

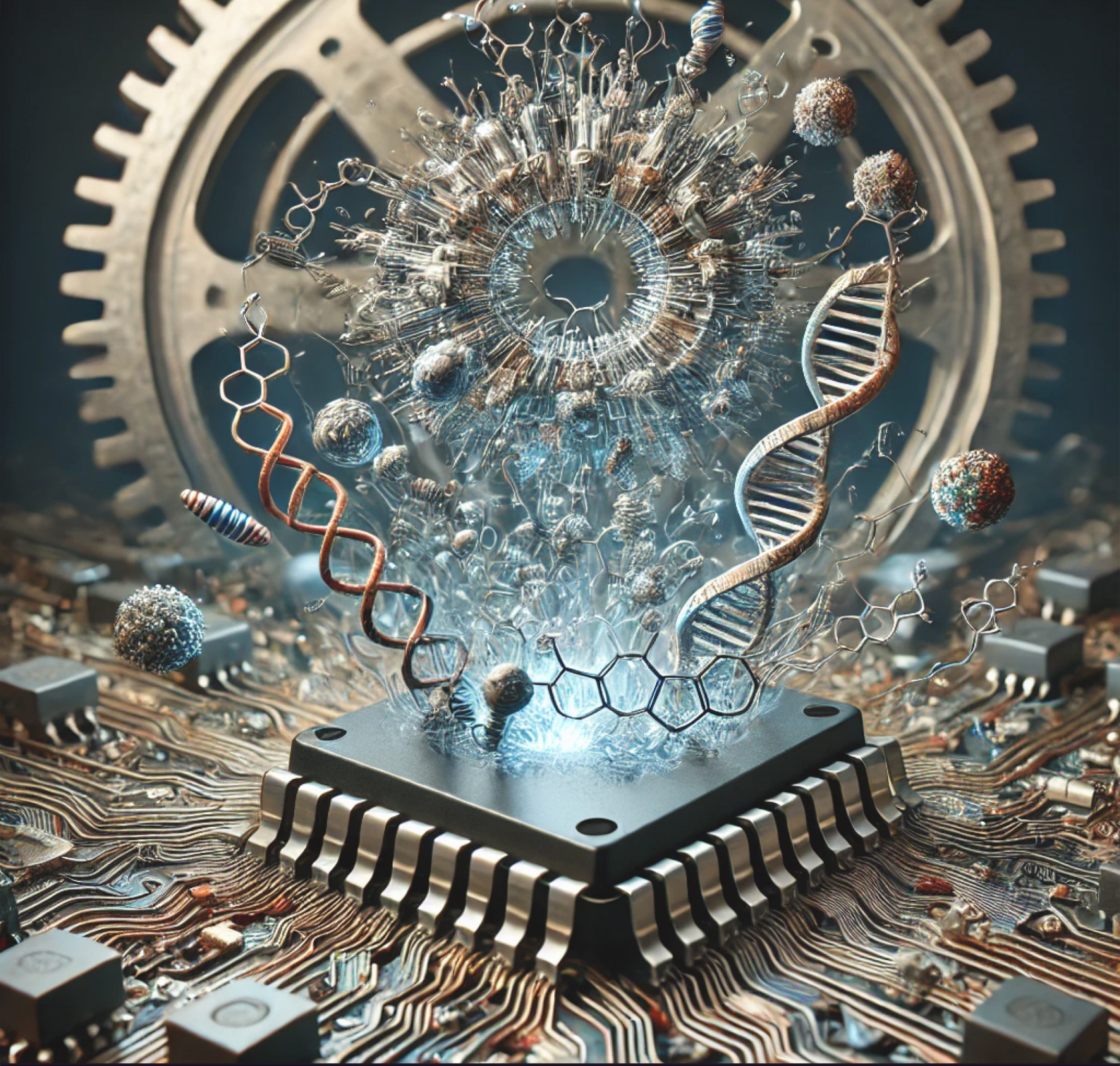
# VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

DERGİSİ



VAN YUZUNCU YIL UNIVERSITY  
JOURNAL OF ENGINEERING FACULTY

e-ISSN: 3023-5286



**Cilt/Volume 2 Sayı/Issue 2 ARALIK 2024**

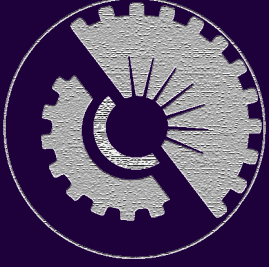
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyymfd>





Editör/Editor

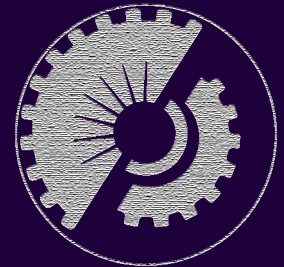
Doç. Dr. Şakir YILMAZ



Yardımcı Editörler/Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Gül ŞEN

Dr. Öğr. Üyesi Burçin YILDIZ



Yayın Kurulu/Editorial Board

Prof. Dr. Demet Banu Koralay, Pamukkale Üniversitesi

Doç. Dr. Alper Hamzadayı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Altuğ Karabey, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. Yağmur Erim Köse, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayten Koç, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Emine Yalman, İskenderun Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Üzmuş, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ogün Ozan Varol, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Şefika Kaya, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Görevlisi Süleyman Osmanlı, Kayseri Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe Özgüven, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. Duygu Uysal, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Bilal Tütüncü, İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Berdan Ulaş, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif Hafızoğlu, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Coşkun Topuz, Hakkâri Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hakan Bayrak, Kafkas Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hatice Erdem, Muş Alparslan Üniversitesi

Dr. Deniz Aydın, Dicle Üniversitesi

Dr. Hüseyin Enes Fil, Erciyes Üniversitesi

Dil Editörleri/Language Editors

Dr. Öğr. Üyesi Gül Şen, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Aytaç Aykaç, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Mizanpaj Editörleri/Layout Editors

Arş. Gör. Mehmet Özçelik, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

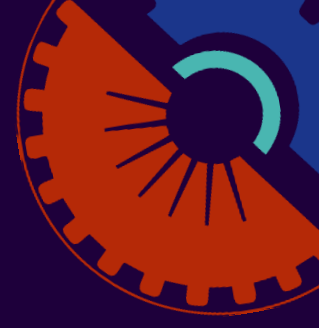
Arş. Gör. Muhammed Coşkun Irmak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Sekreter/Secretary

Dr. Öğr. Üyesi İshak Parlar, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Teknik Editör/Technical Editor

Arş. Gör. Muhammed Coşkun Irmak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ  
VAN YUZUNCU YIL UNIVERSITY JOURNAL OF ENGINEERING FACULTY

e-ISSN: 3023-5286 • Cilt/Volume: 2 • Sayı/Issue: 2 • ARALIK 2024

İÇERİK/CONTENT

|  |       |
|--|-------|
| <b>Ceyhan Havzası'nın Taşkın Frekans Analizi.</b><br><i>Zaid Adil Abdulsahib AL-QAZZAZ, Yasin PAŞA</i>   | 1-21  |
| <b>CNT Supported Bimetallic Ru-Mo Catalyst for the Detection of L-Histidine.</b><br><i>Omrüye OZOK ARICI, Hilal KIVRAK, Aykut CAGLAR, Arif KIVRAK</i>                        | 22-30 |
| <b>Genleştirilmiş Perlit ve Poliüretan Atık Agregaların Hafif Betonların Mekanik Davranış ve Geçirimsizlik Özelliklerine Etkileri.</b><br><i>Fatih Özalp, Ömer Fatih Sak</i> | 31-45 |
| <b>Tesis Yerleşimi Konulu Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi.</b><br><i>Dilara DAMARCI, Doğa KILIÇ, Emel GÜVEN, Yusuf Bera SANLI, Tamer EREN</i>                      | 46-57 |





## Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyuyumfd>



### Ceyhan Havzası'nın Taşkın Frekans Analizi

Zaid Adil Abdulsahib AL-QAZZAZ<sup>a,\*</sup>, Yasin PAŞA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>İnş. Müh. Böl., Müh. ve Mim. Fak., İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6318-1289

<sup>b</sup>İnş. Müh. Böl., Müh. ve Mim. Fak., İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2104-9746

#### ÖZET

Taşkın frekans analizi, nehirlerde belirli tekrarlanan veya potansiyel eşdeğer akış hızlarını elde etmeye yönelik bir yöntemdir. Hidrolik yapılar bu şekilde ekonomik olarak tasarlanır ve değerlendirilir. Bu çalışmada Ceyhan Havzası civarındaki Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) gözlemlenen akışa göre periyodik maksimum akış hızları istatistiksel bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu makalede, çeşitli dönüş aralıklarında için 50, 100, 200 ve 500 yıllık, Normal, GEV ve Pearson aileleri dağılımları kullanarak debileri hesaplanmıştır. Ayrıca normal dağılım (N) en düşük debi değerlerini vermiştir. Ek olarak, lognormal dağılım (LN) ve pearson 3 (P3) dağılımları ile en yüksek debi değerleri hesaplanmıştır. L-moment testi sonucunda, genelleştirilmiş ekstrem değer (GEV) dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir. Ceyhan havzasındaki istasyonların yıllık pik debi değerlerine Kolgomorov-Smirnov (K-S) testi uygulandığında, lognormal 3 (LN3) ile genelleştirilmiştir ekstrem değer (GEV) en uygun dağılım olarak bulunmuştur. Olasılık Çizgisi Korelasyon Çizgisi (PPCC) testi ise normal dağılım (N), pearson 3 (P3) ve ekstrem değer dağılımları en uygun dağılım olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ceyhan Havzası, Taşkın Frekans Analizi, Trend Analizi, Bölgesel Taşkın Analiz

### Flood Frequency Analysis of Ceyhan Basin

Zaid Adil Abdulsahib AL-QAZZAZ<sup>a,\*</sup>, Yasin PAŞA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Dep. of Civil Eng., Faculty of Eng., İstanbul Gelişim University, İstanbul, Turkey, ORCID: 0000-0002-6318-1289

<sup>b</sup>Dep. of Civil Eng., Faculty of Eng., İstanbul Gelişim University, İstanbul, Turkey, ORCID: 0000-0003-2104-9746

#### ABSTRACT

Flood frequency analysis; it is a method for obtaining certain repeated or potential equivalent flow rates in rivers. Hydraulic structures are designed and evaluated economically in this way. In this study, periodic maximum flow rates according to the observed flow of the Flow Observation Stations (AGİ) around the Ceyhan Basin are used as a statistical method. In this article, flow rates were calculated using Normal, GEV and Pearson family distributions for various return intervals of 50, 100, 200 and 500 years. Additionally, normal distribution (N) gave the lowest flow rate values. In addition, the highest flow values were calculated with lognormal distribution (LN) and Pearson 3 (P3) distributions. As a result of the L-moment test, generalized extreme value (GEV) distribution was determined as the most suitable distribution. When the Kolgomorov-Smirnov (K-S) test was applied to the annual peak flow values of the stations in the Ceyhan basin, the lognormal 3 (LN3) and generalized extreme value (GEV) were found to be the most suitable



distributions. The Probability Line Correlation Line (PPCC) test found the normal distribution (N), Pearson 3 (P3) and extreme value distributions to be the most suitable distributions.

**Keywords:** *Ceyhan Basin, Flood Frequency Field, Trend Analysis, Regional Flood Analysis*

## 1.GİRİŞ

Dünya haritası göz önüne getirildiğinde görülen maviliklerin sadece yüzde 2,5'i tatlı sudur. Bu suyun yüzde 70'i buzullar içinde saklanmaktadır. Yeryüzündeki tüm su 5 litrelik bir şişeye konacak olursa, insanların ulaşabileceği temiz su miktarı yalnızca 1 çorba kaşığı olacaktır [1]. Bugün dünyada 2,7 milyar insan, yılın en az bir ayında su kıtlığı olan havzalarında yaşamaktadır. 2050'de dünya nüfusunun % 40'ından fazlası kurak bölgelerde yaşamaları beklenmektedir [2]. Kuraklık yağışların yeterli olmadığı durumda meydana gelen doğal bir afettir. Bunun karşısında şiddetli ve ani yağışların meydana getirdiği taşkınlar da insanlara zarar verebileceğinden doğal afetler arasında yer almaktadır [4].

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen Adana ve çevresindeki 53 yağış algılama istasyonunun yıllık en aşırı yağış değerleri görünmektedir, 18 yıldan uzun bir rekor periyotla, iletim parametrelerini ölçmek için L-moment prosedürü kullanılarak bölgesel tekrarlar araştırması ile ilişkilendirilmiştir. Homojen bölgeleri karakterize etmek için L-momentlere dayalı Liste Dalgalanma Stratejisi kullanılmıştır. Elde edilen homojen bölgelere Genelleştirilmiş Tipik, Genelleştirilmiş Olağanüstü Değer, Genelleştirilmiş Hesaplanmış, Genelleştirilmiş Pareto, Pearson Sıralaması 3 ve Wakeby iletimleri uygulanarak tekrarlar değerleri elde edilmiştir. Nokta konum denklemi olarak, yazıda yaygın olarak kullanılan Orta, Hosking, Gringorten, Hazen ve Cunnane denklemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, Hosking nokta pozisyon denklemini kullanarak l-moment stratejisi ile parametrelerini elde ettiğimiz Genelleştirilmiş Hesaplamalı (GLO) yayılımın, inceleme kapsamında kullandığımız 53 yağış gözlem istasyonunun bilgileriyle uyumlu olduğuna karar verilmiştir.[3].

Taşkın, dünya çapında can ve mal kaybı açısından incelendiğinde sismik sarsıntılardan sonra can ve mal kaybına en fazla neden olan karakteristik afetlerdir. Taşkınlar öngörmek ve bunlara karşı önlem almak için kullanılan en önemli bilgi akarsu akış hızlarıdır. Dalgalanma akış hızları, istatistiksel stratejiler kullanılarak akarsu akış hızlarından hesap olabilmektedir. Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi ülkemizde de akarsu bilgisi açısından yoksul bölgeler bulunmaktadır. Bu aralıklardaki kaselerin akarsuları farklı stratejiler kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, bahsedilen stratejilerden biri olan L-moment stratejisi ile Doğu Karanlık Okyanus Kasesi'ndeki alt havzaların dalgalanma akış hızlarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu nedenle kase içindeki akarsu algılama istasyonlarına bölgesel incelemeler bağlanmış, en makul bölgesel yayılma belirlenmiş ve bu yayılmaya uygun stratejiler kullanılarak farklı tekrarlar periyotlarına sahip dalgalanma akış hızları hesaplanmıştır [5].

Taşkın tekrarı araştırması, su yapıları planı, düzenleme ve dalgalanma kontrol planı içinde son derece önemlidir. Taşkın tekrarı incelemesinin kritik adımlarından biri, bilgi için uygun bir yayılma gösterisini ve parametrelerini değerlendirmektir. Bu düşüncede, olasılık yayılma kapasitelerinin parametrelerini ölçme ve geleneksel en büyük olasılık stratejisi (MLM) ve dakikalar stratejisi (Mother) ile karşılaştırmak için optimizasyon tabanlı DEoptim hesaplaması önerilmiştir. Doğu Karanlık Okyanus Çanağı'nda bulunan 2 istasyonun yıllık en büyük akış bilgileri kullanılmıştır. Dalgalanma tekrarı akışlarını değerlendirmek için Gamma, Weibull, Lognormal, Hesaplanmış ve Tipik olasılık iletimleri kullanılmıştır. Kolmogorov-Smirnov (KS) testi, acımasız kare hatası (MHK), Kling-Gupta etkinlik katsayısı (KGE), acımasız tam hata (OMH), Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE) ve Akaike veri tabanı (AIC) testleri, en uygun olasılık yayılmasını belirlemek için kullanılmıştır. Sonuçlara katılarak, DEoptim stratejisinin, MLM ve MOM yöntemlerine kıyasla olasılık yayılımı çalışma parametrelerini değerlendirmede daha başarılı bir strateji olduğu bulunmuştur [6].

Kuraklık dönemi çoğunlukla yağışın kaydedilen normal seviyelerin altında kaldığı, toprak ve su varlıklarını olumsuz yönde etkileyen bir yer olarak nitelendirilmektedir. Her gün



moo akışı dosyaları çoğunlukla kurak mevsim araştırmaları için kullanmıştır. Bu değerlendirmede, Yeşilirmak çanağında Kale, Sütluçe, Gümeleönü, Artova ve Alpudere Kasabası istasyonlarında bulunan E14A002, E14A014, E14A018, D14A062 ve D14A106 akış algılama istasyonlarına yer veren günlük verileri içeren 7 ve 30 günlük moo akışı bilgileri kullanıldı. 31 yıllık veriler kullanılarak öncelikle akış dönemi çizelgeleri çizildi ve bu çizelgelerden Q90, Q95 ve Q99 akışları incelenerek moo akışları belirlenmektedir. Bu noktada, 7 ve 30 günlük moo akışları için 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekrar akışları değerlendirildi. Yazıda moo akışlarında düzenli olarak ele alınan Tipik, Lognormal ve Gumbel olasılık dağılımları kullanmıştır. En uygun olasılık dağılımına karar vermek için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi yapılmıştır. Tüm dağılımlar %90 ve %95 gerçek merkeziet seviyelerinde defnedilmiştir. Son olarak, bilgiler Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho sürüklenme incelemesine tabi tutuldu ve 7 günlük moo akışları için Sütluçe ve Artova istasyonlarında ölçülebilir derecede dikkate değer bir azalan sürüklenme izlenmiştir.[7].

İnsanlar eskiden günümüze kadar doğal afetler arasında onlara en büyük zararı veren taşkınları meydana getiren farklı bileşenleri anlamaya çalışarak can ve mallarını korumaya çaba gösterdiklerine dair tarihi kanıtlar vardır [9].

Yerel hava değişikliği küresel ölçekte gerçekleşmesine rağmen, sonuçları tipik olarak konumdan konuma değiştirmektedir. Küresel yerel hava alternatif nedenler, hidrolojik sistemi, yani suyun buharlaşma ve yağış yoluyla döngüsünü etkilemek suretiyle bazı yerlerde kuraklıklara neden olmaktadır [10].

Ceyhan ve Seyhan havzaları için bölgesel taşkın frekansı değerlendirmesini yaparak, uygunluk testler sonucunda daha doğru taşkın tahminleri yapacak dağılımlar belirlemiştir. Alanı homojen alanlara ayırmak için Wiltshire kullanılarak geliştirilen çarpıklık katsayısına ve parametre tahmini için moment ve olasılık ağırlıklı momentlerin yaklaşımına dayalı tekniği kullanmıştır. Wakeby dağıtımının genellikle homojen alt bölgeler için mükemmel uyum sağladığı elde etmiştir [11].

Türkiye'deki akarsularda maksimum, orta ve düşük akımlar incelenmiştir. Türkiye'nin 26 nehir havzasında her gün 24 adet şamandıra kaydı 100 ölçüm istasyonu kullanılmaktadır. Bu çalışmada, parametrik bir T testi ve parametrik olmayan Mann-Kendall testi senelik en büyük, ortalama, 1 günlük ve 7 günlük akışlar için kullanılmıştır. Birkaç istasyonun yanı sıra, eğilimin normalde zaman içinde bir düşüş yolunda olduğu tespit edilmiştir [12].

Geleneksel Büyük Menderes ve Küçük Menderes havzalarını sadece bir bölge olarak tanımlamış ve bu yerde toplam kırkbeş Akış Gözlem İstasyonunun (AGİ) verileri incelemiştir. Student-t ve Dalrymple metodunu kullanarak homojen olmayan istasyonlar tanınmıştır [13].

Karun (İRAN) üst Havzası'nda 14 adet AGİ ölçümlerinden yararlanılarak taşkın analizi yapılmıştır. Önce uygunluk testi kullanarak en uygun dağılımları bulmuştur. Buna ek olarak, bu bölgedeki AGİ ölçümlerinin trendi (gidiş) olup olmadığını kontrol etmiştir. Karun Üst Havzasını homojen bölgelere bölerek bölgesel inceleme yapılmıştır. Bu araştırmada, homojen alanlara karar vermek için Wiltshire stratejisi kullanılmıştır. Ayrıca, Mevsimsellik Analizi, göreceli tekrarlama inceleme stratejileriyle uygulanmıştır [14].

Göksu havzasının taşkın frekansı analizini L-moment metodunu kullanarak yapmıştır. Homojen olarak belirlenen on istasyonun senelik en büyük akışlarına Genelleştirilmiş Lojistik, Genelleştirilmiş Uç Değer, Genelleştirilmiş Normal dağılım, Pearson Tip üç, genelleştirilmiş pareto dağılımları uygulamış ve uygun dağılımın bir zamanlar genelleştirilmiş üç değer dağılımı olduğuna karar vermiştir [15].

Bu çalışmada, Ceyhan Havzası'nın uzun süreli AGİ ölçümlerini kullanarak havza için en uygun dağılımı elde edilmiştir. Buna ek olarak, bu bölgede akışların uzun zaman diliminde gidişatının değişip değişmediği incelenmiştir. Çeşitli uygunluk testi yapılarak, bu havzadaki akış ölçümleri için en uygun istatistik dağılımlar belirlenmiştir. Ayrıca çeşitli dönüş aralıklarında taşkın tahminleri yapılarak taşkınların modifikasyonları ve yaygınlık durumları incelenmiştir. Taşkın eskisinden daha yıkıcı hale geldiğini görülmüştür. Bu nedenle mühendisler olarak bizim görevimiz riskleri en aza indirmeye çalışmak olmalıdır. Bu çalışmada, taşkın miktarını hesaplamak ve gelecekte nasıl olabileceğini tahmin etmek için en modern teknikler ve istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Ölçülen sonuçların hem tablolarından hem de harita üzerinden okunabileceği mümkündür. Bu özelliği veren literatürde ilk çalışmadır [16].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu araştırmada, her istasyonun yılın anlık pik debileri üzerinde literatürde önerilen yöntemler uygulanarak incelenmiştir. Bu bölümde kullanılan yöntem verilmiştir.

### 2.1 Verilerin İstatistiksel Analizi

Dağılımın merkezi, merkezin etrafındaki açıklığın boyutları ve dağılımın çarpıklığı parametrelerin belirli değerleri kabul edilmiş gibi görünmemektedir. Çünkü artık tüm toplumda görünmek uygun değildir [17]. Bu durumda, gerçeğe uygun değere en yakın olanı teşvik etmek için faydalı modelden bir tahmin oluşturulmaktadır. Tahminin sonucu olarak elde edilen değerlere istatistik söylenmektedir. İstatistiksel momentler ve L-moment stratejileri ağırlıklı olarak tahmin yöntemlerinde uygulanmaktadır [18].

### 2.2 Taşkınlar İçin Önemli Olasılık Dağılımları

Her olasılık dağılım özelliğinin belirli bir miktarda parametresi sahiptir. Özel metodlar ile kullanışlı örnekten tahmin edilmektedir [19].

### 2.3 Olasılık Dağılımları

İfade etkilerine çok uygun olan olasılık dağılım özelliği, istatistiksel yöntemler kullanılarak kararlaştırılan bilmektedir [20].

Normal dağılım için:

$$X_p = \mu_x + Z_p \sigma_x \quad (1)$$

$Z_p$ : Standart sıradan değişim e.d.f.

Log- normal dağılım için:[21].

$$X_p = \exp(\mu_Y + Z_p \sigma_Y) \quad (2)$$

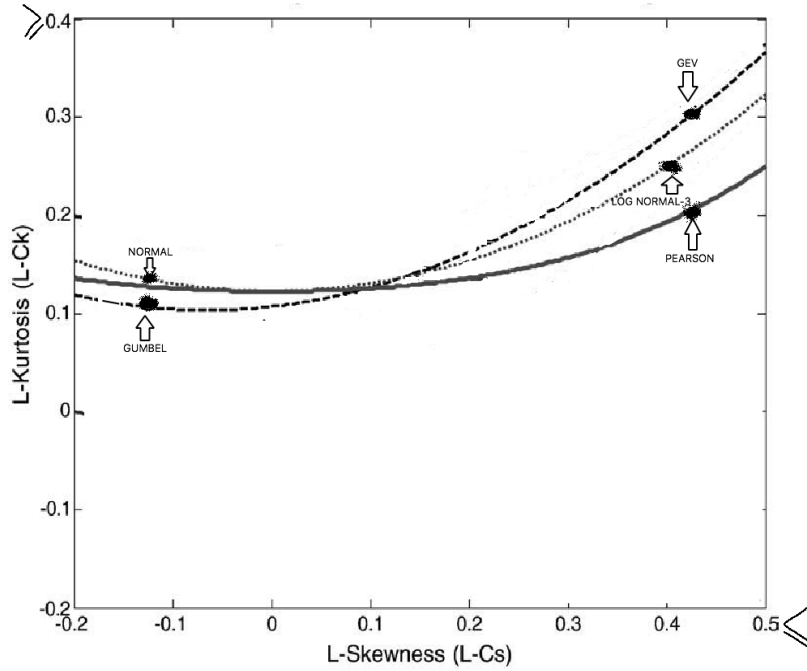
Üç parametrelili Log- normal dağılım için: [22].

$$X = X_0 + \exp(Y) \quad (3)$$

#### 2.3.1 L-moment testi

Momentleri birçok olasılık dağılımı için uygulanmıştır (Şekil 1). İşaretlenen nokta dağılım eğrisine en yakın olan nokta hangisi olursa olsun, bu dağılım uygun olarak belirlenmiştir [23].





Şekil 1. L moment için çizilen diyagramı [8].

