel yönetimlerle iş birliği yapılarak bilinç düzeyini artırma çalışmaları yapılmalıdır. Bu sonuca dayanarak eğitim durumunun atık üretimine etkisi üzerine etkileri ileride bu ülke grupları için araştırılırsa çıkan sonuçlar daha da detaylandırılabilir.

Tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde eşanlı denklem sistemi belediye atık üretimi ve geri dönüşüm seviyesi arasında çift yönlü ve pozitif bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra geri dönüşüm seviyesi ile atık üretimi ÇKE hipotezi ile incelendiğinde sektörlere göre geri dönüşüm seviyelerinin arttığı ve azaldığı gözlemlenmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda ÇKE hipotezi seçili ülkeler için temelde doğrulanmıştır. Diğer bir ifade ile ülkelerin belirli bir üretim düzeyini aştıktan sonra çevreye verdikleri zarar azalacaktır. Geri dönüşüm ve atık üretimi bakımından sanayi sektörü incelendiğinde önce artan bir geri dönüşüm oranı görülmektedir. Ancak eşik değerine ulaşıldıktan sonra artan atık üretimi ve azalan bir geri dönüşüm oranı gözlemlenmektedir. Sanayide üretilen atıkların geri dönüşüm oranı yüksek materyaller olması ve özellikle de plastik ürünler olması ki

plastik ürünlerin tekrar tekrar geri dönüşümünün zor olması bu azalışın nedeni olarak gösterilebilir. Ayrıca toplumun geri dönüşümün önemi hakkındaki bilgisinin ve dikkatinin yeterli olmaması da geri dönüşüm seviyesini belli bir noktadan sonra azaltıcı etkisinin olması düşünülebilir. Bu yüzden ilkokul düzeyinden başlayarak geri dönüşümün yararları ve gereksiz plastik kullanımını azaltıcı yönde eğitimler verilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir.

Hizmetler sektörüne bakıldığında bu durumun tersi görülmektedir. Bunun için hizmet sektöründe önemli bir ağırlığa sahip olan turizm sektöründe tek kullanımlık kağıt ve plastik ürünlerin daha çok kullanılıyor olması bu durumun nedeni olarak düşünülmüştür. Bunun engellenmesi için kanun koyucuların tek kullanımlık ürünlerin alımında sektörün paydaşlarına yönelik koyacağı sınırlamaların atık üretimini düşürmede etkili olacağı düşünülmektedir.

Geri dönüşüm seviyesi ve belediye atık üretimi arasındaki ters U şeklindeki ilişki Türkiye özelinde değerlendirilecek olursa; artan atık üretiminin azaltılması son derece önemlidir. Çünkü Türkiye araştırmada yer alan diğer ülkelerden çok daha fazla miktarda atığa para karşılığı depo, geri dönüşüm veya imha işlemlerinden birini uygulamaktadır. Kısa vadede atık karşılığında alınan bu paraların ekonomiye katkısının olduğu düşünülmekle birlikte çevreye verilen zararlar neticesinde uzun vadede getirdiğinden fazlasını götüreceği düşünülebilir. Plastik atıklardaki geri dönüştürülme oranı hali hazırda düşük olduğu bilinilmektedir. Bu atıklar geri dönüştürülseler plastiklerin yapısından kaynaklı 2 veya 3 kez daha bir dönüşüm geçirebilirler. Böylece daha fazla dönüşümün uygulanamayacağı atıkların ekonomiye maliyeti ve çevreye verdikleri zararlar zamanla birikerek artacaktır.

Atıkları azaltmayı ve geri dönüşüm faaliyetlerini teşvik etmeyi amaçlayan politikaların önemi büyüktür. Atık oluşumundaki azalmanın, üretimde daha az gaz emisyonu üretmek suretiyle hava kirliliği üzerinde olumlu bir etkisi

olacaktır. Bu nedenle mevzuatlar vasıtasıyla daha etkin bir atık yönetimi ve denetimi, daha yüksek bir geri dönüşüm oranı elde etmek için geliştirilen politikalar çevrenin daha fazla bozulmadan korunmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, atıkların geri dönüşüme kazandırılmasıyla hem enerji hem de hammadde konusunda ciddi tasarruf sağlanması da bu konunun önemini ortaya koymaktadır.

## KAYNAKÇA

- Abrate, G.I. & Ferraris, M., (2010). The Environmental Kuznets Curve in the Municipal Solid Waste Sector, *Hermes*, 1, 1-28. <https://www.studocu.com/in/document/indian-institute-of-technology-roorkee/masters-of-arts/abrate-g-ferraris-m-2010-the-environmental-kuznets-curve-in-the-municipal-solid-waste-sector-hermes-working-paper-1/8352699>
- Askeroğlu, E., (2022). *Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezinin Eşanlı Panel Veri Modelleri ile İncelenmesi*", (Yayın No. 760393) [Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi] Yüksek Öğretim Kurumu Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Baalbaki, R. & Marrouch, W., (2020). Is There a Garbage Kuznets Curve? Evidence from OECD Countries, *Economics Bulletin*, 40(2), 1049-1055. <http://www.accessecon.com/Pubs/EB/2020/Volume40/EB-20-V40-I2-P89.pdf> (application/pdf)
- Baltagi H. & Liu L., (2009), Spatial Lag Test With Equal Weights, *Economics Letters*, 104, 81-82. DOI:10.1016/j.econlet.2009.04.008
- Boubellouta B. & Brandt K. S., (2020). Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis For E-Waste in The EU28+2 Countries, *Journal of Cleaner Production*, 277, 123371. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.123371
- BSTB, (2014). Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017, *Bilim ve Sanayi, Teknoloji Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü*, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-12-1.pdf>. Erişim tarihi:20/03/2023.
- Callan, S. & Thomas, J., (1997). The Impact of State and Local Policies on The Recycling Effort, *gEast Econ J*, 23(4), 411-23. <https://www.jstor.org/stable/40325801>
- Destek, M., Ulucak, R. & Doğan, E., (2018). Analyzing the Environmental Kuznets Curve for the EU countries: The role of ecological footprint, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29387-29396. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-2911-4>.
- Ercolano, S., Ghinoi, S., Gaeta, G. L. & Silvestri, F., (2018), Kuznets Curve in Municipal Solid WASTE Production: An Empirical Analysis Based On Municipal-Level Panel Data From The Lombardy Region (Italy), *Ecological Indicators*, 93, 397-403. DOI:10.1016/j.ecolind.2018.05.021
- Grossman, M. & Kruger, B., (1995). Economic Growth and the Environment, *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377. <http://hdl.handle.net/10.2307/2118443>
- Gnonlonfin, A., Kocoglu, Y. & Peridy, N., (2017). Municipal Solid Waste and Development: The Environmental Kuznets Curve Evidence for Mediterranean Countries, *Region et Developement*, 45, 113-130. <https://124.im/ndNCSz>
- Gui S., Zhao, L. & Zhang, Z., (2019). Does Municipal Solid Waste Generation In China Support The Environmental Kuznets Curve? *New Evidence From Spatial Linkage Analysis, Waste Manag*, 84, 310-319. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.12.006

- Gündoğdu, S. & Walker T., (2021). Why Turkey Should Not Import Plastic Waste Pollution From Developed Countries? *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112772, 1-14. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112772
- Ichinose, D., Yamamoto, M. & Yoshida, Y., (2011). Reexamining The Waste-Income Relationship. National Institute for Policy Studies, Tokyo, *Japan GRIPS Discussion Paper*, No: 10-31. <https://www.grips.ac.jp/r-center/wp-content/uploads/10-31.pdf>
- Kinneman, T.C. & Fullerton, D., (2000). Garbage and Recycling with Endogenous Local Policy. *Journal of Urban Econ.* 48(3), 419-442). <https://doi.org/10.1006/juec.2000.2174>.
- Kinneman, T. C., (2005). Why Do Municipalities Recycling with Endogenous Local Policy, *J. Urban Econ.*, 5(1), 1-23. DOI:10.2202/1538-0653.1294
- Kuznets, S., (1995). Economic Growth and Income Inequality, *The American Economic Review*, 45(1), 1-28. <https://assets.aeaweb.org/asset-server/files/9438.pdf>.
- Mazzanti, M., Montini, A. & Zoboli, R., (2008). Municipal Waste Generation and Socioeconomic Drivers Evidence From Comparing Northern and Southern Italy, *The Journal of Environment & Development*, 17(1), 51-69. DOI:10.1177/1070496507312575.
- Romano, G., Rapposelli, A. & Marrucci, L., (2019). Improving Waste Production and Recycling Through Zero-Waste Strategy and Privatization: An Empirical Investigation. *Resour. Conserv. Recycl.*, 146, 256-263. DOI:10.1016/j.resconrec.2019.03.030
- Soukiazis, E. & Proença E., (2020). The Determinants of Waste Generation And Recycling Performance Across The Portuguese Municipalities – A Simultaneous Equation Approach, *Waste Management*, 114, 321-330. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.06.039
- Şükrüoğlu, D., (2018). “Uygulamalı Panel Veri Ekonometrisi”, içinde: *Stata ile Panel Veri Modelleri*, (Editör: Selahattin Güriş), DER yayınları. s. 171.
- Tatoğlu, Y. F. & İçen, H., (2019). Çevresel Kuznets Eğrisinin Çok Boyutlu Panel Veri Modelleri ile Analizi, *Anadolu İktisat ve İşletme Dergisi*, 3(1), 26-38. <https://dergipark.org.tr/pub/adoluiid/issue/44361/541320>
- Tatoğlu, Y. F., (2020). “İleri Panel Veri Analizi” (4. Baskı). Beta Basım. ISBN: 978-605-242-594-7. ss.173-205.
- Timo, M. (2010) Dynamic Simultaneous Equations and Panel Data: Small Sample Properties and Regional Factor Demand Modelling for Policy Analysis, Beiträge zur Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik 2010: Ökonomie der Familie - Session: Panel Data Models, No. C15-V4.
- Valenzuela-Levi N., (2019). Factors Influencing Municipal Recycling in The Global South: The Case of Chile, *Resources Conservation and Recycling*, 150, 1-10. DOI:10.1016/j.resconrec.2019.104441
- Zellner, A. & Theil, A., (1962). Three-Stage Least Squares: Simultaneous Estimation of Simultaneous Equations, *Econometrica*, 30(1), 54-78. <https://doi.org/10.2307/1911287>.



## BÖLÜM 4

# BULANIK VE NÖTROSOFİK KÜME TEORİLERİNİN K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASINDA KULLANIMI

Sevgi Abdalla<sup>1</sup>

### 1. GİRİŞ

Günümüz modern dünyasında, en küçük bilgi parçacıklarını barındıran veriler, sağlık, finans, mühendislik ve yapay zekâ gibi çeşitli alanlarda karar verme, analiz ve tahmin süreçlerinin en kritik yapı taşlarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla tüm iş alanlarında ihtiyaç duyulan stratejik bilgilere ulaşma sürecinde söz konusu verilerin elde edilme süreçlerinde yaşanan zorluklar -insan algısı, karmaşık sistemler ve ölçüm sınırlamaları- ve kısıtlanmalar, zamanla araştırmacıları “muğlaklık” ve “belirsizlik” kavramlarıyla karşı karşıya bırakmaktadır.

Muğlaklık, özellikle insan yargı ve tercihlerini temsil eden bir kavram veya kategorinin sınırları açıkça tanımlanmadığında ortaya çıkar. Özünde, belirsiz veriler insan dilinin, algısının ve yargısının doğasında var olan doğal belirsizliği yansıtır. Örneğin, insanlardaki “boy uzunluğu” kavramını düşünelim. Bir kişinin uzun mu yoksa kısa mı olduğunu tanımlayan, evrensel olarak üzerinde anlaşmaya varılmış bir eşik değeri

1 Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Eskişehir, Türkiye sayhan@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4177-5868

yoktur. 1.83 metre olan bir kişi, bir kültürel bağlamda uzun boylu ve başka bir bağlamda ortalama olarak kabul edilebilir. Ayrıca, “uzun” ve “uzun değil” arasındaki geçiş ani değil, kademelidir ve bireylerin özellikleri bir spektrum boyunca bir aralığa denk gelmektedir.

Öte yandan belirsizlik, bir veri noktasının değeri hakkında tam bilgiye sahip olunmadığı veya güven eksikliği sonucunda ortaya çıkan durumu ifade eder. Muğlaklıktan farklı olarak, insan algılarına dayalı kavramlardaki içsel diğer bir ifadeyle yargısal belirsizliğe bağlı olan muğlaklığın aksine, belirsizlik genellikle gözlemlenen sistemdeki “yetersiz veri”, “ölçüm hatası” veya “rastgeleliğin” bir sonucudur. Belirsizlik, verilerde kesin tahmin veya sınıflandırmayı engelleyen “bilinmeyenler” veya “değişkenlik” olduğunda ortaya çıkar. Örneğin, tıbbi bir teşhiste, biyolojik sistemlerdeki doğal değişkenlik nedeniyle bir testin sonucu belirsiz olabilir. En karmaşık tıbbi testler bile yanılmaz değildir ve ölçüm, numune alma veya yorumlamadaki hatalar belirsiz sonuçlara yol açabilir. Benzer şekilde, çevresel izlemede, sensörlerin sınırlamalarından, verilerdeki gürültüden veya incelenen sistem hakkında eksik bilgilerden belirsizlikler ortaya çıkabilir.

Söz konusu muğlaklık ve belirsizliği modellemek ve etkilerini azaltmak için literatürde bulanık mantık, olasılıklı akıl yürütme, duyarlılık analizleri ve makine öğrenimi gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve önerilmiştir. Ancak bu zorlukların üstesinden gelmek ve tamamen ortadan kaldırmak yine de mümkün değildir. Bununla beraber hem veri sistemlerinin tasarımında hem de sonuçların yorumlanmasında dikkatli bir değerlendirme yaparak muğlaklık ve belirsizliğin etkilerini azaltabilir, daha bilinçli ve güvenilir kararlar verebiliriz.

Literatürde, verideki muğlaklık, kararsızlık ve belirsizliğin modellenmesinde kullanılan ve uygulama pratikliği sebebiyle şiddetle önerilen en etkili yöntemlerden biri bulanık kümelerdir. Bulanık kümeler ve uzantıları (tip-2 bulanık kümeler, tereddütlü bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler,



durağan olmayan bulanık kümeler ve bulanık çoklu kümeler) belirsizliği bir üyelik fonksiyonu ile değerlendirmek için kullanılan yaklaşımlardandır. Bulanık küme yaklaşımında her bir öge 0 ile 1 arasındaki gerçek sayılarla eşleştirilir (Zadeh, 1965; Das ve diğerleri, 2020). Böylece ögelere atanmış her değer, belirli bir kümedeki bir öğenin üyelik derecesini temsil etmektedir (Turskis ve diğerleri, 2019). Bununla birlikte, klasik bulanık küme teorisinin derecelendirme sistemi, kümedeki bir öğenin o kümenin üyesi olmadığını ifade etmeye izin vermez (Van ve diğerleri, 2018; Radhika ve Parvathi, 2016). Bulanık küme teorisindeki bu boşlukla başa çıkmak için Atanassov (1983), hem üyeliğin hem de üyeliksizliğin bir işlevini sağlayan sezgisel bulanık kümeleri (IFS) önermiştir (Marasini ve diğerleri, 2016). Sezgisel bulanık kümenin (IFS) uygulanmasında, bir öğenin bir kümeye veya değere ait olma derecesi (doğruluk) ile ait olmama derecesinden (yanlılık) bağımsız olarak belirsizliği hesaba katmada yine de sınırlamalar söz konusudur (Majumdar, 2017).

Bu sınırlamaların dezavantajlarından dolayı 1995 yılında ilk kez Smarandache (2019) tarafından IFS'ye karşı alternatif, verimli ve esnek bir modelleme sağlayan nütrosofik küme teorisi (NST), Birinci Uluslararası Nütrosofik Mantık Konferansı'nda tanıtılmış ve önerilmiştir. Söz konusu küme teorisi, doğruluk, belirsizlik ve yanlılık olmak üzere üç üyelik derecesi ile belirsizlikleri açıklamakta ve modellemektedir. Ek olarak, NST'nin uygulanmasının zorluğu nedeniyle, Wang ve ark. (2010), mühendislik ve bilimsel uygulamalar için değerli nütrosofik kümeler (SVNS) teorisini önermişlerdir. Böylece önerilen yaklaşımla, belirsizliğin tarafsız bir değerlendirmesine olanak tanımayı amaç edinmişlerdir.

Çalışmanın bu kısmında, muğlaklık ve belirsizliğin modellenmesinde önerilen bulanık küme teorisi ve uzantılarına yer verilerek, zaman içinde bulanık küme teorisinin geliştirilmesiyle belirsizlik ve muğlaklığa yeni bir bakış açısı sunan küme yaklaşımlarından biri olan nütrosofik küme

teorisine yer verilmiştir. Her iki küme teorisinin matematiksel altyapısı, avantajları dezavantajları, kullanım amaçları ve makine öğrenimindeki uygulanma biçimleri detaylandırılarak ve örneklendirilerek ele alınmış ve açıklanmaya çalışılmıştır.

## 2. BULANIK KÜME TEORİSİ

1985'te Cantor tarafından önerilen klasik küme sisteminde, 'doğru' ya da 'yanlış' gibi iki kesin kavram söz konusudur (Zhang vd., 2015). Bu değerlendirme sisteminde üçüncü bir ihtimalin gerçekleşmesinin imkânsız olduğu düşünülmekte ve çoğu zaman bu tür durumlar 'paradoks' olarak adlandırılmaktadır. Bu tür sakıncaları ve klasik küme teorisinin kesinlik dışındaki olasılık düzeylerini belirlemede yetersiz kalması sebebiyle, 1965 yılında Zadeh tarafından bulanık küme kavramı önerilmiştir (Ahmad vd., 2021; Babbar ve Amin, 2018).

