

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY  
JOURNAL OF ENGINEERING

Cilt:10

Sayı:1

Mart 2025

**e-ISSN: 2528-8733**



#### Baş Editör

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

#### Editörler

Prof. Dr. Kasım MERMERDAŞ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Oğuz ŞİMŞEK, Harran Üniversitesi

#### Yardımcı Editörler

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DEMİRCAN

Dr. Öğr. Üyesi Yunus KAYA

#### Mizanpaj Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim ŞENOL, Harran Üniversitesi

#### Dil Editörü

Öğr. Gör. Umut KURAN, Harran Üniversitesi

#### Yayın ve Danışman Kurulu

Prof. Dr. Füsün BALIK ŞANLI, Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Alias ABDUL RAHMAN, University Teknologi Malaysia

Prof. Dr. Mustafa ÖZEN, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Gencay SARIŞIK, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Rasoul DANESHFARAZ, University of Maragheh

Doç. Dr. Bülent HAZNEDAR, Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Süleyman İPEK, Yaşar Üniversitesi

Doç. Dr. Bülent BAŞYİĞİT, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Kerim KARADAĞ, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Ali DERELİ, Giresun Üniversitesi

Doç. Hasan Bilgehan MAKİNECİ, Konya Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. João Pedro Leal Abalada De Matos CARVALHO, University of Lisbon

Dr. Öğr. Üyesi Yunus EROĞLU, Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇIĞ, Harran Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Uttam PAWAR, HPT Arts and RYK Science College

Dr. Nadhim HAMAH SOR, University of Garmian

Dr. Öğr. Üyesi Pelin YAPICIOĞLU, Harran Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Eray ŞİMŞEK, Harran Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Paul CURETON, Lancaster University

#### Alan Editörleri (Cilt 10, Sayı 1)

Prof. Dr. Mustafa ÖZEN, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Serkan KAYA, Harran Üniversitesi

Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ, Harran Üniversitesi

#### İletişim:

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Osmanbey Kampüsü Haliliye, Şanlıurfa

Telefon: +90 414 318 3476

e-mail: humder@harran.edu.tr

web: <https://dergipark.org.tr/humder>

e-ISSN: 2528-8733

Yayın Aralığı: 3 ay

## HAKEM LİSTESİ / Reviewers List

10.Cilt 1. sayımızda yayınlanan makaleleri değerli zamanlarını ayırarak değerlendiren kıymetli hocalarımıza teşekkür ederiz.

We greatly appreciate the contributions made by the scientists, who worked as reviewers for Harran University Journal of Engineering.

Mehmet Cihan Aydın

Yunus Ziya Kaya

Veysi Kartal

Emre Yazıcı

Emir Hüseyin Özder

Volkan Arıkan

Akar Doğan

Sena Aydoğan

Pınar Kocabey Çiftçi

Ahmet Sabri Öğütü

---

*Araştırma Makaleleri (Research Articles)*

---

Türkiye'de Endüstri Mühendisliği Bölümlerinin Akademik Yapısı: Uzmanlık Alanları ve Üniversiteler Arası Farklılıklar  
The Academic Structure of Industrial Engineering Departments in Türkiye: Areas of Expertise and Inter-University Differences  
**Yasemin Çepik<sup>1</sup>, Zeynep Akbayram<sup>2</sup>, Nazmiye Eligüzel<sup>3</sup>** 1

Kortikal Kemik Üzerinde Delme Sürecinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi  
Investigation of Drilling Process on Cortical Bone Using Finite Element Method  
**Aysel Eren<sup>1</sup>, Mehmet Dirilmiş<sup>2</sup>** 15

Modifiye Edilmiş Re-entrant Ökzetik Tasarımın Çekme Yüğü Altında İncelenmesi  
Investigation of Modified Re-entrant Auxetic Design Under Tensile Load  
**Ersan Kırar<sup>1</sup>** 26

Practical Design of Stepped Spillways Using Machine Learning Methods and Fuzzy Inference System  
Makine Öğrenme Yöntemleri ve Bulanık Çıkarım Sistemi Kullanılarak Basamaklı Dolusavakların Pratik Tasarımı  
**Sadık Alashan<sup>1</sup>, Sedat Golgiyaz<sup>2</sup>, Erdinç İkinciöğulları<sup>3</sup>, Eyyüp Ensar Yalçın<sup>4</sup>** 36