### 2.3.2 Kolmogorov smirnov (K-S) testi

Kolmogorov-Smirnov'daki test kayıtları, belirlenmiş bir getirilmiş frekans dağılımının bir terörist dağılımına uygunluğunu test etmek için kullanılanlara bir göz atmaktadır [24].

$$D = \max |F(x_i) - F^*(x_i)| \quad (4)$$

Burada,  $F(x_i)$ ,  $x_i$  ye karşılık gelen seçilen teorik toplamsal dağılım fonksiyonunun ordinatıdır [25].

### 2.3.3 Probability plot correlation coefficient (ppcc) testi

Bu test, ki-kare ve önceki uygulanan (K-S) testlerinden daha avantajlıdır. Başka bir deyişle, boş hipotezde seçilen dağılım toplumun dağılımına göre kesinlikle benzersiz, boş spekülasyonun zamana bağlı olması muhtemeldir [26]. Belirli formül kullanılarak hesaplanmıştır [27].

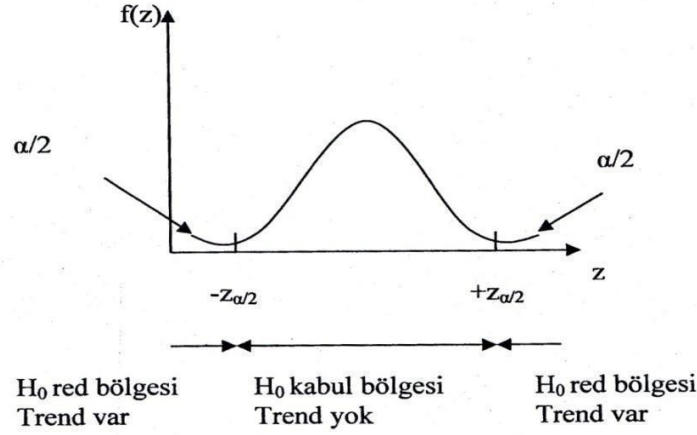
$$r = \frac{n \times \sum y - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \times \sum x^2 - \sum x^2) \times (n \times \sum y^2 - \sum y^2)}} \quad (5)$$

İki değişkenin  $-1$  ile  $+1$  ( $-1 \leq r \leq +1$ ) arasında değişir.  $R = 0$  olduğunda değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmadığı ifade edilmektedir [28].

### 2.4 Gidiş (Trend) Analizi

Gidiş, bir dönem düzenlenmesinde, bir değişkenin gerçekten kalıcı bir artış veya tutarlı bir azaltma gösterdiğini ifade etmektedir (Şekil 2). Trend incelemesi parametrik testler ve parametrik olmayan olgusal testlerle tamamlanmaktadır [29]. T ve F testleri parametrik testlerin örnekleridir ve Sıralı Dönüşüm testi, Mann-Kendall, Ardışık Mann-Kendall testleri parametrik olmayan testler için model olarak verilebilmektedir[30]. Bu testlerden en etkileyici ve en düzenli uygulanan, parametrik olmayan bir test olan Mann-Kendall testidir. Mann-Kendall testi parametrik olmayan bir testtir. Böylelikle bu test, rastgele değişkenin dağılımından bağımsızdır denilebilmektedir. Bir

zaman serisinde trend olup olmadığı 0 hipotezi ile; “H<sub>0</sub> : Trend yok” ile kontrol edilmektedir [31].



Şekil 2. Mann-Kendall için gösteren hipotezleri.

## 2.5 Bölgesel Taşkın Frekansı Analizi

Bir havzadaki tüm istasyonlar benzer iklim koşullarına ve coğrafi vurgulara sahip olmadığından, benzer bir taşkın tekrarı sirkülasyonu seçmek doğru değildir. Kesin ve hassas sonuçlar verecek rekürrens araştırması için, erişilebilir hidrolojik bilgiler yeterince uzun olmalıdır [32]. Bir istasyon öncülüne ilişkin erişilebilir bilgiler genel olarak yeterli değildir. Bölgesel rekürrens incelemesinde önemli olan bir diğer unsur, yerel olarak kabul edilen istasyonların topografik olarak bitişik veya yakın olması için herhangi bir ön koşulun bulunmamasıdır [33].

$$C_v \bar{+} 1,96[C_v^2(1+2C_v^2)/2n]^{0,5} \quad (6)$$

0,05 anlamlılık düzeyinde ve 0 hipotezinin ile çalışmalar yapılmıştır [34].

$$F = \frac{c1^2}{c2^2} \quad (7)$$

Kayıtların dağılımının n1-1, n2-1 serbestlik kademeli F dağılımı olduğu kabul edildiğinden, seçilen gruplama formunun istatistiksel olarak büyük olup olmadığı F dağılım tablosunun kullanılmasıyla araştırılmıştır [35].

$$S = \sum J \frac{(Cvj-Cvj2)^2}{varc_{vj}} \quad (8)$$

## 3. CEYHAN HAVZASINDA TAŞKIN ANALİZİ

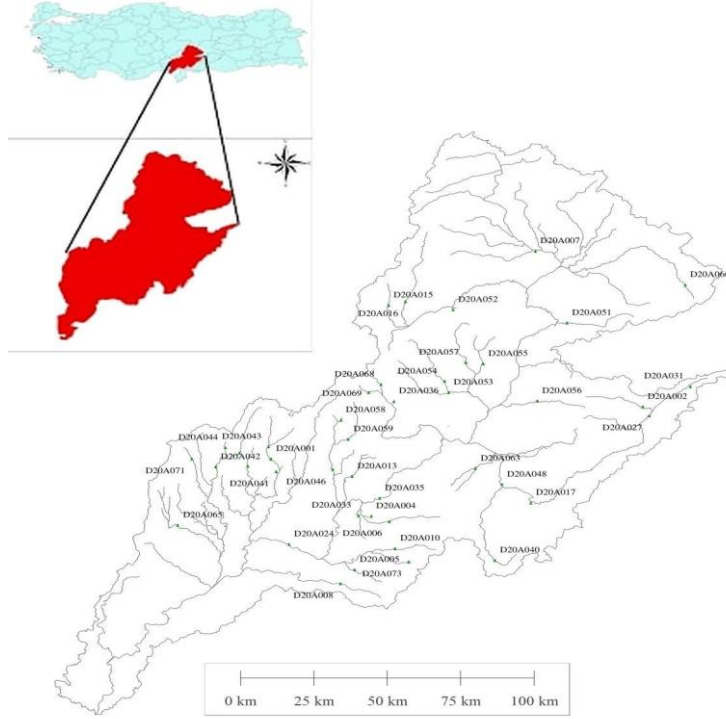
Bu bölümde Ceyhan Havzasında bulunan AGİ lerde ölçülen akım değerleri ve 2. bölümde anlatılan taşkın analizi teknikleri kullanılarak her bir yöntemden elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Bu çalışmada Ceyhan havzasında bulunan 43 AGİ'nin yıllık pik debi değeri çeşitli istatistik testler ile incelenmiştir ve her istasyon, hangi dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bölgesel analiz yöntemi uygulanmıştır.

### 3.1 Uygulama Bölgesi

Ceyhan Havzası Türkiye'nin 25 havzasından biridir (Şekil 3). Türkiye'nin yaklaşık %3,4'ünü kapsayan Ceyhan havzası, 26875 km<sup>2</sup> havza alanına sahiptir. Sarp dağlık arazi ve tam boyutlu alüvyal tabandan oluşmaktadır. Hemen hemen tüm Maraş ve Osmaniye İlleri; Adana İli, Merkez İlçesi'nin Ceyhan ve Yumurtalık ilçeleri ile Kozan ilçelerinin bir bölümü Ceyhan havzası



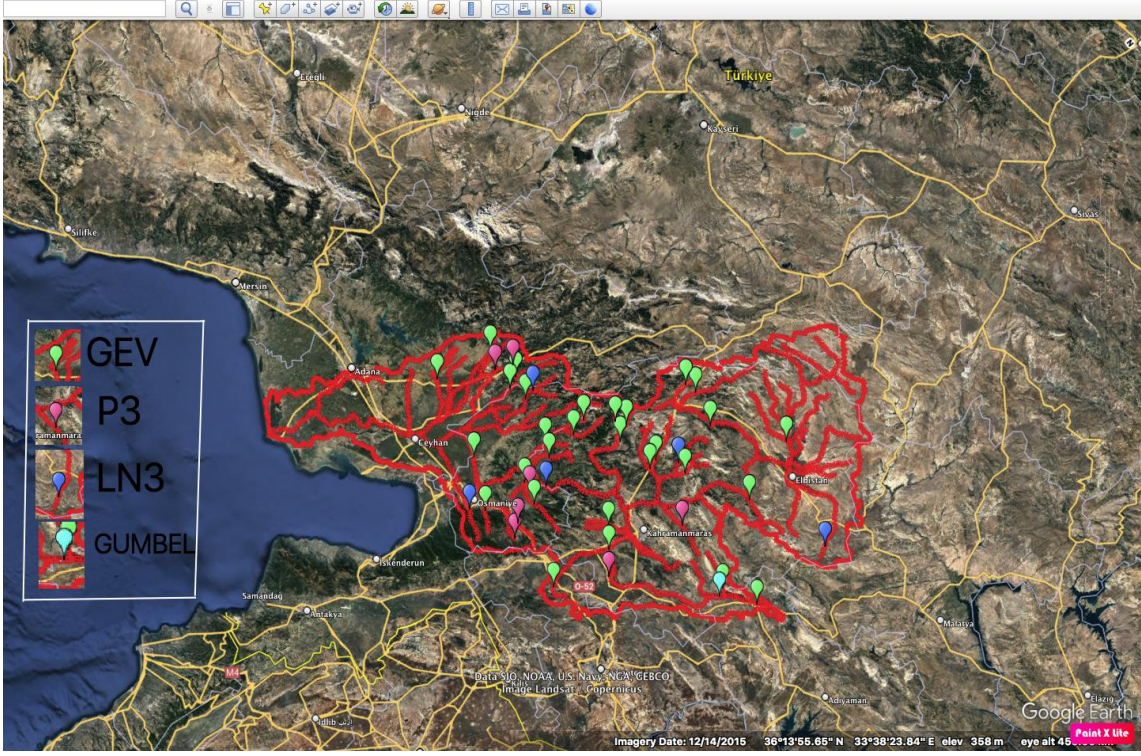
sınırları içinde yer almaktadır. Çemrengeç ve Okkayası kuzeyden Menzelet Barajına doğru akarken batıdan Fırnız ve Tekir Deresi, doğudan Bertiz deresi birleşmektedir. Güneye doğru akan Ceyhan nehri, Sır baraj gölü'ne dökülmektedir. Ceyhan nehri'nin tam uzunluğu 425 km ve ortalama debisi  $82.9 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Yıllık ortalama akış hacmi yaklaşık  $7,18 \text{ km}^3$  ve havza verimi  $10,7 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{km}^2$ 'dir (Adana İÇER, 2008). Bu havzada 82 Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmaktadır ve Ceyhan havzası'nın 43 istasyonu (Şekil 3) barajlardan etkilenmedikleri ve uzun kayıtlı yıllara sahiplerdir (10 – 53 yıl).



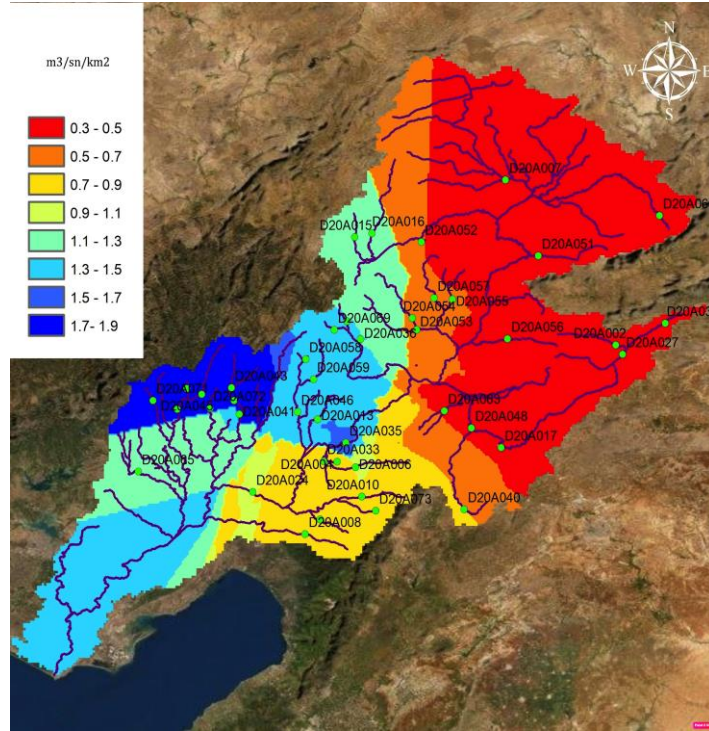
Şekil 3. Ceyhan havzası konumu ve AGİ'lerin yerleşim haritası

### 3.2 Uygulamalar istatistiksel analizi

Bu çalışmada seçilen 43 İstasyonun normal, lognormal, dağılımlar kullanarak istatistiksel analiz yapılmıştır. Şekil 4 ve Tablo 1'de gösterildiği gibi uygulanan dağılımlarda normal dağılımı en düşük debi değeri sunmaktadır. İstasyon verilerinin analizinde, değişim katsayısı arttıkça, bir dönüş aralığında ait taşkın debilerinin oranlarının tahminleri çok değişmektedir. İstatistik analiz sonucu akışların alansal dağılımını göstermek için her istasyonun 50 yıllık dönüş aralıklı debileri (normal dağılım) havza alanına bölerek istasyonların özgül debileri elde edilmiştir (Şekil 4). Şekil 4 incelendiğinde, Ceyhan havzasının batısında bulunan istasyonlar yüksek özgül debi değerine sahip ve kuzey doğu kesimler ise en az özgül debi değerine sahiptir. Bununla birlikte, 1 ile  $2.5 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{km}^2$  arasında olan bazı kısımlar hariç, diğer tüm bölgeler  $1 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{km}^2$ 'den daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. İstatistiksel testi sonucu uygun dağılımların yayılım haritası (Google Earth)



Şekil 5. Ceyhan havzası 50 yıllık dönüş aralıklı havza özgül debi dağılımı

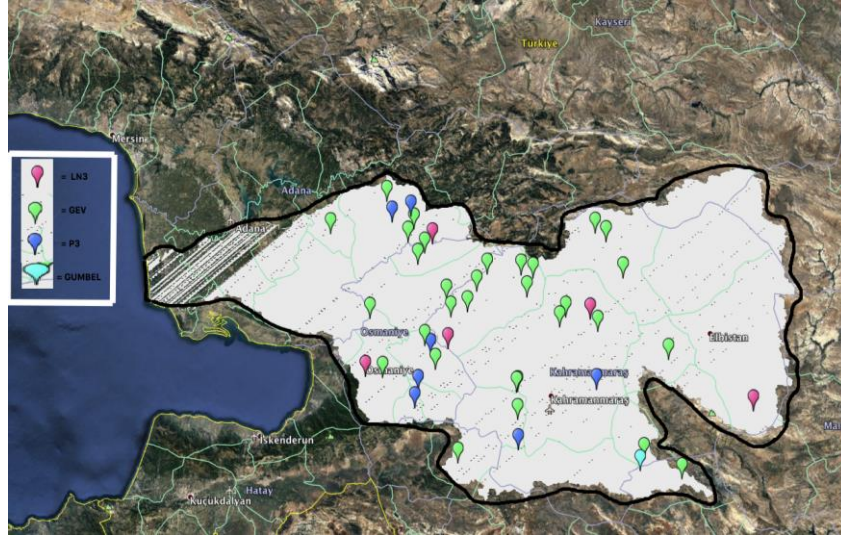


### 3.3 Uygunluk Testleri

AGİ ölçümlerine uygun dağılımları belirlemek için çeşitli uygunluk testleri (L-moment, K-S ve PPCC) kullanılmıştır. Bu bölümde bu testler sonucu yer almıştır.

#### 3.3.1 L-moment testi

Ceyhan havzasında bulunan ve bu çalışma kapsamında değerlendirilen AGİ ölçümleri için L-moment testi uygulanmıştır ve GEV dağılımı, bu testin sonunda en uygun olarak bulunmuştur. GEV dağılımı 30(%70'i) istasyona, 7(%16'sı) istasyon P3 dağılımına, 5 (%12'si) istasyon LN3 dağılımına ve 1(%2'si) istasyona GUMBEL dağılımına uygundur. L-moment testi sonucu uygun dağılımların havza üzerindeki konumu (Şekil 6'da) gösterilmiştir.



Şekil 6. L-Moment testi sonucu uygun dağılımların yayılım haritası (Google Earth)

#### 3.3.2 Kolmogorov-smirnov (k-s) testi

K-S testi her istasyon için uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlara göre Gev'in diğerlerinden daha uygun olduğu görülmüştür (Şekil 7).

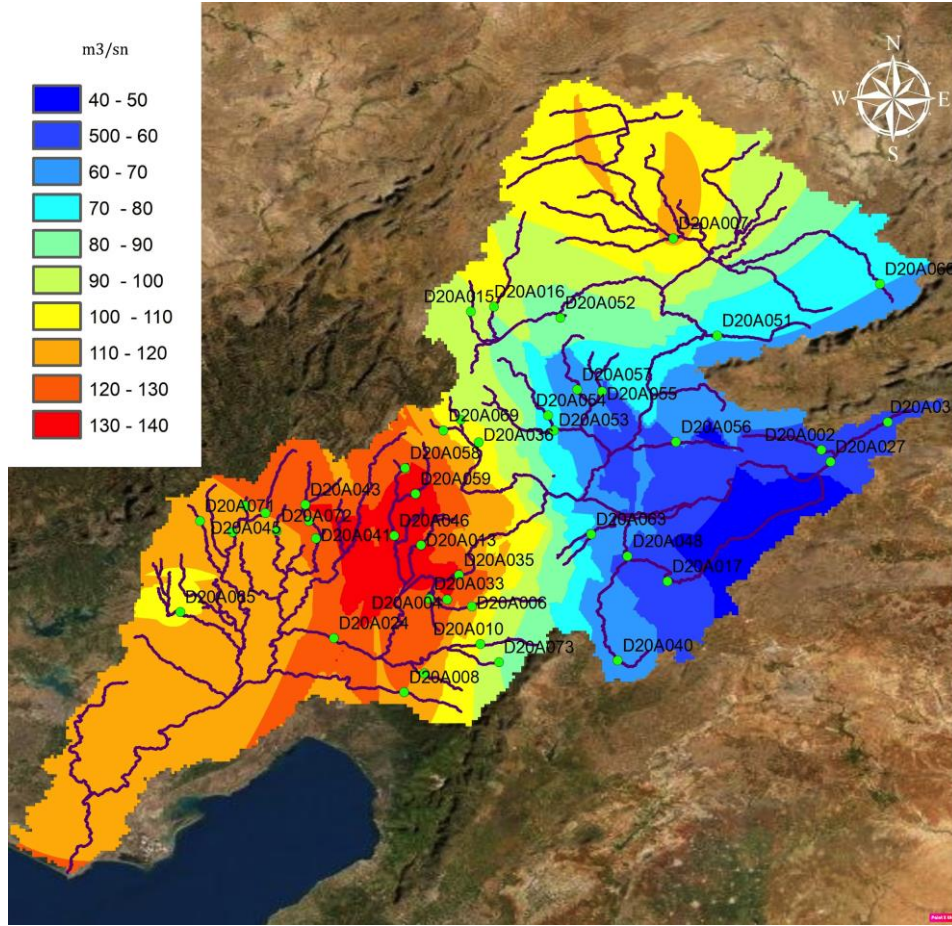
Tablo 1. K-S testi için son sonuçlar

| Nu | İstasyon Nu | Normal | Log Normal 1 | Log Normal 3 | Gumbel | Ekstrem |
|----|-------------|--------|--------------|--------------|--------|---------|
| 1  | D20A001     | +      | +            | +            | +      | +       |
| 2  | D20A002     |        | +            | +            | +      | +       |
| 3  | D20A004     |        | +            | +            |        | +       |
| 4  | D20A005     |        |              | +            |        | +       |
| 5  | D20A006     | +      |              | +            | +      | +       |
| 6  | D20A007     |        | +            | +            |        | +       |
| 7  | D20A008     |        | +            | +            | +      | +       |
| 8  | D20A010     | +      |              | +            |        | +       |
| 9  | D20A013     | +      |              | +            | +      | +       |
| 10 | D20A015     |        | +            | +            |        | +       |
| 11 | D20A016     |        |              |              |        | +       |
| 12 | D20A017     |        | +            | +            |        | +       |
| 13 | D20A024     |        |              |              |        | +       |
| 14 | D20A027     |        | +            |              |        | +       |
| 15 | D20A031     |        | +            | +            | +      | +       |
| 16 | D20A033     | +      | +            | +            | +      | +       |
| 17 | D20A035     | +      | +            |              | +      | +       |
| 18 | D20A036     | +      | +            | +            | +      | +       |
| 19 | D20A040     |        | +            | +            | +      | +       |
| 20 | D20A041     | +      |              | +            | +      | +       |
| 21 | D20A042     | +      | +            |              | +      |         |
| 22 | D20A043     |        | +            | +            | +      | +       |
| 23 | D20A044     |        | +            | +            | +      | +       |
| 24 | D20A045     |        |              | +            | +      | +       |
| 25 | D20A046     |        | +            | +            | +      | +       |



|    |         |   |   |   |   |   |
|----|---------|---|---|---|---|---|
| 26 | D20A048 |   |   |   |   | + |
| 27 | D20A051 |   | + | + | + | + |
| 28 | D20A052 |   |   | + | + | + |
| 29 | D20A053 | + | + | + | + | + |
| 30 | D20A054 | + | + | + | + | + |
| 31 | D20A055 | + | + | + | + | + |
| 32 | D20A056 | + |   | + | + | + |
| 33 | D20A057 | + |   | + |   | + |
| 34 | D20A058 |   | + | + |   | + |
| 35 | D20A059 |   | + | + | + | + |
| 36 | D20A063 |   | + | + | + | + |
| 37 | D20A065 | + | + | + | + | + |
| 38 | D20A066 | + | + | + | + | + |
| 39 | D20A068 | + | + | + | + | + |
| 40 | D20A069 |   | + | + | + | + |
| 41 | D20A071 |   | + | + |   | + |
| 42 | D20A072 |   | + | + |   | + |
| 43 | D20A073 |   | + | + | + | + |

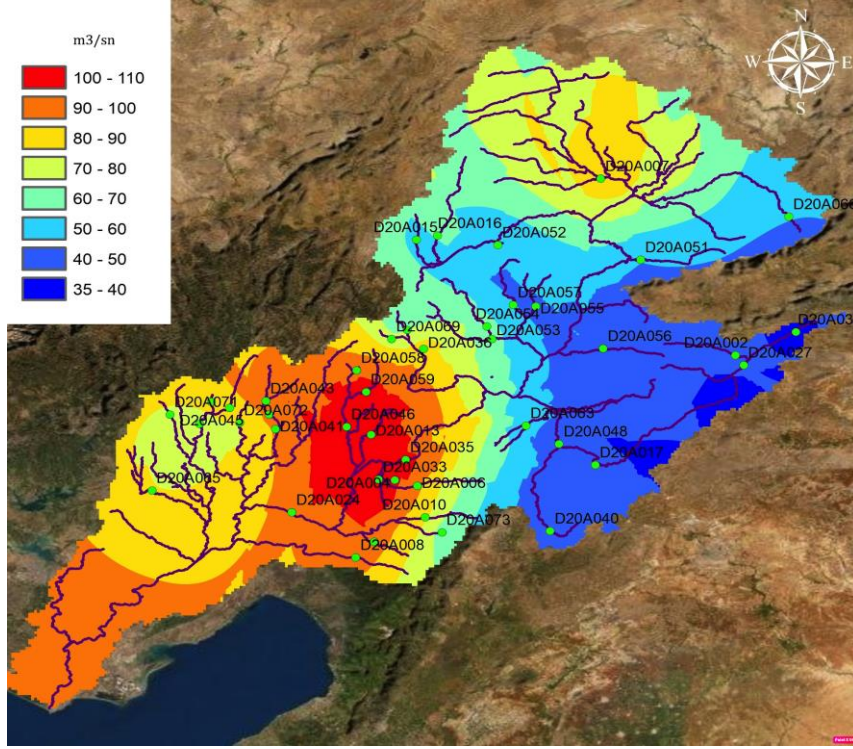
Tablo 1’de, "+" işareti ile gösterilen hücreler, hesaplanan  $\Delta < \square$  kritik demektir. Bu tablo incelendiğinde GEV en uygun dağılımdır. GEV dağılımı 42 istasyonda ve %98 oranında, normal dağılım 17 istasyonda ve %40 oranında, LN dağılımı 31 istasyonda ve %72 oranına, Gumbel dağılımı 29 istasyonda ve %67 oranında ve LN3 dağılımı 37 istasyonda ve %86 oranında kullanılabilirliğe sahiptir. K-S testine göre dağılımların uygunluk sırası olarak GEV, LN3, LN, Gumbel ve Normal dağılımları yer almaktadır. P3 ve LP3 dağılımlarını ise, bu testte dahil edilmemiştir.