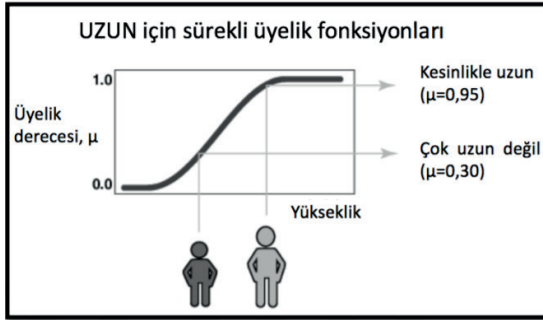
Klasik mantık değer olarak 0 ve 1 olmak üzere iki değere sahipken, bulanık mantık ise  $[0-1]$  aralığında değerlere sahip üyelik derecelerinden oluşur. Bulanık mantığın esas söylemi, bir önermenin 'doğru', 'yanlış', 'çok doğru', 'çok yanlış', 'yaklaşık olarak doğru', 'yaklaşık olarak yanlış' olabileceğidir. Başka bir ifadeyle; doğruluk, klasik yanlış ve doğru arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak  $[0, 1]$  gerçek sayı aralığıyla ilişkilendiren bir fonksiyondur. Bu söylem Zadeh 'in bulanık mantık üzerindeki ilk çalışmasının bir sonucu olarak kabul görmektedir (Keskenler ve Keskenler, 2017). Ayrıca, günümüzde hem sosyal hem de mühendislik alanlarına gerçekçi çözümler sunması ve yapay zekâ teknolojisi gibi birçok alana olan katkıları nedeniyle bulanık küme teorisine olan ilgi ve dolayısıyla kullanımı oldukça geniş alana yayılmıştır.

Bulanık küme teorisi, öğelerin üyelik derecelerine sahip olduğu bir kümedir. Bu, bir elemanın ya bir kümeye ait olduğu ya da olmadığı (ikili üyelik) klasik küme teorisinin bir uzantısıdır. Bulanık küme teorisinde, her elemanın 0 ile 1 arasında bir üyelik değeri vardır ve bu değerler şöyle tanımlanmaktadır:

- “0”: ilgili kümeye ait bir “üyeliğin olmadığını”,
- “1”: ilgili kümeye olan “tam üyeliği”,
- (0 ile 1) aralığındaki herhangi bir değerle temsil edilen üyelik, “kısmi üyeliği” temsil etmektedir.

Bir bulanık küme için *üyelik*, *aralık*, *yükseklik* olmak üzere üç temel kavram söz konusudur. *Üyelik* kavramı, bulanık kümeye ait olmayı, bulanık kümenin yüksekliği sahip olduğu en yüksek derecesini ifade etmektedir. Eğer bir bulanık kümenin yüksekliği 1 ise normal bir bulanık kümeden bahsedilmektedir. Eğer yükseklik 1’den küçükse bu kümenin normalaltı bir bulanık küme olduğu söylenir.

Bulanık küme teorisinde bir üyelik fonksiyonu, bir ögenin ilgili kümeye olan üyelik derecesinin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Örneğin; bireylerin uzunluklarıyla ilgilenilen bir araştırmada, uzunluk eşiğinin sabit olmadığı bulanık bir “uzun boylu insanlar” kümesi düşünelim. Burada 1.78 metre uzunluğunda olan bir kişinin üyelik derecesi 0.7 olursa, söz konusu uzunluk için göreceli olarak “biraz uzundur” şeklinde ifade edilebilir, ancak kişinin tam olarak uzun olmadığı anlamına gelmektedir.



Şekil 1. Örnek Bir Bulanık Küme Fonksiyonları ve Üyelik Dereceleri Gösterimi

Verilen örneği şekil 1’de verilen görselden yararlanarak açıklamaya çalışalım:

Üyelik fonksiyonu, yatay eksenle ifade edilen yükseklik veya bireyin uzunluğuna atfedilen değerler için bulanık kümeyi tanımlamaktadır. Dikey eksenle ise 0 ile 1 arasında tanımlanan bir aralıkta, bir kişiye ait uzunluğun bulanık kümedeki değerine karşılık gelen üyelik değeri sunulmaktadır (Kılıç, 2015). Yani iki kişi üzerinden açıklanmaya çalışılan örnekte, ilk kişi için uzunluğu 0,3 üyelik derecesi bu kişinin çok uzun olmadığı ifade edilmiştir. İkinci kişi içinse, 0,95 üyelik derecesi ile kesinlikle uzun olduğu ifade edilmiştir.

Bulanık küme teorisinin temel tanımları aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

**Tanım 2.1.** *Bulanık küme teorisi*

$X = \{x : x \in X\}$  kümesi verilsin ve  $\forall x \in X$  için  $\mu_A(x) \in [0,1]$  olmak üzere;

$\mu_A : X \rightarrow [0,1]$  kümesi,  $X$ 'in  $A$  bulanık kümesidir.  $\mu_A$ ,  $A$  kümesinin üyelik fonksiyonu,  $\mu_A(x)$  değerine  $x$ 'in üyelik derecesi ve  $\mu_A(x)$  kümesine de  $A$  bulanık kümesinin üyelik derecelerinin kümesi denir (Zadeh, 1965).

**Tanım 2.2.** *Sezgisel Bulanık Küme Teorisi*

$X$  evrensel kümesi için  $\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$  üye olma derecesi ve  $\nu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$  üye olmama derecesi olmak üzere (Atanassov, 2016);

$$\forall x \in X, 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$$

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \text{ ve } \nu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Fonksiyonları ile sezgisel bulanık küme eşitlik 3.2'deki gibidir;

$$A = \{x, \mu_A(x), \nu_A(x) : x \in X\} \quad (2)$$

Sezgisel bulanık kümelerde, belirsizlik  $1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$  olarak alınır.

### 3. NÖTROSOFİK KÜME TEORİSİ

Latince'den tarafsız anlamında “neuter” ve Yunanca'dan beceri/bilgelik anlamında “sophia” kelimelerinden oluşan “Neutrosophy” Nötrosofi, ilk olarak 1980 yılında Smarandache tarafından tanıtılmıştır. Nötrosofik küme, üç tür üyelik değeri ve derecesiyle ilgilenen ve bulanık kümelerin daha genelleştirilmiş ve genişletilmiş karmaşık bir uzantısıdır (Smarandache, 1999).

Nötrosofik küme teorisinde söz konusu üç fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

- Doğruluk ( $T$ ): Bir ögenin kümeye ait olma derecesi (bulanık kümelerdeki üyelik derecesiyle benzer temsil).
- Belirsizlik ( $I$ ): Bir ögenin üyeliğinin muğlak, arada veya belirsiz olma derecesini temsil eder.
- Yanlıklık ( $F$ ): Bir ögenin bir kümeye ait olmama derecesini temsil etmektedir.

Bu değerlerin her biri 0 ile 1 arasında gerçek bir sayıdır ve “ $T + I + F$ ” toplamına ilişkin bir kısıtlama olmamakla birlikte bu değer 1'i aşabilir. Bu küme yaklaşımı, belirsizliği temsil etmede diğer küme yaklaşımına göre daha fazla esneklik sağlar. Nötrosofik kümeler, üyelik hakkındaki gerçeğin sadece belirsiz olduğu durumlarda (bulanık kümelerde olduğu gibi) değil, aynı zamanda “bilinmeyen” veya “eksik” bilgi unsuruna sahip olduğu durumlarda da özellikle fayda sağlamaktadır.

Bulanık kümeler kısmında verilen örneğin ele aldığımızda, “uzun boylu kişiler” kümesi için, 1,78 metre uzunluğundaki bir kişi için nötrosofik kümeye olan üyelik dereceleri şöyle açıklanabilir.

- Doğruluk ( $T$ ) = 0.7 (biraz uzun),
- Belirsizlik ( $I$ ) = 0.2 (boy uzunluğu hakkında bazı belirsizlikler var),
- Yanlıklık ( $F$ ) = 0.1 (kısmen de olsa hiç uzun olmaması durumu söz konusudur).

Bir nötrosofik küme ile bulanık küme arasındaki en temel fark, bir bulanık kümede  $n=t+f$  ifadesi 1'e eşit olmak zorunda

iken bir nütrosifik kümedeki toplam  $n$  üzerinde herhangi bir sınırlama söz konusu değildir (Ju, 2011).

Nütrosifik kümelerin işleyişi ve yapısına ilişkin genel tanımlamalar izleyen kısımda kısaca verilmiştir.

**Tanım 3.1.** *Nütrosifik küme*, doğruluk (T), belirsizlik (I) ve yanlışlık (F) olmak üzere üç temel fonksiyondan oluşur. Bu işlevlerin her biri 0 ile 1 arasında değer alır. 0 değeri evrensel yanlış durumları, 3 ise evrensel doğru durumları temsil etmektedir (Smarandache vd., 2019; Das vd., 2020).

**Tanım 3.2.** *Standart nütrosifik küme*,

$$T_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

$$I_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

$$F_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (3)$$

Eşitlik 3'te standart şekilde verilen üyelik fonksiyonları için tanımlanan küme A, tek değerli nütrosifik küme olarak da adlandırılır ve eşitlik 4'teki gibi gösterilir.

$$A = \{x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) : x \in X\}$$

$$0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3 \quad (4)$$

Tek değerli nütrosifik küme A, X ise A üzerinde bir elemandır. İşlem kolaylığı sağlamak için tek değerli nütrosifik değer  $A=(a, b, c)$  ile temsil edilir ve eşitlik 5'teki gibi gösterilir (Basset vd., 2018; Smarandache vd., 2019; Broumi vd., 2015).

$$a, b, c \in [0,1]$$

$$a + b + c \leq 3 \quad (5)$$

**Tanım 3.3.** *Nötrosofik küme üyelik kısıtlaması:* Nötrosofik küme,  $U$  bir evrensel küme ve  $U$  üzerindeki nötrosofik küme  $\tilde{A}$  olmak üzere;

$$\tilde{A} = \{x, (T_{\tilde{A}}(x), I_{\tilde{A}}(x), F_{\tilde{A}}(x) \mid u \in U \ ]0, 1[ \} \quad (6)$$

Burada,  $T_{\tilde{A}}$  doğruluk üyelik fonksiyonu,  $I_{\tilde{A}}$  belirsizlik üyelik fonksiyonu ve  $F_{\tilde{A}}$  yanlışlık üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir. Bu üç üyelik değerinin toplamlarında herhangi bir kısıtlama yoktur ve aşağıdaki eşitlik 7'deki gibi gösterilir (Boltürk, 2019):

$$T_{\tilde{A}}(x): U \rightarrow ]^{-}0, 1^{+}[$$

$$I_{\tilde{A}}(x): U \rightarrow ]^{-}0, 1^{+}[$$

$$F_{\tilde{A}}(x): U \rightarrow ]^{-}0, 1^{+}[$$

$$0 \leq T_{\tilde{A}}(x) + I_{\tilde{A}}(x) + F_{\tilde{A}}(x) \leq 3 \quad (7)$$

#### **4. BULANIK KÜME VE NÖTROSOFİK KÜME TEORİLERİ ARASINDAKİ TEMEL BENZERLİK VE FARKLILIKLAR**

Nötrosofik küme teorisi bulanık küme teorisinin bir uzantısı ve genişletilmiş versiyonu olsa da uygulamalarda belirli özellikler bakımından benzerlik gösterirken problemin çeşitli özellikleri bakımından farklılıklar da göstermektedir. Çalışmanın bu kısmında, bulanık ve nötrosofik kümelerin benzerlik ve farklılıkları kısaca özetlenmiştir.

##### **4.1. Temel Benzerlikleri**

İzleyen kısımda önerilen küme teorilerinin uygulamalardaki benzerlikleri maddeler halinde ve ilgili konu başlıkları şeklinde özetlenmiştir.

*Belirsizlik gösterimi:* Hem bulanık hem de nütrosifik küme teorisinde, belirsizliğin ele alınma biçimi klasik küme teorisine dayandırılmaktadır. Bulanık küme teorisi, kısmi üyelğe odaklanırken, nütrosifik kümeler belirsizliğı ve yanlılığı göz önünde bulundurarak üyelik fikrine odaklanmaktadır.

*Gerçek Değerli Üyelik Fonksiyonları:* Her iki küme teorisinde de üyelik, 0 ile 1 arasında gerçek değerler kullanılarak tanımlanır, bu durum da söz konusu küme teorilerini, üyelğin ikili (0 veya 1) olduğı klasik küme teorisinden daha esnek hale getirir.

*Klasik Kümelerin Genelleştirilmesi:* Hem bulanık küme teorisinde hem de nütrosifik küme teorisinde katı ikili üyelik yerine üyelik derecelerine izin vererek klasik küme teorisi esnetilmiş ve genelleştirilmiştir.

*Karar Vermede Kullanım:* Her iki küme teorisi de belirsiz veya kesin olmayan ortamlarda karar vermek için kullanılabilir, ancak nütrosifik küme teorisi birden fazla belirsizlik boyutunu içeren daha karmaşık senaryolarda daha çok kullanılma eğilimindedir.

## 4.2. Temel Farklılıkları

Aşağıdaki tabloda bulanık ve nütrosifik küme teorilerinin ayrıştığı yönleri ve farklılıkları özetlenmektedir.

**Tablo 1.** Bulanık ve Nütrosifik Kümelerin Temel Farklılıkları

<i>Özellik</i>	<i>Bulanık Küme</i>	<i>Nütrosifik Küme</i>
<i>Üyelik türü</i>	Tek üyelik değeri [0,1] aralığında	Üç üyelik değeri ( $T, I, F$ )
<i>Belirsizliğı modelleme yöntemi</i>	Belirsizlik ve üyelik	Doğruluk, Yanlılık ve Belirsizliğı aynı anda modeller
<i>Üyelik değerleri toplama</i>	$T+I=1$ (yanlılık ve belirsizliğı yer yok)	$T+I+F=1$
<i>Kullanım alanları</i>	Kısmi üyelik gerektiğinde (örn: sınıflandırma)	Bilinmezlik veya belirsizlik durumunda (örn: karar verme, tanılama)



<i><b>Karmaşıklık</b></i>	Tek üyelik derecesiyle daha sade bir yapı	Her öge için üç üyelik derecesi sebebiyle daha karmaşık bir yapı
<i><b>Uygulama alanları</b></i>	Örüntü tanıma, kontrol sis., görüntü işleme	Çokkriterli karar verme, çatışma durumunda karar verme, Sağlık, tıp uygulamaları

Özet olarak, bulanık küme teorisi daha basit ve sade uygulama süreci sunarken yalnızca kısmi üyeliğe odaklanır. Nötrosifik küme teorisi ise sadece doğruluğu değil, aynı zamanda belirsizliği ve yanlılığı da ele almak için daha zengin bir çerçeve sağlayarak kullanımını daha karmaşık senaryolar için uygun hale getirir.

## **5. MAKİNE ÖĞRENİMİNDE BULANIK KÜME VE NÖTROSOFİK KÜME TEORİLERİNİN KULLANIMI**

Makine öğreniminde (ML) muğlaklık ve belirsizlik, özellikle gürültülü, eksik veya belirsiz olabilen gerçek dünya verilerin analizinde sıklıkla karşılaşılan zorluklardandır. Bulanık ve nötrosifik küme teorileri, bu belirsizliği modelleyerek makine öğrenimi algoritmalarının bu belirsiz koşullardaki performansını arttırarak daha başarılı bir çıkarım sunmayı hedeflemektedir. Genellikle bu tür küme yaklaşımları söz konusu algoritma ve tekniklerin performansına katkı sağlayan melez modelleme yöntemlerinin gelişimine olanak sağlamaktadır. İzleyen kısımlarda hem bulanık hem de nötrosifik küme teorilerinin makine öğreniminde kullanımına ilişkin bilgilere yer verilmiş olup, k-en yakın komşu sınıflandırma algoritmasında söz konusu küme teorilerinin kullanımı bir örnek üzerinde adım adım anlatılmıştır.

### **5.1. Bulanık Küme Teorisinin Makine Öğreniminde Kullanımı**

Makine öğreniminde, kesin sınıflandırmaların veya kararların mümkün olmadığı durumlarda belirsizliği ele almak için bulanık küme teorisi yardımıyla, bir ögeye net (ikili) bir

değer atamak yerine (örneğin, bir görüntü verisinde “kedi” veya “kedi değil” olarak kodlamak yerine), 0 ile 1 aralığında bir “üyelik derecesi” atayarak daha incelikli sınıflandırmalara olanak tanınır. Bu küme teorisi özellikle, doğal dil işleme, görüntü tanıma veya karar verme sistemleri gibi verilerin doğası gereği belirsiz olabileceği uygulamalarda kullanışlı olmaktadır.

### ***Bulanık Kümelerin Makine Öğrenimindeki Uygulamaları:***

1. *Kümeleme (örneğin, Bulanık C-Ortalama Kümeleme):* k-ortalamlar gibi geleneksel kümeleme algoritmalarında, veri noktaları tam olarak bir kümeye atanır. Ancak, bulanık kümelemede, her veri noktası farklı üyelik derecelerine sahip birden çok kümeye ait olabilir. Bu yaklaşım, veri noktaları ayrı kümelere net bir şekilde ayırlamadığında yardımcı olur.

2. *Sınıflandırma (Bulanık karar ağaçları):* Geleneksel karar ağaçlarının bir uzantısıdır. Bu modellerde, her düğümde ikili kararlar kullanmak yerine, bulanık kümeler, her karar noktasında doğruluk derecelerine (yani bulanık kümelere üyeliğe) izin vererek, onları belirsiz veya eksik verileri işlemede daha esnek hale getirir. Bulanık mantık, kuralların “yüksek”, “düşük”, “orta” gibi bulanık terimler kullanılarak formüle edildiği ve daha sonra değişen üyelik derecelerine sahip girdi verilerine uygulandığı sınıflandırma problemleri için kural tabanlı sistemlerde de kullanışlı olmaktadır.