---

*Derleme Makaleleri (Review Articles)*

---

Proje Yönetim Üzerine Yazılan Lisansüstü Tezlerinin Bibliyometrik Analizi  
Bibliometric Analysis of Postgraduate Theses Written On Project Management  
**Yunus Aydın<sup>1</sup>, Mehmet Pınarbaşı<sup>2</sup>, Tamer Eren<sup>3</sup>** 51



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

### Türkiye'de Endüstri Mühendisliği Bölümlerinin Akademik Yapısı: Uzmanlık Alanları ve Üniversiteler Arası Farklılıklar

*The Academic Structure of Industrial Engineering Departments in Türkiye: Areas of Expertise and Inter-University Differences*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Yasemin ÇEPİK<sup>1</sup>, Zeynep AKBAYRAM<sup>2</sup>, Nazmiye ELİGÜZEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0009-0002-3503-9012

<sup>2</sup> ORCID ID: 0009-0004-7132-8852

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0001-6354-8215

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çepik Y., Akbayram Z., Eligüzel N., "Türkiye'de Endüstri Mühendisliği Bölümlerinin Akademik Yapısı: Uzmanlık Alanları ve Üniversiteler Arası Farklılıklar", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 10(1): 1-14, (2025).

**DOI:** 10.46578/humder.1596188



## Türkiye'de Endüstri Mühendisliği Bölümlerinin Akademik Yapısı: Uzmanlık Alanları ve Üniversiteler Arası Farklılıklar

Yasemin ÇEPİK<sup>1</sup> , Zeynep AKBAYRAM<sup>1</sup> , Nazmiye ELİGÜZEL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 27010, Gaziantep

### Öz

Endüstri mühendisliği, üretim, kalite kontrol, tedarik zinciri yönetimi, lojistik, ergonomi, tesis planlama, bilgi sistemleri, iş süreçlerinin iyileştirilmesi gibi alanlarda uzmanlaşmış bir mühendislik dalıdır ve bu mesleği icra edenler çeşitli kurumlarda, fabrikalarda, hizmet sektöründe, sağlık sektöründe verimliliği arttırmak amacı ile etkin rol oynarlar. Bu çeşitlilik, üniversitelerde farklı uzmanlıkların gelişmesine yol açmıştır. Bu çalışma, Türkiye'deki vakıf ve devlet üniversitelerinin endüstri mühendisliği bölümlerinde görev yapan akademik personelin YÖK Akademik veri tabanında listelenen çalışma alanlarına göre bir kümeleme analizini sunmaktadır. Çalışmada 88 üniversiteden elde edilen verilerle K-Ortalamalar yöntemi kullanılarak kümeleme analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, endüstri mühendisliği akademisyenlerinin disiplinler arası çalışmalarının varlığını ve bazı üniversitelerin özellikle yapay zekâ ve çok kriterli karar verme gibi alanlara odaklandığını göstermektedir. Ayrıca, her kümenin farklı alanlarda yoğunlaştığı ve bu yoğunlaşmaların üniversitelerin uzmanlık alanlarını belirlemede yol gösterici olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, üniversitelerin endüstri mühendisliği alanında ne tür uzmanlıklar geliştirdiğini anlamak ve akademik stratejileri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Önerilen çalışma üniversitelerin endüstri mühendisliği alanındaki güçlü yönlerini vurgulamalarına yardımcı olacak ve akademik kaynaklarını daha etkili bir şekilde yönlendirmelerine katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Akademik Alan, Endüstri Mühendisliği, K-Ortalamalar Yöntemi Üniversiteler

### Makale Bilgisi

Başvuru: 04/12/2024  
Düzeltilme: 03/01/2025  
Kabul: 09/01/2025  
Yayınlanma: 31/03/2025

### Alıntı

Çepik Y., Akbayram Z., Eligüzel N., "Türkiye'de Endüstri Mühendisliği Bölümlerinin Akademik Yapısı: Uzmanlık Alanları ve Üniversiteler Arası Farklılıklar", Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 10(1): 1-14, (2025).