Şekil 7. K-S testi sonucu uygun dağılımların yayılım haritası (Google Earth)

### 3.3.3 Olasılık çizgisi korelasyon testi (ppcc testi)

Bu test gerçekleştirebilmek amacıyla, tüm verileri yükselen sırada sıralanmıştır. Ayrıca  $F(x_i)$  değeri bulunmuştur. Bu değerlere karşılık gelen Z değeri Z tablosundan alınmıştır. Ve bunun sonucunda  $x_i$  ile bulunan z ler arasındaki korelasyon katsayısı bulunmuştur. Bu test sonuca göre Normal (N) dağılımı en iyi dağıtımdır. Böylece haritada her istasyon için 50 senelik dönüş aralıklı debi değerini N dağılımı dikkate alınarak hesaplanmıştır ve (Şekil 8'de) sunulmuştur. Orta kısımdaki bazı istasyonlar ve güney kısımdaki bir istasyon haricinde tüm istasyonlar normal değerlere sahiptir.



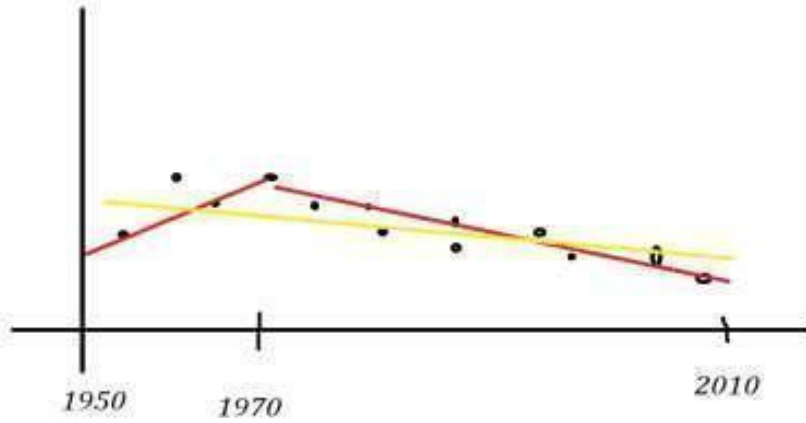
Şekil 8. 50 yıllık olarak dönüş aralıklı debilerin yayılım haritası (N)

PPCC teste göre, N dağılımı istasyonların gerçekleriyle uyumludur. Sonuç olarak, 22(%51) istasyonda N dağılımı, 7(%16) istasyonda LN3 dağılımı, 20(%47) istasyonda ekstrem değer dağılımı, 18(%42) istasyonda LN dağılımı, 20 (%47) istasyonda Pearson Tip III dağılımı ve 13(%30) istasyonda Log Pearson Tip III dağılımı uygun olduğu elde edilmiştir. Bu havza'nın uzun süreli yıllık anlık pik debi değerlerine uygulanan PPCC testi sonucunda uygunluk sırası, N, ekstrem değer, Pearson Tip III, LN, Log Pearson Tip III ve en az uygun olan LN3 dağılımlarıdır.

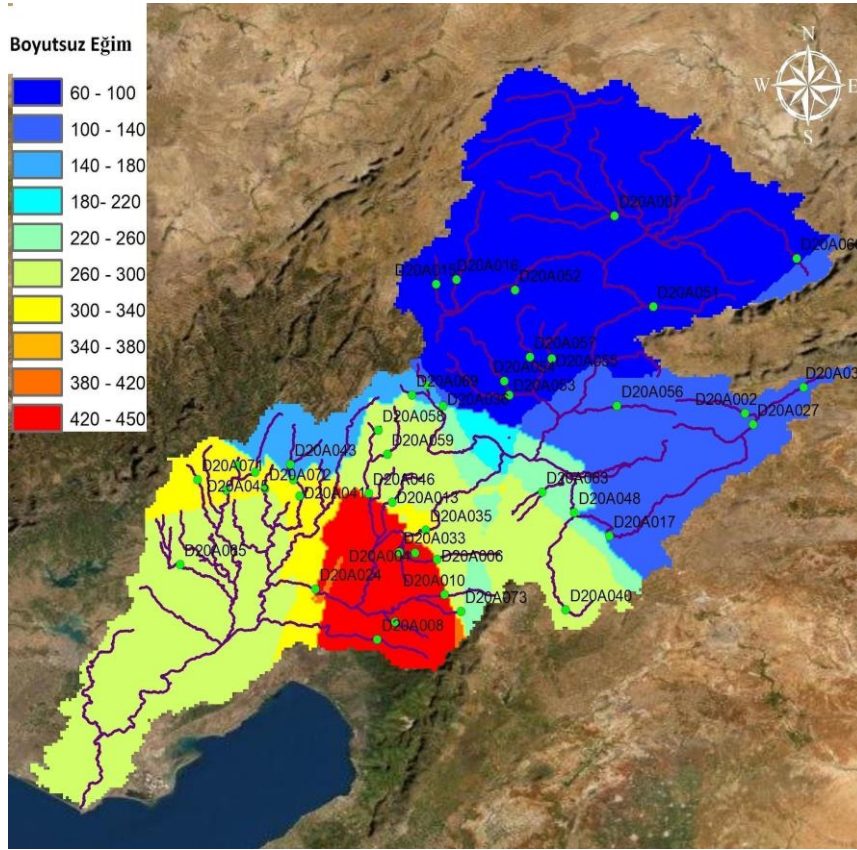
### 3.4 Trend analizi

Bu havzada bulunan ve çalışmada değerlendirmek üzere seçilen tüm istasyonlar için trend analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı uzun zaman diliminde akım değerlerinde değişim olup olmadığını belirlemektir. D20A001 ve D20A072 istasyonlarının uzun zaman diliminde ölçüm değerleri azalmaktadır (Şekil 9). Bu iki istasyonun o bölgede bulunan istasyonlardan daha az ölçüm süresine sahiplerdir. Bu istasyonlara komşu olan istasyonların o zaman dilimindeki ölçümleri de negative trendi olduğuna rağmen toplam ölçüm sürelerinde akımlarda artış gözlenmiştir. Bundan yola çıkarak ölçüm süresinin trend analizinde ne kadar etkili olduğu gösterilmiştir. Ayrıca aynı durum D20A017, D20A048 ve D20A063 istasyonların ölçümleri için de geçerlidir. D20A063 ve D20A048 gibi istasyonlarda her ikisinin de negatif istasyonlar olduğunu ancak D20A063 trend eğiminin D20A048'den daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise bir istasyonun diğerine göre daha fazla ölçüm süresine sahip olmasıdır. D20A048 istasyonu 29 yıl ölçüm süresi ile trend analizi yapılmıştır. Ve son 12 yılda pozitif bir trend eğimi elde edilmiştir. D20A063 istasyonu için 25 yıl ölçüm süresi dikkate alınarak trend analizi sonucunda, sadece son 4 yılda pozitif bir trend eğimi oluşmuştur. D20A063'ün D20A048'den daha büyük trend eğimine sahip olmasının nedeni bulunmuştur. Havzanın kuzey kısmına (Şekil 10) bakarsak neredeyse negatif kısım olduğunu söylenilebilmektedir.





Şekil 9. Trend Çizgisi



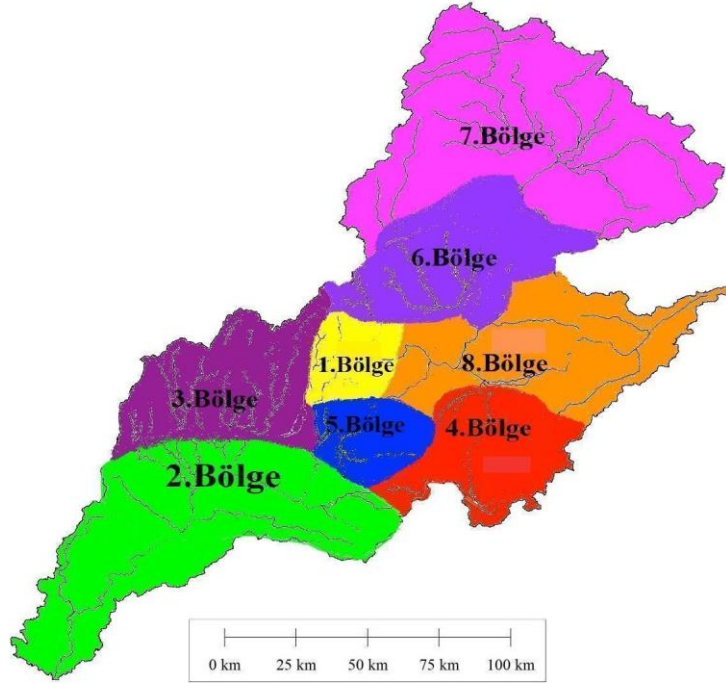
Şekil 10. Trend Analizi için yayılım haritası

Şekil 10 incelendiğinde, haritanın kuzey kısmına bakarsak neredeyse negatif kısım olduğunu söyleyebiliriz. Ve 0 trend eğimi olan ya da 0'a yakın olan seçimleri edilebilmektedir ya da dikkate almamaktadır. Sadece 0'dan daha büyük trend eğimine sahip istasyonları dikkate almaktadır. D20A001 veya D20A072 gibi küçük bir zaman diliminde hesaplanan ve benzeri tüm diğer istasyonları da ihmal edilebilmektedir. Son olarak, dikkatli incelersek, yalnızca uzun bir zaman dilimiyle hesaplanmış istasyonların pozitif bir eğilim gösterdiğini görebilmekteyiz. Bu nedenle, en uygun sonuç elde edilebilmesi için, yalnızca uzun bir zaman dilimiyle hesaplanmış istasyonları dikkate almamız gerekmektedir.



### 3.5 Bölgesel analizi

Veri yetersizliğini hidrolojik çalışmalarda en büyük sorunlardan biridir. Çözüm bulabilmek için bu test kullanılmıştır. Ayrıca, bir istasyondaki kayıt çeşitliliğini artırmayı bir ifade etmektedir. Ceyhan Havzasında seçilen istasyonlar arasında istatistiksel açıdan ilişkiler belirlenecektir. Wiltshire (1996) yöntemi, homojen bölgeler veya bölgeler oluşturmak için kullanılmıştır. Bu yöntemde tatmin edici gruplama değişim katsayıları ile belirlenmektedir. Wiltshire yöntemine göre, ilk kez, tüm havzanın homojen bir bölge olarak kabul edilip edilmediğini araştırmak gerekmektedir. İlk önce havzanın ortalama değişim katsayısı ( $C_v$ ), ve ortak kayıt süresi bulunmaktadır. Sonra bir bölgede en yüksek ve en küçük değişim katsayısı ve kayıt süresini bulunması gerekmektedir. Değerlerin bulunup ve eğer sınırların dışına olursa havzanın tamamı homojen bir bölge olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenle, değerlendirmek için havzayı birden fazla bölgeye bölmek gerekmektedir. Homojen bölge değerlendirme sonucunda, Ceyhan havzası 8 homojen bölgeye ayrılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Ceyhan Havzasının homojen bölge dağılım haritası

Tablo 2. 8 bölgenin özellikleri

| Bölge Nu | AGİ Nu  | n     | $\bar{x}$ | $\sigma$ | Cv   |
|----------|---------|-------|-----------|----------|------|
| 1        | D20A058 | 30,00 | 36,96     | 83,27    | 2,25 |
|          | D20A059 | 30,00 | 51,15     | 39,67    | 0,78 |
| 2        | D20A005 | 53,00 | 40,22     | 33,28    | 0,83 |
|          | D20A008 | 50,00 | 42,25     | 35,86    | 0,85 |
|          | D20A010 | 34,00 | 58,25     | 27,12    | 0,47 |
|          | D20A024 | 29,00 | 471,47    | 430,88   | 0,91 |
|          | D20A065 | 18,00 | 36,82     | 20,16    | 0,55 |
|          | D20A073 | 16,00 | 1,67      | 1,14     | 0,68 |
| 3        | D20A001 | 10,00 | 33,06     | 26,06    | 0,79 |
|          | D20A041 | 13,00 | 28,24     | 20,04    | 0,71 |
|          | D20A042 | 18,00 | 18,23     | 19,74    | 1,08 |
|          | D20A043 | 40,00 | 55,58     | 41,91    | 0,75 |
|          | D20A044 | 36,00 | 29,36     | 27,93    | 0,95 |
|          | D20A045 | 36,00 | 40,25     | 36,41    | 0,90 |
|          | D20A071 | 19,00 | 28,60     | 38,79    | 1,36 |
|          | D20A072 | 14,00 | 12,64     | 16,89    | 1,34 |
| 4        | D20A004 | 27,00 | 34,40     | 39,59    | 1,14 |
|          | D20A006 | 43,00 | 44,43     | 25,58    | 0,58 |
|          | D20A017 | 24,00 | 116,45    | 110,87   | 0,95 |
|          | D20A040 | 34,00 | 7,53      | 5,74     | 0,76 |
| 5        | D20A013 | 43,00 | 46,32     | 30,61    | 0,66 |
|          | D20A033 | 16,00 | 69,78     | 34,41    | 0,49 |
|          | D20A035 | 13,00 | 1016,67   | 491,55   | 0,58 |
|          | D20A046 | 41,00 | 191,90    | 106,46   | 0,55 |
| 6        | D20A036 | 30,00 | 62,49     | 48,10    | 0,77 |
|          | D20A053 | 26,00 | 37,04     | 15,27    | 0,41 |

|   |         |       |       |        |      |
|---|---------|-------|-------|--------|------|
|   | D20A054 | 27,00 | 50,03 | 26,21  | 0,52 |
|   | D20A055 | 17,00 | 19,50 | 9,25   | 0,47 |
|   | D20A057 | 23,00 | 16,86 | 8,03   | 0,48 |
|   | D20A068 | 14,00 | 11,84 | 8,08   | 0,68 |
|   | D20A069 | 20,00 | 8,71  | 4,87   | 0,56 |
| 7 | D20A007 | 32,00 | 56,65 | 60,31  | 1,06 |
|   | D20A015 | 22,00 | 21,10 | 27,21  | 1,29 |
|   | D20A016 | 41,00 | 30,06 | 39,46  | 1,31 |
|   | D20A051 | 26,00 | 9,97  | 8,10   | 0,81 |
|   | D20A052 | 20,00 | 4,52  | 2,71   | 0,60 |
|   | D20A066 | 17,00 | 19,10 | 15,39  | 0,81 |
| 8 | D20A002 | 42,00 | 32,80 | 223,55 | 0,72 |
|   | D20A027 | 26,00 | 7,49  | 3,26   | 0,44 |
|   | D20A031 | 17,00 | 5,28  | 4,81   | 0,91 |
|   | D20A048 | 29,00 | 23,66 | 15,40  | 0,65 |
|   | D20A056 | 25,00 | 21,57 | 12,71  | 0,59 |
|   | D20A063 | 25,00 | 11,39 | 9,06   | 0,79 |

Tablo2'deki gibi sekiz bölgeye ayrılarak homojenlik testlerine (6.denklemleri) kullanılarak test edilmiştir:

1. Bölgenin En büyük değişim katsayısı, D20A058 istasyonuna bulunmuştur. 30 yıllık kayıt süresi sahip bu istasyonda,  $C_v = 2,25$ 'tir. En küçük değişim katsayısı, 30 senelik ölçüm uzunluğuna bu istasyonda D20A059 istasyonunda ve  $C_v = 0,78$ 'dir. Bu iki istasyondaki n ort. = 30,00 senedir. Ort. Değ. Kat. = 1,52.  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 2,43 yüksek değerini ve 0,61'in düşük değerini hesaplamak için (107.) denkleminin kullanımı olarak bulunmuştur. 0,78 ve 2,25 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 1. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

2. Bölgenin ortalama değişim katsayısı = 0,72 ve n ort. = 33,33 senedir, en yüksek değ. Kat., D20A024 istasyonuna bulunmuştur. 29 yıllık ölçüm uzunluğuna sahip bu istasyonda,  $C_v = 0,91$ . En küçük değişim katsayısı D20A010 istasyonunda ve 34 yıllık kayıt süresi sahip bu istasyonda  $C_v = 0,47$ 'dir. Ortalama değişim katsayısı = 0,72 olan, ve  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 0,97'nin en yüksek değeri ve 0,47'nin en düşük değeri bulunmuştur. 0,47 ve 0,91 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 2. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

3. Bölgenin ortalama değişim katsayısı = 0,99 ve n ort. = 23,25 senedir, en yüksek değ. Kat., D20A071 istasyonuna bulunmuştur. 19 senelik kayıt süresi sahip,  $C_v = 1,36$ , en düşük değ. Kat. D20A041 istasyonunda ve 13 senelik kayıt süresi sahip,  $C_v = 0,71$ 'dir, 2 istasyondaki ort. Değ. Kat. = 0,99'dir.  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 1,48'in en yüksek değeri ve 0,50'nin en düşük değeri hesaplanmıştır. 1,36 ve 0,71 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 3. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

4. Bölgenin ortalama değişim katsayısı = 0,85 ve n ort. = 29,40 senedir, en yüksek değ. Kat., D20A004 istasyonuna bulunmuştur. 27 yıllık kayıt süresi sahip,  $C_v = 1,14$ , en düşük değ. Kat. D20A006 istasyonlarında ve 43 yıllık ölçüm uzunluğuna sahip,  $C_v = 0,58$ 'dir. 2 istasyondaki ort. Değ. Kat. = 0,86, ve  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 1,19 en yüksek değeri ve 0,53 en düşük değeri hesaplanmıştır. 1,14 ve 0,58 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 4. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

5. Bölgenin ortalama değişim katsayısı = 0,57 ve n ort. = 28,25 senedir, en yüksek değ. Kat., D20A013 istasyonuna bulunmuştur. 43 yıllık kayıt süresi sahip,  $C_v = 0,66$ , en düşük değ. Kat. D20A033 istasyonunda ve 16 senelik ölçüm uzunluğuna sahip,  $C_v = 0,49$ , 2 istasyondaki ort. Değ. Kat. = 0,57, ve  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 0,76'nın en yüksek değeri ve 0,38'in en düşük değerleri hesaplanmıştır. 0,66 ve 0,49 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 5. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

6. Bölgenin ortalama değişim katsayısı = 0,55 ve n ort. = 22,43 senedir. en yüksek değ. Kat., D20A036 istasyonuna bulunmuştur. 30 yıllık ölçüm uzunluğuna sahip,  $C_v = 0,77$ , en düşük değ. Kat. D20A053 istasyonunda ve 26 senelik kayıt süresi sahip,  $C_v = 0,41$ 'tir, 2 istasyondaki ort. Değ. Kat. = 0,56, ve  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 0,77'nin en yüksek değeri ve 0,33 en düşük değerleri hesaplanmıştır. 0,41 ve 0,77 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 6. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

7. Bölgenin ortalama değişim katsayısı = 0,98 ve n ort. = 26,33 senedir. En yüksek değ. Kat., D20A016 istasyonuna bulunmuştur. 41 yıllık ölçüm uzunluğuna sahip,  $C_v = 1,31$ , en düşük değ. Kat. D20A052 istasyonunda ve 20 senelik kayıt süresi sahip,  $C_v = 0,60$ 'tır, 2 istasyondaki ort. Değ. Kat. = 0,98, ve  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 1,44 en yüksek değeri ve 0,52'nin en düşük değerleri hesaplanmıştır. 0,60 ve 1,31 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 7. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

8. Bölgenin ortalama değişim katsayısı = 0,68 ve n ort. = 27,33 senedir, en yüksek değ. Kat., D20A031 istasyonuna bulunmuştur. 17 yıllık ölçüm uzunluğuna sahip,  $C_v = 0,91$ , en düşük değ. Kat. D20A027 istasyonunda ve 26 senelik kayıt süresi sahip,  $C_v = 0,44$ , 2 istasyondaki ort. Değ. kat. = 0,68, ve  $C_v$ 'nin örnekleme dağılımı, 0,93 en yüksek değeri ve 0,43 en düşük değerleri hesaplanmıştır. 0,44 ve 0,91 değerleri bu sınırların içinde olduğu için 8. bölge homojen bölge olarak kabul edilmektedir.

#### 4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Ceyhan havzası üzerinde ölçülen taşkın değerleri üzerinde kapsamlı bir taşkın analizi yapılmıştır. Seçilmiş 43 AGİ de uzun süreli ölçülmüş değerlere en uyumlu istatistik dağılımın belirlenmesi için çeşitli testler uygulanmıştır. Bu testler, L-Moment, K-S ve PPCC testleridir. Bu testler sonucu Ceyhan havzasının akış değerleri için GEV dağılımının daha uygun olduğu görülmüştür. Mann-Kendall ternd analizi sonucu, 0.05 anlamlılık düzeyinde alarak 40 istasyon yani % 93'ünde trend olmamasına rağmen 3 istasyon yani %7'sinin trendi olduğu ispatlanmıştır. Bölgesel analiz sonucu, Ceyhan havzası 8 homojen alana sahiptir. Her testin nihai sonucunu görürsek, D20A001 istasyonunun ilginç bir sonucu olduğunu görebilmekteyiz. Bu istasyon en düşük zaman dilimine sahip olduğu için farklı bir sonuç görmüştür.

#### Kaynaklar

- [1] A. Atalık, (2007). Su Sorunu ve Tarımda Sulama Suyu Kullanımı, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Mühendislik Dergisi. 81.
- [2] Alp, M. ve Cigizoglu, H. K. (2004). Farklı Yapay Sinir Ağı Metotları ile Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi, İTÜ Mühendislik Dergisi. 3(1), 80-88.
- [3] Alpar, R. (2003). Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1, Ankara,



Türkiye.

- [4] B. Barak, (2009). İç Anadolu Bölgesi'nde Küresel Isınma Sürecinde Yağış ve Sıcaklık Verilerinde Meydana Gelen Değişimler ve Eğilimler (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye.
- [5] Bilgisayar Uygulamaları Semineri, (1991). DSİ, GAP,1, ss. 1-23.
- [6] DSİ, (1994). Türkiye Akarsu Havzaları Maksimum Akımlar Frekans Analizi (MAFA), Ankara.
- [7] E. Elbaşı, ve H. Özdemir, (2023). Akım Gözlem İstasyonu Bulunmayan Havzalarda Taşkın Debisi Tahmini: Doğu Karadeniz Örneği, Türk Coğrafya Dergisi. (84), 85-96.
- [8] E. Turhan, S. Değerli ve B. Duyan Çulha, (2021). Çeşitli Tekerrür Periyotları için Taşkın Debilerinin Tahmininde Farklı Olasılık Dağılımlarının Karşılaştırılması: Ceyhan Nehri Örneği, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi. 11(2), 731-742.
- [9] F. Saka ve Ö. Yüksek, (2017). Belli Aşılma Olasılığı Sahip Debilerin Bölgesel Regresyon Denklemine Eldesin ve Doğu Karadeniz Havzası Örneği, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 32(2), 335-342.
- [10] F.Sarış, (2006) Türkiye'de Yağış Yoğunluğunun Alansal ve Zamansal Değişimi (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.
- [11] G. İcel, (2009). Türkiye'nin Doğu Akdeniz Kıyılarında Sıcaklık ve Yağış Trend Analizleri ve Ekstrem Hadiseler (Basılmamış Doktora Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [12] G.Çağıl, (2011). Küresel Kriz Sürecinde Türk Bankacılık Sektörünün Finansal Performansının Elekte Yöntemi ile Analizi, Maliye Finans Yazıları Dergisi. 25(93), 59-86.
- [13] H. Okutan, O. Cerit ve E. Karacan, (2004). Küresel İklim Değişiklerinin Çayeli (Rize) Yöresindeki Doğal Afetlerin Oluşumuna Etkilerinin İncelenmesi, I. Ulusal Çevre Kongresi, Sivas, Türkiye, ss. 367-377.
- [14] H.N. Phien, (1987). A Review of Methods of Parameter Estimation for The Extreme Value Type-1 Distribution, Journal of Hydrology. 90, 251-267.
- [15] M. Bayazıt ve O. Yeğen, (2005). Mühendisler için İstatistik. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- [16] M. Bayazıt, (2005). İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, Türkiye.
- [17] M. Türkeş, (2007). İklim Değişikliği Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler, Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 38-53.
- [18] M. Yılmaz, F. Tosunoğlu ve M.C. Demirel, (2021). Taşkın Frekansı Analizinde Klasik Yöntemler ve Alternatif Bir Parametre Tahmin Yönteminin Karşılaştırılması, Journal of the Institute of Science and Technology. 11(2), 1243-54.
- [19] M.U. Hassan, O. Hayat and Z. Noreen, (2019). Selecting The Best Probability Distribution for a Study of Torne River, Sn Applied Sciences. 1(12), 1629.
- [20] Marquardt, D.W., (1963) An Algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear Parameters, Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics. 11(2), 431-441.
- [21] Mason, J.C., Price, R.K. ve Tem'me, A., (1996). A Neural Network Model of Rainfall Runoff Using Radial Basis Functions, Journal of Hydraulic Research. 34(4), 537-548.
- [22] N. Seçkin, ve E. Topçu, (2016). Adana ve Çevre İllerde Gözlenen Yıllık Maksimum Yağışların Bölgesel Frekans Analizi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. 31(4), 1049-1062.
- [23] O. Yıldız, (2006). Uzun Sentetik Done Üzerinde, Yıllık Taşkın ve Yağmur Pikleri Frekans Analizi için L-momentler Yönteminde Kullanılacak Noktalama Pozisyonu Formülü Parametrelerinin Belirlenmesi (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.
- [24] Önsöz, B., (1992). Bölgesel Taşkın Frekans Analizi. (Basılmamış Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- [25] R.E. Livezey and W.Y. Chan, (1983). Statistical Field Significance and its Determination by Monte Carlo Techniques. *Mon. Weath. Rev.*111.
- [26] R.M. Vogel, W.O. Thomas and T.A. McMahon, (1993). Flood-Flow Frequency Selection in Southwestern United States, *Journal of Water Resources Planning and Management.* 119(3), 353-366.
- [27] S. Özkan ve T. Partal, (2024). Yeşilirmak Havzasında Düşük Akarsu Akımlarının Analizi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi.* 10(1), 77-88.
- [28] S. Trajkovic, and S. Kolakovic, (1998). Wind-Adjusted Turc Equation for Estimating Reference Evapotranspiration at Humid European Locations, *Hydrology research.* 40(1), 45-52.
- [29] S.B. Kılıç, (2006). Türk Bankacılık Sistemi İçin Çok Kriterli Karar Alma Analizine Dayalı Bir Erken Uyarı Modelinin Tahmini, *ODTÜ Gelişme Dergisi.* 33, 117-154.
- [30] T. Dalrymple, (1960). Flood Frequency Methods, U.S. Geol. Survey, Water Supply Paper 1453 A, Washington, 11-51.
- [31] T. Partal ve F. Kahya, (2006). Trend Analysis in Turkish Precipitation Data, *Hydrological Processes,* 20, 2011-2026.
- [32] Unicef, (1999). Groundwater: The Invisible and Endangered Resource, Pamphlet, UNICEF, Geneva.
- [33] Uswrc, (1982), United States Water Resources Council: Guidelines for Determining Flood Flow Frequency, Bull. 17B, Hydrol. Comm., Water Resour. Council, Washington, D.C.
- [34] Y. Abdollahzadeh-moradli, (2012). Karun Üst Havzasında Taşkın Analizi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Karun, İran.
- [35] Z. Özcan, (1992). Türkiye Akarsularının Taşkın Pikleri Frekans Analizi. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi) Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.



Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi Dergisi  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyuumfd>



## CNT Supported Bimetallic Ru-Mo Catalyst for the Detection of L-Histidine

Omriye OZOK ARICI<sup>a\*</sup>, Hilal KIVRAK<sup>b</sup>, Aykut CAGLAR<sup>c</sup>, Arif KIVRAK<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering and Architectural Sciences, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey Orcid no: [0000-0002-4164-8650](https://orcid.org/0000-0002-4164-8650)

<sup>b</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Architectural Sciences, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey, Orcid no: [0000-0001-8001-7854](https://orcid.org/0000-0001-8001-7854)

<sup>c</sup>Department of Biotechnology, Faculty of Science, Bartın University, Bartın, Turkey, Orcid no: [0000-0002-0681-1096](https://orcid.org/0000-0002-0681-1096)

<sup>d</sup>Department of Chemistry, Faculty of Sciences and Arts, Eskisehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey, Orcid no: [0000-0003-4770-2686](https://orcid.org/0000-0003-4770-2686)

### ABSTRACT

In this study, a voltammetric L-Histidine (His) sensor is being developed with glassy carbon electrode (GCE) modified with carbon nanotube (CNT) supported %3 Ru-Mo(80-20) bimetallic catalyst. The Ru-Mo/CNT catalyst was prepared by sodium borohydride reduction method. It was identified by surface analytical methods like scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). Characterization results reveal that this catalyst was successfully synthesized. The modified GCE's electrochemical activity was investigated using cyclic voltammetry (CV), differential pulse voltammetry (DPV), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The Ru-Mo/CNT-modified GCE electrode has a sensitivity of 0.0002 mA/cm<sup>2</sup>, a limit of detection (LOD) of 0.02 µM for histidine, and a lower limit of detection (LOQ) of 0.06 µM, according to electrochemical data. The findings demonstrate that the Ru-Mo/CNT-modified GCE electrode is a promising catalyst for the sensitive detection of L-histidine and has been manufactured for the first time in the literature.

**Keywords:** Amino acid, Carbon nanotube, Electrochemical sensor, Histidine

## L-Histidinin tespiti için CNT Destekli Bimetalik Ru-Mo Katalizörü

Ömriye ÖZOK ARICI<sup>a\*</sup>, Hilal KIVRAK<sup>b</sup>, Aykut ÇAĞLAR<sup>c</sup>, Arif KIVRAK<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, ORCID: [0000-0002-4164-8650](https://orcid.org/0000-0002-4164-8650)

<sup>b</sup> Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye ORCID: [0000-0001-8001-7854](https://orcid.org/0000-0001-8001-7854)

<sup>c</sup>Biyoteknoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye, ORCID: [0000-0002-0681-1096](https://orcid.org/0000-0002-0681-1096)

<sup>d</sup>Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, ORCID: [0000-0003-4770-2686](https://orcid.org/0000-0003-4770-2686)

### ÖZET

Bu çalışmada, karbon nanotüp (CNT) destekli Ru-Mo bimetalik katalizörle modifiye edilmiş camı karbon elektrot (GCE) ile bir voltametrik L-Histidin (His) sensörü geliştirilmektedir. Ru-Mo/CNT, katalizörü, sodyum borohidrit indirgeme yöntemiyle hazırlandı. X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) gibi yüzey analitik teknikleri ile karakterize edildi. Karakterizasyon sonuçları bu katalizörün başarıyla sentezlendiğini ortaya koymaktadır. Modifiye edilmiş GCE'nin elektrokimyasal davranışını incelemek için elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), diferansiyel darbe voltmetrisi (DPV) ve döngüsel voltmetri (CV) kullanılmıştır. Elektrokimyasal sonuçlar, Ru-Mo/CNT ile modifiye edilmiş GCE elektrotunun 0.0002 mA/cm<sup>2</sup> duyarlılığına, histidin için tespit limiti (LOD) 0.02 µM ve alt tayin sınırına (LOQ) 0.06 µM'ye sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, sonuçlar Ru-Mo/CNT ile modifiye edilmiş GCE elektrotunun literatürde ilk kez sentezlendiğini ve L-histidinin hassas tespiti için umut verici bir katalizör olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Amino asit, Karbon Nanotüp, Elektrokimyasal sensör, Histidin.

## 1. Introduction

Amino acids constitute the basic components that run protein metabolism in the body and are responsible for maintaining acid-base and fluid balances in the body. As amino acids are involved in important physiological processes, identifying minute quantities of amino acids is crucial for food analysis, disease detection, and biomedical research [1]. Among these, histidine (His), a vital amino acid, is necessary for the development of tissue and the transfer of metal elements [2].

L-Histidine (L-His, His) is an essential amino acid contains an imidazole side chain play significant roles in numerous biological systems. It has two different forms: L-Histidine and D-Histidine. The L-Histidine isomer is found in nature. Abnormal amount of histidine in the body can cause lung and chronic kidney diseases, stress and psychological disorders [3]. Detection of L-His is important for the identification and treatment of L-His deficiency.

Nowadays, new methods have been developed in the diagnosis and treatment of diseases. The most used methods to detect and characterize amino acids are based on spectroscopic [4], chromatographic [5] or electrochemical approaches [6]. Of these, electrochemical technologies have several noteworthy advantages, such as the capacity to regulate the rate of reaction, the capability to precisely measure the oxidation or reduction phase of an element, the cost-effectiveness of the employed devices, and their ecological sustainability [7].

Many electrochemical sensor studies have been conducted in the literature, such as amino acid [8], hydrogen peroxide [9], glucose [10], and cancer biomarkers [11-12]. These include the mechanisms by which certain catalysts, including organic compounds, metal nanoparticles, carbon nanotubes, nanocomposites, and nanopolymers, interact with electrodes to enhance the electrochemical response to amino acids, hence facilitating the detection of amino acids in the context of electrochemical sensor research. Nanomaterials and their amino acids, linear ranges, limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) used in electrochemical sensor studies in the literature are shown in Table 1. Looking at the studies in the literature, Heidari et al., in a study they conducted in 2019, examined CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/rGO-Au nanomaterial against L-cysteine and found LOD/LOQ values for the sensors range from 0.383 μM and 1.14 μM [13]. In another study, the sensor effect of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/RGO/GCE nano material against L-lysine was examined and LOD/LOQ values of 0.01/0.03 μM were found [14].

For this reason, not many electrochemical sensor studies have been done on histidine before. To obtain a sensitive electrochemical histidine sensor, the LOD of the histidine sensor needs to be improved. Additionally, new electrode materials need to be created to commercialize the histidine sensor. CNT-supported Ru-Mo catalyst may be promising nanocatalyst as histidine sensor due to the unique properties of CNT.

In this study, CNT-supported Ru-Mo catalysts were first synthesized by the (NaBH<sub>4</sub>) reduction method. To characterize the prepared bimetallic catalysts, they were analyzed by advanced surface analytical technique such as (SEM). Ru-Mo/CNT catalyst were used to modify GCE in order to conduct electrochemical tests. CV and EIS were used to assess the changed GCE's electrochemical behavior. In the last step, sensitivity and selectivity measurements were made on GCE electrodes modified with Ru-Mo/CNT, and LOD and LOQ values were calculated as a result.



Table 1. Electrochemical sensors of nanomaterials available in the literature for the determination of amino acids.

| Aminoacid   | Electrode   | Linear range  | LOD/LOQ                 | Ref               |
|-------------|---|---|-------------------------|-------------------|
| L-Cysteine  | CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /rGO-Au                    | 0.05–0.2 $\mu$ M                                    | 0.383/1.14 $\mu$ M      | [13]              |
| Trp         | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /RGO/GCE                     | 1.0–8.0 $\mu$ M<br>8.0–80 $\mu$ M<br>80–800 $\mu$ M | 0.84/2.52 $\mu$ M       | [14]              |
| L-Lys       | LOxNPs/GrONPs/PGE   | 0.01–1000 $\mu$ M                                   | 0.01/0.03 $\mu$ M       | [15]              |
| L-Serine    | Ni–NiO HNT/BDDE   | 0.2–6.54 $\mu$ M                                    | 0.1/0.3 $\mu$ M         | [16]              |
| L-Proline   | P-Cys/GQDs/GNPs/GCE   | 0.0005–10000 $\mu$ M                                | 0.0001/0.0003 $\mu$ M   | [17]              |
| D-Aln       | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> NPs @Au@Ag@Cu <sub>x</sub> O | 0.0001–10 $\mu$ M                                   | 0.000052/0.0015 $\mu$ M | [18]              |
| L-Histidine | Ru-Mo/CNT   | 0.0002 mA/cm <sup>2</sup>                           | 0.02/0.06 $\mu$ M       | <b>This study</b> |

## 2. Material and Method

### 2.1.The synthesis of Ru-Mo/CNT catalyst

For the catalyst synthesis, the sodium borohydride (NaBH<sub>4</sub>) reduction method was used in accordance with the procedure in the literature [19]. Distilled water, Ru (80%) precursor (RuCl<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O) and Mo (20%) precursor Mo<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COO)<sub>4</sub> were first added to a beaker and mixed homogeneously. It was mixed in an ultrasonic bath until it dispersed. CNT was added as a support material on metals dispersed homogeneously in distilled water. This prepared mixture was mixed in an ultrasonic bath and magnetic stirrer for approximately 2 hours. Finally, sodium borohydride (30 eq.) was added to this mixture as a reducing agent and stirred for another hour. It was filtered, washed and dried at 85°C for approximately 12 hours.

### 2.2. Electrochemical studies

Electrochemical studies were performed on Ru-Mo/CNT, modified GCE electrode by CV, EIS, and DPV by employing CHI 660 E potentiostat in a three-electrode system. Glassy carbon (GCE), Pt wire, and Ag/AgCl were used as the working, the counter, and reference electrode, respectively. By dispersing 5 mg nanocatalyst in 1 mL of Nafion, a nanocatalyst ink was obtained and 3  $\mu$ l of nanocatalyst ink was transferred on GCE electrode and dried. As a result, Ru-Mo/ CNT modified GCE electrode were obtained.

### 3.Results

#### 3.1. Physical characterization

SEM and XRD analyzes were performed to examine the surface structure and crystal structure of the 3% Ru-Mo(80-20)/CNT catalyst. Figure 1 shows the formation of CNT structures and metal nanoparticles from SEM images. Except for a few points, metals are distributed homogeneously on the CNT surface. In XRD analysis, the peak occurring at approximately  $2\theta = 25.5^\circ$  corresponds to the hexagonal structure of carbon [20]. Additionally, the diffraction peaks indicating the formation of face-centered cubic (fcc)

Ru(0) crystals are observed at  $2\theta = 43.1^\circ, 52.7^\circ, 67.0^\circ$  and  $78.5^\circ$ , respectively, as Ru (1 0 1), Ru (1 0 2), Ru (1 1 0) and Ru (1 0 3) planes were formed [21]. The reason why the presence of Mo cannot be observed in the XRD analysis may be due to the Ru ratio being approximately 4 times that of Mo and the high intensity of the C peak. However, in the literature study, as a result of the XRD analysis of the Ru/CNT catalyst, the Ru (1 0 1) plane occurred at approximately  $44^\circ$  [22]. For the 3% Ru-Mo(80-20)/CNT catalyst, a negative shift of approximately  $0.9^\circ$  of the Ru (1 0 1) ( $43.1^\circ$ ) plane indicates that an interaction occurs between Ru and Mo.

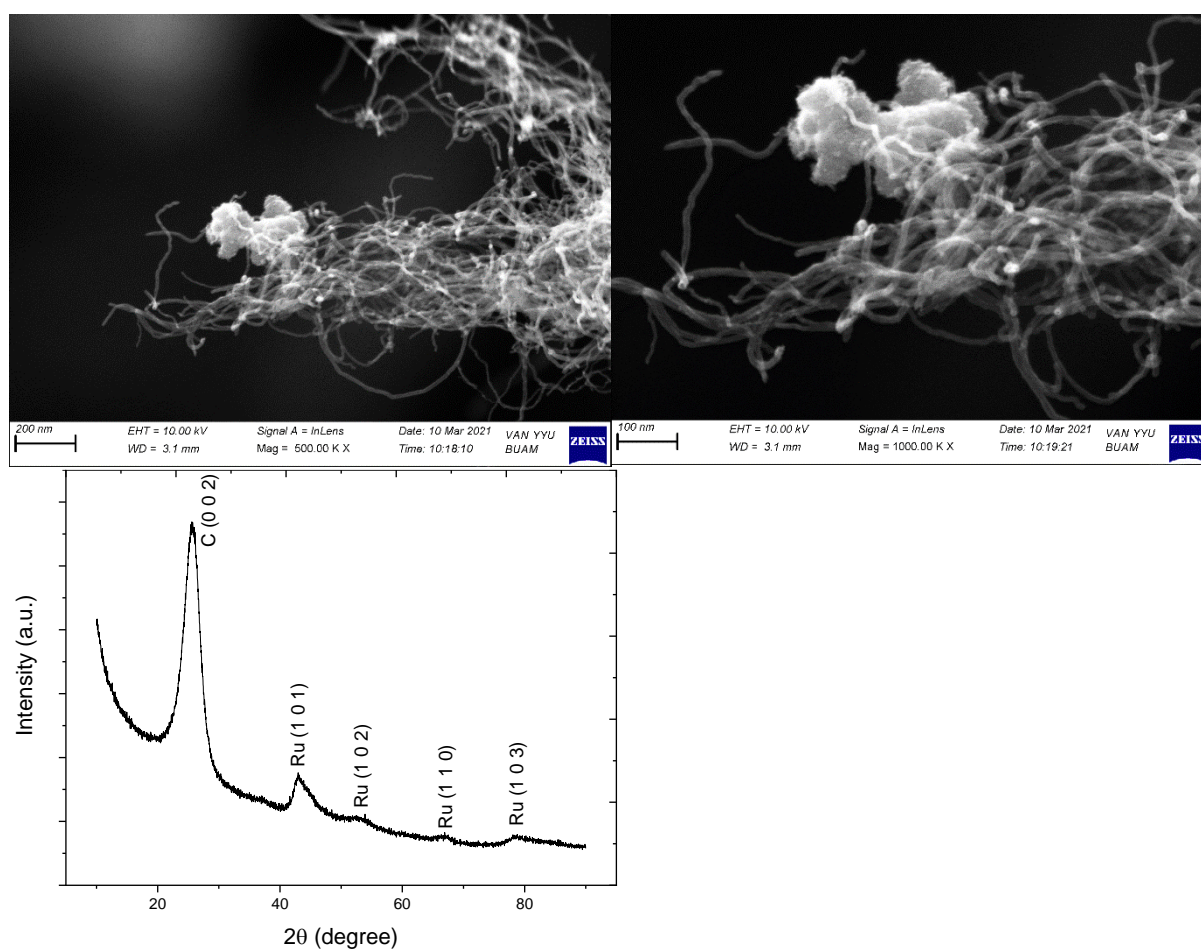


Figure 1. SEM images and XRD analysis of Ru-Mo/CNT catalyst.

### 3.2. Electrochemical measurements

The modified Ru-Mo/CNT catalyst system was used to modify a GCE for L-His measurement. The electrooxidation performances of histidine amino acid were examined at three different pH levels on a modified GCE electrode in 0.1 M PBS (Phosphate Buffer Saline). It was observed that the best current for L-His amino acid was better at pH: 7.2 (Figure 2).

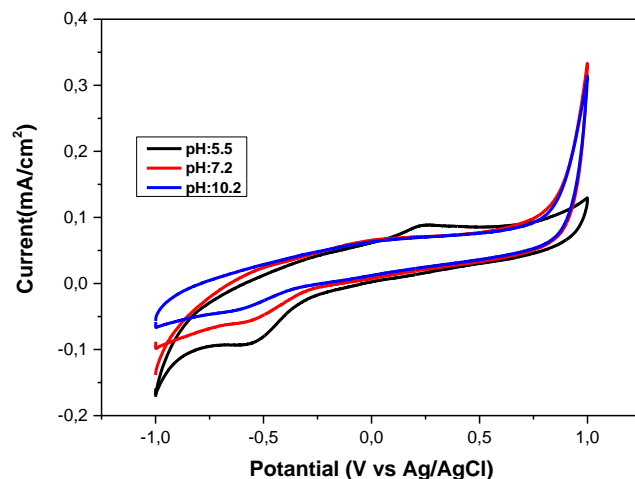


Figure 2. Cyclic voltammograms recorded at 100 mV/s on the Ru-Mo/CNT modified GCE electrode in 0.1 M PBS + 5 mM L-His solution at three distinct pHs (pH = 5.5, pH = 7.2, and pH = 10.5).

The impact of L-His concentration on electrooxidation activity was examined using Ru-Mo/CNT modified GCE electrode. The current density of histidine electrooxidation was determined by testing five different concentrations, as shown in Figure 3. The results demonstrated that the optimal current was obtained at a concentration of 5 mM for the electrooxidation of L-His amino acid.

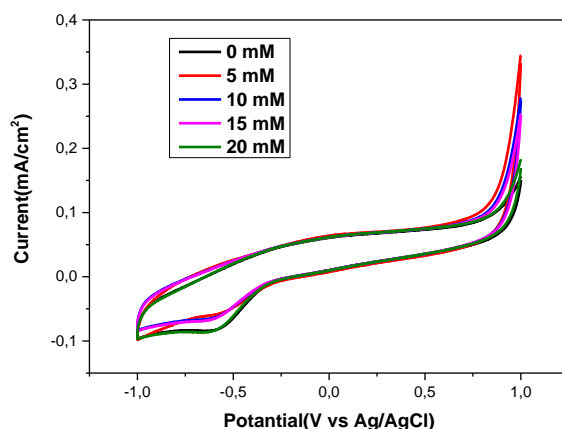


Figure 3. Cyclic Voltammograms obtained at various L-His concentration (0-5-10-15-20 mM) in 0.1 M PBS (pH=7.2) solution at 100 mV/s scan rate on Ru-Mo/CNT modified GCE electrode

L-His employing CV to modify a GCE electrode with Ru-Mo/CNT. The data in Figure 4 demonstrate that there is a direct correlation between the scan rate and the increase in the L-His electrochemical oxidation current. According to these findings, diffusion-controlled formation is to blame. The researchers measured the electroactive surface area of the modified electrode using CV at different

scan rates ranging from (10-500 mV/s) in 0.1 M PBS in order to assess its efficacy (Figure 4a). The concentration of the solution, effective surface area, square root of the scan rate, phosphate diffusion coefficient, and electron count were all determined using the Randles-Sevcik equation. Assuming this, the data demonstrated the electrode's effective surface area ( $R^2 = 0.97$ ) (Fig. 4b).

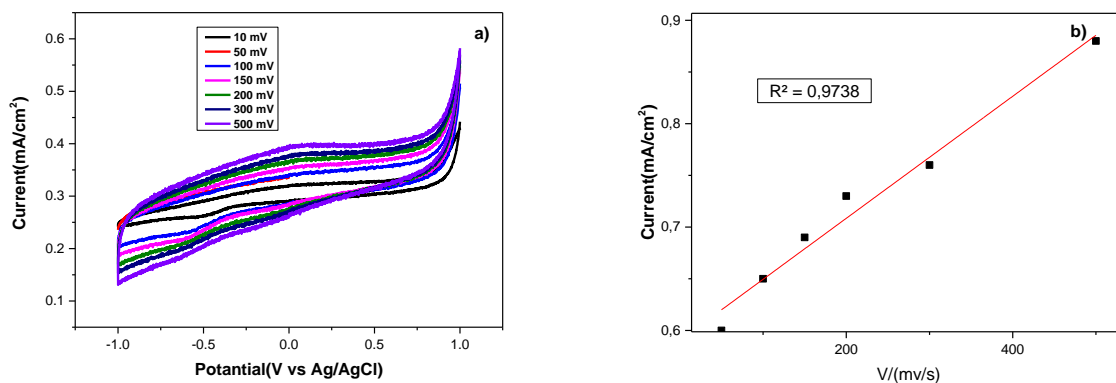


Figure 4. a) Ru-Mo/CNT modified GCE electrode cyclic voltage clamps in 0.1 M PBS (pH=7.2) + 5 mM L-His solution at varying scan rates (10-500, mV/s), b) linear regression of peak currents vs the square root of scan rates.

A study was carried out to assess the sensitivity of an L-His detection approach employing DPV. The results presented in Figure 5 showed that when a GCE electrode was replaced with Ru-Mo/CNT, 0.1 M PBS, and L-His concentrations ranging from 0 to 750  $\mu\text{M}$ , the response increased as the L-His concentration increased, even at low concentrations. The maximum current density values obtained from the concentration curve were plotted and presented in Figure 5b. A linear response was observed in the range of 0.0002 mA/cm<sup>2</sup> current sensitivity, 0.02  $\mu\text{M}$  LOD, and 0.06  $\mu\text{M}$  LOQ signal-50-400  $\mu\text{M}$  for the Ru-Mo/CNT-based L-His sensor. These findings demonstrate that the approach is sensitive to L-His and can pick it up at low concentrations.

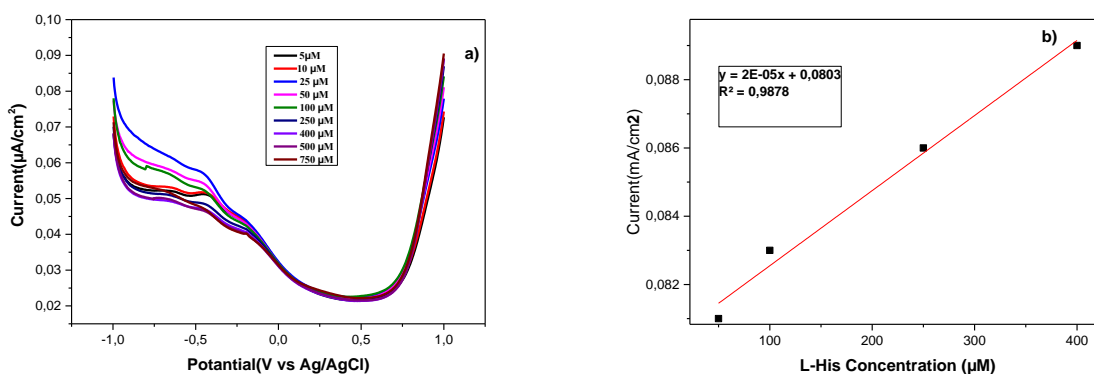


Figure 5. a) DPV measurements on the modified Ru-Mo/CNT GCE electrode in the presence of (5 – 750  $\mu\text{M}$ ) L-His solution in 0.1 M PBS (pH=7.2), b) Linear regression of maximum current versus L-His concentration.



The EIS method was used to determine the electrode capacitance and charge transfer resistance on the electrode. As seen in Figure 6, the current of electrooxidation of Ru-Mo/CNT-modified GCE and L-His in the solution prepared in 0.1 M PBS and 5 mM L-His shows that it has the best charge transfer resistance at -0.4V.

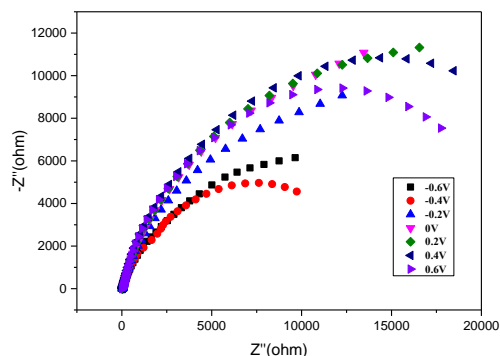


Figure 6. Ru-Mo/CNT modified GCE electrode EIS and equivalent circuit model at various potentials at 0.1 M PBS (pH 7.2) + 5 mM L-His

#### 4. Conclusion

At present, Ru-Mo/CNT catalyst has been prepared by NaBH<sub>4</sub> reduction method. The characterization of this bimetallic Ru-Mo/CNT catalyst and its application as L-His sensor have been carried out. The characterization results revealed that Ru-Mo/CNT modified GCE electrode was prepared with desired Ru and Mo loading. The results obtained from XRD and SEM and NaBH<sub>4</sub> reduction method are shown to be an effective method for the preparation of L-His sensor material. Ru-Mo/CNT modified GCE electrode showed good electrochemical responses towards L-His with high sensitivity, stability and selectivity. This work is novel and will contribute to the literature for constructing an L-His sensor.