3. *Sinir Ağları:* Sinir ağlarının giriş katmanında veya aktivasyon fonksiyonunda bulanık kümeler kullanılarak bulanık girdileri işleyecek şekilde genişletilebilir. Bulanık sinir ağları, girdiler ve çıktılar arasındaki belirsiz olan ilişkileri modelleyebilir. Örneğin, kesin özelliklerin tanımlanmasının zor olduğu zaman serisi tahmini veya sınıflandırma görevlerinde kesin olmayan kalıpları modellemek için kullanılabilir.

4. *Kontrol sistemleri:* Pekiştirmeli öğrenme veya kontrol sistemlerinde, belirsiz girdilere dayalı kararlar almak için bulanık mantık denetleyicileri (FLC'ler) kullanılır. Bu denetleyiciler, robotik, otonom araçlar ve diğer kontrol tabanlı

makine öğrenimi görevlerinde yardımcı olan bulanık durumlara veya gözlemlere dayalı eylemler gerçekleştirmek için bulanık mantık kullanılarak eğitilebilirler.

Sonuç olarak, makine öğreniminde bulanık küme teorisinin kullanmanın avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Belirsiz, kesin olmayan veya gürültülü verilerle başa çıkmada etkilidir.
- Belirsiz ortamlarda performansı artırabilen daha esnek karar sınırları sağlar.
- Girdi verilerindeki değişikliklere kolayca uyum sağlayabilir ve bu da onları dinamik ortamlar için çok yönlü hale getirir.

## **5. 2. Nötrosifik Kümelerin Makine Öğreniminde Kullanımı**

Nötrosifik kümeler, özellikle veriler çelişkiliyse, muğlaklık veya belirsizlik içeriyorsa belirsizliği temsil etmek ve işlemek için oldukça sağlam bir yöntem sunar. Bu küme teorisi özellikle belirsizliğin modellenmesi ve çözümünde daha rafine bir yaklaşım gerektiren makine öğrenimi görevlerinde oldukça yararlı olabilmektedir.

### ***Nötrosifik Kümelerin Makine Öğrenimindeki Uygulamaları:***

1. *Kümelenme:* Bulanık kümelemeye benzer şekilde, nötrosifik kümeleme birden fazla kümeye ait üyeliğe izin vermekle birlikte belirsizliği (bilinmeyen üyelik) ve yanlışlığı (kümenin tamamlayıcısına üyelik) da çerisinde barındırır. Bu özelliği, nötrosifik kümelemeyi, veri noktalarının yalnızca bir kümedeki kısmi üyeliğe sahip olduğu durumlar için değil, aynı zamanda herhangi bir kümeye ait olup olmadıklarının belirsiz olduğu durumlar için de ideal hale getirir.

2. *Sınıflandırma:* Nötrosifik sınıflandırmada, her veri noktası nötrosifik küme teorisinde tanımlanmış olan üç üyelik derecesine sahip bir sınıfa ait olabilmektedir. Bu özelliği, modelin, özellikle verilerin gürültülü, çelişkili olduğu veya bir

sınıfın kısmen bilinmediği durumlarda, sınıf atamalarındaki belirsizliği daha etkili bir şekilde ifade etmesine olanak tanır. Örneğin, bir görüntüyü “kedi” veya “köpek” olarak sınıflandırırken, görüntünün özellikleri belirsiz veya bulanık ise, nütrosifik sınıflandırma, görüntünün her iki kategoriye de bir dereceye kadar üyeliğe sahip olmasına veya muhtemelen hiçbirine sahip olmamasına izin vererek belirsizliği daha etkin olarak ele alabilir. Sonuç olarak, makine öğreniminde nütrosifik kümelerin kullanmanın avantajları aşağıda listelenmiştir (Elhassouny, vd., 2019).

- Belirsizliğin çeşitli boyutlarını (doğruluk, yanlışlık ve belirsizlik) yakalamak için daha zengin bir çerçeve sunar.
- Verilerin bilinmeyen veya çelişen yönlerini modelleyebildikleri için çelişkili veya belirsiz bilgilerin olduğu ortamlarda mükemmel yakın sonuçlar üretir.
- Açık ve tam olarak tanımlanmış bir dizi olası durumun olmadığı karar verme problemleriyle başa çıkmak için daha esnek bir yol sunar.

### 5.3. Bulanık ve Nütrosifik Küme Teorilerinin Makine Öğreniminde Kullanımlarına Göre Karşılaştırılması

İzleyen kısımda, bulanık ve nütrosifik küme teorilerinin makine öğrenimindeki kullanımları bakımından kıyaslanmış ve verilen Tablo 2’de karşılaştırmalı olarak özellikleri sunulmuştur (Rivieccio, 2008).

**Tablo 2.** Küme Teorilerinin Makine Öğrenimi Uygulamalarındaki Kullanımları

<i>Özellik</i>	<i>Bulanık Küme</i>	<i>Nütrosifik Küme</i>
<i>Belirsizlik Temsili</i>	Kısmi doğrulukla ilgilenir	Doğruluk, Yanlışlık ve belirsizlikle ilgilenir
<i>Karmaşıklık</i>	Daha basit ve adil üyelik derecesi	Daha karmaşık ve birden çok üyelik derecesi (T, I, F)
<i>Sınıflandırma</i>	Bulanık üyeliğe göre sınıflandırır	Üç üyelik derecesiyle sınıflandırır

<b>Kümeleme</b>	Çakışan kümeler izin verir	Daha fazla belirsizlikle kısmi üyeliğe izin verir
<b>Veri İşleme Kalitesi</b>	Belirsiz ve eksik veriler için kullanışlıdır	Çelişkili, gürültülü veya belirsiz veriler için kullanışlıdır

## 6. BULANIK VE NÖTROSOFİK KÜME TEORİLERİNİN K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASINDA KULLANIMI

İzleyen kısımda, söz konusu iki küme teorisinin k-en yakın komşu sınıflandırma algoritmasında kullanımının adımları anlatılmış ve örnek bir problem üzerinde uygulamasına yer verilmiştir.

### 6.1. K-En Yakın Komşu Algoritması

Test verilerinin eğitim veri setinde saklanan veri noktalarına olan benzerliğini ölçen, uzaklığa dayalı bir sınıflandırıcıdır. Algoritmanın yapısı gereği, test verileri eğitim kümesindeki en yakın k komşusunun çoğunluk oylarından etkilenmekte ve algoritmanın performansı bu söz konusu k komşusunun seçimin e bağlı olmaktadır.  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  kümesini  $x_i \in R$  için  $n$ 'nin  $n$  boyutlu öznitelik uzayında eğitim noktalarının bulunduğu eğitim kümesi olduğunu düşünelim ve  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$  bunlara karşılık gelen sınıf etiketleri olsun. Sınıf etiketi bilinmeyen bir test veri noktası  $x$  verildiğinde, bu veri noktasının sınıf etiketi; bir uzaklık fonksiyonu (Öklid uzaklığı gibi) kullanılarak test verisi ile eğitim verisi arasındaki benzerlik değerleri hesaplanır ve bu benzerlik değerine göre, test verisindeki örneğin k adet en yakın komşuları eğitim veri setindeki veri noktalarından elde edilir. Sonuç olarak, k adet verinin ait olduğu sınıf yoğunluğu hangi sınıfta fazla ise veri noktasının o sınıfa ait olduğu söylenir.

### 6.2. K-En Yakın Komşu Algoritmasında Bulanık Kümelerin Kullanımı

Geleneksel k-en yakın komşu algoritmasında, hedef noktanın sınıf etiketini belirlemede her komşu eşit ağırlığa

sahiptir ve sınıflandırma tipik olarak komşuların çoğunluk oyu alınarak yapılır. Bununla birlikte, bu yaklaşım, gerçek dünya problemlerinde yaygın olan belirsiz, kesin olmayan veya muğlak veriler ile uğraşırken sınırlayıcı olabilir. Bulanık k-En Yakın Komşu algoritması, ikili bir karar vermek yerine her sınıfa üyelik dereceleri atayarak belirsizliği modellemeye çalışır.

### **Bulanık k-En Yakın Komşu Algoritmasında Temel Kavramlar:**

Her veri noktasının sınıf üyeliği 0 ile 1 aralığında bir derece ile temsil edilir. Bu, bir veri noktasının yalnızca bir sınıfa atanmak yerine birden fazla sınıfta kısmi üyeliğe sahip olmasını sağlar. Üyelik derecesi, veri noktasının olası sınıfların her birine ne kadar güçlü bir şekilde ait olduğunu yansıtır.

#### ***Bulanık k-NN algoritmasındaki ana adımlar:***

1. *Noktalar Arasındaki Mesafenin Hesaplanması:* Geleneksel k-NN algoritması gibi, bulanık k-NN de öncelikle sınıflandırması yapılacak veri noktası ile eğitim kümesindeki diğer tüm noktalar arasındaki mesafe hesaplanır. Öklid uzaklığı, Manhattan uzaklığı veya Minkowski uzaklığı uygulamalarda yoğun kullanılan uzaklık ölçüleri arasında yer almaktadır.

2. *Üyelik Derecelerinin Belirlenmesi:* Mesafelerin hesaplanmasından sonra, bulanık k-NN için üyelik değerlerini hesaplanmasında her veri noktasının sınıf etiketleri referans alınır. Geleneksel k-NN'den temel farkı, bulanık k-NN'nin net bir sınıf ataması yerine bulanık üyelik değerlerine göre bir sınıf belirlenir. Bu üyelik değerleri, her bir veri noktasının belirli bir sınıfa ne kadar güçlü bir şekilde ait olduğunu göstermektedir. Bir veri noktası komşu veri noktasına ne kadar yakınsa, o sınıf için üyelik derecesi o kadar yüksek olur. Bir  $x$  noktasının  $C$  sınıfına üyelik derecesini hesaplamak için literatürde kullanılan yaygın bir yöntem ise uzaklığın ters orantısına dayanmaktadır.

$$\mu_C(x) = \frac{1}{1 + d(x, x_i)^2} \quad (8)$$

Burada;

-  $(\mu_C(x))$ ,  $(x)$  veri noktasının  $(C)$  sınıfına üyeliğinin derecesidir.

-  $(d(x, x_i))$  ise  $(x)$  veri noktası ile  $i$ . eğitim noktası arasındaki uzaklığın ölçüsüdür.

3. *Birden Fazla Sınıfa Üyelik Atanması*: Bu aşamada geleneksel k-NN'de olduğu gibi bir veri noktasının yalnızca bir sınıfa atanması yerine her veri noktasının her sınıfa bir üyelik derecesi belirlenecektir. Bu, her veri noktası için bir üyelik derecesi kümesiyle sonuçlanmaktadır.

4. *Bulanık Oylama*: Bulanık k-NN, her sınıf için üyelik derecelerini hesapladıktan sonra, komşuların oylarının üyelik değerlerine göre ağırlıklandırıldığı bir *bulanık oylama* mekanizması gerçekleştirir. Algoritma, yalnızca çoğunluk oyunu saymak yerine, k-en yakın komşu genelinde her sınıf için üyelik değerlerinin ağırlıklı bir toplamını hesaplar. Burada en yüksek toplam üyelik puanına sahip sınıfa veri noktasının ataması yapılır.

$$C(x) = \arg \max_{\{C\}} \sum_{i=1}^k \mu_C(x_i) \quad (9)$$

Burada:  $C(x)$ ,  $(x)$  veri noktası için tahmin edilen sınıf etiketidir.

$\mu_C(x_i)$  ise  $i$ . komşu için  $(x_i)$ 'nin  $(C)$  sınıfına üyelik derecesini göstermektedir.

5. *Kesin Değere Dönüştürme/Bulanıksızlaştırma*: İsteğe bağlı olarak, bulanık sınıflandırma sonucunu tek bir net sınıf etiketine dönüştürmek için bir ayrıştırma adımı kullanılabilir. Bu adım, maksimum üyelik değerini almayı veya bulanık üyelik puanlarına göre sınıf etiketlerinin ağırlıklı ortalamasını hesaplamayı içerebilir.

### ***Bulanık k-NN Örneği***

Bulanık k-NN algoritmasının nasıl çalışma prensibini bir örnek problem üzerinde gösterelim. İki boyutlu bir uzayda bir ( $P$ ) noktasını Sınıf A veya Sınıf B olmak üzere iki sınıftan birine atanması problemiyle ilgilendiğimizi varsayalım. Eğitim verilerinin aşağıda verildiği gibi olduğunu varsayalım.

**Tablo 3.**Bulanık K-NN için Örnek Veri Seti

<i>Birim</i>	<i>Sınıf</i>	<i>Değer</i>
<b>A1</b>	A	(1, 2)
<b>A2</b>	A	(2, 3)
<b>B1</b>	B	(6, 5)
<b>B2</b>	B	(7, 8)

$P = (3, 4)$  veri noktası için  $k = 3$  en yakın komşu veri noktalarını kullanarak sınıflandırma süreci aşağıdaki gibidir.

( $P = (3, 4)$ ) ile tüm eğitim noktalarına olan mesafelerin hesaplanması

- ( $P = (3, 4)$ ) ile tüm eğitim noktalarına olan mesafelerin hesaplanması
  - ( $A1 = (1, 2)$ ):  $(d(P, A1) = \sqrt{(3-1)^2 + (4-2)^2} = \sqrt{4+4} = 2.83)$
  - ( $A2 = (2, 3)$ ):  $(d(P, A2) = \sqrt{(3-2)^2 + (4-3)^2} = \sqrt{1+1} = 1.41)$
  - ( $B1 = (6, 5)$ ):  $(d(P, B1) = \sqrt{(3-6)^2 + (4-5)^2} = \sqrt{9+1} = 3.16)$
  - ( $B2 = (7, 8)$ ):  $(d(P, B2) = \sqrt{(3-7)^2 + (4-8)^2} = \sqrt{16+16} = 5.66)$

*k-en yakın komşuların seçimi ( $k=3$ ):* En yakın üç komşu sırasıyla 1.41, 2.83 ve 3.16 uzaklıklarıyla ( $A2$ ), ( $A1$ ) ve ( $B1$ ) olarak belirlenir.

*Her komşu için üyelik derecelerinin hesaplanması:* Sınıf A ve Sınıf B için sırasıyla eşitlik 8 yardımıyla her bir komşu için üyelik dereceleri hesaplanır.

$$\left( \mu_A(A1) = \frac{1}{1+2.83^2} = 0.106 \right) - \left( \mu_A(A2) = \frac{1}{1+1.41^2} = 0.333 \right)$$



$$\left( \mu_B(B1) = \frac{1}{1+3.16^2} = 0.099 \right)$$

➤ *Her sınıf için bulanık oyların hesaplanması:* Bu aşamada her sınıf için bulanık üyelik toplamı hesaplanır.

$$(\sum \mu_A = 0,106 + 0,333 = 0,439)$$

$$(\sum \mu_B = 0,099)$$

➤ *Veri noktasını sınıflandırılması:* Bulanık oyların toplamının hesaplanmasından sonra söz konusu veri noktasının bir sınıfa atanması gerçekleştirilir. Buradaki her sınıf için hesaplanan bulanık oyların ağırlığı büyük olan sınıfa veri noktasına atanır ve böylece ait olduğu sınıf belirlenmiş olur.

### 6.3. K-En Yakın Komşu Algoritmasında Nötrosofik Kümelerin Kullanılması

k-En yakın komşu algoritması (k-NN) ile nötrosofik küme teorisini entegre ederek verileri daha karmaşık belirsizlikle sınıflandırma yeteneğini geliştirmek mümkün olmaktadır. Böylece, tek bir üyelik derecesine imkân veren bulanık kümelerin aksine, nötrosofik küme teorisi bir veri noktasının üyeliğinin üç bağımsız üyelik fonksiyonu cinsinden temsiline izin vermektedir. Bu üyelik fonksiyonları sırasıyla;

Doğruluk ( $T$ ): Bir veri noktasının bir sınıfa ait olma derecesi.

Belirsizlik ( $I$ ): Üyeliğin muğlak veya belirsiz olma derecesi

Yanlışlık ( $F$ ): Bir veri noktasının bir sınıfa ait olmama derecesini temsil etmektedir.

Bu fonksiyonların üyelik değerlerinin her biri bağımsız olarak 0 ile 1 aralığında değişebilmektedir.  $T$ ,  $I$  ve  $F$ 'nin toplamı, üyelik değerlerinin tipik olarak toplamının 1 olduğu bulanık kümelerin aksine, mutlak 1'e eşit olması gerekmez. Bu nedenle, bir nötrosofik küme, bir veri noktasının kısmen bir sınıfa ait olabileceğini, belirsiz bir duruma sahip olabileceğini

(ne açıkça doğru ne de yanlış) veya açıkça bir sınıfın parçası olmadığını temsil edebilmektedir.

### Nötrosofik k-NN'nin Ana Adımları

Çalışmanın bu kısmında, K-NN'de nötrosofik küme teorisinin uygulama adımları verilmektedir.

**Adım 1. Nötrosofik Kümeler Kullanarak Veri Noktalarının Temsil Edilmesi:** Eğitim setindeki her veri noktası, her sınıf için bir nötrosofik sayı ile temsil edilir. Örneğin Sınıf A ve Sınıf B için sırasıyla nötrosofik sayılar  $((T_A, I_A, F_A))$  ve  $(T_B, I_B, F_B)$  şeklinde verilsin.  $(P)$  veri noktası için, nötrosofik sayı değeri ayrıca  $(T_P, I_P, F_P)$  ile temsil edilmektedir. Burada  $(T_P), (I_P), (F_P)$  belirli bir sınıfa göre veri noktası P için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik derecelerini göstermektedir

**Adım 2. Uzaklığın belirlenmesi:** Geleneksel k-NN'de, bir veri noktası ile komşuları arasındaki yakınlığı hesaplamak için uzaklık ölçüleri (örneğin, Öklid, Manhattan gibi) kullanılır. Ek olarak, Nötrosofik k-NN'de, doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik derecelerini bağımsız olarak açıklayan bir uzaklığı hesaplamamız gerekmektedir. Bir veri noktası  $(P)$  ile bir komşu  $(x_i)$ 'yi karşılaştırmak için uygun bir "nötrosofik uzaklık ölçüsü" tanımlanmalıdır. Olası bir önlem şudur:

$$\left[ D(P, x_i) = \sqrt{(T_P - T_{x_i})^2 + (I_P - I_{x_i})^2 + (F_P - F_{x_i})^2} \right] \quad (10)$$

Bu formül, doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları arasındaki Öklid uzaklığını bağımsız olarak hesaplama olanağı sağlamaktadır. Uygulamaya bağlı olarak diğer uzaklık ölçüleri (örneğin, Minkowski) de kullanılabilir.