## The Academic Structure of Industrial Engineering Departments in Türkiye: Areas of Expertise and Inter-University Differences

### Abstract

The Industrial engineering is a diverse discipline that specializes in fields such as production, quality control, supply chain management, logistics, ergonomics, facility planning, information systems, and business process improvement. Practitioners of this profession play a crucial role in enhancing efficiency across various institutions, factories, the service sector, and the healthcare industry. This diversity has led to the development of different specializations within universities. This study presents a clustering analysis of the academic staff in the industrial engineering departments of foundation and state universities in Türkiye, based on the fields listed in the YÖK Academic database. Utilizing data from 88 universities, a K-means clustering method was employed for the analysis. The results indicate the existence of interdisciplinary work among industrial engineering academicians, with certain universities particularly focusing on areas such as artificial intelligence and multi-criteria decision-making. Furthermore, it was found that each cluster concentrated on different areas, and these concentrations serve as a guide in determining the specialization areas of universities. This study can be used to understand the types of expertise developed in industrial engineering across universities and to evaluate their impact on academic strategies. The proposed research will assist universities in highlighting their strengths in the field of industrial engineering and contribute to the more effective allocation of their academic resources.

**Keywords:** Academic Field, Industrial Engineering, K-Means Clustering, Universities

### Article Information

Received: 04/12/2024  
Revised: 03/01/2025  
Accepted: 09/01/2025  
Published: 31/03/2025

### Citation

Çepik Y., Akbayram Z., Eligüzel N., "The Academic Structure of Industrial Engineering Departments in Türkiye: Areas of Expertise and Inter-University Differences", Harran University Journal of Engineering, 10(1): 1-14, (2025).

\*İletişim yazarı, e-mail: nazmiye.eliguzel@gibtu.edu.tr

\*Corresponding author, e-mail: nazmiye.eliguzel@gibtu.edu.tr

DOI: 10.46578/humder.1596188

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstri mühendisliği, bütünleşik üretim ve hizmet sistemlerinin tasarımı, planlanması, kurulumu ve kontrolü ile ilgilenir [1]. Mesleğin amacı, verimliliği ve kârlılığı artırmak, iş süreçlerini optimize etmek ve sistemlerin sürdürülebilirliğini sağlamaktır. Endüstri mühendisliğinin bilimsel temelleri, Frederick W. Taylor'un fabrikalarda yaptığı gözlem ve analizlerle atılmıştır [2]. Yöneylem araştırmasının 1950'li yıllarda gelişmesiyle, endüstri mühendisliği hızla yaygınlaşmış ve teknolojinin gelişimine paralel olarak kendini sürekli güncellemiştir. Teknolojinin gelişmesi ve ilerlemesi ile birlikte ekonomi, üretim, yönetim, eğitim, sağlık gibi çeşitli disiplinlere bakış açısı da değişmektedir. Bu disiplinler teknolojinin etkisi altında yeni bakış açıları kazanmaktadır. Günümüz dünyasında bu ilerleme ve büyümeye ayak uydurabilmek için meslek dallarının hangi yönlere evrildiğinin ayırımına varmak gerekmektedir. Endüstri Mühendisliği teknoloji çağında karmaşık problemleri çözebilen nadir mesleklerden biridir [3]. Turner vd. [4] Endüstri Mühendislerinin yaptıkları işi "fizik, matematik ve sosyal bilimlerdeki bilgi ve becerileri ile birlikte mühendislik analizinin metot ve prensiplerini de kullanarak tasarladığı sistemden elde edilecek sonuçları belirler, tanımlar ve değerlendirir" şeklinde tarif etmiştir. Mummolo [5] yaptığı çalışmada, Endüstri Mühendisliği mesleki eğitimimin, Makine ve Elektronik mühendisliği müfredatındaki bazı dersler ile pekiştirilmesi eğiliminde olduğunu belirtmiştir. Erginel vd. [6] ise Endüstri mühendislerinin daha çok planlama ve sistem ile ilgili olduklarını belirterek çalışma alanları kapsamında birçok konuda bilgi sahibi olmaları gerektiğini vurgulamıştır. Literatürdeki Endüstri Mühendisliğinin müfredatları ya da çalışma alanları konusunda yapılan bu çalışmalara baktığımızda, Endüstri Mühendisliği çeşitli disiplinleri bir araya getiren diğer bir deyişle çok disiplinli bir yaklaşıma sahip mesleklerden biridir. İçerisinde üretim sistemlerini, ekonomi bilimini, sosyal bilimleri, bilgisayar bilimlerini ve daha birçok farklı bilim dalını içeren bir meslek grubudur. Endüstri mühendislerinin kullandıkları araç ve yöntemleri pek çok farklı alana entegre edebildikleri görülmektedir. Bankacılık sektöründen üretime, sağlıktan yönetim ve hizmetle alakalı diğer sektörlerde Endüstri Mühendisliği çalışanlarını ve yaptıkları vaka çalışmalarını görmekteyiz.