#### Acknowledgment

Omrüye Ozok Arici writing—original draft preparation, review and editing, Aykut Caglar, formal analysis, Hilal Kivrak, visualization, Arif Kivrak supervision. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

#### Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### References

- [1] S. Shahrokhian, (2001). Lead phthalocyanine as a selective carrier for preparation of a cysteine-selective electrode. *Analytical Chemistry*, 73(24), 5972-5978.
- [2] C.G. Nan, W.X. Ping, D.J. Ping, C.H. Qing, (1999). A study on electrochemistry of histidine and its metabolites based on the diazo coupling reaction. *Talanta*, 49(2), 319-330.
- [3] A. Torrado, G.K. Walkup, B. Imperiali, (1998). Exploiting polypeptide motifs for the design of selective Cu (II) ion chemosensors. *Journal of the American Chemical Society*, 120(3), 609-610.

- [4] C.S. Lee, P.F. Teng, W.L. Wong, H.L. Kwong, A.S. Chan, (2005). New C<sub>2</sub>-symmetric 2, 2'-bipyridine crown macrocycles for enantioselective recognition of amino acid derivatives. *Tetrahedron*, 61(33), 7924-7930.
- [5] J. Wang, M.P. Chatrathi, B. Tian, (2000). Micromachined separation chips with a precolumn reactor and end-column electrochemical detector. *Analytical chemistry*, 72(23), 5774-5778.
- [6] D. Vardanega, C. Girardet, (2009). Nonlinear polarization effects in superchiral nanotube sensors of amino acids. *Chemical Physics Letters*, 469(1-3), 172-176.
- [7] S. Ouchemoukh, N. Amessis-Ouchemoukh, M. Gómez-Romero, F. Aboud, A. Giuseppe, A. Fernández-Gutiérrez, A. Segura-Carretero, (2017). Characterisation of phenolic compounds in Algerian honeys by RP-HPLC coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 460-469.
- [8] V. M. Gumerov, E. P. Andrianova, M. A. Matilla, K. M. Page, E. Monteagudo-Cascales, A. C. Dolphin, I. B. Zhulin, (2022). Amino acid sensor conserved from bacteria to humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(10), e2110415119.
- [9] H. Çelik Kazıcı, A. Caglar, T. Aydogmus, N. Aktas, H. Kivrak, (2018). Microstructured prealloyed Titanium-Nickel powder as a novel nonenzymatic hydrogen peroxide sensor, *Journal of Colloid and Interface Science*, 530 353-360.
- [10] K. Tian, S. Alex, G. Siegel, A. Tiwari, (2015). Enzymatic glucose sensor based on Au nanoparticle and plant-like ZnO film modified electrode. *Materials Science and Engineering: C*, 46, 548-552.
- [11] H. Kivrak, O. F. Er, O. Ozok, S. Celik, A. Kivrak, (2022). Synthesis and characterization of 4-(2-(4-methoxyphenyl) benzo [b] thiophen-3-yl) benzaldehyde for carbohydrate antigen 125 electrochemical detection and molecular docking modeling. *Materials Chemistry and Physics*, 281, 125951.
- [12] A.R. Ferhan, J.A. Jackman, J.H. Park, N.J. Cho, D.H. Kim, (2018). Nanoplasmonic sensors for detecting circulating cancer biomarkers. *Advanced drug delivery reviews*, 125, 48-77.
- [13] M. Heidari, A. Ghaffarinejad, (2019). Electrochemical sensor for L-cysteine by using a cobalt (II)/aluminum (III) layered double hydroxide as a nanocatalyst. *Microchimica Acta*, 186, 1-7.
- [14] S. Zhou, Z. Deng, Z. Wu, M. Xie, Y. Tian, Y. Wu, J. Liu, G. Li, Q. He, (2019). Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/rGO nanocomposite modified electrodes for detection of tryptophan through electrochemical route. *Nanomaterials*, 9(6), 811.
- [15] B. Nohwal, R. Chaudhary, C.S. Pundir, (2020). Amperometric l-lysine determination biosensor amplified with l-lysine oxidase nanoparticles and graphene oxide nanoparticles. *Process Biochemistry*, 97, 57-63.
- [16] W. Dai, H. Li, M. Li, C. Li, X. Wu, B. Yang, (2015). Electrochemical imprinted polycrystalline nickel–nickel oxide half-nanotube-modified boron-doped diamond electrode for the detection of l-serine. *ACS applied materials & interfaces*, 7(41), 22858-22867.
- [17] M. Hasanzadeh, H.N. Baghban, N. Shadjou, (2018). Non-enzymatic determination of L-Proline amino acid in unprocessed human plasma sample using hybrid of graphene quantum dots decorated with gold nanoparticles and poly cysteine: a novel signal amplification strategy. *Analytical Sciences*, 34(3), 355-362.
- [18] H. Liu, J. Shao, L. Shi, W. Ke, F. Zheng, Y. Zhao, (2020). Electroactive NPs and D-amino acids oxidase engineered electrochemical chiral sensor for D-alanine detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 304, 127333.
- [19] B. Ulas, A. Caglar, S. Yilmaz, U. Ecer, Y. Yilmaz, T. Sahan, H. Kivrak, (2019). Towards more active and stable PdAgCr electrocatalysts for formic acid electrooxidation: the role of optimization via response surface methodology. *International Journal of Energy Research*, 43(15), 8985-9000.
- [20] M.J.A. Abbas, A. Caglar, H. Kivrak, (2024). The synthesis and characterization of carbon nanotube-supported CuBi catalyst for H<sub>2</sub> production from NaBH<sub>4</sub> methanolysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 185, 96-104.

- [21] A. Biswas, S. Paul, A. Banerjee, (2015). Carbon nanodots, Ru nanodots and hybrid nanodots: preparation and catalytic properties. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(29), 15074-15081.
- [22] G. Zhang, T. Chen, Y. Zhang, T. Liu, G. Wang, (2020). Effective conversion of cellulose to sorbitol catalyzed by mesoporous carbon supported ruthenium combined with zirconium phosphate. *Catalysis Letters*, 150, 2294-2303.



Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi Dergisi  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyuyumfd>



Genleştirilmiş Perlit ve Poliüretan Atık Agregaların Hafif Betonların  
Mekanik Davranış ve Geçirimsizlik Özelliklerine Etkileri

Fatih Özalp<sup>a,\*</sup>, Ömer Fatih Sak<sup>b</sup>

<sup>a</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Medeniyet Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7179-5873

<sup>b</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Doğuş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4385-4535

ÖZET

Bu çalışmanın amacı genleştirilmiş perlit malzeme ve poliüretan atık malzemelerin beton agregası olarak hafif beton üretiminde kullanılmasını araştırmaktır. Bu kapsamda, yalnızca genleştirilmiş perlit agregası, perlit ve poliüretan atık agregasının birlikte kullanıldığı ve tamamen poliüretan atık agregası kullanılan karışımlar hazırlanmıştır. Ayrıca bu karışımların mekanik özelliklerini geliştirmek için çelik ve sentetik lifler ayrı ayrı olarak karışımlara ilave edilmiştir. Karışılma amacıyla herhangi lif kullanılmayan referans karışımlarda hazırlanmıştır. Çelik ve sentetik lifler hacimce %0,5 ve %1 oranında kullanılmıştır. En yüksek eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerine sırasıyla 5,30 ve 3,05 MPa olarak sadece perlit agregası kullanılan ve %1 oranında çelik lif içeren numunelerde ulaşılmıştır. Tüm karışımlar arasında ise en düşük eğilme ve yarma çekme dayanımı değerleri ise sırasıyla 1,00 ve 0,50 MPa olmak üzere yalnızca poliüretan agregası kullanılan lif içermeyen numunelerde gerçekleşmiştir. Perlit ve poliüretan agregasının hafif betonun geçirimsizlik özelliklerine etkisi su emme ve kılcal su emme testleri ile belirlenmiştir. Poliüretan agregasının toz halde olmasından dolayı betonun su ihtiyacı perlit agregası karışımlara kıyasla çok daha fazla olmaktadır ve bu karışımların geçirimsizlik değerleri daha yüksektir. Çalışma sonucunda, perlit agregaları kullanılarak taşıyıcı özellikte yapısal hafif betonların üretilebileceği, poliüretan atık kullanılan beton karışımlarının ise mekanik dayanımlarının yapısal hafif betonlar için uygun olmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Genleştirilmiş Perlit, Poliüretan Atık, Lif, Hafif Beton, Mekanik Davranış, Geçirimsizlik.

Effects of Expanded Perlite and Polyurethane Waste Aggregates on Mechanical  
Behavior and Permeability Properties of Lightweight Concretes

Fatih Özalp<sup>a,\*</sup>, Ömer Fatih Sak<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Medeniyet University, Istanbul, Turkey, ORCID: 0000-0001-7179-5873

<sup>b</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Doğuş University, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4385-4535

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the use of expanded perlite material and polyurethane waste materials as concrete aggregate in the production of lightweight concrete. In this context, mixtures in which only containing expanded perlite aggregate, perlite and polyurethane waste aggregate together, and completely polyurethane waste aggregate were prepared. In addition, steel and synthetic fibers were added separately to the mixtures to improve the mechanical properties of these mixtures. Reference mixtures without any fibers were prepared for comparison. Steel and synthetic fibers were used at 0.5% and 1% by volume. The highest bending strength and splitting tensile strength values, 5.30 and 3.05 MPa, respectively, were reached in samples using only perlite aggregate and containing 1% steel fiber. Among all mixtures, the lowest bending and splitting tensile strength values were 1.00 and 0.50 MPa, respectively, in samples using only polyurethane aggregate and containing no fibres. The effect of perlite and polyurethane aggregate on the permeability properties of lightweight concrete was determined by water absorption and capillary water absorption tests. Since polyurethane aggregate is in powder form, the water requirement of concrete is much higher than mixtures containing perlite aggregate, and the permeability values of these mixtures are higher. As a result of the study, it was determined that structural lightweight concretes could be produced using perlite aggregates, whereas the mechanical strength of concrete mixtures using polyurethane waste was insufficient for structural lightweight concretes.

**Keywords:** Expanded Perlite, Polyurethane Waste, Fiber, Lightweight Concrete, Mechanical Behavior, Permeability.



## 1. Giriş

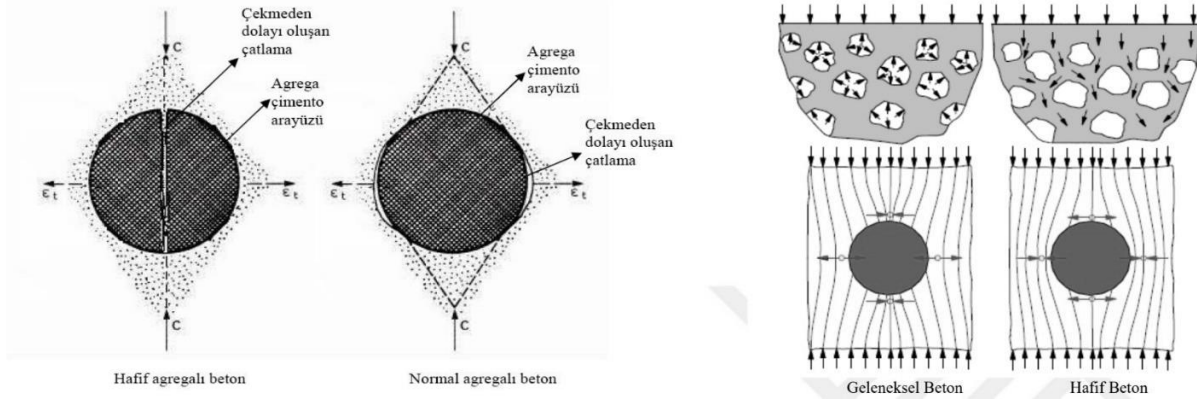
Günümüzde birçok doğal veya endüstriyel atık durumdaki malzeme beton bileşen malzemeleri yerine doğrudan ikame edilerek ya da beton bileşenlerinin bazıları ile birlikte olarak kullanılabilir. Bu malzemeler çimento üretiminde yakıt, klinker hammaddesi veya mineral katkı olarak kullanılabilirken beton bileşiminde ise agrega olarak kullanılabilir. Bu şekilde farklı malzemeleri değerlendirmek, depolama alanlarının azaltılması, doğal hammadde kullanımının en aza indirilmesi ve agrega ocaklarının maliyetlerini azaltılması gibi avantajlar sağlamaktadır [1-2].

Yapıda kullanılan temel malzeme olan “normal beton” yoğunluğu genellikle  $2400 \text{ kg/m}^3$  civarındadır. Yoğunluğu,  $2600 \text{ kg/m}^3$  değerinden fazla olanlar “ağır beton”, etüv kurusu durumdaki yoğunluğu  $2000 \text{ kg/m}^3$  değerinin altında olan betonlar ise “hafif beton” olarak adlandırılmaktadır. Hafif betonlar, çimento hamurunun geliştirilmesi ya da sadece iri agrega kullanılarak üretilebileceği gibi beton bileşiminde, geleneksel agrega yerine hafif agregalar kullanılarak da üretilen betonlardır. Özellikle taşıyıcı hafif betonların üretiminde hafif agregaların kullanımı oldukça yaygındır. Hafif betonların sınıflandırılması üretim tekniğine ve malzemesine göre; ince tane içermeyen betonlar, hafif agregalı betonlar ve gaz betonları olarak; işlevlerine göre ise taşıyıcı hafif betonlar, taşıyıcı/yalıtım hafif betonları ve yalıtım hafif betonları olmak üzere üçe ayrılır [3].

Hafif beton üretiminde kullanılan agregalardan bir tanesi de perlittir. Perlit silis esaslı volkanik bir kayaç olup doğal olarak oluşmaktadır. Bu kayaç tipi geliştirildikten sonra yüksek ısı izolasyonu ve ses izolasyonu sunan bir kayaç tipidir. Dünyadaki perlit rezervinin yüksek bir bölümü ülkemizin maden yatakları içerisinde yer almaktadır. Perlit inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlit birim hacim ağırlığının düşük olmasından dolayı yapıların depreme olan dayanımlarına katkı sağlamaktadır. Hafif betonlarda ısı ve ses yalıtımı açısından tercih edilerek enerji verimliliği açısından ülke ekonomisine büyük katkı sağlayabilir. Hafif betonlar ve hafif agregalar inşaat sektöründe oldukça yaygın kullanılan yapı malzemeleridir. Bu yapı malzemelerinde kullanılan agregaların özelliklerine bağlı olarak, betonların birim hacim ağırlığı kullanılan hafif agregalarla düşürülebilmektedir. Hafif betonlar normal betonlara oranla; yapılarıdaki ölü yükleri azaltması, düşük işçilik maliyetleri oluşturması, ısı ve ses yalıtımı hususunda yüksek katkısı gibi üstünlükleri bulunmaktadır [4].

Perlite ısı işlem uygulanarak ortaya çıkan düşük yoğunluktaki malzemeye ise genişlemiş perlit denilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda ( $870 \text{ °C}$  ve üzeri) hacmi orijinal hacminin 4–20 katı kadar artar. Bu hacim artışı ve gözenekli yapısı sonucunda geliştirilmiş perlitin su emmesi önemli ölçüde yüksektir. Ayrıca, hacminin artmasıyla ısı iletim katsayısının ve yoğunluğunun belirgin olarak azalmasından dolayı termal yalıtım için oldukça hafif ve uygun bir malzeme elde edilmiş olur. Perlit, inşaat sektöründe; çatı ve zemin izolasyonlarında, perlitli sıvalar, perlit agregalı hafif yalıtım betonu, perlit agregalı hafif yapı elemanları, ısı ve ses yalıtım amaçlı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Perlitin inşaat dışında tarım, tıp ve kimya endüstrisinde de geniş kullanım alanları bulunmaktadır [5].

Hafif agregalı betonların normal agregalı betonlara kıyasla basınç ve çekme dayanımları nispeten daha düşüktür. Bu durumun nedeni hafif beton üretiminde kullanılan agregaların göreceli olarak düşük dayanımından kaynaklanmaktadır. Hafif agregalı betonlara yük uygulandığında agreganın dayanımı çimento harcının dayanımından düşük olduğundan dolayı kırılma işlemi agrega ile çimento ara yüzü yerine hafif agregada gerçekleşir. Normal agregalı betonlarda ise agreganın dayanımının çimento hamurundan daha fazla olmasından dolayı kırılma işlemi normal beton içerisinde en zayıf bölge olan agrega–çimento hamuru ara yüzeyinde gerçekleşir. Betonun kırılma davranışı açısından bu durum oldukça önemlidir ve hafif agregalı betonlarda agrega dayanımı arttıkça hafif betonun dayanımı da artmaktadır. Şekil 1’de normal agregalı beton ve hafif agregalı betonun yükleme altındaki tipik davranışı verilmektedir [6].



Şekil 1. Normal agregalı beton ve hafif agregalı betonun yüklemeye altındaki tipik davranışları [6].

Hafif betonda genişletilmiş perlit ve poliüretan malzemelerin agrega olarak kullanılmasıyla ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bazı araştırmacılar sert poliüretan köpük içeren hafif betonun performansını ve dayanıklılığını araştırmışlardır. Çalışmada, atık köpük kullanımının, malzemenin kuru yoğunluğunu %36 oranında azalttığı belirlenmiştir. Hafif beton, 8-16 MPa'lık bir basınç dayanımına ve 10-15 GPa değerinde bir dinamik elastiklik modülüne sahip olmuştur [7].

Başka bir çalışmada, poliüretan bazlı polimer betonun darbe direnci, yeni tasarlanmış bir ağırlık düşürme darbe test cihazında U şekilli numuneler kullanarak test edilmiştir. Poliüretan bazlı polimer beton numuneleri, doğal kum ve poliüretan matrisin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen numuneler geleneksel beton numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak poliüretan bağlayıcı bileşiminin darbe sürelerini ve enerji emme kapasitesini büyük ölçüde artırdığı belirlenmiştir [8]. Beton karışımındaki ana agregalar olarak perlit ve cam kumu ilavesinin incelendiği çalışmada ise genişletilmiş perlit ilavesinin betonun fiziksel özelliklerini ve dayanıklılığını iyileştirdiği bulunmuştur. Genleştirilmiş perlitin eklenmesinin cam kumuna kıyasla perlit malzemenin daha yüksek yoğunluğundan dolayı betonun mukavemetini arttırdığı değerlendirilmiştir [9].

Lif takviyeli poliüretan içeren betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı, işlenebilirlik ve tokluk gibi temel taze beton özellikleri ve mekanik davranışının araştırıldığı bir çalışmada geliştirilen poliüretan esaslı beton malzemenin köprü genişleme derzlerinin hızlı onarımında ve hasar tamirinde kullanılabileceği belirlenmiştir [10]. Hafif beton üretimi için poliüretan atıklarının çimento karışımlarına katılması üzerine yapılan bir diğer çalışmada poliüretan malzemenin hafif betonun ısı iletkenliği, mekanik dayanımı ve büzülmesi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Betonda poliüretan köpük kullanımının özellikle ilk günlerde (7 gün) rötrede ciddi oranda artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar poliüretan malzemenin yüksek sertliği ve düşük basınç dayanımı ile ilişkilendirilmiştir [11]. Genleştirilmiş perlit parçacıkları içeren çimentolu kompozitlerin farklı yaşlardaki mikro yapısı, mekanik özellikleri ve klorür penetrasyon direncinin incelendiği başka bir çalışmada ise matris ile genişmiş perlit agregalar arasında içsel kütleme etkisine atfedilebilecek kompakt bir arayüzey geçiş bölgesinin varlığı gösterilmiştir [12].

Bazı araştırmacılar atık poliüretanı hafif harç imalatında kullanmışlar ve harçların birim ağırlık değerleri, ultrasonik dalga hızları, ısı iletkenlik katsayıları gibi fiziksel özellikleri ile eğilme ve basınç dayanımı gibi mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak atık poliüretan ile imal edilen harçların EPS'li (Expanded polystyren foam) harçlara göre daha iyi performans gösterdiği ve daha yüksek eğilme ve basınç dayanımına sahip oldukları tespit edilmiştir [13]. Başka bir çalışmada polimer bağlayıcı olarak vinilester reçine, hafif agrega olarak pomza ve genişletilmiş perlit kullanarak polimer beton üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Numunelere eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Polimer betonun her iki türü değerlendirildiğinde pomza taşı ile üretilen numunenin mekanik özelliklerinin genişletilmiş perlit ile yapılan numuneye göre daha yüksek olduğu

belirlenmiştir [14]. Mermer atıklarının ve genişletilmiş perlit agreganın betonda kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada ise mermer atıklarının ve genişletilmiş perlit agregaların kullanılmasının betonda enerji tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. Araştırma sonucunda geliştirilen malzemenin, ekonomik ve çevresel açıdan da faydalı olduğu tespit edilmiştir [15]. Ayrıca poliüretanla ilgili olarak demiryolu yapılarında, dolgu malzemesi alanında ve hafif harç yapımıyla ilgili olarak çeşitli araştırmalar yapılmıştır [16-18]. Ayrıca perlit esaslı geopolimer ile ilgili olarak yapılmış olan pek çok deneysel çalışma mevcuttur [19-22].

Bu çalışmada, farklı hafif agregaların ve değişik liflerin kullanılmasının hafif betonun taze ve sertleşmiş halde bazı özelliklerine etkilerini belirlemek amacı ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karışımlarda hafif agrega olarak perlit ve poliüretan agregalar olmak üzere 2 farklı tipte agregalar kullanılmış olup tüm agregalar hava kurusu durumdadır. Ayrıca çalışmada liflerin hafif betonun mekanik özelliklerine etkisini belirlemek için çelik ve sentetik lifler olmak üzere 2 farklı tip lif kullanılmıştır. Çalışma kapsamında toplam 12 farklı tasarıma sahip beton serileri üretilmiş olup tüm karışımlar lif eklenmeden önce yaklaşık 600 mm yayılma çapı değerinde olacak şekilde hazırlanmıştır. Hafif beton karışımlarında bileşen malzeme olarak; çimento, su, hafif agrega, yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı, çelik ve sentetik lifler kullanılmıştır. Bu karışımlardan küp ve kiriş numuneler üretilmiş ve numuneler 28 günlük olana kadar tüm numunelere 20°C sıcaklıkta su kürü uygulanmıştır. Kür işlemi sonrasında numunelerin basınç dayanımları, eğilme dayanımları ve yarmada çekme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca, üretilen hafif beton numunelerinin geçirimsizliği için su emme ve kılcal su emme testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında hafif betonlar ile ilgili mevcut literatürden farklı olarak perlit ve poliüretan agregaların ayrı ayrı veya birlikte olarak hafif betonlarda kullanımları incelenmiştir. Ayrıca, çeşitli lifler kullanılarak bu hafif agregalarla üretilen betonların mekanik davranışı da araştırılmıştır. Böylece, genişletilmiş perlit ve atık poliüretan gibi farklı hafif agrega türlerinin ve çeşitli lifler kullanılmasının hafif betonun mekanik davranışı ve geçirimsizlik özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Hafif beton, çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilen çok yönlü bir malzemedir. Hafif beton uzun yıllardan bu yana bilinmekte ve kullanılıyor olsa dahi hala mekanik davranışının ve yalıtım özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Günümüzde değişik bağlayıcılar, agregalar ve kimyasal katkı maddelerinin kullanıldığı farklı hafif beton türleri bulunmaktadır. Bu araştırmada perlit hafif agrega ve atık durumdaki poliüretan hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonların test edilmesi ve sınıflandırılması ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. Perlit agregası ve atık poliüretan agregalar kullanılarak hafif betonlar üretilmiş ve bu betonların taze ve sertleşmiş halde özellikleri belirlenmiştir. Beton üretiminde CEM IV / B (P) 32,5 N- Puzolanik çimentosu ve yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Beton karışımlarına %0.5 ve %1 oranda olmak üzere hacimce 2 farklı oranda çelik lifler ve sentetik lifler ayrı ayrı olarak ilave edilerek betonun mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca karşılaştırma amaçlı lif içermeyen yalın beton numuneleri de çalışma kapsamında hazırlanmıştır.

### 2.1. Malzemeler ve Karışım Oranları

Çalışmada CEM IV / B (P) 32,5 N- tipi katkı çimento kullanılmıştır. Bu çimento, Portland çimento klinkerine %36-%55 arası oranda uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, kalker, gibi katkı maddelerinin ve bir miktar alçıtaşının ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) katılarak öğütülmesi ile elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Çimentonun TS EN 197-1 standardına göre bazı özellikleri Çizelge 1'de sunulmaktadır. Çimentonun özgül ağırlığı 2,85 kg/dm<sup>3</sup> tür. Çimentonun içeriği %50 Portland Çimento Klinkeri, %40 Doğal Puzolan (Tras), %5 Kalker ve %5 Alçı taşından oluşmaktadır.