**Adım 3. K-En Yakın Komşuların Seçimi:**  $(P)$  veri noktası ile eğitim setindeki tüm noktalar arasındaki mesafeler hesaplandıktan sonra, en küçük mesafelere göre k-en yakın komşular seçilir. Bununla birlikte, sadece doğruluk derecesini (bulanık k-NN'de olduğu gibi) dikkate almak yerine, üç üyelik

derecesini de içinde barındıran tam nütrosifik üyelik dikkate alınmalıdır.

**Adım 4. Nütrosifik Küme Teorisi ile Sınıf Oylaması:** Nütrosifik k-NN'de, en yakın k komşunun doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik dereceleri hesaba katmalı ve doğruluk derecesi (T) ve mesafeye dayalı olarak ağırlıklı bir oylama mekanizmasının hesaplanması gerekir. Her sınıf için, en yakın k komşudan ağırlıklı doğruluk değeri hesaplanır. Böylece, ağırlık değeri uzaklık değeri ile ters orantılı olmakta ve daha yakın komşuların (daha küçük mesafelerle) daha güçlü bir etkiye sahip olduğu belirlenmektedir.

Burada, her sınıf için nütrosifik oy eşitlik 11'de verilen formülle hesaplanabilir:

$$Oy_C = \sum_{i=1}^k \frac{T_C(x_i)}{D(P, x_i)} \quad (11)$$

Burada,  $(T_C(x_i))$ ,  $(C)$  sınıfı için  $(i)$ -inci komşunun doğruluk derecesini ve  $(D(P, x_i))$  ise  $(P)$  veri noktası ile  $(i)$ . komşu arasındaki uzaklığı göstermektedir. Ayrıca, oylama sürecinde belirsizlik (I) ve yanlışlık (F) derecelerini de göz önünde bulundurularak potansiyel olarak her komşunun etkisi, belirsizliğine veya yanlışlık derecesine göre ayarlanabilmektedir.

**Adım 5. Sınıflama:** Her sınıf için nütrosifik oy hesaplandıktan sonra, veri noktası için tahmin edilen sınıf olarak en yüksek puana sahip sınıf belirlenir. Alternatif olarak, karar sürecine belirsizlik veya yanlışlık da dahil edilmek istenirse, daha rafine bir sınıflandırma elde etmek için doğruluk dereceleri bu iki üyelik derecesiyle birleştirilebilir ve olası bir kombinasyon eşitlik 12'deki gibi hesaplanabilir.

$$\left[ \text{Final Puan}_C = \frac{\sum_{i=1}^k T_C(x_i)}{\sum_{i=1}^k (T_C(x_i) + I_C(x_i) + F_C(x_i))} \right] \quad (12)$$

Bu, toplam belirsizliğe (doğruluk + belirsizlik + yanlışlık) göre doğruluk derecelerini birleştirerek incelikli bir sınıflandırma sağlar.

**Adım 6. Muğlaklık ve Belirsizlikle Başa Çıkma:** Nötrosifik k-NN'nin en önemli avantajlarından biri, belirsizlik ve çelişkili bilgi ile başa çıkma yeteneğidir. Bir veri noktası, sınıfların çakıştığı veya verilerin gürültülü olduğu özellik uzayının bir bölgesindeyse, belirsizlik değeri, sabit bir sınıf etiketi atamanın aksine, modelin bu belirsizliği yansıtmasına izin verir. Bu, tıbbi teşhis, duygu analizi ve görüntü tanıma gibi net sınıf sınırlarının bulunmadığı birçok gerçek dünya senaryosunda kullanışlı olmaktadır.

#### ***Nötrosifik k-NN Örneği:***

Bir doktorun bir hastasına Hastalık A veya Hastalık B teşhisi koymaya çalıştığını ele varsayalım. Hesaplama kolaylığı açısından hastalarının yaş ve kan basıncı özelliklerini dikkate alarak hastalık teşhisinde bulunsun. Söz konusu teşhis süreci için elinde dört hastaya ilişkin bir örnek veri seti verilsin.

**Tablo 4.** Nötrosifik K-NN için Veri Seti Örneği

Hasta	Hastalık	Yaşı	Kan Basıncı	T	I	F
P1	A	30	120/80	0,8	0,1	0,1
P2	A	45	130/85	0,9	0,05	0,05
P3	B	60	140/90	0,4	0,3	0,3
P4	B	50	135/85	0,6	0,2	0,2

$(P_Q)$  Veri noktası, 40 yaşında ve kan basıncı 125/80 olan ve nötrosifik sayı değeri (0,9; 0,1; 0,05) olan bir hastanın hasta türü aşağıdaki şekilde belirlenir.

Nötrosifik uzaklık ölçüsünü kullanarak  $(P_Q)$  ile eğitim noktalarının her biri arasındaki uzaklık Öklid uzaklığına göre hesaplanır.

Bu uzaklıklara dayanarak, en yakın üç komşu seçilir ve yukarıda açıklanan oylama mekanizmasını kullanarak hem

Hastalık A hem de Hastalık B için ağırlıklı doğruluk dereceleri hesaplanır. Böylece ilgili veri noktası için doğru sınıf belirlenebilir.

## 7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Hem bulanık küme teorisi hem de nütrosofik küme teorisi belirsizliğin olduğu karar verme ve problem çözme ortamlarında makine öğrenimi için güçlü araçlar sunmaktadır. Bulanık kümeler, veri noktalarının üyelik derecesinin belirsiz veya kesin olmadığı senaryolarda yaygın olarak kullanılırken, nütrosofik kümeler, belirsizlik ve yanlışlık dahil olmak üzere birden çok belirsizlik türünü ele almak için daha gelişmiş bir çerçeve sunmaktadır. Bulanık küme teorisi, kümeleme, sınıflandırma, bulanık mantık sistemleri ve sinir ağları gibi makine öğrenimi alanlarında yaygın olarak kullanılmakla birlikte, nütrosofik küme teorisi, özellikle verilerin sadece belirsiz olduğu değil, aynı zamanda çelişkili veya eksik olduğu problemlerde de ek bir hesaplama esnekliği sağlamaktadır. Ayrıca nütrosofik kümeler, gürültülü veriyi içeren veri ortamında çok kriterli karar verme, karmaşık sınıflandırma görevleri ve gelişmiş sinir ağı modelleri için ideal teoriler sunmaktadır. Her iki küme yaklaşımı da özellikle otonom sistemler, robotik, tıbbi teşhis ve veri analizi gibi alanlarda makine öğrenimi modellerinin sağlamlığını ve uyarlanabilirliğini arttırmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Ahmad, S., Ahmad, F., Sharaf, M., (2021), Supplier selection problem with type-2 fuzzy parameters: a neutrosophic optimization approach, *International Journal of Fuzzy Systems*, 23, 3, 755-775.
- Atanassov, K.T., Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 1, pp 87-96 (1986) [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3).
- Babbar, C., Âmin, S.H., (2018), A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy qfd in beverages industry, *Expert Systems With Applications*, 92, 27-38.
- Basset, M.A., Mohamed, M., (2018), The role of single valued neutrosophic sets and rough sets in smart city: imperfect and incomplete information systems, *Measurement*, 124, 47-55.
- Boltürk, E., (2019), Decision making based on intuitionistic fuzzy sets and neutrosophic sets, Istanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering and Technology, Ph.D. Thesis, p.126.
- Broumi, S., Ye, J., Smarandache, F., (2015), An extended topsis method for multiple attribute decision making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables, *Neutrosophic Sets and Systems*, 8, 22-31.
- Das, S., Roy, B.K., Kar, M.B., Kar, S., Pamucar, D., (2020), Neutrosophic fuzzy set and its application in decision making, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 5017-5029.
- Elhassouny, A; Soufiane, I, and Smarandache. F. (2019). Machine learning in neutrosophic environment: A survey. *Neutrosophic Sets and Systems* 28, 1. [https://digitalrepository.unm.edu/nss\\_journal/vol28/iss1/7](https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol28/iss1/7)
- Ju, W., (2011). Novel application of neutrosophic logic in classifiers evaluated under region-based image categorization system, All Graduate Theses and Dissertations. 887. <https://digitalcommons.usu.edu/etd/887>
- Kılıç, M., (2015). Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde bulanık tabanlı bir yaklaşım, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Marasini, D., Quatto, P., Ripamonti, E., (2016), Intuitionistic fuzzy sets in questionnaire analysis, *Qual Quant*, 50, 767-790.
- Majumdar, P., (2017), On new measures of uncertainty for neutrosophic sets, *Neutrosophic Sets and Systems*, 17, 50-57.
- Radhika, C., Parvathi, R., (2016), Intuitionistic fuzzification functions, *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12, 2, 1211-1227.
- Rivieccio, U. (2008). "Neutrosophic logics: Prospects and problems. *Fuzzy sets and Systems* 159.14: 1860-1868.
- Smarandache F., (1999). *A unifying field in logics: Neutrosophic logic*.
- Smarandache, F., Broumi, S., Singh, P.K., Liu, C., Rao, V.V. vd., (2019). Introduction to neutrosophy and neutrosophic environment, *Neutrosophic Set in Medical Image Analysis*, 3-29.

- Van, L.H., Yu, V.F., Dat, L.Q., Dung, C.C., Chou, S. vd., (2018). New integrated quality function deployment approach based on interval neutrosophic set for green supplier evaluation and selection, *Sustainability*, 10, 3:838.
- Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y. & Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets. *Multispace & Multistructure*, (4), 410-413.
- Keskenler M.F. ve Keskenler E.F., (2017). Bulanık mantığın tarihi gelişimi, *Takvim-i Vekayi*, 5(1):1-10.
- Zhang, M, (2010). Novel approaches to image segmentation based on neutrosophic logic. All Graduate Theses and Dissertations. 795. <https://digitalcommons.usu.edu/etd/795>
- Zadeh, L.A., (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zhang, H., Wang, J., Chen, X., (2015). An outranking approach for multi-criteria decision-making problems with interval-valued neutrosophic sets, *Neural Computing And Applications*, doi: 10.1007/s00521-015-1882-3.





## BÖLÜM 5

# DİKKATSİZ VEYA ÖZENSİZ YANITLARI TESPİT ETMEK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

Arda Uzunoğlu<sup>1</sup>, İlker Ercan<sup>2</sup>

### 1.GİRİŞ

Ölçeklere dikkatsiz veya yeteri kadar özen göstermeden, hatta ölçeklerin içeriğini düşünmeden maddelere cevap verme, sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bu tür cevaplar, veri kalitesi açısından önemli sorunlar oluşturur. Dikkatsiz veya özensiz cevaplar, hata varyansını artırır ve ölçek maddelerinin birbirleriyle ilişkisinin azalmasına yol açarak ölçeğin iç tutarlılığının azalmasına neden olur (Fronczyk, 2014).

Katılımcıların, verdikleri geçersiz yanıtların birçok farklı neden oluşmaktadır; yani verilen yanıtlar doğru değerleri temsil etmeyebilir. Bu geçersiz yanıtlar, üç temel başlık altında Johnson (2005)'ın tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

- i. Dilsel yetersizlik veya yanlış anlama
- ii. Yanlış beyan
- iii. Dikkatsiz veya özensiz yanıt verme

1 Dr. Milli Eğitim Bakanlığı, Türkiye arda-uzunoglu@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-7224-8588

2 Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye iercan@msn.com, ORCID: 0000-0002-2382-290X

Dilsel yetersizlik ve yanlış anlama, bir ölçeği oluşturan maddelerin ilgili popülasyon tarafından net, açık ve kolay bir şekilde anlaşılmasıdır. Yanlış beyan, bir bilgiyi eksik ya da yanlış bir şekilde ifade etmektir. Kopya çekme ve sahtekarlık da bu konunun kapsamındadır (Griffith, & Peterson, 2006). Katılımcıların dikkatsiz veya özensiz yanıt verme durumu, araştırmalarda potansiyel bir sorundur. Yöneltilen tüm veya bazı maddelere, katılımcılardan bazıları doğru veya özenli yanıt vermek için çaba göstermeyebilir. Bu durumda oluşan geçersiz yanıtların, doğru olan bir dizi veriye dahil edilmesiyle bir dizi beklenmedik ve istenmeyen hatalar ortaya çıkabilir (Huang ve ark., 2015).

Dikkatsiz veya özensiz cevap veren katılımcıları tespit etmek ve veri kümelerinden çıkarmak için bazı indeksler oluşturulmuştur. Kullanılan bu indekslerin bazıları özel bir konu içerdiğinden dolayı atıf alamamıştır; fakat bazıları ise bir çok araştırma tarafından referans alınmıştır. Cattell, Eber ve Tatsuoka (1970) tarafından geliştirilen Cattell'in sabotaj indeksi ve sabit bireyselleştirilmiş şans puanı, dikkatsiz ve özensiz cevap vermenin en önemli iki farklı göstergesidir. (Haertzen, & Ross, 1978). Modifiye edilen Cattell'in sabotaj indeksi, çok boyutlu ölçeklerde içerikle alakasız cevaplar veren kişileri belirlemek için kullanılır. Öte yandan, modifiye sabit bireyselleştirilmiş şans puanı (MFIC), çok kategorili yanıt formatına sahip maddelerden oluşan ölçeklerin kullanımı için genişletilmiştir (Fronczyk, 2014).

Dikkatsiz ve özensiz yanıtları tespit etmek ve farklı türdeki geçersiz yanıtların ortadan kaldırılması için bazı yöntemler şunlardır (Curran, 2016; Fronczyk, 2014):

- i. Aykırı değer analizi
- ii. Long-string analizi
- iii. Tek-Çift tutarlılık
- iv. Maddeler arası standart sapma
- v. Psikometrik terimlerin zıt ve eş anlamlıları

- vi. Cattell'in sabotaj indeksi
- vii. Sabit bireyselleştirilmiş şans puanları
- viii. Modifiye sabit bireyselleştirilmiş şans puanları

## **2. DİKKATSİZ VEYA ÖZENSİZ YANITLARI TESPİT ETMEK İÇİN KULLANILAN BAZI YÖNTEMLER**

### **2.1. Aykırı Değer Analizi**

Aykırı değer analizinin, uygulanması ve hesaplanması oldukça basittir. Aykırı değerler, bir dağılımın dışında kalan veya önemli ölçüde diğer gözlemlerden farklılık gösteren verilerdir (Peck, & Devore, 2012). Aykırı değerlerin meydana gelme nedenlerinden biri de, dikkatsiz ve özensiz şekilde verilen yanıtlardır. Yeteri kadar özen göstermeden cevap veren bireylerin, dikkatli ve özenli bir şekilde cevap veren bireylerden farklılık göstermesi kaçınılmaz bir sonuçtur. Aykırı değerlerin varlığında bu farklılıklar ortaya çıkar.

Aykırı değer analizinde, bir dağılımdaki belirli bir değer, dağılımdaki diğer değerlere göre incelenir. Bu yaklaşım, her bir katılımcı için bir ölçeğin her maddesine, verilen olağan dışı yanıtları tespit etmek için kullanılır (Curran, 2016).

Aykırı değer analizi için bazı teknikler mevcuttur. Mahalanobis Uzaklığı (Mahalanobis Distance), tek değişkenlilerin aykırı değer analizinin bir uzantısıdır ve çok değişkenliler için geliştirilmiş bir tekniktir (Mahalanobis, 1936).

Aykırı değerler tek boyutlu bir durumda, bir dağılımın bazı merkezlerine olan uzaklıklarına göre incelenir. Bu genellikle, ortalamaların ve standart sapmaların kullanılmasıyla yapılır. Bu dağılımdaki noktalar tek boyutlu bir uzayda bulunur ve dolayısıyla merkeze olan uzaklık, i. gözlemin skoru ile tüm gözlemlerin skorlarının aritmetik ortalama arasındaki fark gibi basit bir eşitlik (1) ile ifade edilebilir (Curran, 2016).

$$d_i = X_i - \bar{X} \quad (1)$$

Bu orijinal bir ölçeğin kendi birimleriyle ifade edilen bir uzaklıktır; ancak bu uzaklığın standart sapmaya bölünmesiyle basit bir şekilde birimsiz bir uzaklığa dönüştürülebilir ve bir z-puanı eşitlik (2) ile hesaplanabilir.

$$z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (2)$$

$X_i$ : i. gözlemin skoru

$\bar{X}$ : Gözlemlerin skorlarının aritmetik ortalaması

SD: Gözlemlerin skorlarının standart sapması

Aynı kavramları, iki boyutlu bir düzlemdeki uzaklıkları herbir i. gözlem için inceleyebiliriz. Herhangi bir gözlemin ( $X_{1i}, X_{2i}$ ) skorunun, aritmetik ortalamaları ( $\bar{X}_1, \bar{X}_2$ )'ye olan basit uzaklığı eşitlik (3) şeklinde hesaplanır (Curran, 2016).

$$d_i = \sqrt{(X_{1i} - \bar{X}_1)^2 + (X_{2i} - \bar{X}_2)^2} \quad (3)$$

$X_{1i}$ : i. gözlemin 1.maddesinin skoru

$X_{2i}$ : i. gözlemin 2.maddesinin skoru

$\bar{X}_1$ : 1.madde için tüm gözlemlerin skorlarının aritmetik ortalaması

$\bar{X}_2$ : 2.madde için tüm gözlemlerin skorlarının aritmetik ortalaması

Bu uzaklık, tek boyutlu durumdaki ham uzaklıktaki gibi, bu değişkenlerin her birinin standart sapmasını hesaba katmaz. Mahalanobis uzaklığı, bu iki değişkenin kovaryans matrisini (C) dahil ederek bunun altında yatan varyans yapısını hesaba katar. Mahalanobis Uzaklığını hesaplamak için madde cevaplarının skorlarından oluşan bir X matrisi elde edilir ve aşağıdaki eşitlik (4) eşitliğiyle bulunabilir (Maesschalck, Jouan-Rimbaud, & Massart, 2000).

$$\text{Mahalanobis Uzaklığı} = \sqrt{(X_i - \bar{x}) C_X^{-1} (X_i - \bar{x})^T} \quad (4)$$

$X_i$ : i. gözlemin skorlarının vektörü

$\bar{x}$ : skorların ortalama vektörü

$C_X^{-1}$ : veri setinin kovaryans matrisinin tersi

Mahalanobis uzaklığı, dikkatsiz ve özensiz cevap vermeyi içeren çok az sayıda belirli çalışmalarda kullanılmıştır ve tam olarak özelliklerinin anlaşılması mümkün değildir. Mahalanobis Uzaklığı, dikkatsiz ve özensiz olarak yanıtlayan bireyleri işaretlemek için kullanılabilir; ancak henüz bu yanıtlayıcıları tespit etmek için tek başına net bir yöntem olmadığını belirtmek önemlidir (Curran, 2016).