Üniversitelerde de iş dünyasındaki gibi farklı alanlarda çalışan Endüstri Mühendisliği personelleri bulunmaktadır. Bu nedenle üniversitelerin Endüstri Mühendisliği bölümleri incelendiğinde akademik personellerin bilim dallarından ve temel alanlarından dolayı bölümlerin odak noktaları farklılıklar gösterebilir. Değişen meslek grupları, yok olmaya hazır meslekler ve geleceğin potansiyel meslekleri ele alındığında Endüstri Mühendisliği halen cazibesini koruyan ve geleceğin mesleklerine potansiyel eleman yetiştirebilecek meslekler arasındadır. Günümüzde öğrencilerin farkındalıkları ve ilgi alanları geçmişe kıyasla farklılıklar göstermektedir. Bundan dolayı, öğrenciler yeniliğe ayak uyduran ve eski sistemleri teknoloji ile bütünleştirebilen bölümleri ve üniversiteleri tercih etmektedirler. Eğitim aldıkları süre içerisinde ilgi duydukları alan doğrultusunda projeler yapma eğilimindedirler. Özellikle bitirme ödevi alan öğrenciler açısından, öğrencilerin okudukları bölümde ve çalışmak istedikleri alanda çalışan bir akademik personelin olması önem arz etmektedir. Seçmeli dersleri istedikleri alanda alabilmeleri ve danışman hocanın mentörlüğü ile ilgi duydukları alanda çalışmalar yapabilmeleri oldukça önemlidir. Tüm bu nedenlerden dolayı bu çalışmanın hedefleri şu şekildedir;

- Öğrencilerin Endüstri Mühendisliği bölümünü seçerken üniversitedeki akademik personellerin çalışma alanlarını dikkate alması
- Endüstri Mühendisliği alanında yenilikçi olan üniversitelerin tespiti
- Üniversitelerin Endüstri Mühendisliği bölümlerinde akademik kadronun ilgi alanlarının tespiti
- Öğrencilerin çalışmak istedikleri sektörü belirlemede yardımcı olmak
- Yapay zekanın ve yapay öğrenmenin hangi üniversitelerde daha çok çalışıldığının belirlenmesi

İşte tüm bu soruların cevapları yetiştirilecek olan Endüstri mühendislerinin izleyeceği yol açısından oldukça önem arz etmektedir.

Literatür ele alındığında üniversitelerdeki Endüstri mühendisliği personellerini uzmanlık alanlarına göre kümeleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Ele alınan çalışma yukarıda bahsi geçen tüm sorulara cevap niteliğinde olacaktır. İkinci bölümde çalışma ile ilgili literatür ele alınmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde yöntem kısmına yer verilmiştir. Bu kısımda verilerin nasıl elde edildiği, uygulanan K-ortalamlar tekniği

anlatılmıştır. Dördüncü bölümde araştırmadan elde edilen sonuçlar tartışılmış ve yorumlanmıştır. Son olarak ise sonuç kısmına yer verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