Çizelge 1. Çimento özellikleri

| Temel Gereksinimler                   | TS EN 197-1             |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Ana Bileşen Klinker (K) Kütlece       | % 45 - 64               |
| Ana Bileşen Doğal Puzolan (P) Kütlece | % 36 - 55               |
| Minör Bileşenler Kütlece              | % 0 - 5                 |
| Klinker C <sub>3</sub> A İçeriği      | < %9                    |
| Basınç Dayanımı – 7 Günlük            | > 16 MPa                |
| Basınç Dayanımı – 28 Günlük           | > 32,5 MPa - < 52,5 MPa |
| Priz Başlama Süresi                   | > 75 dakika             |
| Genleşme                              | < 10mm                  |
| Sülfat Miktarı (SO <sub>3</sub> )     | < % 3                   |
| Klorür Muhtevası (Cl)                 | < % 0,10                |
| Özgül Ağırlık (H <sub>2</sub> O = 1)  | 2,75-2,95               |

Bu çalışmada hafif beton tasarımlarında geliştirilmiş perlit agregası ve endüstriyel atık olan poliüretan agregası kullanılmıştır. Geliştirilmiş perlit agregası ve poliüretan atık agregasının fiziksel özellikleri Çizelge 2’de gösterilmiştir; elek analizi sonuçları Çizelge 3’te gösterilmiştir; zamana bağlı su emme miktarı ise Çizelge 4’te verilmiştir. Ayrıca bu agregaların görselleri Şekil 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2. Perlit ve poliüretan atık agregasının fiziksel özellikleri

| Fiziksel Özellik   | Perlit Agregası | Poliüretan Agregası |
|--|-----------------|---------------------|
| Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )                    | 0,11            | 0,49                |
| Doğru ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> ) | 0,54            | 0,46                |
| Görünür tane yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )                    | 0,24            | 0,24                |
| Etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )          | 0,14            | 0,17                |
| Metilen mavisi (ml/gr)   | 0,25            | 0,25                |
| Çok ince malzeme muhtevası (%)                                 | 8,9             | 13,0                |

Tablo 3. Perlit ve poliüretan atık agregasının elek analizi

| Elek Boyutu (mm) | Perlit Agregası Geçen Miktar (%) | Poliüretan Agregası Geçen Miktar (%) |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 8                | 100                              | 100                                  |
| 4                | 61                               | 100                                  |
| 2                | 30                               | 100                                  |
| 1                | 19                               | 99                                   |
| 0.5              | 15                               | 96                                   |
| 0.25             | 13                               | 45                                   |
| 0.125            | 11                               | 14                                   |
| 0.063            | 9                                | 13                                   |



Tablo 4. Perlit ve poliüretan atık agreganın zamana bağlı su emmesi

| Zaman      | Perlit Agregası Su Emme (%) | Poliüretan Agregası Su Emme (%) |
|------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 5 (dakika) | 226                         | 165                             |
| 1 (saat)   | 229                         | 166                             |
| 24 (saat)  | 286                         | 171                             |



Şekil 2. Perlit ve poliüretan atık agreganın görüntüsü

Karışımlarda yüksek dayanımlı çelik lif ve polipropilen kökenli sentetik lif kullanılmıştır. Çelik lifler EN 14899-1 standardına göre üretilmiştir. Yüksek dayanımlı çelik liflerin uç kısımları betonla daha iyi aderans sağlaması ve birlikte çalışabilmesi için şekillidir. Sentetik lifler ise betona daha iyi bir tutunma için girinti ve çıkıntılı yüzey geometrisine sahiptir. Liflerin çekme mukavemetinin yanında betonla aderansları da önemlidir. Aksi takdirde lifler betondan sıyrılmaya eğilimli davranış gösterebilirler ve bu durum liflerin çekme dayanımından efektif yararlanılmasını engelleyebilir. Çalışmada kullanılan yüksek dayanımlı çelik liflerin geometrisi ve polipropilen sentetik lifin özellikleri Çizelge 5'te ve görüntüleri Şekil 3'te verilmektedir.

Tablo 5. Çelik ve sentetik lifin özellikleri

| Karakteristik Özellik               | Çelik Lif  | Sentetik Lif |
|-------------------------------------|------------|--------------|
| Fiber Sınıfı                        | EN 14899-1 | EN 14889-2   |
| Ham Madde                           | Çelik      | Polipropilen |
| Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | 7,85       | 0,91         |
| Uzunluk (mm)                        | 60         | 54           |
| Çap (mm)                            | 0,90       | 0,95         |
| Narinlik                            | 65         | 60           |
| Çekme Gerilmesi (MPa)               | 2300       | 530          |
| Elastisite Modülü (GPa)             | 210        | 7,2          |
| Erime Sıcaklığı (°C)                | 1450       | 160          |
| Korozyon Direnci                    | İyi        | Çok İyi      |
| Fiber Adedi / Kg                    | 3124       | 28000        |



Şekil 3. Yüksek dayanımlı (5D) çelik lifler ve polipropilen kökenli sentetik lif görüntüsü

## 2.2. Karışım Tasarımı

Çalışmada yüksek dayanımlı çelik lif ve polipropilen esaslı sentetik lif olmak üzere 2 farklı dayanıma sahip lifler kullanılmıştır. Çelik lifin çekme mukavemeti 2300 MPa' dır ve sentetik elyaf 530 MPa çekme mukavemetine sahiptir. Çalışmada çelik lif ve sentetik lif hacimce %0,5 ve %1 olmak üzere 2 farklı oranda kullanılmıştır. Ayrıca lif içermeyen yalın (referans) bir karışımda karşılaştırma amacıyla hazırlanmıştır. Hafif beton performansını iyileştirmek için yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı çimentoya ağırlıkça %1,0-%1,4 oranları arasında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcının katı madde oranı %30'dur. Bu çalışmada kullanılan hafif agregalar, maksimum tane boyutu 8 mm olan genişletilmiş perlit agregası ve maksimum tane boyutu 1 mm olan poliüretan kökenli atık agregadır. Tüm karışımlarda, 600 mm yayılma çapında akıcı kıvamlı bir beton kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm hafif beton karışım tasarımları Çizelge 6'da verilmektedir. Tüm numuneler çelik kalıplar kullanılarak dökülmüştür. Numuneler 1 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 28 günlük test yaşına kadar su dolu kür tankında bekletilmiştir. Çalışmada beton numunelerinin hazırlanmasında 100x100x500 mm ebatlarında kiriş kalıplar kullanılmıştır (Şekil 4). Bu kalıplar beton dökümü öncesinde betonun çelik numune kalıbına yapışmasını önlemek amacı ile bir fırça yardımıyla yağlanmıştır.

Tablo 6. Karışımlarda kullanılan bileşen malzemeler ve miktarları (1 m<sup>3</sup>)

| Malzemeler                   | Çimento (kg) | Perlit agregası (kg) | Poliüretan atık (kg) | Su (kg) | Katkı (kg) | Çelik lif (kg) | Sentetik lif (kg) |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|---------|------------|----------------|-------------------|
| K1 Perlit Lifsiz             | 700          | 257                  | -                    | 324     | 7,0        | -              | -                 |
| K2 Perlit %0,5 ÇL            | 700          | 257                  | -                    | 324     | 7,0        | 35,0           | -                 |
| K3 Perlit %1 ÇL              | 700          | 257                  | -                    | 324     | 7,0        | 70,0           | -                 |
| K4 Perlit %0,5 SL            | 700          | 257                  | -                    | 324     | 7,0        | -              | 4,1               |
| K5 Perlit %1 SL              | 700          | 257                  | -                    | 324     | 7,0        | -              | 8,2               |
| K6 Perlit-Poliüretan Lifsiz  | 600          | 110                  | 110                  | 360     | 8,4        | -              | -                 |
| K7 Perlit-Poliüretan %0,4 SL | 600          | 110                  | 110                  | 360     | 8,4        | -              | 3,5               |
| K8 Perlit-Poliüretan %0,8 SL | 600          | 110                  | 110                  | 360     | 8,4        | -              | 7,0               |
| K9 Perlit-Poliüretan %0,6 SL | 600          | 110                  | 110                  | 360     | 8,4        | -              | 5,3               |
| K10 Poliüretan Lifsiz        | 500          | -                    | 183                  | 467     | 7,0        | -              | -                 |
| K11 Poliüretan %0,35 SL      | 500          | -                    | 183                  | 467     | 7,0        | -              | 2,9               |
| K12 Poliüretan %0,70 SL      | 500          | -                    | 183                  | 467     | 7,0        | -              | 5,8               |



Şekil 4. Hafif beton dökümü öncesinde kiriş numune kalıplarının hazırlanması

### 2.3. Numunelerin Hazırlanması

Karışımların hazırlanmasında öncelikle çimento ve hafif agregalar homojen hale gelinceye kadar hava kurusu olarak karıştırılmıştır. İkinci aşamada, kuru malzemelere karışım suyunun bir kısmı ilave edilmiş ve 2 dakika süre ile karıştırılmıştır. Üçüncü aşamada, yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ve kalan su bir kaptaki karıştırılarak birlikte karışıma ilave edilmiştir. Böylece, kuru malzemelerin katkının suyunu emmesi ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin etkinliğinin azaltılması engellenmiştir. Son aşamada ise karışımlara lifler ilave edilmiştir. Hazırlanan çelik kalıplara hafif beton karışımları dökülmüştür. Çalışmada her bir hafif beton karışımından 100x100x500 mm boyutlarında kiriş numuneleri eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı ve geçirimsizlik testleri için hazırlanmıştır. Beton karışımının hazırlanması, liflerin ilave edilmesi, betonun kalıplara yerleştirilmesi ve betonun kalıptan sökülmesi aşamaları Şekil 5’te verilmektedir.

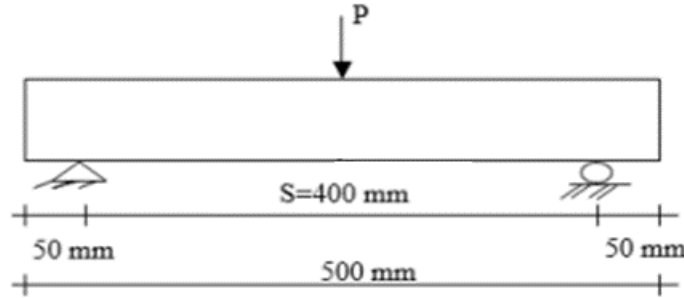


Şekil 5. Beton karışımının hazırlanması, liflerin ilave edilmesi, betonun kalıplara yerleştirilmesi ve kalıptan sökülmesi

Eğilme testlerinden kalan numuneler üzerinde basınç dayanımı, yarma çekme dayanımı ve kılcal su emme testleri yapılmıştır. Kiriş numuneleri üzerinde üç nokta eğilme testleri ile numunelerin eğilme dayanımları belirlenmiştir.

#### 2.4. Deney Tekniği

100x100x500 mm boyutlarındaki kiriş numuneler üzerinde üç noktalı eğilme testleri yapılmıştır. Yükleme 300 kN kapasiteli bir cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Yükleme düzeneğinin test kurulumu Şekil 6'da verilmiştir. Betonların eğilme dayanımı RILEM TC 50-FMC [23] komitesi tarafından önerilen kiriş numunelere ortadan yük uygulanması yöntemine göre 'Eşitlik 1' kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Eğilme deney düzeneği test kurulumu

$$F_{cf} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot B \cdot D \cdot D} \quad (1)$$

Burada  $F_{cf}$ , P, L, B ve D değerleri sırasıyla eğilme dayanımını (MPa), kırılma yükünü (N), mesnetler arası uzaklığı (mm), numune en kesit genişliği (mm) ve numune en kesit yüksekliği (mm) olarak verilmektedir.

Yarmada çekme deneyleri TS EN 12390-6 [24] standardına göre eğilme testlerinden kalan numuneler üzerinde yapılmıştır. Numunelere çizgisel yük uygulanarak yarmada çekme altında kırılma yükleri elde edilmiştir. Yük numunelere aktarılırken alttan ve üstten 4 mm kalınlıklı ince ahşap çubuklar kullanılmıştır. Bu deney yönteminde yükün uygulandığı yerlerde oluşan yerel basınç gerilmeleri, bu noktalardan uzaklaştıkça çekme gerilmelerine dönüşmektedir. Böylece, kesitin orta bölgesinde düzgün dağılımlı çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Burada uygulanan gerilme iki yönlü olduğundan aksenal çekme dayanımından daha büyük değerler elde edilmektedir. Yarmada çekme dayanımları aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (2)$$

Burada  $f_t$ , P, L ve D değerleri sırasıyla yarmada çekme dayanımını (MPa), kırılma yükünü (N), numune uzunluğunu (mm) ve numune yüksekliği (mm) olarak verilmektedir.

Tüm hafif beton numunelerinde basınç dayanımı deneyleri 100x100x100 mm küp numuneleri üzerinde 28. günlerde gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 5000 kN kapasiteli yükleme makinesi kullanılarak TS EN 12390-3 [25] standardına göre yapılmıştır.

Numunelere su emme ve kılcal su emme testleri de gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde numunelerin lif içermeyen yalnızca perlit agrega kullanılan K1, perlit agreganın poliüretan agrega ile ağırlıkça eşit miktarda kullanıldığı K6 ve yalnızca poliüretan atık agreganın kullanıldığı K10 karışımlarının sonuçları incelenmiştir. Böylece lifin betonda dağılımdan kaynaklanan belirsizlik dikkate alınmadan sadece agrega türündeki değişikliğin hafif betonların geçirimsizlik özelliklerine etkileri belirlenmiştir. Mekanik dayanım testlerine ait görseller Şekil 7'de verilmektedir.





Şekil 7. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı testlerine ait görseller

Kılcal su emme testleri ASTM C 1585 standardına göre bir kenarı 100 mm olan küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test yapılacak numuneler deneye başlamadan önce 70°C sıcaklıkta 1 gün boyunca etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Bu deneyde numunelerin su ile temas halindeki yüzeyinden kılcallık etkisinde suyun ilerlemesi ile numunelerin ağırlığının artmasından su emme miktarı 24 saat sonra belirlenmiştir. Ayrıca numuneler 3 gün su içerisinde bekletilerek ağırlıkları ölçülerek su emme değerleri de belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

100x100x500 mm boyutlarındaki kiriş numuneleri üzerinde bir yükleme cihazı kullanılarak 3 noktalı eğilme testleri yapılmıştır. Böylece numunelerin eğilme mukavemetleri belirlenmiştir. Ayrıca eğilme testi sonrası kiriş numunelerinden elde edilen 100x100x100 küp numuneler üzerinde geçirimsizlik, yarmada çekme ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Tüm mekanik dayanım ve geçirimsizlik test sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Perlit ve poliüretan atık agrega kullanılan hafif beton karışımlarının mekanik davranış ve geçirimsizlik özellikleri

| Karışımın kodu | Basınç dayanımı (MPa) | Eğilme dayanımı (MPa) | Yarmada çekme dayanımı (MPa) | Su emme (%) | Kılcal su emme (mm) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-------------|---------------------|
| K1             | 17,0                  | 2,5                   | 2,05                         | 15,9        | 0,76                |
| K2             | 14,5                  | 2,5                   | 2,00                         | -           | -                   |
| K3             | 18,9                  | 5,3                   | 3,05                         | -           | -                   |
| K4             | 13,2                  | 3,7                   | 2,35                         | -           | -                   |
| K5             | 12,7                  | 3,3                   | 2,15                         | -           | -                   |
| K6             | 5,0                   | 1,8                   | 0,80                         | 27,1        | 1,08                |
| K7             | 7,7                   | 2,1                   | 2,1                          | -           | -                   |
| K8             | 7,9                   | 2,4                   | 1,35                         | -           | -                   |
| K9             | 9,1                   | 2,6                   | 1,35                         | -           | -                   |
| K10            | 2,2                   | 1,0                   | 0,50                         | 43,4        | 2,76                |
| K11            | 3,7                   | 1,3                   | 0,65                         | -           | -                   |
| K12            | 3,5                   | 1,2                   | 0,55                         | -           | -                   |

\*Varyasyon katsayısı (C.O.V.) %3,2 ile %7,4 arasında değişmektedir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde tüm hafif beton karışımlarının basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin konvansiyonel normal yoğunluklu betonlara kıyasla düşük olduğu gözlenmektedir. Hafif agregaların dayanımının normal agregalardan daha düşük olması nedeniyle bu durum öngörülen bir sonuçtur. Dayanımı daha düşük agregalarla üretilen betonların mekanik özellikleri de düşük olmaktadır. Lif kullanım oranının hafif betonun çeşitli mekanik özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde ise çelik veya sentetik liflerin kullanılmasının mekanik özellikleri geliştirdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar birçok başka çalışma sonuçları ile uyumludur. Liflerin kullanılması hafif betonda eğilme dayanımı, yarma çekme dayanımı ve kırılma tokluğunu artırmaktadır. Liflerin kullanım miktarı arttıkça numunelerin eğilme ve yarma çekme mukavemetleri de artmaktadır [26]. Ancak bu çalışmada bazı numunelerde lif miktarının artması ile mekanik özelliklerde azalmalar gözlemlenmiştir. Bu düşüşün nedeni, liflerin beton içerisinde dağılmasının yeterli olmaması ve homojenliğin bozulması olarak değerlendirilmektedir. Betonda kullanılan lif hacminin artması ile bu etki daha da belirgin hale gelmektedir. Liflerin yeterince dağılamaması betonun akışkanlığını da önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir [27]. Bu nedenle liflerin beton içerisinde kullanımlarında lifin homojen dağılması ve betonun yerleştirme işlemlerine azami dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çalışma kapsamında perlit agrega ve poliüretan atık agregaların hafif betonda kullanımında ise yalnızca perlit agregası kullanılan karışımlarda su/çimento oranı 0,46 iken, ağırlıkça aynı oranda perlit agregası ve poliüretan agrega içeren karışımlarda su/çimento oranı 0,60 ve tamamen poliüretan agrega kullanılan karışımda ise 0,93 oranındadır. Poliüretan atık agrega kullanılan karışımlarda betonun hedeflenen işlenebilirlikte olması için karışımlara yüksek miktarda su ilavesi gerekmektedir. Bu duruma bağlı olarak poliüretan atık malzemenin kullanıldığı beton karışımların dayanımları daha düşük çıkmaktadır. Yalnızca perlit agrega kullanılan numunelerin, yalnızca poliüretan agrega kullanılan numunelere kıyasla basınç dayanımları 7,73 kat daha yüksek olarak belirlenmiştir. Betonda dayanımın temel parametrelerinden olan su/çimento oranının artmasıyla poliüretan agrega içeren karışımların perlit agrega içeren karışımlara göre mekanik özellikleri daha düşük olarak gerçekleşmektedir [28].

Tüm bu deneysel çalışmalardan sonuç olarak perlit agregalar kullanılarak TS 2511 standardına göre 28 günlük dayanımı 16 MPa üzeri olan taşıyıcı hafif betonların üretilebileceği tespit edilmiştir [29]. Amerika Beton Enstitüsü (ACI 213 R) standardına göre ise 17 MPa üzeri hafif betonlar taşıyıcı kabul edilmektedir [30]. Çelik lif ilavesi ile mekanik özellikler daha da geliştirilebilir. Bununla birlikte, toz halde poliüretan atık kullanılan numunelerde beton karışımlarının belirgin olarak artan su ihtiyacı nedeniyle bu agregaların kullanılması ile yapısal hafif betonların üretilebilmesinin uygun olmadığı tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Tüm karışımlarda beton birim ağırlıklarının  $2000 \text{ kg/m}^3$  değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Böylece, bu çalışma kapsamındaki tüm karışımların TS EN 206 standardına göre hafif beton olarak sınıflandırılabilceği tespit edilmiştir.
- Çelik ve sentetik lifler çekme gerilmelerini karşılayarak ve beton ile aderansı diğer bir ifade ile fiziksel kenetlenmeyi sağlayarak hafif betondaki mekanik özellikleri geliştirmektedir. Basınç dayanımı testinde %1 çelik lif içeren K3 kodlu numunelerin basınç dayanımı lifsiz K1 numunelerinin 1,11 katı olmaktadır. Eğilme ve yarma çekme dayanımı testlerinde ise çelik lif

içeren K3 karışımının lif içermeyen yalın K1 karışımına kıyasla eğilme ve yarma çekme dayanımlarında sırasıyla 2,12 ve 1,49 kat artış gerçekleşmiştir. Konvansiyonel betonlarda liflerin betonun basınç dayanımına kıyasla eğilme dayanımı ve yarma çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerindeki olumlu etkisinin çok daha belirgin olduğu bilinmektedir. Bu çalışma sonuçları ile de lif ilavesinin hafif betonlarda basınç dayanımından ziyade eğilme ve yarmada çekme dayanımı üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

- Liflerin kullanım oranının artması ile numunelerin eğilme dayanımları artmıştır. Benzer şekilde lif miktarının artırılması ile numunelerin yarma çekme dayanımlarının da arttığı belirlenmiştir. Ancak liflerin betonda kullanımında liflerin homojen dağılması ve betonun yeterince yerleştirilmemesi halinde mekanik davranışta gelişme yerine düşüşler oluşturabileceği de tespit edilmiştir. Sentetik lif kullanılan K4 ve K5 karışımları incelendiğinde sentetik lif miktarının hacimce %0.5 oranından %1 e çıkması ile yerleştirme sorunlarına bağlı olarak eğilme ve yarma çekme dayanımlarında sırasıyla %11 ve %9 oranında düşüş gerçekleşmiştir. Bu sonuçlardan konvansiyonel betonlarda olduğu gibi hafif betonlarda da liflerin betonun eğilme ve yarmada çekme dayanımını arttırdığı ancak hafif betonlarda kullanılması durumunda da geleneksel betonlara benzer şekilde homojen dağılımına özen gösterilmesi gerektiği anlaşılmıştır.
- Çelik ve sentetik liflerin mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelendiğinde K3 karışımında çelik lif kullanılması ile sentetik lif kullanılan K4 ve K5 karışımlarına göre daha yüksek eğilme ve yarma çekme dayanımları elde edilmiştir. Mekanik özelliklerin geliştirilmesinde çelik lifler kullanılması ile sentetik liflere kıyasla daha etkili sonuçlar elde edilmektedir. Hacimce aynı oranda lif kullanılan çelik lifli K3 ve sentetik lifli K5 karışımları incelendiğinde çelik lif kullanılması durumunda sentetik lif kullanılan numunelere kıyasla numunelerin eğilme dayanımında 1.60 kat ve yarma çekme dayanımında 1.42 kat artış belirlenmiştir.
- Karışımların su/çimento oranları incelendiğinde sadece perlit agregası kullanılan karışımlarda su/çimento oranı 0,46 iken, ağırlıkça aynı oranda perlit agregası ve poliüretan agregası içeren karışımlarda su/çimento oranı 0,60 ve tamamen poliüretan agregası kullanılan karışımda ise 0,93 oranındadır. Sadece poliüretan agregası kullanılan karışımlarda betonun işlenebilirliğini sağlamak için karışımlara çok yüksek miktarda su ilavesi gerekmektedir. Poliüretan atık malzemenin perlit agregası ile ikamesi durumunda beton karışımının akışkanlığının azaldığı ve beton karışımının çok daha fazla su ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma bağlı olarak poliüretan atık malzemenin kullanıldığı beton karışımların dayanımları daha düşük çıkmaktadır. Yalnızca perlit agregası kullanılan ve lif içermeyen yalın K1 karışımı numunelerinin yalnızca poliüretan agregası kullanılan ve lif içermeyen yalın K10 karışımı numunelerine kıyasla basınç dayanımları 7,73 kat daha yüksek olarak belirlenmiştir. Betonda dayanımın temel parametrelerinden olan su/çimento oranının artmasıyla toz halde poliüretan agregası içeren karışımların beton mekanik özellikleri belirgin olarak perlit agregalı karışımlara göre daha düşük olarak gerçekleşmektedir.
- Tüm bu deneysel çalışmalardan sonuç olarak perlit agregalara çelik lif takviyesi ile TS 2511 standardına göre 28 günlük dayanımı 16 MPa üzeri olan taşıyıcı hafif betonların üretilebileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, toz halde poliüretan atık kullanılan numunelerde agregası boyutunun küçülmesi ile beton karışımlarının belirgin olarak artan su ihtiyacı nedeniyle bu agregaların kullanılması ile yapısal hafif betonların üretilebilmesinin mümkün olmadığı tespit edilmiştir.

## 5. İleri Çalışmalar İçin Öneriler

Toz haldeki poliüretan atıklar kullanılarak üretilen numunelere lif takviyesi yapılsa dahi mekanik özellikler açısından taşıyıcı hafif beton olarak kullanılabilmesi mümkün gözükmemektedir. Pudra boyutundaki poliüretan malzemenin çok hafif olması nedeniyle bu atıklar kullanılarak üretilen hafif

betonların yapısal değerlendirilmesi yerine yalıtım amaçlı olarak kullanılabilirliği incelenmelidir. Bu kapsamda toz halde poliüretan agrega kullanılarak üretilen hafif betonların ısı ve ses yalıtım özelliklerinin incelenmesi faydalı olacaktır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan poliüretan atık agreganın maksimum tane boyutunun 1 mm olduğu ve yüksek oranda filler malzeme boyutunda tanecikler içerdiği dikkate alınmalıdır. Poliüretan atık malzemenin tane boyutunun küçük olması, bu agrega ile üretilen hafif betonların su ihtiyacının artmasında oldukça etkili olmaktadır. Poliüretan atık agreganın 4 mm ve üzeri iri agrega tane boyutunda kullanılması halinde taşıyıcı hafif beton olarak kullanılabilmesi ayrıca incelenmelidir. Çalışma kapsamındaki perlit agrega ve toz haldeki poliüretan atık agreganın tane boyutları oldukça farklıdır. Poliüretan agrega içeren betonların artan su ihtiyacında bu husus dikkate alınmalıdır. Bu çalışma ile perlit ve poliüretan agregaların hafif betonda kullanılabilmesi ile ilgili yalnızca genel davranış incelenmektedir. Beton karışımları arasında doğrudan bir karşılaştırma yapabilmek için benzer tane büyüklüğüne sahip perlit ve poliüretan agregalar arasında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

## **Teşekkür**

Çalışmada yer alan hafif beton numuneleri ilk yazarın danışmanı olduğu lisans bitirme projeleri kapsamında İstanbul Medeniyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarlarında üretilmiştir. Ayrıca, bu çalışma ikinci yazarın proje yürütücüsü olduğu Doğu Üniversitesi 2021-22-D1- B04 numaralı BAP projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, katkılarından dolayı İstanbul Medeniyet Üniversitesi ve Doğu Üniversitesi'ne teşekkür eder.