## 2.2. Long-String Analizi

Basit bir şekilde Johnson'ın (2005) tarafından ilk olarak kullanılmaya başlanmış ve sonrasında Costa ve McCrae'nin (2008) tarafından Long-string analizi genişletilmiştir. Dikkatsiz ve özensiz bir şekilde yanıt veren bireyleri belirlemek için kullanılan "long-string analizi" veya "yanıt modeli indeksleri" olarak literatürde bilinen bir tür yanıt dizilerinin analizidir (Huang, Curran, Keeney, Poposki, & DeShon, 2012; Meade, & Craig, 2012).

Örneğin, her bir katılımcı için "kesinlikle katılmıyorum"dan "kesinlikle katılıyorum"a kadar 1'den 5'e kadar bir Likert ölçeği oluşturularak, 10 maddelik bir ölçek için aşağıdaki yanıtlama şekli ele alınır (Curran, 2015).

cevap= 3, 3, 4, 4, 4, 3, 5, 3, 3, 4

Elde edilen bu cevap dizisinde, aynı yanıtın en uzun dizisi üçüncüden beşinciye kadar olan (4,4,4) yanıtlardır. Buradaki "4" yanıt dizisinin uzunluğu "üç"tür. Yalnızca en uzun yanıt dizisinin uzunluğu incelenirse, bu bireyin alacağı puanı 3 olacaktır. Her bir yanıt seçeneği incelenirse, bu bireyin her bir yanıt için bir dizi puanı olacaktır. 1'den 5'e kadar puanları: 0, 0, 2, 3, 1 şeklindedir. Bu örnekte, aslında "4" yanıtlardan daha

fazla “3” yanıtının olduğuna dikkat edilmelidir. Burada önemli olan kesintisiz bir sırayla en fazla “4” yanıtının olmasıdır. Bu kesintisiz dizi, long-string yöntemiyle tanımlanır.

Analiz yöntemi her bir katılımcıdan gelen en uzun aynı yanıt dizisinin incelenmesini içeren oldukça basit bir yaklaşımdır. Buradaki varsayım, dikkatsizce yanıt veren bireylerin, her soruda aynı yanıt seçeneğini seçme yönünde hareket edecekleridir. Bu varsayımın uzantısı olarak, dikkatli ve yeterli çabayla yanıt veren bireylerin de, dikkatsizce yanıt veren bireylerin tam tersi olarak, aynı yanıt seçeneğini uzun süre kullanma yönünde hareket etmeyecek olmalarıdır. Bu teknik, ölçek boyunca yanıtlarını değiştirmek için yeteri kadar çaba göstermeyen dikkatsiz ve özensiz şekilde cevap veren kişileri belirler. Long-string analizi, çok kötü yanıt veren katılımcıların bazıılarını ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir; ancak daha iyi sonuçlar elde etmek için yeterli değildir (Curran 2015).

### 2.3. Tek-Çift Tutarlılık

En basit bireysel tutarlılık tekniklerinden biri tek-çift tutarlılık (Meade, & Craig, 2012) veya bireysel güvenilirlik (Huang ve ark., 2012; Huang, Bowling, Liu, & Li, 2014; Jackson, 1977; Johnson, 2005) olarak bilinmektedir.

Günümüzde kullanılan “odd–even consistency” (tek-çift tutarlılık) tekniği, Her bir bireyin yanıtlarını, ölçek veya alt ölçekleri iki bölüme ayırmak suretiyle hesaplanır. İlk bölüm, çift maddelere verilen yanıtların bir araya getirildiği kısımdır, diğer bölüm ise tek maddelere verilen yanıtların bir araya getirildiği kısımdır. Eğer ters maddeler varsa, puanlama öncesinde diğer maddelerin yönünü gösterecek şekilde yeniden kodlanır. Daha sonra, yarıya bölünmüş ölçeklerin ya da alt ölçeklerin ortalaması alınarak bireyin yaklaşık puanı elde edilir. Her bir birey için iki vektör (tek ve çift maddeler için) elde edilir. Bu iki vektör için daha sonra korelasyon analizi yapılır.

Örneğin; 18 maddelik bir ölçeğin A, B ve C olmak üzere üç alt ölçek içerdiğini varsayalım, j’inci kişi için tek-çift

maddelerin alt ölçeklerin aşağıdaki şekilde bulabiliriz (Curran, 2016).

- Tek maddeler için ölçek;

$$A(\text{tek})=(1j+3j+5j)/3$$

$$B(\text{tek})=(7j+9j+11j)/3$$

$$C(\text{tek})=(13j+15j+17j)/3$$

- Çift maddeler için ölçek;

$$A(\text{çift})=(2j+4j+6j)/3$$

$$B(\text{çift})=(8j+10j+12j)/3$$

$$C(\text{çift})=(14j+16j+18j)/3$$

Her bir kişi için elde edilen tek-çift puanları; (Atek, Btek, Ctek) ve (Açift, Bçift, Cçift) şeklinde iki vektör olsun. Bu vektörler arasındaki korelasyon Spearman-Brown formülü kullanılarak hesaplanır.

Tek ve çift maddelerin korelasyonunun hesaplanmasının, ilk ortaya çıkışından bu yana bu alanda yapılan birçok çalışmaya rağmen korelasyonla ilgili hesaplamada çok az bir değişiklik olmuştur. Ölçekleri yarıya bölme (tek maddeler ve çift maddeler) büyük ihtimalle zamanın en kolay yöntemiymi ve sonraki yıllarda en iyi uygulama olarak kabul edildi.

## 2.4. Maddeler Arası Standart Sapma

Long-string analizinin tam tersi olarak, maddeler arası standart sapmalara ilişkin yeni bir yöntemdir. Marjanovic, Holden, Struthers, Cribbie ve Greenglass (2015) tarafından önerilerek, test edilmiştir. Bireyin ölçekteki her maddeye verdiği cevabın ölçeği oluşturan tüm maddelere verdiği cevapların ortalamasından ne kadar saptığını ölçer. Maddeler arası standart sapma (SD) eşitlik (5)'deki formülle hesaplanır (Marjanovic, Holden, Struthers, Cribbie, & Greenglass, 2015).

$$SD_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{(k-1)}} \quad (5)$$

$X_{ij}$  : i. gözlemin, j. maddeye verdiği puan

$\bar{X}_i$  : i. gözlemin k tane maddeye verdiği puanların ortalaması

k: madde sayısı

Maddeler arası standart sapmada, elde edilen büyük değerlerin dikkatsiz ve özensiz yanıt verenlerin bir göstergesi olduğu öne sürülmüştür. Dikkatsiz ve özensiz bir şekilde cevap verenleri tespit etme de iyi sonuçlar veren bir yöntem olarak kullanılsa da de bazı temel kusurları vardır (Marjanovic ve ark., 2015).

### 2.5. Psikometrik Terimlerin Zıt Ve Eşanlımlıları

Dikkatsiz ve özensiz cevap verenlerin tespitine yönelik bu teknik, anlamsal (semantik) zıtlıklarla ortaya çıkmıştır yani anlamsal olarak zıt olan madde çiftlerinden oluşmuştur (Goldberg, & Kilkowski, 1985). Bu madde çiftlerinin, içerikleri bakımından zıt oldukları belirlenir. Bu tür çiftler veri yokluğunda da oluşturulabilir. Zıt ve eş anlamlıların eşleştirmelerinden yola çıkarak veriye dayalı eşleştirmeler için, tüm örneklemdaki tek tek maddeler arasında büyük negatif korelasyonlar aranarak bulunan zıt madde çiftleri olan psikometrik zıtlıkların incelenmesine yol açmıştır (Johnson, 2005).

Psikometrik eşanlımlılar yüksek derecede pozitif korelasyona, psikometrik zıt anlamlılar ise yüksek derecede negatif korelasyona sahip madde çiftlerinden oluşur. Daha sonra bu madde çiftlerine dayalı olarak her bir kişi için korelasyon katsayısı hesaplanır (Curran, 2016).

Psikometrik zıtlık katsayısının değeri, her katılımcı için iki veri vektörü oluşturulur. Bu veri kümelerindeki çiftlerin her biri psikometrik olarak zıt anlamlı madde çiftleridir ve her birey için bir korelasyon katsayısı hesaplanır. Daha zayıf veya pozitif korelasyonun olduğu bireylerin, daha güçlü negatif korelasyonu olanlara göre daha dikkatsiz yanıt verdikleri varsayılmaktadır. Benzer şekilde psikometrik eşanlımlılar içinde aynı teknik



kullanılır; ancak madde çiftleri pozitif korelasyona sahiptir ve her bir kişi için en yüksek pozitif korelasyon olması beklenir. En yaygın olarak psikometrik zıt anlamlılık yaklaşımı görünse de, eş anlamlılık yaklaşımı da dikkate alınmaktadır (Meade, & Craig, 2012).

Dikkatsiz ve özensiz yanıt verdiğini gösteren bireyler için neredeyse kesin puanlar vardır. Örneğin; psikometrik eş anlamlılarla ilgili her kişi için negatif korelasyonlar veya psikometrik zıt anlamlılarla ilgili her kişi için pozitif korelasyonlar, dikkatsiz ve özensiz yanıt verdiğini gösterir (Huang ve ark., 2012).

## 2.6. Cattell'in Sabotaj İndeksi

The Sixteen Personality Factor Questionnaire (16PF), kişinin bir bütün olarak çok boyutlu değerlendirilmek amacıyla 16 farklı kişilik özelliklerini belirlemek için kullanılan bir psikolojik ölçektir. 16PF, on altı tane temel kişilik özelliğini incelemesinin yanı sıra, Büyük Beşli (Big 5) kuramını oluşturan beş genel kişilik özelliğini de tanımlamıştır (Cattell, Eber, & Tatsuoka, 1970; Cattell, 1957).

Büyük Beşli (Big 5) Kuramı:

- Openness (Açıklık)
- Conscientiousness (Sorumluluk)
- Extraversion (Dışadönüklük)
- Agreeableness (Uyumluluk)
- Neuroticism (Nevrotiklik)

şeklinde beş genel kişilik özelliği içerir (Goldberg, 1990).

Cattell'in sabotaj indeksi, kişilik özelliklerini değerlendirmek için Cattell'in The Sixteen Personality Factor Questionnaire (16PF) gibi psikolojik ölçeklerde kullanılan bir indekstir. Temel amacı, ölçümlerin güvenilirliğini ve geçerliliğini artırmak için dikkatsiz veya özensiz şekilde verilen cevapları belirlemektir. Örneğin, özensiz veya dikkatsiz bir şekilde cevaplanırsa, ölçüm sonuçları güvenilir olmayabilir. Sabotaj

İndeksi, bu tür yanıtları belirleyerek ölçümün geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmaya çalışır (Fronczyk, 2014).

Cattell'in 16PF'de kullanılan sabotaj indeksi, her bir ölçeğin iki bölüme ayrılabilmesi varsayımıyla geliştirilmiştir (Cattell ve ark., 1970). Ölçekteki maddelerin yarısına göre hesaplanan puan, ölçeğin maddelerin diğer yarısına göre regresyon analiziyle tahmin edilebilir. Bu tür bir tahmin, katılımcıların kendi bilgilerine atıfta bulunarak yanıt verdiklerini, dikkatsiz veya özensiz yanıt vermediklerini ve herhangi bir yanıt verme stili izlemediklerini mümkün kılmaktadır. Böylece, deneysel verilere dayanarak, gerçek puanlar ve tahmin edilen puanlar olmak üzere, iki puan grubu hesaplanabilir. Kombine Sabotaj İndeksi, ölçeğinin ilk yarı puanları ile ikinci yarı puanlarının doğrusal bir regresyonuna dayalı olarak elde edilen modelden yapılan tahmin puanları arasındaki farkların karesinin toplamı olarak hesaplanır. Başka bir deyişle, bu indeks, her bir ölçek için hesaplanan ikinci bölüm puanına her ölçeğin birinci bölüm puanının regresyonundan elde edilen artıkların karelerinin toplamıdır. Bu indeksin değeri ne kadar düşükse, indeksin hesaplandığı kişinin dikkatsiz ve özensiz bir şekilde yanıt verme olasılığı o kadar düşük olur (Fronczyk, 2014).

Muhtemelen hesaplamaları basitleştirmek için, Cattell ve arkadaşları (1970), sabotaj indeksinin ikiye bölünmüş ölçek çiftleri arasındaki ortalama korelasyon katsayısıyla hesaplanmasını ve bu hesaplamaların normalleştirilmiş puanlar üzerinde yapılması gerektiğini önerirler. Bu ortalama korelasyon yönteminin kullanılması, hesaplama sürecini daha kolay hale getirir ve böylece Sabotaj İndeksinin uygulanabilirliğini artırmaya yardımcı olur. Ayrıca, normalleştirilmiş puanlar üzerinde yapılması önerilen hesaplamalar, farklı ölçekler arasında doğru karşılaştırmalar yapılmasına yardımcı olur (Fronczyk, 2014).

Cattell ve arkadaşları (1970) tarafından önerilen Sabotaj İndeksi, Fronczyk(2014) tarafından geliştirilerek daha kullanışlı hale getirilmiştir. Cattell'in önerdiği normalleştirilmiş veriler

yerine ham veriler kullanılarak Sabotaj İndeksi hesaplanmıştır. Costa ve McCrae's'in Polonya versiyonu NEO-FFI Personality Inventory, bireyin beş genel kişilik özelliğini (Big 5) ölçmeyi amaçlar (Fronczyk. 2014). Çalışmada kullanılan NEO-FFI ölçeğinin her bir alt ölçeği için, biri çift sayı numarası olan maddelerden, diğeri tek sayı numarası olan maddelerden oluşan iki yarıya bölünmüştür. Sabotaj İndeksi hesaplanırken, ölçekteki madde numarası tek sayı olanlar bağımlı değişken ve çift sayı olanlar bağımsız değişken olacak şekilde, NEO-FFI ölçeğinin her bir alt ölçeği için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir (Fronczyk, 2014).

## 2.7. Sabit Bireyselleştirilmiş Şans Puanları

Dikkatsiz ve özensiz verilen yanıtları belirlemek için diğer bir yaklaşım da, her bir ölçekte beklenen puan, katılımcının dikkatsiz veya özensiz yanıt verdiği varsayımıyla belirlenir.

Bireysel düzeyde, dikkatsiz veya özensiz yanıt vermede belirli bir yanıt türünün (örneğin, “evet” yanıtları) oranı tüm ölçekte ve ölçeğin her birinde aynıysa, sabit bireyselleştirilmiş şans puanı (FIC), içerik açısından hangi ölçeğe ait olduklarına bakılmaksızın tüm ölçekteki belirli türdeki yanıtların oranlarına dayalı olarak her bir ölçek için ayrı ayrı hesaplanabilir. Haertzen ve Ross (1978) tarafından uygulanan yaklaşımda, en basit durum olarak iki kategorili yanıt formatı (“evet” – “hayır”) olan bir ölçek düşünüldüğünde, belirli bir alt ölçeği için beklenen puan hesabı eşitlik (6)'daki gibidir (Haertzen, & Ross, 1978).

$$FIC_s = P_T \times T_s + Q \times N_s \quad (6)$$

Burada;

$FIC_s$ : s. ölçek için sabit bireyselleştirilmiş şans puanları

$P_T$ : Ölçeğe bakılmaksızın kişinin tüm ölçekteki pozitif cevaplarının oranı

$T_s$ : s. ölçekteki pozitif teşhis edilen yanıtların sayısı

$Q$ :  $1 - P_T$  : Ölçeğe bakılmaksızın; kişinin tüm ölçekteki olumsuz yanıtlarının oranı

$N_s$ : s. ölçekteki negatif teşhis edilen yanıtların sayısı

Her bir ölçek için dikkatsiz ve özensiz yanıt verildiğini varsayan sabit bireyselleştirilmiş şans puanları, gerçek puanlarla karşılaştırılabilir. Her bir ölçek için sabit bireyselleştirilmiş şans puanı ile gerçek puanı arasındaki farklarının karesi alınıp ve toplandığında, tüm ölçekler için genel sabit bireyselleştirilmiş şans puanını elde edilir. Bu yapılan hesaplamaların sonunda, indeksin değeri ne kadar yüksek olursa, kişinin puanları sabit bireyselleştirilmiş şans puanları temelinde belirlenen profilden önemli ölçüde farklı olduğu için, kişinin dikkatsiz ve özensiz bir şekilde yanıt verme olasılığı o kadar düşük olacaktır (Fronczyk, 2014).