İlgili literatürde, endüstri mühendisliği bölümlerine ve bu bölümlerde çalışan akademik personelin çalışma alanlarına yönelik çeşitli analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Ünal vd. [7], üniversite öğrencilerinin ortak zorunlu derslerdeki başarılarını K-Ortalamlar algoritması ile inceleyerek bu derslerdeki performansları arasında anlamlı farklılıklar olup olmadığını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, öğrencilerin başarı durumları hakkında fikir ve öneriler sunulmuştur. Rouyendegh ve Can [8], Türkiye'deki endüstri mühendisliği öğrencilerinin alan tercihlerini incelemek için Bulanık Analitik Ağ Süreci yöntemini kullanmışlardır. Türkiye'de 48 endüstri mühendisliği programı öğrencisi ile yaptıkları anket çalışmasının sonucunda, öğrencilerin en çok insan kaynakları, lojistik yönetimi ve üretim planlama gibi alanlara yöneldiği tespit edilmiştir. Çalışma ayrıca öğrencilerin derslere olan ilgisinin, iş fırsatlarının ve cinsiyetin bu tercihlerde önemli rol oynadığını göstermiştir. Erginel vd. [6], Türkiye'deki endüstri mühendisliği mesleğinin mevcut durumu ve geleceği hakkında bir anket çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada, endüstri mühendislerinin insan, bilgi, malzeme, makine ve finansal kaynaklardan oluşan bütünlük sistemlerin tasarımı, işletilmesi ve iyileştirilmesi ile ilgili becerileri analiz edilmiştir. Anket verileri grafikler ve istatistiksel testler yardımıyla yorumlanmış ve endüstri mühendisliği mesleğinin gelişimi hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Özcan [9], Türkiye'deki aday öğrencilerin üniversite tercihlerine etki eden faktörleri belirlemek amacıyla bir anket çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, üniversitenin imaj ve marka değeri, üniversitenin sunduğu imkanlar, üniversitenin temel ihtiyaçları karşılaması, üniversite tercihinde dersane ve okulun yönlendirmesi, ailenin etkisi, arkadaş çevresi ve spor olanakları gibi faktörlerin öğrencilerin üniversite tercihlerinde önemli rol oynadığı saptanmıştır. Anket verileri SPSS programı ile analiz edilmiş ve sonuçlar T-testi, ANOVA ve kümeleme analizleriyle desteklenmiştir. Uçar ve İşleyen [10], Türkiye'deki endüstri mühendisliği eğitiminin mevcut durumunu değerlendirmek amacıyla mezunların görüşlerine dayalı bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. Cronbach Alpha testi ile güvenilirliği sağlanan bu çalışmada, mezunların endüstri mühendisliği eğitimine dair algıları ve eğitim sisteminin güçlü ve zayıf yönleri analiz edilmiştir. Çalışma, Türkiye'deki endüstri mühendisliği eğitiminin iyileştirilmesine yönelik öneriler sunmuştur. Demirtaş vd. [11], teknolojik gelişmelerin endüstri mühendisliği alanındaki etkilerini incelemişlerdir. Bu kapsamda, endüstri mühendislerinin becerilerinin sürekli olarak gelişen teknolojiye göre nasıl değiştiği ve yakın gelecekte dijital beceri, analitik düşünme ve problem çözme odaklı bir eğitime doğru kayacağı öngörülmüştür. Çalışma, endüstri mühendisliği eğitiminin gelecekte nasıl evrileceği konusunda önemli öngörülerde bulunmuştur.

Tüm bu çalışmalar, Türkiye'deki endüstri mühendisliği eğitimi ve akademik personelin çalışma alanları ile ilgili önemli bilgiler sunmakta ve bu alandaki eğilimleri analiz etmektedir.

## 3. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Önerilen çalışmada Türkiye'deki vakıf ve devlet üniversitelerinin endüstri mühendisliği bölümlerinde çalışan akademik personelin YÖK Akademik' teki alanları dikkate alınarak bir kümeleme çalışması yapılmıştır. Veriler Haziran 2024' te çekilmiştir. Bilgileri YÖK Akademik' te mevcut olan akademik personelin verileri ile çalışma yapılmıştır. Bu alanlar YÖKSİS sisteminde endüstri mühendisliği alanı altında çıkan alt alanlardır. Bu alanların dışındaki alanlar "alan dışı" olarak gösterilmiştir. Endüstri mühendisliği bölümü olan her bir üniversite tespit edilmiştir, bölümlerdeki tüm akademik personelin YÖK Akademik' teki çalışma alanları değerlendirilmiştir. Bir akademisyenin birden fazla çalışma alanı var ise bunların hepsi dikkate alınmıştır. 88 üniversite değerlendirilmiştir.