## **Etik Standartlar Beyanı**

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

## **Çıkar Çatışması**

Yazarlar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkilemiş gibi görünebilecek, bilinen rakip mali çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan ederler.

## **Yazar Katkı Beyanı**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## **Kaynaklar**

- [1] U. Özcan, S. Güngör, (2019). Sürdürülebilir bir yöntem/betonda puzolan kullanımı, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. 15, 176-182.
- [2] A.V. Korkmaz, (2020). Perlit ve traverten atıkları ile üretilen puzolanik çimentoların mühendislik özelliklerinin incelenmesi, MT Bilimsel. 17, 32-50.
- [3] N. Kabay, (2009). Hafif agregalı betonun boşluk yapısının mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi (Doktora Tezi). YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [4] S. Azizi, (2007). Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [5] O. Sengul, S. Azizi, F. Karaosmanoglu, M.A. Tasdemir, (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete, Energy and Buildings. 43(2-3), 671-676, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008>.

- [6] H. Konuk, (2003). Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [7] A.B. Fraj, M. Kismi, P. Mounanga, (2010). Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete, *Construction and Building Materials*. 24(6), 1069-1077, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.010>.
- [8] S.I. Haruna, H. Zhu, W. Jiang, J. Shao, (2021). Evaluation of impact resistance properties of polyurethane-based polymer concrete for the repair of runway subjected to repeated drop-weight impact test, *Construction and Building Materials*. 309, 125152, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125152>.
- [9] O. Gencil, O.Y. Bayraktar, G. Kaplan, O. Arslan, M. Nodehi, A. Benli, A. Gholampour, T. Ozbakkaloglu, (2022). Lightweight foam concrete containing expanded perlite and glass sand: physico-mechanical, durability, and insulation properties, *Construction and Building Materials*. 320, 126187, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126187>.
- [10] M.A. Yahye, L. Liu, W.U. Honglin, Y. Sun, H. Sun, J. Ma, L. Zhang, (2022). Experimental research on mechanical properties of fiber-reinforced polyurethane elastic concrete (FRPEC), *Construction and Building Materials*. 328, 126929, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126929>.
- [11] P. Mounanga, W. Gbongbon, P. Poullain, P. Turcry, (2008). Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes, *Cement and Concrete Composites*. 30(9), 806-814, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.007>.
- [12] X. Qiu, W. Chen, L. Li, H. Li, H. Liu, (2023). The effects of particle sizes of expanded perlite on the mechanical properties and chloride penetration resistance of ECCs, *Journal of Building Engineering*. 78, 107706, <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107706>.
- [13] H. Eren, S. İlkentapar, U. Durak, (2022). Eps ve atık poliüretan ile üretilmiş hafif harçların mekanik özelliklerinin, ısı geçirimsizlik özelliklerinin ve yüksek sıcaklığa karşı dirençlerinin karşılaştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. 10(2), 360-370, <https://doi.org/10.21923/jesd.935865>.
- [14] A.N. Kaplan, C. Özel, (2023). Polimer bağlayıcılı hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. 11(4), 1475-1485, <https://doi.org/10.21923/jesd.1313056>.
- [15] O. Benjeddou, G. Ravindran, M.A. Abdelzaher, (2023). Thermal and acoustic features of lightweight concrete based on marble wastes and expanded perlite aggregate, *Buildings*. 13, 992, <https://doi.org/10.3390/buildings13040992>.
- [16] H.İ. Fedakar, (2022). Poliüretan ile güçlendirilmiş balastın hareket eden tekerlek yükü altındaki deformasyon davranışının nümerik olarak modellenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 37(1), 79-91, <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1094976>.
- [17] M.A. Peker, O. Ataş, M. Aksel, (2022). Plastik atıkların betonda değerlendirmesindeki güncel durum, *Alaaddin Keykubat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 4(3), 159-178.
- [18] R. Yurtseven, A.R. Tarakçılar, M. Topçu, (2013). Dolgu malzemesi olarak kullanılan farklı uçucu küllerin sert poliüretan köpük malzemelerin mekanik özellikleri ile ısı ve yanma davranışları üzerine etkileri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 28(4), 841-853.
- [19] S. Çelikten, B. Baran, Z. Bayer Oztürk, (2024). Uçucu kül ve perlit esaslı geopolimer harçlarda çömlük sır atığı ikamesinin yüksek sıcaklık dayanıklılığı üzerindeki etkisi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 32(2), 1326-1334, <https://doi.org/10.31796/ogummf.1430527>.
- [20] S. Çelikten, B. Işıkdag, (2021). Properties of geopolimer mortars derived from ground calcined perlite and NaOH solution, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 27(9), 2907-2921, <https://doi.org/10.1080/19648189.2021.1879939>.



- [21] S. Çelikten, G. Erdoğan, (2022). Effects of perlite/fly ash ratio and the curing conditions on the mechanical and microstructural properties of geopolymers subjected to elevated temperatures. *Ceramics International*. 48(19), 27870-27877, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.089>.
- [22] S. Çelikten, (2021). The influence of blast furnace slag content on the mechanical and durability properties of raw perlite-based geopolymer mortars, *Journal of Engineering Research*. 10(2B), 112-123, <https://doi.org/10.36909/jer.11225>.
- [23] RILEM 50-FMC, (1985). Determination of fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams, *Materials and Structures*. 18, 285-290.
- [24] EN 12390-6, (2009). Testing Hardened Concrete Tensile Splitting Strength of Test Specimens.
- [25] EN 12390-3, (2019). Testing Hardened Concrete Compressive Strength of Test Specimens.
- [26] J. Gao, W. Sun, K. Morino, (1997). Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete, *Cement and Concrete Composites*. 19(4), 307-313.
- [27] V. Guerini, A. Conforti, G. Plizzari, S. Kawashima, (2018). Influence of steel and macro-synthetic fibers on concrete properties, *Fibers*. 6(3), 47.
- [28] J. Newman, P. Owens, (2003). Properties of lightweight concrete, *Advanced Concrete Technology*. 3, 1-29.
- [29] TS 2511, (2017). Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları.
- [30] ACI 213-R, (2014). Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete.



# Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyyumfd>



## Tesis Yerleşimi Konulu Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi

Dilara DAMARCI <sup>a</sup>, Doğa KILIÇ <sup>b</sup>, Emel GÜVEN <sup>c</sup>, Yusuf Bera SANLI <sup>d</sup>, Tamer EREN <sup>e,\*</sup>

<sup>a</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0009-0002-2484-3064

<sup>b</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0009-0009-5934-5066

<sup>c</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6106-9720

<sup>d</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0009-0003-7577-6671

<sup>e</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5282-3138

### ÖZET

Tesis yerleşimi ve tesis içi yeri seçimi, işletmelerin uzun vadeli başarısını belirleyen stratejik kararlardır. Bu kararların dikkatlice planlanması ve uygulanması, maliyetlerin azaltılmasına, verimliliğin artırılmasına, çalışan memnuniyetine ve müşteri tatminine büyük katkılar sağlar. Bu çalışmada, Yükseköğretim Kurumu Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) arşivinde bulunan tesis yerleşimi konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, tezlerin çoğunlukla yüksek lisans düzeyinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. 2018-2019, 2020-2022 ve 2022-2023 yılları, en çok tezin yayımlandığı yıllar olmuştur. Endüstri mühendisliği ana bilim dalının, yayımlama konusunda ilk sırada olduğu görülmüştür. Ayrıca, tezlerin devlet üniversitelerinde daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Araştırmalar sonucunda en çok yayımın fen bilimleri enstitülerinde yapıldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Tesis Yerleşimi, Dinamik Yerleşim, Bibliyometrik analiz, Lisansüstü tezler.

## Bibliometric Analysis of Graduate Theses on Facility Location Selection

Dilara DAMARCI <sup>a</sup>, Doğa KILIÇ <sup>b</sup>, Emel GÜVEN <sup>c</sup>, Yusuf Bera SANLI <sup>d</sup>, Tamer EREN <sup>e,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0009-0002-2484-3064

<sup>b</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0009-0009-5934-5066

<sup>c</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6106-9720

<sup>d</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0009-0003-7577-6671

<sup>e</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5282-3138

### ABSTRACT

Facility layout and site selection are strategic decisions that determine the long-term success of businesses. Careful planning and implementation of these decisions contribute significantly to cost reduction, increased efficiency, employee satisfaction, and customer satisfaction. In this study, a bibliometric analysis of graduate theses on facility layout from the National Thesis Center of the Council of Higher Education (YÖKTEZ) archive was conducted. The analysis revealed that most of the theses are concentrated at the master's level, with 2018-2019, 2020-2022, and 2022-2023 being the years with the most publications. The industrial engineering department ranked first in terms of publication frequency. Additionally, it was found that these are more prevalent in public universities. The research showed that most publications were conducted in the institutes of science.

**Keywords:** Facility Layout, Dynamic Layout, Bibliometric Analysis, Graduate Theses.

## 1. Giriş

Tesis yerleşimi, işletmelerin uzun vadeli stratejik başarısını doğrudan etkileyen kararlar arasında yer alır. Üretim süreçleri için gerekli olan üretim araçlarının, yardımcı tesislerin ve iş istasyonlarının taşıma, depolama ve kalite kontrol gibi faaliyetlerle uyumlu şekilde konumlandırılması gerekmektedir [1]. Bu kararların dikkatlice planlanması, maliyetlerin düşürülmesi ve verimliliğin artırılması açısından büyük öneme sahiptir. Armour ve Buffa'nın 1960'ların başında geliştirdikleri yöntemler, tesis yerleşimi alanında önemli katkılar sunmuş ve bu konu, günümüze kadar birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur [2].

Tesis yerleşimi genellikle tesis tasarımının bir parçası olarak ele alınır. Tesis tasarımı, bir tesisin nerede, nasıl ve hangi büyüklükte yapılacağına, gerekli iç ve dış birimlerin nasıl konumlandırılacağına odaklanır. Yanlış yerleşim kararlarının telafisi maliyetli ve zor olduğundan, tesis yerleşimi kararlarının başlangıçta doğru alınması büyük önem taşır [3]. Doğru bir tesis yerleşimi, malzeme taşıma maliyetlerini azaltır, sabit maliyetleri optimize eder ve işletmenin operasyonel verimliliğini artırır [4].

Müşteri talepleri, mevsimsellik ve pazar koşulları gibi dinamik faktörler sürekli değişmektedir. Bu bağlamda, tesis yerleşim problemlerinin optimize edilmesi, işletmelere maliyet avantajı kazandırır ve uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlar. İşletmelerin verimliliklerini artırarak yeni teknolojiler ile iş süreçlerini entegre etmelerine olanak tanıyan bu süreç, stratejik bir yönetim aracı olarak değerlendirilmektedir [5].

Tesis yerleşimi kararlarını önemli kılan üç ana neden şunlardır:

1. Tesislerin inşası sırasında büyük miktarda emek ve sermaye harcanması, yanlış kararların telafisinin zor olmasına yol açar [6].
2. Tesis yerleşimi kararlarının uzun vadeli sonuçları etkilemesi önemlidir. Seçilen yerleşim planı, işletmenin yıllar boyunca operasyonel verimliliğini etkiler [7].
3. İyi planlanmış bir tesis yerleşimi, malzeme ve iş gücü akışını optimize eder, üretim süreçlerini iyileştirir ve işletmenin rekabet gücünü artırabilir [8].

Bu çalışma, bibliyometrik analiz yöntemiyle, tesis yerleşimi ile ilgili gerçekleştirilen lisansüstü tezlerin mevcut durumunu ortaya koymayı amaçlamaktadır. Böylece, gelecekte gerçekleştirilecek lisansüstü tezlere katkı sağlamak hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, kavramsal çerçeve ele alınmış, ardından bulgular değerlendirilmiş ve bu bulgular doğrultusunda çeşitli çıkarımlarda bulunularak sonuca ulaşılmıştır.

Çalışmanın temel amacı, tesis yerleşimi üzerine yapılan araştırmaları ve yayınları değerlendirerek, bu alanda farkındalık oluşturmak ve bibliyometrik analiz gerçekleştirmektir. Bibliyometrik analiz, belirli bir konuda yapılan akademik çalışmaların yıllara göre dağılımı, alanlara göre yoğunlaşma durumu ve çalışma sayılarının incelenmesini kapsamaktadır. Bu analiz neticesinde, Türkiye'de tesis yerleşimi konulu lisansüstü tezler hakkında elde edilen veriler incelenmiş ve bu veriler ışığında önemli çıkarımlar yapılmıştır. Çalışmanın bulguları, gelecekte yapılacak araştırmalar için yol gösterici nitelikte öneriler sunmaktadır.

## 2. Kavramsal Çerçeve

Bibliyometrik analiz, matematiksel ve istatistiksel tekniklerin kitaplar ve diğer iletişim kaynakları üzerinde uygulanmasıyla gerçekleştirilen bir yöntemdir. American Chemical Society

Dergisi'nde yayımlanan makalelerin kaynakçalarının incelendiği ilk çalışma olarak bilim literatüründe yer almaktadır. Türkiye'de bu alanda öncü bir çalışma, Ahmet Özinönü tarafından 1970 yılında yayımlanan "Growth in Turkish Positive Basic Sciences" adlı kitapla gerçekleştirilmiştir. Bibliyometrik analizler, çeşitli disiplinlerde, farklı ülkeler, kurumlar ve kuruluşlar arasında karşılaştırmalar yapılabilmesine olanak tanır. Bu analizler, araştırma verimliliği, araştırmacıların ve kurumların etkinliği ile dergi değerlendirmeleri gibi çeşitli alanlarda uygulanabilir [9].

Bilimsel faaliyetler kümülatif bir süreç olduğundan, veri üretiminin yanı sıra verilerin sistematik bir şekilde sınıflandırılması da büyük önem taşır. Çeşitli veri tabanlarından elde edilen bilgilerin çeşitli parametrelerle analiz edilmesi ve düzenlenmesi, bibliyometrik analizler aracılığıyla yapılmaktadır. Bu analizler, bir alan içindeki yayınların araştırmacıların gereksinimlerine uygun şekilde sınıflandırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu süreç, literatürdeki boşlukların belirlenmesine ve yeni araştırmalar için rehberlik sağlayacak yol haritalarının oluşturulmasına imkân tanımaktadır [10].

Bibliyometrik çalışmalar, Türkiye'de ve dünyada çeşitli disiplinlerde uygulanmış ve farklı araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Sanlı vd. [11], çalışmasında siber güvenlik konulu lisansüstü tezleri ele almış ve ilgili alan yazınına katkı sağlamışlardır. Öztürk [12], Türkiye'de sosyal bilimler alanındaki akademik üretkenliği değerlendirmiştir. Bu çalışma, farklı üniversitelerin araştırma performanslarını karşılaştırmayı amaçlamıştır. Akdağ [13], eğitim bilimleri alanında yaptığı bibliyometrik çalışmada, Türkiye'de eğitimle ilgili yapılan yayınların dağılımını incelemiş ve hangi konuların öne çıktığını analiz etmiştir. Sağlık alanında, Karaman ve Tonta [14], tarafından gerçekleştirilen çalışma, Türkiye'de tıp alanında yapılan araştırmaların atıf analizlerini içermektedir. Demir vd. [15], Türkiye'deki mühendislik alanındaki akademik yayınları bibliyometrik açıdan inceleyerek, en çok atıf alan çalışmalar ve yazarlar hakkında bilgi sunmuştur.

Erdoğan vd. [16], Türkiye'de psikoloji alanındaki bilimsel yayınların bibliyometrik analizini yaparak, en çok yayın yapan yazarları ve çalışılan konuları değerlendirmiştir. Şahin vd. [17], Türkiye'deki enerji araştırmaları alanında yapılan yayınları analiz ederek, bu alandaki bilimsel üretkenliğin zamanla nasıl değiştiğini incelemiştir. Güneş vd. [18], tarım bilimleri üzerine yapılan akademik çalışmaların bibliyometrik analizini gerçekleştirerek, bu alandaki yaygın konuların ve etkili araştırmacıların bir haritasını çıkarmıştır.

Yücel ve Dağdeviren [19], tesis yerleşimi ve düzenlemesi üzerine yapılan çalışmaların bibliyometrik analizini gerçekleştirerek, en çok atıf alan makaleleri ve bu makalelerin odaklandığı yöntemleri incelemişlerdir. Özcan vd. [20], üretim tesisleri yerleşimi ile ilgili bilimsel çalışmaların bibliyometrik analizini yapmış ve hangi endüstrilerin bu konuda en fazla araştırma yaptığını dair bulgular sunmuştur. Kaya vd. [21], tesis yerleşim problemleriyle ilgili olarak dünya genelinde yapılan çalışmaların atıf analizini gerçekleştirerek, bu alandaki trendleri ve en etkili yazarları belirlemiştir. Altınok vd. [22], organize sanayi bölgelerinde tesis yerleşimi konusunda yapılan akademik yayınların bibliyometrik analizini yapmış ve bu bölgelere ilişkin karar verme süreçlerinin hangi kriterlere dayandığını ortaya koymuştur. Güven v Eren [23], endüstriyel kazalar konulu lisansüstü tezleri kapsayan bibliyometrik analiz gerçekleştirmişlerdir. Pınarcı vd. [24], YÖKTEZ'de yer alan ekip çizelgeleme konulu lisansüstü tezleri yayımlandığı yıl, üniversite, üniversite türü, yöntem, anabilim dalı, konu gibi ana başlıklar altında bibliyometrik analize tabi tutmuşlardır.

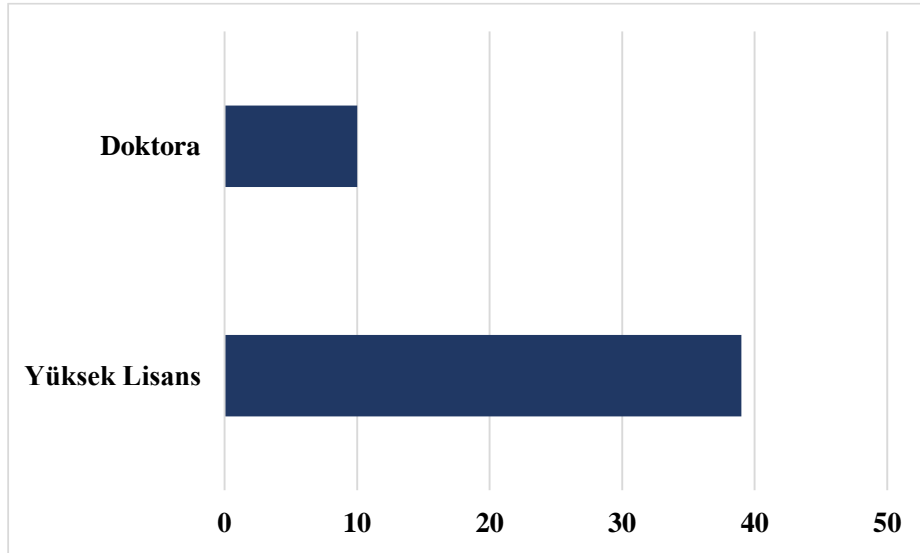
### 3. Yöntem

Bu araştırmada, "Tesis Yerleşimi" alanında 1989-2023 yılları arasında hazırlanan tezler incelenmiştir. İnceleme için YÖKTEZ arşivinde "Tesis Yerleşimi" anahtar kelimesiyle tarama yapılmıştır. Bu tarama sonucunda 38 yüksek lisans ve 10 doktora tezine erişilmiştir. Bu çalışma 25.09.2024 tarihinde sonlandırılmıştır. Tez çalışmalarının bibliyometrik özelliklerinin incelenmesi aşamasında, tezlerin yıllara göre dağılımı, tez adı, tez türü, yayınlandığı üniversite, yayınlandığı üniversitenin türü, yayınlandığı enstitü, ilgili anabilim dalı, tezin konusu, araştırma yöntemi ve anahtar kelimeler gibi kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlere ilişkin verilerin analizi Excel Microsoft 365 sürümünde gerçekleştirilmiştir.

### 4. Bulgular

#### 4.1. Lisansüstü Tezlerin Türlerine Göre Dağılımı

İncelenen tesis yerleşimi alanında lisansüstü tezlerin türlerine göre dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.

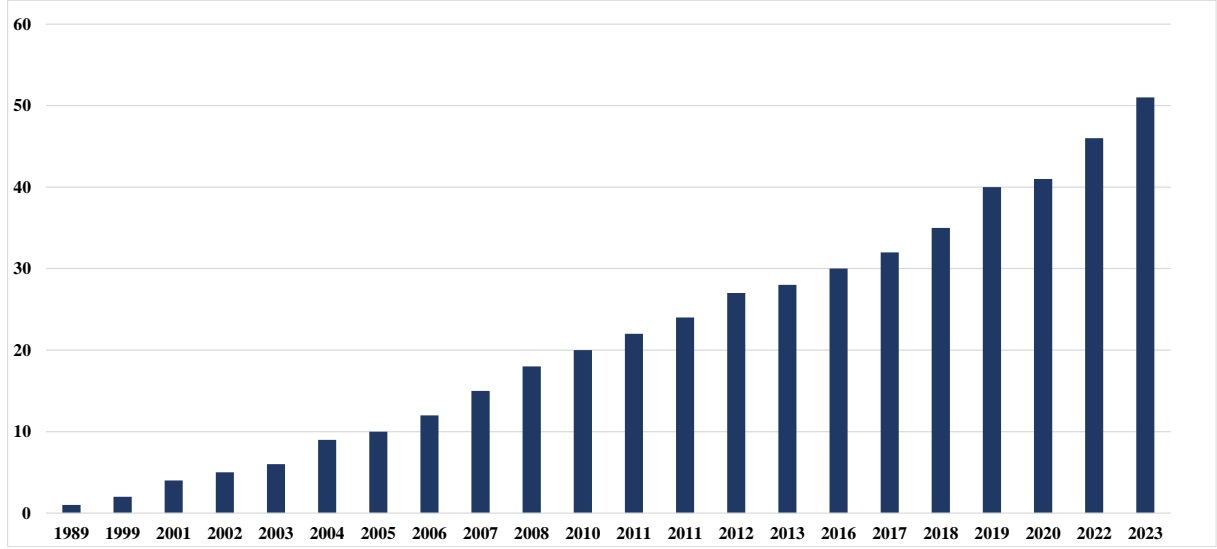


Şekil 1. Lisansüstü tezlerin türleri

Lisansüstü Tezlerin türüne göre tesis yerleşimi ile ilgili YÖKTEZ lisansüstü tezleri incelendiğinde yayımlanan doktora ve yüksek lisans tezlerinin sayısı verilmiştir. Toplamda %20,40 doktora tezi ve %79,60 yüksek lisans tezi yayımlandığını görülmektedir. Aynı zamanda tesis yerleşimi konusunun yüksek lisans öğreniminde daha çok tercih edildiği gözlemlenmiştir. Bunun sebeplerinden birisi doktora eğitiminin yüksek lisans eğitiminden sonra yapılıyor olması olabilir. Ayrıca eğitim sürelerinin de yüksek lisans çalışmalarının yüksek çıkmasının bir nedeni olduğu düşünülmektedir.