## 2.8. Modifiye Sabit Bireyselleştirilmiş Şans Puanları (MFIC)

Daha önce tartışılan sabit bireyselleştirilmiş şans puanı indeksi, yalnızca ikili yanıtları olan maddelere uygulanmıştır. Çok kategorili yanıt formatına sahip maddelerden oluşan ölçümlerle kullanımı için Fronczyk (2014) tarafından daha kullanışlı hale getirilmiştir. Çalışmada kullanılan NEO-FFI ölçeği kullanıldı ve bir bütün olarak ölçekteki her yanıt kategorisinin bireysel oranlarının hesaplanması yapılarak, düz (pozitif olarak kodlanan) maddelerin sayısı ve ayrıca ters (negatif olarak kodlanan) maddelerin sayısı ile çarpılmıştır. Bir sonraki adımda, yukarıda anlatıldığı gibi elde edilen sonuçların her biri, belirli bir puanlama yöntemiyle atanan puanların sayısı ile çarpıldı. Sonuç olarak bireysel kategoriler ve her iki puanlama türü için hesaplanan tüm sonuçların toplanmasıyla eşitlik (7) elde edilir (Fronczyk, 2014).

$$MFIC_s = \sum_{j=1}^k w_j P_j T_{sj} + \sum_{j=1}^k z_j P_j N_{sj} \quad (7)$$

$MFIC_s$ : s. ölçek için modifiye sabit bireyselleştirilmiş şans puanları

$w_j$ : Doğrudan puanlanmış  $j$  kategorisi yanıtına atanan puan sayısı

$z_j$ : Ters puanlanmış  $j$  kategorisi yanıtına atanan puan sayısı

$P_j$ : Ölçekten bağımsız olarak, belirli bir kişi tarafından tüm ölçekte  $j$ . kategoriye verilen yanıtların oranı

$T_{sj}$ :  $s$ . ölçekte,  $j$  kategorisine verilen yanıtların sayısı ( $w$  bu kategoriye atanan puan sayısı)

$N_{sj}$ :  $s$ . ölçekte  $j$  kategorisinin yanıtlarının sayısı ( $z$  bu kategoriye atanan puan sayısı)

Her bir ölçek için MFIC ile gerçek puanı arasındaki farklarının karesi alınıp ve toplandığında, tüm ölçekler için genel MFIC elde edilir. İndeksin değeri ne kadar büyük olursa kişinin dikkatsiz ve özensiz bir şekilde yanıt verme olasılığı o kadar düşük olacaktır (Fronczyk, 2014).

### 3. SONUÇ

Psikoloji, sosyoloji ve tıbbi alanlarda olduğu gibi birçok araştırmalarda bilişsel, duyuşsal ve psikomotor özellikleri hakkında bilgi almak için ölçekler uygulanır. Uygulanan bu ölçeklerde katılımcıların rastgele veya dikkatsiz yanıtlar vermesi nedeniyle elde edilen cevaplardan anakütle parametresini doğru tahmin etmemizi engelleyebilir ve anlamlandırılmayan tutarsızlıklara neden olabilir. Bu nedenle dikkatsiz veya özensiz yanıtları ve bu yanıtları veren bireyleri belirlemek önemlidir.

## KAYNAKÇA

- Cattell, R. B., Eber, H. W., & Tatsuoka, M. M. (1970). *Handbook for the Sixteen Personality Factor Questionnaire (16PF)*. Champaign, IL: IPAT.
- Cattell, R.B. (1957) *Personality and motivation structure and measurement*. New York: World Book.
- Costa, P. T., Jr., & McCrae, R. R. (2008). The Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R). In G. J. Boyle, G. Matthews, & D. H. Saklofske (Eds.), *The SAGE handbook of personality theory and assessment*, 2, 179–198. <https://doi.org/10.4135/9781849200479.n9>
- Curran, P. G. (2016). Methods for the detection of carelessly invalid responses in survey data. *Journal of Experimental Social Psychology*, 66, 4–19. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2015.07.006>
- Fronczyk, K. (2014). The identification of random or careless responding in questionnaires: *The example of the NEO-FFI*. *Rzeczni Psychologiczne*, 17(2), 457–473.
- Goldberg, L. R. (1990). An alternative “description of personality”: the big-five factor structure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59(6), 1216–1229. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.59.6.1216>
- Goldberg, L.R., & Kilkowski, J.M. (1985). The prediction of semantic consistency in self descriptions: Characteristics of persons and of terms that affect the consistency of responses to synonym and antonym pairs. *Journal of Personality and Social Psychology*, 48(1), 82–98. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.48.1.82>
- Griffith, R.L., & Peterson, M.H. (Eds.). (2006). *A closer examination of applicant faking behavior*. Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Haertzen, C. A., & Ross, F. E. (1978). Using four chance profiles to estimate carelessness. *Psychological Reports*, 41, 1079-1087.
- Huang, J.L., Bowling, N.A., Liu, M., & Li, Y. (2014). Detecting insufficient effort responding with an infrequency scale: Evaluating validity and participant reactions. *Journal of Business and Psychology*, 30, 299–311. <https://doi.org/10.1007/s10869-014-9357-6>
- Huang, J.L., Curran, P.G., Keeney, J., Poposki, E.M., & DeShon, R.P. (2012). Detecting and deterring insufficient effort responding to surveys. *Journal of Business and Psychology*, 27(1), 99–114. <https://doi.org/10.1007/s10869-011-9231-8>
- Huang, J.L., Liu, M., & Bowling, N.A. (2015). Insufficient effort responding: Examining an insidious confound in survey data. *Journal of Applied Psychology*, 100(3), 828–845. <https://doi.org/10.1037/a0038510>
- Jackson, D.N. (1977). *Jackson vocational interest survey manual*. Port Huron, MI: Research Psychologists Press.
- Johnson, J.A. (2005). Ascertaining the validity of individual protocols from web-based personality inventories. *Journal of Research in Personality*, 39(1), 103–129. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2004.09.009>

- Maesschalck, D., Jouan-Rimbaud, D.L., & Massart, D.L. (2000). The Mahalanobis distance. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 50(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(99\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(99)00047-7)
- Mahalanobis, P.C. (1936). On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Science of India*, 12, 49–55.
- Marjanovic, Z., Holden, R., Struthers, W., Cribbie, R., & Greenglass, E. (2015). The interitem standard deviation (ISD): An index that discriminates between conscientious and random responders. *Personality and Individual Differences*, 84, 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2014.08.021>
- Meade, A.W., & Craig, S.B. (2012). Identifying careless responses in survey data. *Psychological Methods*, 17(3), 437–455. <https://doi.org/10.1037/a0028085>
- Peck, R., & Devore, J.L. (2012). *Statistics: The exploration & analysis of data*. Boston, MA: Brooks/Cole.





## BÖLÜM 6

# BILSTM DERİN ÖĞRENME MODELİ İLE GÜMÜŞ FİYATI TAHMİNİ<sup>1</sup>

İrem Varürer<sup>2</sup>, Özer Özaydın<sup>3</sup>

### 1.GİRİŞ

Günümüzde yapay zeka, hayatımıza getirdiği kolaylıklar sebebiyle hemen hemen her kişinin öğrendiği bir kavram olmuştur. Buna bağlı olarak derin öğrenme ve makine öğrenmesi konuları da her geçen gün daha da popülerlik kazanmaktadır. Yapay zeka teknolojileri yaygınlaştıkça yararlarının yanında zararlarının da tartışması beraberinde gelmektedir. Fakat zararları tartışıla dursun yapay zeka teknolojileri giderek yaşantımızın her noktasında kullanılmaya başlandı bile. Aynı zamanda yapay zekanın hayatımıza sağladığı kolaylıkları da inkar edemeyiz. Tıp, askeri, eğitim, günlük ev hayatı gibi birçok alanda kendine yer bulan yapay zeka teknolojileri yatırımların yönlendirilmesi ve yüksek kazanç sağlamak adına finans alanında da oldukça önemli bir yer tutar.

1 Bu çalışma İrem VARÜRER'in Yüksek Lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

2 Yüksek Lisans Öğrencisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye irem.1997.rvr@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9788-1729

3 Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Eskişehir, Türkiye oozaydin@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6657-1162

İnsanlar geleceklerini garanti altına alabilmek için yatırım yapma yoluna giderler. Eldeki parayı değerlendirmek için birçok yatırım aracı bulunmaktadır. Altın, gümüş, platin gibi kıymetli madenler de yatırım aracı olarak kullanılmaktadır. Kıymetli madenler dendiğinde her ne kadar akıllara ilk gelen altın olsa da altının son zamanlarda yaşadığı fiyat yükselişinden dolayı yatırımcıların alım gücü zorlaşmış ve buna bağlı olarak yeni bir kıymetli maden arayışına girilmiştir. Kıymetli maden denilince altından sonra akla gümüş gelmektedir. Altına göre getirisinin düşük olması sebebiyle yatırım aracı olarak gümüş tercih edilmiyordu. Ancak son zamanlardaki altın fiyatlarının kontrol edilemez yükselişi alternatif olan gümüşün yatırım aracı olarak tercih edilmesine sebep olmuştur. Bununla birlikte gümüş fiyatı tahmini de önemli bir soru haline gelmiştir.

Gümüş tahmini için yazın tarandığında farklı yöntemlerin kullanıldığı gözlenmektedir. Son zamanlarda klasik istatistik öngörü tekniklerine alternatif olarak geliştirilen, yine de temelinde istatistik tekniklerinin kullanıldığı ve gerçek değerlere daha yakın değerler üreten yapay zeka teknikleri ön plana çıkmıştır. Yapay sinir ağları ile başlayan bu teknikler günümüzde derin öğrenme ve makine öğrenmesi teknikleri olarak anılmaktadır.

Günümüzde öngörü modellemesi için birçok derin öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı BILSTM algoritmasının işleyişini gösterip gümüş fiyatlarının BILSTM kullanılarak öngörüsünü yapmaktır. Böylelikle yatırımcılara da daha iyi öngörüler yapabilen modeli tanıtmaktır.

Derin öğrenme modellerinden biri olan BILSTM'nin anlatımına geçmeden önce yapay zeka kavramı ve bileşenlerinden bahsetmek gerekir.

## **2. YAPAY ZEKA**

Yapay zeka kavramı günlük hayatta en çok karşılaşılan kavramlardan birisidir. İnsan beyni halen sırları tam olarak çözülemeyen bir organdır. Örneğin evden çıkarken havaya

bakıp bulutları görünce şemsiye almak istemek insanlar için önceden bilme veya sonradan öğrenilme yolu ile refleks haline gelmiştir. Bu davranış modelinin bir benzerini bilgisayarlarla üretilebilme son zamanların en önemli amaçlarından biri haline gelmiştir. Böylelikle insan gibi karar alabilen robot vb. araçlar hayatın her aşamasında kolaylık sağlayacaktır.

Tanımsal olarak yapay zeka, bilgisayarlar veya bilgisayar destekli makinelerin de yardımıyla, insanlara özgü olan düşünme, anlama, kavrama, öğrenme ve çözüm bulma gibi niteliklerin çeşitli programlar aracılığı ile uygulanması olarak ifade edilebilir (Öztürk ve Şahin, 2018).

Yapay zeka kavramı ilk kez 1955 yılında Dartmouth College’de bir kongrede öne çıkmış ve günümüze kadar teknoloji ile kademeli bir şekilde gelişmiştir. Yapay zeka gün geçtikçe bilgisayarların donanımının güçlenmesi ve veriye ulaşımın kolaylaşması ile daha da popülerlik kazanmıştır.

Yapay zeka kavramı ilk olarak 1955’te ortaya atılsa da kavramın temelleri çok daha önceye dayanmaktadır. 1943 yılında insan beyninin bir benzerinin bilgisayarda modellenmesi ile yapay sinir ağları kavramı ortaya çıkmış, 1952’de makine öğrenmesi kavramı geliştirilmiş ve daha sonra 1957’de derin öğrenme kavramının temelleri atılmıştır (Güney, 2022).

Yapay zeka kavramının ortaya çıkışı yapay sinir ağlarının (YSA) geliştirilmesi ile söz konusu olmuştur. Çalışmanın ana konusu olan derin öğrenmeye geçmeden önce alt yapısını oluşturulan YSA’nın anlaşılması önemlidir.

YSA, insan beyninin çalışma modelinden yola çıkılarak oluşturulmuş yapay zekanın en sık kullanılan öğrenme yöntemlerinden birisidir. Görüntüleri ve sesleri tanıma, tahminleme ve sınıflandırma amacıyla askeri, tıp, haberleşme, üretim vb. birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

İlk YSA yapısı 1943’ te McCulloch ve Pitts tarafından oluşturulmuş olup böylece ilk kez beynin basit nöron yapısına dayalı olarak matematiksel bir model oluşturulmuştur (McCulloch ve Pitts, 1943).

YSA'nın girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 elemanı bulunmaktadır. Basit bir sinir ağında, girdiler ağırlıklarla çarpılarak toplama fonksiyonuna sokulur, ardından yanlılık değeri (bias) eklenerek aktivasyon fonksiyonundan geçirilir ve çıktı değerleri üretilir. Çıktı değerleri ile gerçek çıktılar birbirine yaklaşıncaya kadar ağ güncellenir. Birçok deneme sonucunda üretilen çıktılarla gerçek çıktılar birbirine en yakın olduğu yerde işlem sonlandırılır.

YSA'da farklı ağ yapıları mevcuttur. Nöronların bağlantı yönüne göre;

- İleri Beslemeli (Çok Katmanlı Algılayıcı) YSA
- Geri Beslemeli (Jordan Elman, Geri Beslemeli Pi-Sigma ve Geri Beslemeli Çarpımsal Nöron Modeli) YSA

YSA katman sayısına göre;

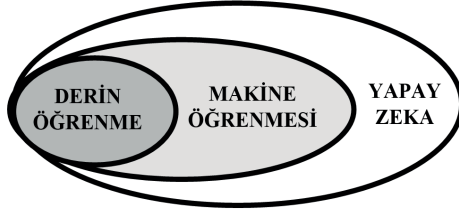
- Tek Katmanlı YSA
- Çok Katmanlı YSA

olarak sınıflandırılabilir.

Günümüzde YSA'nın giderek kullanımının artması makine öğrenmesi ve derin öğrenme kavramlarını ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

### **3. DERİN ÖĞRENME**

Derin öğrenme günümüzde üzerine en çok çalışılan konulardan birisidir. Yapay zekanın ilerlemesi ve etiketli verilere ulaşımın da kolaylaşması ile bu alan üzerine daha da yoğunlaşmıştır. Derin öğrenme çok katmanlı YSA yapısını kullanarak etiketli veriler üzerinden öğrenen yapay zekanın bir alt kolu olduğu söylenebilir (Güney, 2022).



Şekil 1. Yapay zeka ve alt grupları

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme birbirine çok karıştırılan iki kavramdır. Bu kavramlar yukarıdaki şekil 1’de gösterildiği gibi birbirleriyle ilişkilendirilir. Her ne kadar aynı kavramı temsil ettikleri düşünülse de aralarında farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklar Tablo 1’de belirtilmiştir (Gayhardt vd., 2024).

**Tablo 1.** Derin öğrenme ve makine öğrenmesi arasındaki farklar

DERİN ÖĞRENME	MAKİNE ÖĞRENMESİ
Derin öğrenme veri yapısını algoritma üzerinden kendisi öğrenir.	Makine öğrenmesi için girdilerin hazırlanıp algoritmaya verilmesi gerekir.
Kendisi veriyi öğrendiği ve işlediği için genellikle büyük veri setleri ile daha iyi çalışmaktadır.	Veri setinin büyüklüğü derin öğrenmedeki kadar önemli değildir.
Daha büyük veri setleri ile çalıştığı için işlem süresi daha uzun olabilmektedir.	İşlem süresi genellikle derin öğrenmeye göre daha kısadır.
En iyi sonucun alınabilmesi için doğru modelin ve parametrelerin seçimi önemlidir.	Modelin ve parametrelerin seçiminin önemli olmasının yanında girdilerin de iyi hazırlanması gerekir.
Çok fazla matris işlemi yaptığı için üst düzey makinelere bağlıdır. İşlem gücünün (CPU) yetersiz kaldığı durumlarda grafik işlem gücü (GPU) de destek sağlaması gerekmektedir.	Üst düzey makinelere bağlı değildir. Genellikle çok fazla bir hesaplama gücüne ihtiyaç duymaz.

Derin öğrenme ilk kez 1943’teki McCulloch ve Pitts’in çalışması ile başladığı söylenebilir. Fakat 1950’den önce bilgisayarların henüz çok gelişmemiş olması, veri işlemede

karşılaşılan zorluklar, hesaplama ve hafıza yetersizliği gibi sorunlar yüzünden yeterli gelişme sağlanamamıştır.

1965 yılında Ivakhnenko ve Lapa derin öğrenme algoritmalarına benzer olan algoritmalar kullanarak özellik çıkarımı yapmışlardır.

İlk Evrişimli sinir ağı (CNN) ise 1979'da Fukuşima tarafından kullanılmıştır. Bu çalışma bilgisayarların öğrenmesinde görsellerden yararlanan ilk çalışma olmuştur.

1940'larda başlayan yapay zeka kavramı yerini 1980'lerin başı ile makine öğrenmesine, 2010'ların başında ise makine öğrenmesi eksilerini gideren derin öğrenme kavramına bırakmıştır (Güney, 2022).

### **3.1. Derin Öğrenme Modelleri**

Bilgisayar işlemcilerinin hızlanması ve artık problemlerin daha karmaşık ve çok büyük veriler içermesi ile derin öğrenme modellerinin hemen hemen her alanda çok sık kullanıldığı görülmektedir.

Çok katmanlı YSA sayesinde görüntü, ses ve metinlerin de analizini yapabilen, derin öğrenmenin bu analizlere uygun modelleri zaman içerisinde ortaya çıkmıştır.

Derin öğrenme modelleri, farklı yapı ve işlemlere sahip çeşitli sinir ağlarından oluşur. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks-ANN), Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks-CNN), Kapsül Ağ (CN), Yinelemeli Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks-RNN), Uzun Kısa Süreli Hafıza (Long Short Term Memory-LSTM), Üretken Çekişmeli Ağlar (Generative Adversarial Networks-GAN), Sınırlı Boltzmann Makineleri (Restricted Boltzmann Machines-RBM), Derin İnanç Ağları (Deep Belief Network-DBF), Derin Oto-Kodlayıcılar (Deep Autoencoders-DAE), Kapılı Yinelemeli Birimler (Gated Recurrent Units-GRU) vb. derin öğrenme modellerinden birkaçıdır. Ayrıca son zamanlarda söz konusu bazı ağların yapılarına ek olarak modellerin birlikte kullanıldığı (CNNLSTM) veya çift yönlü (Bidirectional)

(BIGRU, BIRNN, BILSTM vb.) derin öğrenme modelleri karşımıza çıkmaktadır.

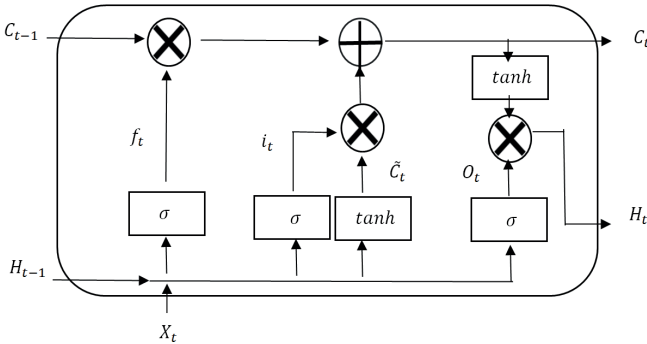
Çalışmada BILSTM kullanılacağından konunun anlaşılabilmesi için öncelikle LSTM modelinin anlatılması, arkasından BILSTM modeline geçilmesi daha uygun olacaktır.

### 3.1.1. Uzun-Kısa Süreli Hafıza (LSTM)

LSTM, RNN modelinden üretilmiş bir modeldir. LSTM uzun süreli bellek mimarisi için hafıza hücreleri adlı gizli birimler kullanır. Söz konusu hücrelerde uzun süre hatırlanması gereken bilgiler depolanır. Depolanan verilerin önemine de yapısındaki kapılar aracılığıyla karar verilir. LSTM'nin unutmaya kapısı, giriş kapısı ve çıkış kapısı olmak üzere üç tane ana kapısı bulunmaktadır. Bu kapılar birlikte çalışarak giren verilerin hangisinin kullanılacağına veya kullanılmayacağına karar verir.

Kapılar giren verileri işlemek için bir aktivasyon fonksiyonu kullanır. Burada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından birisi de sigmoid fonksiyonudur. Sigmoid fonksiyonu, verileri 0 ile 1 arasında tutar ve kullanır. Sigmoid fonksiyonundan sonucu 0 çıkan veriler unutulur ve sonucu 1 olan veriler ise hücre durumunda ilerlemeye devam eder.

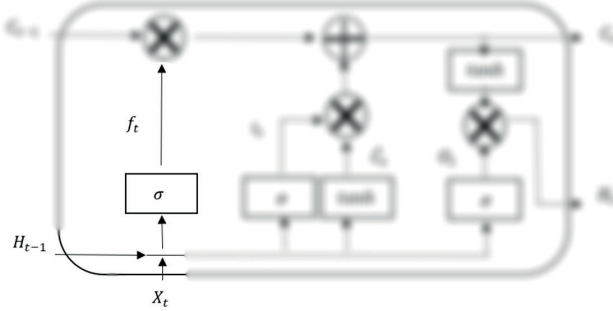
LSTM' in yapısı aşağıdaki şekil 2'de gösterilmiştir (Güney, 2022).



Şekil 2. LSTM mimarisi

Şekil 2’de gösterilen modelin bileşenleri ayrı ayrı aşağıda şekil 3-6’da gösterilmiştir.

**Unutma Kapısı:** Hangi bilginin dikkate alınacağına ve hangi bilginin göz ardı edileceğine karar verir (Şekil 3).



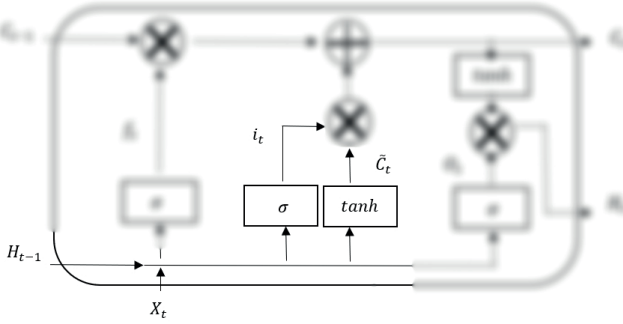
Şekil 3. Unutma kapısı

$$f_t = \sigma(w_f \cdot [H_{t-1}, X_t] + b_f) \quad (1)$$

Yukarıdaki formül ile unutma vektörü hesaplanır. Mevcut giriş değeri ( $X_t$ ) ve bir önceki gizli durumdan gelen değerler ( $H_{t-1}$ ) bir aktivasyon fonksiyonundan ( $\sigma$ ) geçer. Burada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonu genellikle sigmoid fonksiyonudur. Sigmoid fonksiyonu 0 veya 1 değerini üreterek, eski çıktının hangi kısımlarının ( $f_t$ ) gerekli olduğuna karar verir. Söz konusu  $f_t$  değeri daha sonra hücre tarafından noktadan noktaya çarpma işlemi için kullanılır (Güney, 2022).

- **Giriş Kapısı:** Hücre durumunu güncellemek için aşağıdaki formülleri kullanır (Şekil 4).





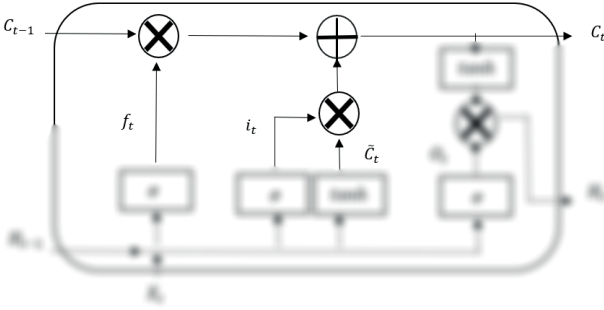
Şekil 4. Giriş Kapısı

$$i_t = \sigma(w_i \cdot [H_{t-1}, X_t] + b_i) \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(w_c \cdot [H_{t-1}, X_t] + b_c) \quad (3)$$

İlk olarak  $X_t$  ve  $H_{t-1}$  ikinci aktivasyon ( $\sigma$ ) fonksiyonuna aktarılır. Değerler 0 veya 1'e dönüştürülür. Daha sonra  $X_t$  ve  $H_{t-1}$  değerleri  $\tanh$  fonksiyonundan geçirilir. Ağ düzenlemek için  $\tanh$  fonksiyonu -1 ile 1 arasındaki tüm olası değerleri içeren bir vektör olan  $\tilde{C}_t$ 'yi oluşturacaktır. Aktivasyon fonksiyonundan elde edilen çıkış değerleri noktadan noktaya çarpım işlemi için hazırdır (Güney, 2022).

- Hücre durumu: Ağ artık unutmaya ve giriş kapısından yeterli bilgiye sahiptir. Bir sonraki adım, yeni durumdaki bilgiyi hücre durumuna göre karar vermek ve depolamaktır (Şekil 5).

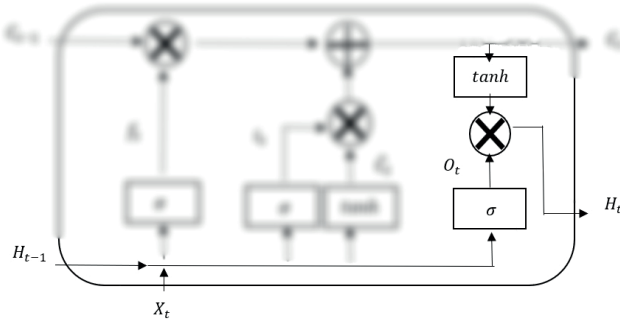


Şekil 5. Hücre Durumu

$$C_t = f_t \times C_{t-1} + i_t \times \tilde{C}_t \quad (4)$$

Önceki hücre durumu ( $C_{t-1}$ ) unutmaya vektörü ( $f_t$ ) ile çarpılır. Sonuç 0 ise değerler hücre durumunda bırakılacaktır. Daha sonra giriş vektörü,  $i_t$  'nin çıkış değerini alır ve ağa yeni bir değer olan  $C_t$  'yi vererek hücre durumunu güncelleyen noktadan noktaya toplama işlemi gerçekleştirilmiş olur (Güney, 2022).

- Çıkış Kapısı: Bu kapı bir sonraki gizli durumun değerini belirler. Bu durum önceki girişler hakkında bilgi içerir (Şekil 6).



Şekil 6. Çıkış Kapısı

$$O_t = \sigma(W_o \cdot [H_{t-1}, X_t] + b_o) \quad (5)$$

$$H_t = O_t \times \tanh(C_t) \quad (6)$$

İlk olarak mevcut durumun ve bir önceki gizli durumun değerleri üçüncü sigmoid fonksiyonundan geçirilir. Daha sonra hücre durumunda üretilen yeni hücre durumu *tanh* fonksiyonundan geçirilir. Bu iki çıkış noktadan noktaya çarpılır. Son değere bağlı olarak ağ, gizli durumun hangi bilgiyi taşıması gerektiğine karar verir. Bu gizli durum tahmin için kullanılır.

Sonuç olarak unutmama kapısı, önceki adımlardan hangi ilgili bilgilerin gerekli olduğunu belirler. Giriş kapısı, mevcut adımdan hangi ilgili bilgilerin eklenebileceğine karar verir ve çıkış kapısı bir sonraki gizli durumu sonuçlandırır (Güney, 2022).

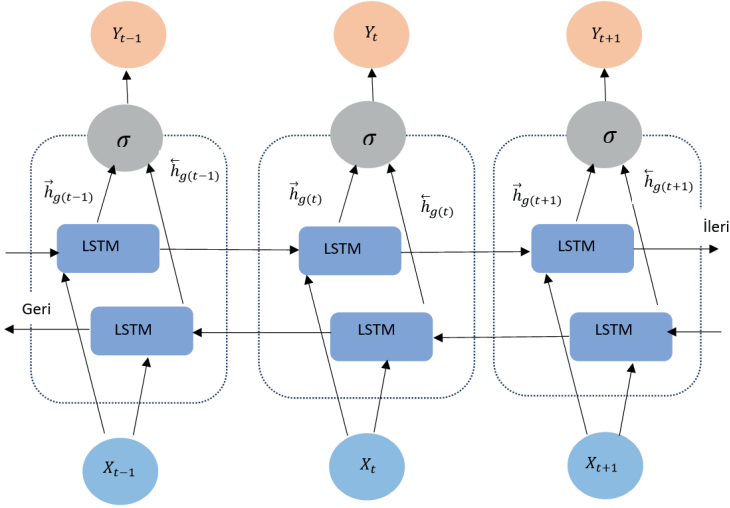
Bu adımlar tamamlandığında LSTM modeli verinin türüne göre regresyon veya sınıflama problemi için çıktı değerleriyle sonucu oluşturur.

### **3.1.2. Uzun Kısa Süreli Belleğe Sahip Çift Yönlü Sinir Ağları (BILSTM)**

LSTM' nin modifiye edilmiş bir versiyonu olduğu söylenebilir. LSTM yalnızca ileri yönlü bir işlem gerçekleştirdiği için geçmiş bilgileri dikkate almaz ve bu durum bilgi kaybına yol açabilir. BILSTM, girdilerin hem geçmiş hem de gelecek zaman bilgilerini kullanabilme özelliğiyle öne çıkar. BILSTM, verilerin geçmiş zaman bilgisini etkin bir şekilde işlemek amacıyla özel bir yapı kullanmaktadır.

BILSTM, biri veriyi ileri yönde, diğeri ise geri yönde işlemek üzere iki LSTM katmanından oluşan bir modeldir. Bu yapı sayesinde veriler her iki yönde işlenir, böylece model veriler arasındaki ilişkileri daha iyi anlamlandırabilir. Bu nedenle BILSTM, doğal dil işleme (NLP) ve zaman serisi modellemesinde oldukça işlevsel bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

Aşağıdaki şekil 7’de BILSTM’ nin yapısı gösterilmiştir. Şekildeki  $X_{t-1}, X_t, X_{t+1}$  sırasıyla t-1, t ve t+1 zaman adımlarındaki giriş verisidir.  $\vec{h}_{g(t-1)}, \vec{h}_{g(t)}, \vec{h}_{g(t+1)}$  zamanda ileri durumu gösterirken  $\overleftarrow{h}_{g(t-1)}, \overleftarrow{h}_{g(t)}, \overleftarrow{h}_{g(t+1)}$  zamanda geri durumu gösterir. Şekilde  $\sigma$  aktivasyon fonksiyonunu ve  $Y_{t-1}, Y_t, Y_{t+1}$  simgeleri ise t-1, t ve t+1 zamanının çıkış değerleridir (Karataş, 2020).



Şekil 7. Arka arkaya 3 kere katlanmış BILSTM mimarisi

### 3.2. Başarı Ölçüm Kriterleri

Amaca uygun belirlenen ağın başarısının değerlendirilmesi için kullanılan belirli başarı ölçüm kriterleri bulunmaktadır. Bu kriterleri, sınıflandırma kriterleri ve regresyon kriterleri olarak iki grupta toplamak mümkündür.

#### 3.2.1. Sınıflandırma Başarı Kriterleri

Bir sınıflandırma için oluşturulan modelin ne kadar başarılı olduğunun belirlenmesi için doğruluk, hassasiyet, keskinlik ve F1 skor değerlerine bakılabilir. Söz konusu değerlerin en yüksek olduğu model en başarılı model olarak değerlendirilebilir. Bu başarı kriterlerinin hesaplanmasında kullanılan değerler Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Karşıtlık Matrisi

	Öngörülen Sınıf	
Gerçek Sınıf	Gerçek Pozitif (TP)	Sahte Negatif (FN)
	Sahte Pozitif (FP)	Gerçek Negatif (TN)

- Doğruluk (Accuracy): Test verisinin eğitim sonunda doğru tahminler ile oranlanmasıdır. Veri kümesi dengeli ise iyi çalışır aksi halde yetersiz gelebilir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP / TN}{TP + TN + FP + FN}$$

- Duyarlılık (Recall): Bu formül, modelin pozitif olarak sınıflandırması gereken örneklerin ne kadarını doğru bir şekilde pozitif sınıfa atadığını ölçer. Dolayısıyla duyarlılık, yanlış negatifleri minimize etmeye odaklanır.

$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- Keskinlik (Precision): Bu kriter, modelin pozitif olarak sınıflandırdığı örneklerin ne kadarının gerçekten pozitif olduğunu hesaplar.

$$\text{Keskinlik} = \frac{TP}{TP + FP}$$

F1 Skor (F1 Score): Bu değer keskinlik ve hassasiyet değerlerinin harmonik ortalaması olduğu söylenebilir.

$$\text{F1 Skor} = \frac{2 \times (\text{Keskinlik} \times \text{Hassasiyet})}{(\text{Keskinlik} + \text{Hassasiyet})}$$

Sınıflandırma başarı kriterlerinin 1'e yaklaşması kullanılan modelin iyi olduğunun bir göstergesidir.

### 3.2.2. Regresyon Başarı Kriterleri

Bir modelin iyi sonuç verip vermediğinin belirlenmesinde aşağıdaki başarı kriterleri kullanılır.

$$\text{R-Kare: } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - t)^2}$$

$$\text{Hata Kareler Ortalaması (MSE): } MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2$$

Hata Kareler Ortalamasının Kökü (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}$$

Hataların Mutlak Yüzde Ortalaması (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{N} \left( \sum \left[ \frac{t_i - td_i}{t_i} \right] * 100 \right)$$

$$\text{Hataların Mutlak Ortalaması (MAE): } MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - x_i|}{N}$$

Yukarıda formülleri verilen başarı kriterlerinden R-Kare'nin 1'e yakın olması diğerlerinin ise sıfıra yakın olması modelin başarısının bir göstergesidir (Üntez, 2022).

## 4. BILSTM KULLANILARAK GÜMÜŞ FİYATI TAHMİNİ

İnsanlar, gelecek kaygılarını azaltabilmek ve gelecekte daha iyi bir yaşam koşulları sağlayabilmek için yatırım yapmayı tercih etmektedirler. Halk arasında en çok tercih edilen ve güvenilen yatırım araçlarının başında gelenlerden biri de

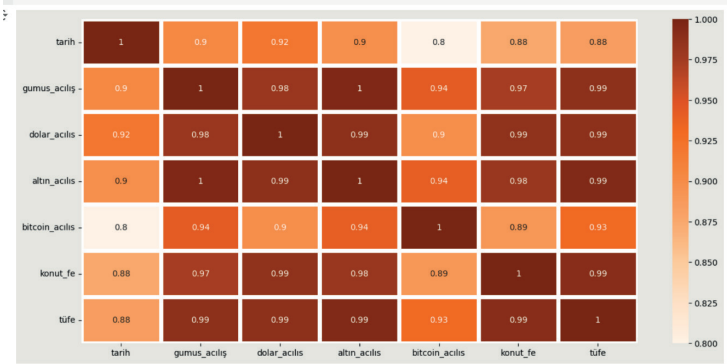
kıymetli madenlerdir. Kıymetli madenler dendiğinde ilk akla gelenler altın, gümüş ve platin gibi madenlerdir.