## 4.2. Lisansüstü Tezlerin Yıllara Göre Kümülatif Toplamı

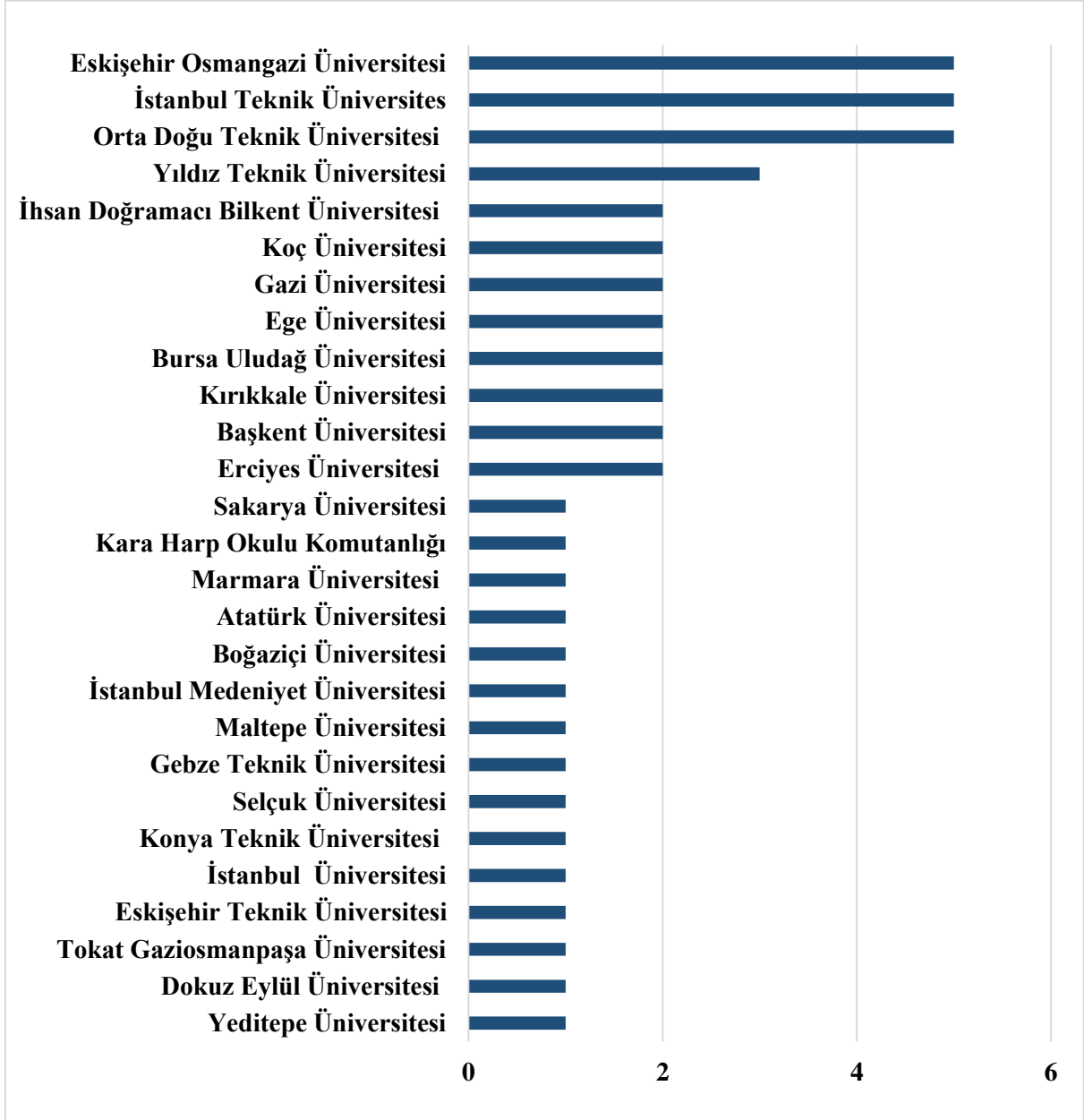


Şekil 2. Lisansüstü tezlerin yıllara göre kümülatif toplamı

Lisansüstü tezlerin yıllarına göre dağılımları 1989-1999, 2003-2004, 2006-2007,2007-2008,2011-2012,2018-2019,2020-2022 ve 2022-2023 yılları arasında tesis Yerleşimi alanında yapılan çalışmalar kümülatif toplamlarında artış göstermektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bu alanda en çok tez yayımlanan yılların 2022 ve 2023 yıllarında %10,20 oranıyla ve 2019 yılında ise %8,16 oranıyla çalışma yapıldığı gözlemlenmektedir. 2022 ve 2023 yıllarında tesis yerleşimi alanındaki çalışmaların artması, dijitalleşme, pandeminin etkileri ve sürdürülebilirlik odaklı stratejilerin önem kazanmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

## 4.3. Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı Üniversitelerin Dağılımı

İncelenen tesis yerleşimi alanında lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin dağılımı Şekil 3'te verilmiştir.

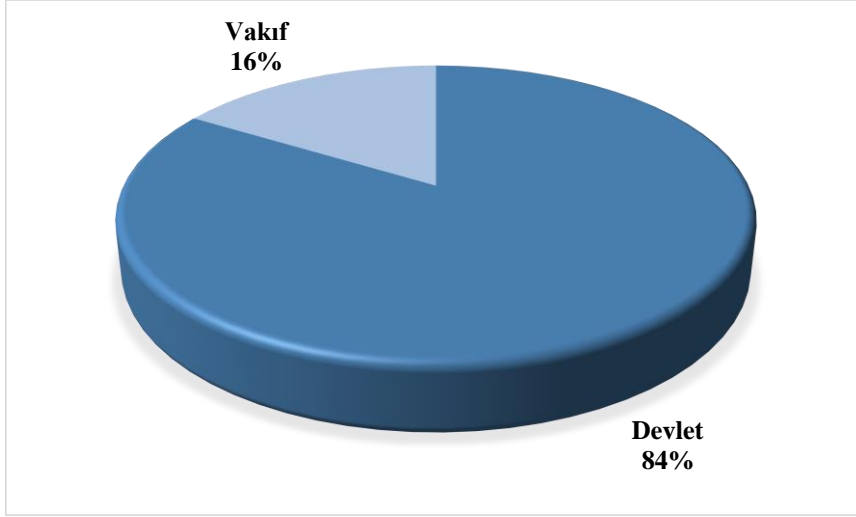


Şekil 3. Lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin dağılımı

Lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin dağılımı tablosunda YÖKTEZ lisansüstü tezlerinde yayımlanan tezlerin hangi üniversitelerde yayımlandığı gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde en çok tez yayımlanan 4 üniversite Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi %10,20 oranında Yıldız Teknik Üniversitesi %6,12 oranlarında en çok çalışmanın yapıldığı üniversitelerdir.

#### 4.4. Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı Üniversitelerin Türleri

İncelenen Tesis Yerleşimi alanında lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin türleri Şekil 4'te verilmiştir.

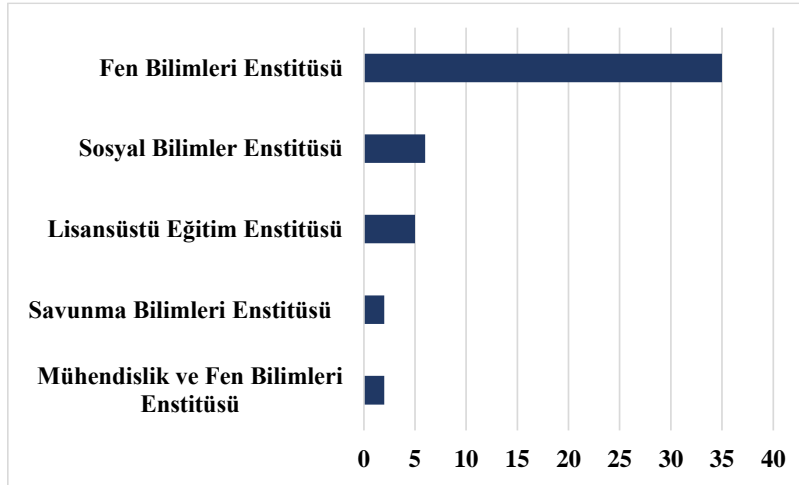


Şekil 4. Lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin türleri

Vakıf Üniversitelerinde %16, Devlet Üniversitelerinde ise %84 oranında çalışma yapılmıştır. Buradan yola çıkılarak devlet üniversitelerinin bu alanda daha fazla tez yazdığı, vakıf üniversitelere göre çalışmaların daha ön plana çıktığı gözlemlenmiştir.

#### 4.5. Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı Enstitülerin Dağılımı

İncelenen Tesis Yerleşimi alanında lisansüstü tezlerin yazıldığı enstitülerin dağılımı Şekil 5'te verilmiştir.

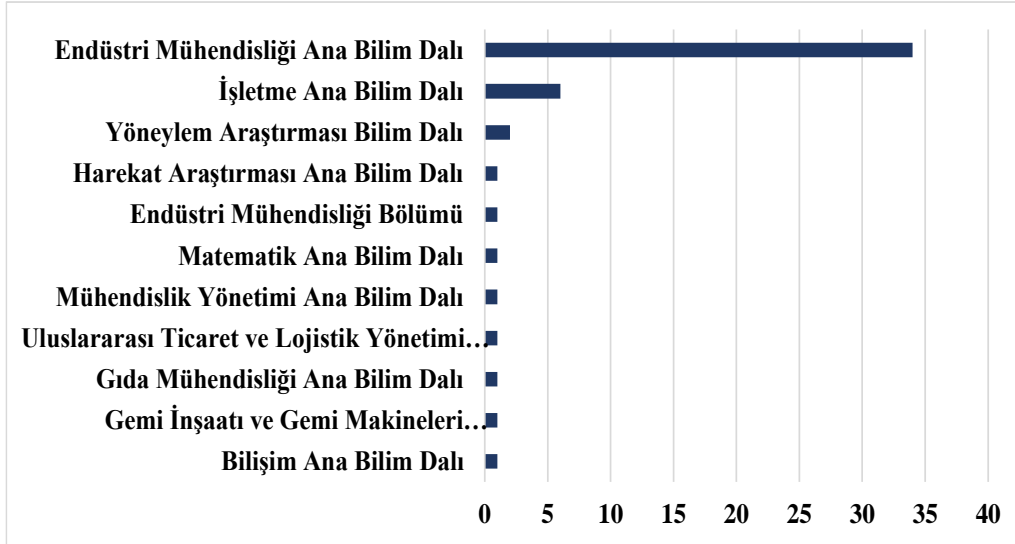


Şekil 5. Lisansüstü tezlerin yazıldığı enstitülerin dağılımı

Tesis Yerleşimi ile ilgili yayımlanan tezlerin yazıldığı enstitüler verilmiştir. Elde edilen verilere göre, %70 oranında fen bilimleri enstitüsünde, %12 oranında sosyal bilimler enstitüsü ve %10 oranında lisansüstü eğitim enstitüsünde çalışmalar yapılmıştır. Bu verilere göre, en fazla çalışma %70 oranıyla fen bilimleri enstitüsünde gerçekleştirilmiştir. Tesis yerleşimi, mühendislik ve teknik konulara dayandığı için ağırlıklı olarak fen bilimleri enstitüsünde çalışılmaktadır. Mühendislik odaklı optimizasyon ve verimlilik konuları bu alanda yoğunlaşmayı sağlar.

#### 4.6. Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı Üniversitelerin Ana Bilim Dalları

İncelenen Tesis Yerleşimi alanında lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin ana bilim dalı dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.

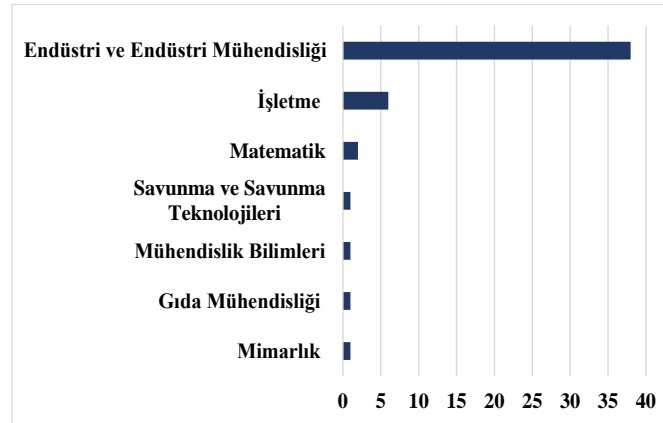


Şekil 6. Lisansüstü tezlerin yazıldığı üniversitelerin ana bilim dalları

Şekil 6’da Tesis Yerleşimi ile ilgili yayımlanan tezlerin ana bilim dalları verilmiştir. YÖKTEZ lisansüstü tezleri incelendiğinde endüstri mühendisliği ana bilim dalında %69,38, işletme ana bilim dalında %12,24, yöneylem araştırması bilim dalında %4,08 oranında yapılmıştır. Geriye kalan %16,38’lik kısım farklı ana bilim dallarında gerçekleştirilmiştir. Endüstri mühendisliği, tesis yerleşimi çalışmalarında teknik çözümler sunarken, işletme ise operasyon yönetimine odaklandığı için bu iki alanda daha fazla çalışma yapılmıştır [25].

#### 4.7.Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı Konuların Dağılımı

İncelenen Tesis Yerleşimi alanında lisansüstü tezlerin yazıldığı konularının dağılımları Şekil 7’de verilmiştir.

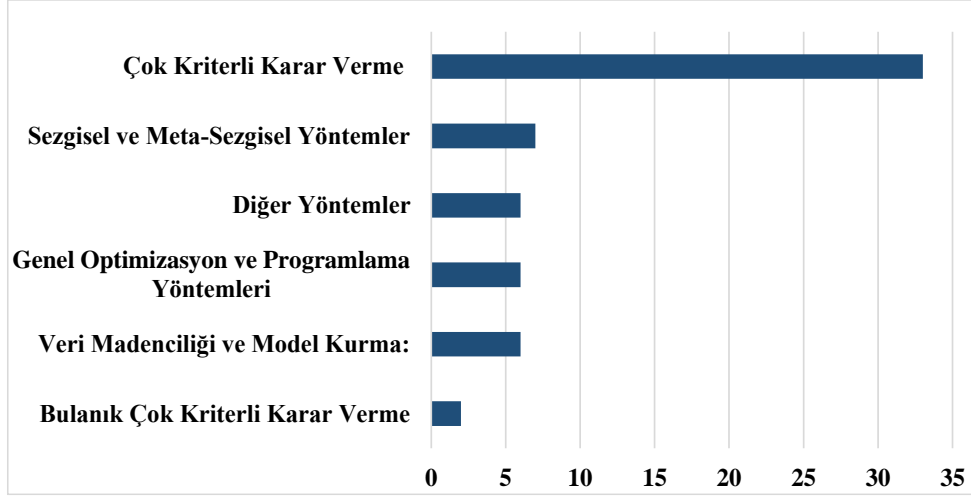


Şekil 7. Lisansüstü tezlerin yazıldığı konuların dağılımı

Yapılan çalışmaların konu dağılımları şu şekildedir: endüstri ve endüstri mühendisliği konusunda %76, işletme konusunda %12, ve matematik konusunda %4 oranında çalışılmıştır. Geriye kalan 4 farklı konuda ise %8 oranında çalışma yapılmıştır.

#### 4.8. Lisansüstü Tezlerin Yapıldığı Yöntemlerin Dağılımı

İncelenen Tesis Yerleşimi alanında lisansüstü tezlerin yazılması esnasında kullanılan yöntemlerin dağılımı Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Lisansüstü tezlerin yapıldığı yöntemlerin dağılımı

Şekil 8’de tesis yerleşimi ile ilgili YÖKTEZ lisansüstü yayımlanan tezlerin yazılmasında kullanılan yöntemler verilmiştir. Yapılan literatür araştırmasına göre %55 Çok kriterli karar verme yöntemi, %11,66 Sezgisel ve Meta-Sezgisel Yöntemler, %10 Genel Optimizasyon ve Programlama Yöntemleri kullanılmıştır. Bir çalışmada birden fazla yöntem kullanılmıştır. En çok, %55 oranıyla Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmış, geriye kalan %23,33 ise 14 farklı yöntemden oluşmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri arasında en çok tercih edilenler AHP, Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleridir. Örneğin, Civan (2023), AHP kullanılarak maruziyetlerin azaltılması için bir metodoloji geliştirmiştir [26]. Korkmaz (2019), Bulanık TOPSIS yöntemi ile Samsun'daki karma toptancı halleri için yerleşim tasarımı yapmıştır [27]. Turanoğlu (2012), CORELAP ve diğer yöntemlerle fabrika içi yerleşim düzeni analizi gerçekleştirmiştir [28].

#### 4.9. Lisansüstü Tezlerin Anahtar Kelimelerinden Oluşan Kelime Bulutu

Lisansüstü tezlerde yer alan yinelenen anahtar kelimeler için oluşturulan kelime bulutu Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Lisansüstü tezlerin anahtar kelimelerinden oluşan kelime bulutu (Wordcloud)

Kelime bulutundan elde edilen verilere göre, lisansüstü tezlerde en çok vurgulanan konular arasında "Yerleşim", "Optimizasyon", "Simülasyon", "Veri Madenciliği" ve "Tesis" dikkat çekmektedir.



## 5. Sonuç Ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye'de tesis yerleşimi alanında hazırlanmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir. Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi veri tabanında 1989-2023 yılları arasında yayımlanan ve "Tesis Yerleşimi" anahtar kelimesiyle taranan 38 yüksek lisans ve 10 doktora tezi incelenmiştir. Tezlerin yıllara göre dağılımı, tez türü, yayınlandığı üniversite, enstitü, anabilim dalı, araştırma yöntemi ve anahtar kelimeler gibi kriterler analiz edilmiştir.

Analiz sonuçları, yüksek lisans tezlerinin %79,60, doktora tezlerinin ise %20,40 oranında olduğunu göstermektedir. Bu, lisansüstü öğrencilerin tesis yerleşimi konusuna büyük ilgi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tezlerin yıllara göre dağılımı incelendiğinde, 2019 ve 2023 yıllarının en yoğun tez yayımı dönemleri olduğu belirlenmiştir. En çok tez yayımlanan üniversiteler üniversite Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (%10,20 oranında), Yıldız Teknik Üniversitesi (%6,12 oranlarında) en çok çalışmanın yapıldığı üniversitelerdir. Vakıf Üniversitelerinde %16 Devlet Üniversitelerinde ise %84 oranında çalışma yapılmıştır. Buradan yola çıkılarak devlet üniversitelerinin bu alanda daha fazla tez yazdığı, vakıf ve özel üniversitelere göre çalışmaların daha ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Enstitüler bazında yapılan değerlendirmede, elde edilen verilere göre, %70 oranında Fen Bilimleri Enstitüsü'nde, %12 oranında Sosyal Bilimler Enstitüsü ve %10 oranında Lisansüstü Eğitim Enstitüsünde çalışmalar yapılmıştır. Bu verilere göre, en fazla çalışma %70 oranıyla Fen Bilimleri Enstitüsü'nde gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Ana Bilim Dalları incelendiğinde Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda %69,38, İşletme Ana Bilim Dalı %12,24, Yöneylem Araştırması Bilim Dalı %4,08 oranında yapılmıştır. Geriye kalan %16,38'lik kısım farklı ana bilim dallarında gerçekleştirilmiş ve tespit edilmiştir. Konu dağılımları incelendiğinde, Endüstri ve Endüstri Mühendisliği konusunda %76, İşletme konusunda %12, ve Matematik konusunda %4 oranında çalışılmıştır. Geriye kalan 4 farklı konuda ise %8 oranında çalışma yapılmıştır Yapılan literatür araştırmasına göre %55 Çok kriterli karar verme yöntemi, %11,66 Sezgisel ve Meta-Sezgisel Yöntemler, %10 Genel Optimizasyon ve Programlama Yöntemleri kullanılmıştır. Bir çalışmada birden fazla yöntem kullanılmıştır. En çok, %55 oranıyla Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmış, geriye kalan %23,33 ise 14 farklı yöntemden oluşmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri arasında en çok tercih edilenler AHP, Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleridir. Ayrıca PROMETHEE gibi diğer yöntemler de sıklıkla kullanılmaktadır. Kelime bulutundan elde edilen verilere göre, lisansüstü tezlerde en çok vurgulanan konular arasında "Yerleşim", "Optimizasyon", "Simülasyon", "Veri Madenciliği" ve "Tesis" dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, Türkiye'de tesis yerleşimi üzerine yapılan lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini sunarak, mevcut durumu kapsamlı bir şekilde değerlendirmiş ve literatürdeki boşlukları belirlemiştir. Elde edilen bulgular ışığında, özellikle yüksek lisans düzeyinde yoğunlaşan çalışmaların daha fazla desteklenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, doktora düzeyindeki araştırmaların teşvik edilmesi ve bu seviyedeki çalışmaların artırılması, alanın derinlemesine incelenmesine olanak tanıyacaktır. Lisansüstü araştırmaların sürdürülebilirliği için daha fazla kaynak sağlanması ve teşvik edici politikalar geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca, üniversiteler arası iş birliğinin artırılması, farklı üniversiteler ve enstitüler arasında ortak araştırma projelerinin teşvik edilmesi, bu alandaki çalışmaların hem disiplinler arası hem de daha kapsamlı bir boyutta ilerlemesine katkı sağlayacaktır. Vakıf üniversitelerinin bu süreçteki rolünün güçlendirilmesi ve bu alandaki araştırmalara daha fazla katkı sağlamaları için teşvik edilmesi de önerilmektedir. Vakıf üniversitelerinin katılımı, özellikle kaynak çeşitliliği açısından araştırmalara katkıda bulunabilir ve alandaki akademik üretkenliği artırabilir.

Sonuç olarak, araştırma sonuçlarının yalnızca akademik çevrelerde değil, aynı zamanda daha geniş bir kitleye ulaştırılması ve endüstri mühendisliği ile diğer disiplinlerde yapılan çalışmaların uygulamaya dönük politika önerilerine dönüştürülmesi önemlidir. Bu, tesis yerleşimi alanındaki akademik çalışmaların endüstri ile daha fazla etkileşim içinde olmasını sağlayacak ve teorik bilgilerin pratiğe dökülmesine olanak tanıyacaktır. Gelecek çalışmalarda daha geniş veri tabanlarının kullanılması ve disiplinler arası iş birliklerinin teşvik edilmesi, bu alandaki akademik üretkenliği daha da artırarak, tesis yerleşimi araştırmalarının daha etkin ve verimli hale gelmesini sağlayacaktır. Bu doğrultuda, akademik çalışmaların derinleştirilmesi ve genişletilmesi, literatürdeki mevcut boşlukların doldurulmasına katkı sunacaktır.

## 6. Kaynaklar

- [1] A.N. Adıgüzel, (2012). Tesis yerleşimi düzenlenmesi problemi için bir tabu arama sezgisel algoritması (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [2] G.C. Armour, E. S. Buffa, (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. *Management Science*.
- [3] S.P. Singh, R.R.K. Sharma, (2006). A review of different approaches to the facility layout problems, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- [4] D. Toksarı, (2012). Karınca algoritması ve tesis yerleşimi problemlerine uygulanması (Yüksek Lisans) Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [5] G. Aynekin, (2012). Dinamik tesis yerleşimi problemine yeni nesil bir metasezgisel yöntemle çözüm yaklaşımı (Yüksek Lisans) Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- [6] B. Ulusoy, (2007). L şekilli bölümler ile tesis yerleşimi için bir genetik algoritma (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- [7] F. Erdoğan, (2024). Türkiye'de pazarlama iletişimi alanında hazırlanmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [8] M. Gülşen, F. Ersöz, (2020). Endüstriyel tesis yerleşimi ve optimizasyon teknikleri üzerine bir inceleme, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*.
- [9] A. Özinönü, (1970). Growth in turkish positive basic sciences. *Journal of Turkish Science Society*, 3(2), 10-25.
- [10] S. Çelik, M. Arslan, (2021). Bibliyometrik analiz yöntemleri: tanım ve uygulama. *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15(2), 45-56.
- [11] Y.B. Sanlı, F. Baltacı, E. Güven, T. Eren, (2024). Siber güvenlik çalışmaları üzerine bibliyometrik analiz. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 17(3), 223-229.
- [12] M. Öztürk, (1996). Türkiye'de sosyal bilimler alanındaki akademik üretkenlik: üniversiteler arası karşılaştırma. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- [13] E. Akdağ, (2005). Eğitim bilimleri alanında bibliyometrik analiz: Türkiye Örneği. İstanbul: Yeditepe Üniversitesi Yayınları.
- [14] İ. Karaman, Y. Tonta, (2010). Türkiye'de tıp alanında yapılan araştırmaların atıf analizleri: 1998-2008. *Türk Kütüphaneciliği*, 24(1), 55-69.

- [15] A. Demir, İ. Şahin, E. Çolak, (2014). Türkiye’de mühendislik alanındaki akademik yayınların bibliyometrik analizi. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 32(2), 103-115.
- [16] M. Erdoğan, D. Yılmaz, A. Arslan, (2011). Türkiye’de psikoloji alanındaki bilimsel yayınların bibliyometrik analizi. *Journal of Psychology Studies*, 14(1), 45-58.
- [17] F. Şahin, M. Kılıç, A. Yılmaz, (2017). Türkiye’deki enerji araştırmaları alanında bilimsel üretkenliğin analizi. *Energy Research Journal*, 8(3), 134-145.
- [18] E. Güneş, A. Çelik, S. Şahin, (2012). Türkiye’de tarım bilimleri alanında yapılan akademik çalışmaların bibliyometrik analizi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(4), 267-275.
- [19] E. Yücel, M. Dağdeviren, (2016). Tesis yerleşimi ve düzenlemesi üzerine yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(2), 457-486.
- [20] H. Özcan, N. Aras, M. Eroğlu, (2018). Türkiye’deki üretim tesisleri yerleşimi ile ilgili bilimsel çalışmaların bibliyometrik analizi. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(1), 27-38.
- [21] A. Kaya, H. Çakır, E. Uğur, (2015). Tesis yerleşim problemleriyle ilgili olarak dünya genelinde yapılan çalışmaların atıf analizi. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(3), 849-865.
- [22] T. Altınok, Y. Yılmaz, E. Yücel, (2020). Türkiye’deki organize sanayi bölgelerinde tesis yerleşimi üzerine yapılan akademik yayınların bibliyometrik analizi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(2), 194-212.
- [23] E. Güven, T. Eren, (2024). Endüstriyel kaza araştırmalarına yönelik bibliyometrik inceleme: tezler üzerine bir çalışma. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 8(2), 85-93.
- [24] E. Ş. Pınarcı, C. T. Vuruşkan, E. Güven, T. Eren, (2024). Türkiye’de ekip çizelgeleme konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(2), 118-130.
- [25] F. Öztürk, (2020). Tesis yerleşimi ve süreç optimizasyonu: teorik ve uygulamalı yaklaşımlar. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(3), 321-338.
- [26] H. N. Civan, (2023). SMED ortamında çalışan maruziyetlerinin azaltılmasına yönelik bütünleşik bir metodoloji önerisi (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [27] M. Korkmaz, (2019). Karma toptancı halleri yerleşim tasarımı: Samsun ili uygulaması (Doktora Tezi). Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [28] B. Turanoğlu, (2012). Fabrika içi yerleşim düzeni ve bir işletmede uygulaması (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.