Her ne kadar kıymetli madenler halk arasında tercih edilse de beraberinde bazı yatırım zorluklarını da getirmektedir. Özellikle altın bu yatırım tercihlerinin başında gelse de gün be gün artan altın fiyatları yatırımcının alım yapmasını zorlaştırmaktadır. Bu sebepten dolayı yatırımcılar alternatif arayışına girmiştir. Alternatif kıymetli madenlerin başında gelenlerden birisi de gümüşdür. Geçmişten günümüze kadar geçen süreçte gümüş insanlar arasında gerek kullanım aracı olarak gerek yatırım aracı olarak kendine her zaman bir yer bulmuştur.

Gümüşe yatırım yapmanın birkaç önemli artışı bulunmaktadır. Gümüş de tıpkı diğer kıymetli madenler gibi ekonomideki değişimlerden etkilenmektedir. Özellikle enflasyon dönemlerinde tıpkı diğer kıymetli madenler gibi gümüşün de değer kazandığı görülmektedir. Enerji, sağlık ve teknolojik alanlar başta olmak üzere sanayide de gümüş çok kullanılan bir kıymetli madendir. Aynı zamanda yatırımcının yatırımını çeşitlendirip portföyünün riskini azaltması için iyi bir alternatif yatırım aracı olarak görülmektedir.

Bu çalışma için gümüş paritesinin belirli zaman aralığındaki açılış, en yüksek değer kapanış gibi değerleri alınmıştır. Bu değerler arasında gümüş fiyatını en iyi şekilde temsil edeceği düşünülen açılış değerinin tahminleme için kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışmada 01.11.2017 ile 30.09.2024 tarihleri arasındaki gümüş fiyatı açılış değerleri kullanılmıştır. Gümüş verilerine ek olarak gümüş fiyatlarına etkisi olduğu düşünülen dolar kuru açılış fiyatı (TL), tüfe, konut fiyatı endeksi, gram altın fiyatı (TL) ve bitcoin fiyatı (TL) bağımsız değişkenler olarak modelde kullanılmıştır. Bu kararın doğruluğundan emin olmak için bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle korelasyonuna ısı haritası metodu ile bakılmıştır.



Şekil 8. Korelasyon değerleri

Yukarıdaki şekil 8'deki ısı haritasında da görülebileceği üzere modele dahil edilen bağımsız değişkenlerin gümüşün değerleri ile pozitif yönde çok güçlü korelasyona sahip oldukları söylenebilir.

Bağımsız değişkenlerde çoklu bağıntı olmaması, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal ilişki olması, homoskedastisite, artıkların normal dağılıma uygun ve otokorelasyonsuz olması gibi varsayımlar, klasik istatistiksel yöntemlerin tahmin sonuçlarının anlamlılığını destekler ve tutarlı doğru sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunur. Ancak, son yıllarda yaygınlaşan derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, veri analizi ve tahmin süreçlerinde bu varsayımların geçerliliğine gerek duymaksızın başarılı sonuçlar elde edebilmektedir. Derin öğrenme modelleri, çok katman yapıları ve güçlü parametrik kapasiteleri sayesinde büyük veri setleri üzerinde daha esnek ve esas itibarıyla varsayımsız bir yapı sergiler. Doğrusal ilişkiler varsayımından bağımsız çalışmaları, durağan olmayan verilerle işlem yapabilmeleri, hataların dağılımına duyarlı olmaları gibi özellikler, derin öğrenme yöntemlerini klasik yaklaşımlardan ayırır. Bu nedenle, derin öğrenme algoritmalarının performansları klasik istatistiksel varsayımlara bağlı kalmaksızın sağlanır; bu durum özellikle çok boyutlu, karmaşık ve doğrusal olmayan verilerin analizinde



derin öğrenme tekniklerini klasik yöntemlere kıyasla avantajlı hale getirmektedir.

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı klasik istatistiksel yöntemler yerine bahsi geçen bağımsız değişkenler de dahil edilerek gümüş fiyatı tahminlemesi için derin öğrenme içerisinden BILSTM modeli kullanılmıştır. Ayrıca söz konusu modelin algoritması için Phyton programının Keras kütüphanesinden yararlanılmıştır.

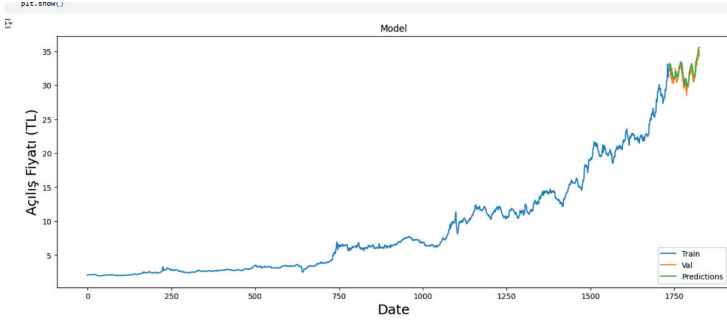
Veri setinin ilk on verisinin normalizasyon yapılmamış hali aşağıdaki şekil 9'da gösterilmiştir.

	tarikh	gumus_acilis	dolar_acilis	altin_acilis	bitcoin_acilis	konut_fe	tufe
0	2017-11-01	2.0335	3.7917	154.652	24550	10.53	325.18
1	2017-11-02	2.1030	3.8122	156.537	26500	10.53	325.18
2	2017-11-03	2.0961	3.7973	156.112	28492	10.53	325.18
3	2017-11-05	2.1061	3.8680	158.760	29410	10.53	325.18
4	2017-11-06	2.1059	3.8825	158.624	29860	10.53	325.18
5	2017-11-07	2.1160	3.8278	157.595	29002	10.53	325.18
6	2017-11-08	2.1239	3.8851	159.596	28606	10.53	325.18
7	2017-11-09	2.1196	3.8677	159.335	29394	10.53	325.18
8	2017-11-10	2.1139	3.8612	159.828	28685	10.53	325.18
9	2017-11-12	2.0991	3.8602	158.407	25320	10.53	325.18

Şekil 9. Veri setinin ilk 10 verisi

BILSTM modelinde, batch size (eğitim sırasında bir kere de kullanılan veri sayısı) değeri 32, epochs (döngü sayısı) değeri de 25 olarak belirlenmiş ve algoritma 10 kez çalıştırılmıştır. Modelin tahminleme performansını arttırmak amacıyla, veriler Min-Max ölçeklemesi çerçevesinde normalize edilerek 0 ile 1 arasına dönüştürülmüş ve bu şekilde tahminleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Modelin başarısını değerlendirmek için başarı metriği olarak RMSE seçilmiştir. Ayrıca, gümüş fiyat tahminlemesi son 10 gün üzerinden yapılmış ve gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Tahminlemenin 10 gün üzerinden yapılmasının sebebi, genellikle 10'u aşan tahminlerde başarı oranının düşme eğiliminde olmasıdır.

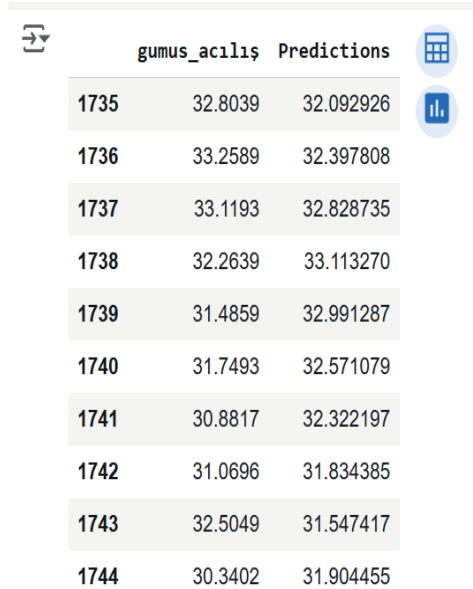


**Şekil 10.** Gümüş açılış fiyatları BILSTM tahmini grafiği

Yukarıdaki şekil 10'da da görüldüğü gibi BILSTM modeli gerçek değerlere oldukça yakın bir tahminleme yapmıştır. Şekildeki mavi çizgi, eğitim veri setini temsil etmekte ve gümüş fiyatlarının seyrini açık bir şekilde göstermektedir. Grafik incelendiğinde, fiyatların düşük bir düzeyden başlayıp ortaldan itibaren istikrarlı bir şekilde yükselişe geçtiği gözlemlenmektedir. Grafiğin sonunda yer alan yeşil çizgi, modelin tahmin ettiği değerleri, turuncu çizgi ise gerçek değerleri temsil etmektedir. Modelin, gerçek gümüş verilerindeki son dönemlerde görülen artış trendini yakalayabildiği ve buna göre tahminler üretebildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, modelin başarılı bir tahminleme performansı sergilediğın bir göstergesidir. Bitcoin bağımsız değişkeni modelin tahminleme performansını 2024 yılındaki aşırı dalgalanmaları ile etkilediğini söyleyebilmek mümkündür.

Tahminlemenin bir diğer önemli yönü, ani fiyat iniş çıkışlarını da belli bir düzeyde doğru bir şekilde yakalayabilmesidir. Bu, kısa vadede yapılacak yatırım tahminleri açısından oldukça kritik bir özelliktir.

Grafikteki tahmin ve gerçek değerlerin yakınlığından dolayı değerlerine aşağıdaki şekil 11'de değerler gösterilmiştir.



	gumus_acılış	Predictions
1735	32.8039	32.092926
1736	33.2589	32.397808
1737	33.1193	32.828735
1738	32.2639	33.113270
1739	31.4859	32.991287
1740	31.7493	32.571079
1741	30.8817	32.322197
1742	31.0696	31.834385
1743	32.5049	31.547417
1744	30.3402	31.904455

**Şekil 11.** BILSTM modelinin gümüş fiyatı için yaptığı tahmin değerleri

Yukarıdaki şekil 11'deki veriler gümüşün tahmin modelinin son 10 verisini göstermektedir. Sol taraftaki sütun gümüş fiyatının açılış değerlerini içerirken, sağ taraftaki sütun gümüşün BILSTM modelde tahminlenmiş değerleridir. Yukarıdaki şekil 11'de görüldüğü üzere model kimi tahminlerde küçük sapmalarla gerçek değerlere yakın değerler ön görse de nadir de olsa bazı değerlerde büyük sapmalarla tahmin edebilmektedir. Tüm tahminlere bakıldığında genel olarak modelin tutarlı tahminler yaptığı görülmektedir.

Denemeler sonucunda gümüş fiyatları tahminlemesi için oluşturulan en iyi BILSTM modelinin RMSE değeri 0,8391 olarak bulunmuştur. Yukarıdaki şekil 11'deki değerlerden de anlaşılacağı üzere BILSTM modeli bu RMSE değeri ile gerçek değerlere oldukça yakın bir şekilde iyi bir tahminleme yapabirmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Finans alanında bilgi teknolojileri ve bunların başında gelen derin öğrenmenin varlığı önemli bir yer tutmaktadır. Yatırımcılarına daha yüksek kazanç sağlamak isteyen araçlar için derin öğrenme modellerinin performansı kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, altından sonra yatırım aracı olarak en çok tercih edilen kıymetli madenlerden birisi olan gümüş için fiyat tahminleme modeli oluşturulmuştur. Kasım 2017 ile Eylül 2024 tarihleri arasındaki günlük gümüş açılış fiyat verileri kullanılarak BILSTM modeli seçilmiş ve tahminlemesi gerçekleştirilmiştir.

BILSTM modeli, verilerin çift yönlü işlenmesi ve buna bağlı olarak veri kaybının azaltılması sebebiyle özellikle finans gibi karmaşık verilerin söz konusu olduğu alanlarda oldukça iyi çalışan modellerden biri olduğu bu çalışmada ortaya konmuştur.

Günlük gümüş fiyatı değerlerinin grafiğine bakıldığında özellikle 2023 yılının son dönemi itibari ile artış trendi dikkat çekmektedir. Bu artış trendinin uzun vadede 2024 yılı itibari ile devam ettiği görülebilmektedir. Gümüş fiyatları gibi iniş çıkışları çok olan veri setlerinde tahminlemenin günlük gümüş fiyatları üzerinden yapılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir.

2024 yılının başlarında gümüş fiyatları daha düşük bir seyir izlemiştir. Bu düşüklüğün bir sebebi genel olarak dünya çapındaki piyasalardaki belirsizliktir. Faiz oranlarının yüksek olması genel olarak değerli madenlerde bir gerginlik yaratmış olsa da yatırımcıların enflasyonun yönünü öngörememesi gümüş gibi güvenli yatırım araçları için kısa vadeli artışları tetiklediği gözlemlenmiştir. Özellikle doların da yüksek seyrine devam etmesi bu düşüklüğün bir diğer sebeplerindendir. Fakat endüstri, elektronik ve yenilenebilir enerji başta olmak üzere sanayiden gelen taleplerle 2024'ün ilk çeyreğinden sonra gümüş fiyatlarında hareketlenmelerin başladığı söylenebilir.

2024 yılının ikinci yarısı itibari ile enflasyonda görülen düşüş gümüş fiyatlarının artışında rol oynamıştır. Özellikle bu dönemde jeopolitik gerilimlerin de artmasıyla birlikte yatırımcıların gümüşe taleplerinin arttırdığı söylenebilir. Bu jeopolitik gerilimler bu dönemde kısa vadede dalgalanmalara yol açmıştır.

2024'ün son çeyreğinde de gümüşün fiyatındaki artışın uzun vadede devam etmesi beklenmektedir. Fakat ani gelişebilecek ekonomik durumlar ve ölçülemeyen değişkenler gümüş fiyatları üzerinde değişikliğe sebep olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Gümüş fiyatlarının değişiminde ölçülebilir ve ölçülemeyen birçok faktör rol oynamaktadır. Gümüşün sadece bu zamana kadarki fiyat artışı göz önünde bulundurularak ilerisi için bir tahmin yapmak doğru sonuçlar vermeyecektir. Bu çalışmadaki gibi karmaşık veriler üzerinden iyi modellerle doğru tahminleme yapılabilmesi yatırımcılar için önem arz etmektedir. Bu sebeple BILSTM gibi modellerin daha da iyi tahminleme yapabilecek şekilde geliştirilip iyileştirilmesi ve BILSTM'den çok daha iyi tahminleme yapabilecek modellerin ortaya çıkarılması günümüzde çok daha önem kazanmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Bagrecha, C., Singh, K., Sharma, G., & Saranya, P. B. (2024). Forecasting silver prices: a univariate ARIMA approach and a proposed model for future direction. *Mineral Economics*.
- Bozkurt, B. (2021, Eylül 30). *CNN (Convolutional Neural Networks) Nedir?* Medium: <https://bartubozkurt35.medium.com/cnn-convolutional-neural-networks-nedir-a5bafc4a82a1> adresinden alındı
- Çınar, U. K. (2018, Ağustos 13). *Yapay Sinir Ağları ve R Programıyla Uygulama*. Veri Bİlimi Okulu: <https://www.veribilimiokulu.com/yapay-sinir-aglari/> adresinden alındı
- Çoban, A., & Özyurt, F. (2022). Kapsül Ağları ile Yüz Verilerinin Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 176-183.
- Deveci, D. (2013, Eylül). Predicting gold and silver spot price in Turkey. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Elmas, B., & Polat, M. (2013). Gümüş fiyatları ve dow jones endeksinin altın fiyatlarına etkisi üzerine eşbütünlük ve nedensellik analizi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 33-48.
- Gayhardt, L., Garimella, A., Salgado, S., Gilley, S., Franks, L., Brizi, M., . . . Lu, P. (2024, 01 19). *Deep learning vs. machine learning in Azure Machine Learning*. Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/concept-deep-learning-vs-machine-learning?view=azureml-api-2> adresinden alındı
- Goel, S., Saxena, M., Sarangi, P. K., & Rani, L. (2022). Gold and silver price prediction using hybrid machine learning models. *Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)* (s. 390-395). Punjab, Hindistan: Chitkara University.
- Gono, D. N., Napitupulu, H., & Firdaniza. (2023). Silver Price Forecasting Using Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Method. *Mathematics*, 11, 3813.
- Güney, E. N. (2022, Mart). Derin öğrenmede istatistiksel yöntemlerle hisse senedi fiyatı öngörüsü. *Yüksek Lisans Tezi*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Karakuş, B. A. (2018, Mart 5). *Üretici Çekişmeli Ağlar (Generative Adversarial Networks) ile Yeni Yüz Görüntüleri Üretme*. Büyük Veri ve Yapay Zeka Laboratuvarı: <http://buyukveri.firat.edu.tr/2018/03/05/uretilci-cekismeli-aglar-generative-adverserial-networks-ile-yeni-yuz-goruntuleri-uretme/> adresinden alındı
- Karataş, G. (2020, Mayıs). Derin öğrenme tabanlı saldırı tespit sistemi. *Doktora Tezi*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 115-133.
- Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık.
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış. *Takvim-i Vekayi*, 25-36.

- Sadorsky, P. (2021, Nisan). Predicting gold and silver price direction using tree-based classifiers. *Journal of Risk and Financial Management*, s. 198-219.
- Shokria, B. J., Dehghani, H., & Shamsi, R. (2020, Haziran). Predicting silver price by applying a coupled multiple linear regression (MLR) and imperialist competitive algorithm (ICA). *Metaheuristic Computing and Applications*, s. Vol 1, No.1.
- Taşağal, K. (2019, Temmuz). Çevrim içi ortamlarda yapılan sahte kullanıcı yorumlarının tespitinde derin öğrenme kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*. Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Üntez, A. (2022, Ocak). Gümüş/ons paritesi üzerine derin öğrenme ile finansal tahmin modellemesi geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, H., Dai, B., Li, X., Yu, N., & Wang, J. (2023). A Novel Hybrid Model of CNN-SA-NGU for Silver Closing Price Prediction. *Processes*, 11,862.
- Yürük, M. F. (2022). XGBoost tabanlı algoritma ile gümüş fiyatlarının tahmin edilmesi. *10th International Conference on Social Sciences & Humanities*, 227-235.