Bu sayede akademideki endüstri mühendislerinin çalışma alanları, üniversitelerin uzmanlaştığı alanlar ve yenilikçi alanlarda çalışan endüstri mühendisliği bölümleri akademik personellerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.



Tablo 1’de endüstri mühendisliği alanı altındaki alt alanlar kullanılarak üç üniversite için örnek veri kümesi gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Örnek veri kümesi

Alanlar	AKSARAY ÜNİVERSİTESİ	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Bulanık mantık	1	6	2
Çok kriterli karar verme	2	12	3
Ergonomi ve insan faktörleri yönetimi	-	2	1
Finansal mühendislik	-	-	-
İmalat sistemleri yönetimi	-	3	1
İşletme yönetimi	-	3	-
Kalite yönetimi	-	3	-
Karar bilimi	-	3	3
Lojistik ve ulaşım yönetimi	-	3	-
Makine öğrenmesi	-	2	1
Modelleme ve optimizasyon	2	8	2
Mühendislik ekonomisi	-	1	-
Rassal süreçler	-	2	-
Risk yönetimi	-	1	-
Simülasyon	-	1	-
Sistem mühendisliği	2	-	1
Tedarik zinciri yönetimi	-	8	2
Teknoloji ve yenilik yönetimi	-	2	2
Üretim ve hizmet sistemleri yönetimi	-	7	4
Veri madenciliği	-	1	-
Yapay zekâ	-	1	7
Yönetim bilişim sistemleri	-	-	-
Yöneylem araştırması	3	9	4
Alan dışı	2	-	-

Tablo 1'deki değerler, her bir üniversitedeki endüstri mühendisliği akademisyenlerinin hangi çalışma alanlarına odaklandığını göstermektedir. Bir akademisyen birden fazla çalışma alanına sahip olabileceğinden, her bir alan için tabloya yansıtılan değerler, o alanda çalışan akademisyenlerin toplam sayısını yansıtır. Tablo 1’deki değerler, her bir üniversitedeki akademisyenlerin belirli alanlarda çalıştığını göstermektedir. Ancak burada önemli bir detay, bir akademisyenin birden fazla çalışma alanında yer alabilmesidir. Bu nedenle, Tablo 1’in sütunlarında yer alan sayılar, o alanda çalıştığı belirtilen akademisyenlerin toplamını ifade eder, ancak bu sayı, üniversitedeki endüstri mühendisliği bölümündeki toplam akademisyen sayısını yansıtmaz. Örneğin, bir üniversitede endüstri mühendisliği bölümünde 10 akademisyen varsa ve bu akademisyenlerden bazıları birden fazla alanda çalışıyorsa, sütunlarda bu 10 akademisyenin toplamından daha büyük bir sayı ortaya çıkabilir. Bu durumda her bir akademisyenin birden fazla çalışma alanında yer alması mümkündür, sütunlardaki sayılar buna göre değerlendirilmiştir. Önerilen çalışma kümeleme metodu ile üniversiteleri gruplandırmayı ve bu grupların hani alanlarda daha çok özelleştğini göstermeyi hedeflemektedir. Kümeleme yöntemi olarak K-Ortalamlar (K-Means) yöntemi tercih edilmiştir.

### 3.1 K-Ortalamlar Yöntemi (K-Means Method)

K-ortalamlar yöntemi, ilk kez 1967 yılında MacQueen [12] tarafından geliştirilmiş ve en eski kümeleme tekniklerinden biri olarak kabul edilir. Bu algoritma, gözetimsiz öğrenme yöntemlerinden biridir ve verilerin tek bir kümeye atanmasını sağlayan bir yapıya sahiptir, bu nedenle keskin bir kümeleme algoritması olarak nitelendirilir. K-ortalamlar, kümelerin merkez noktaları aracılığıyla temsil edilmesi prensibine dayanmaktadır [13].

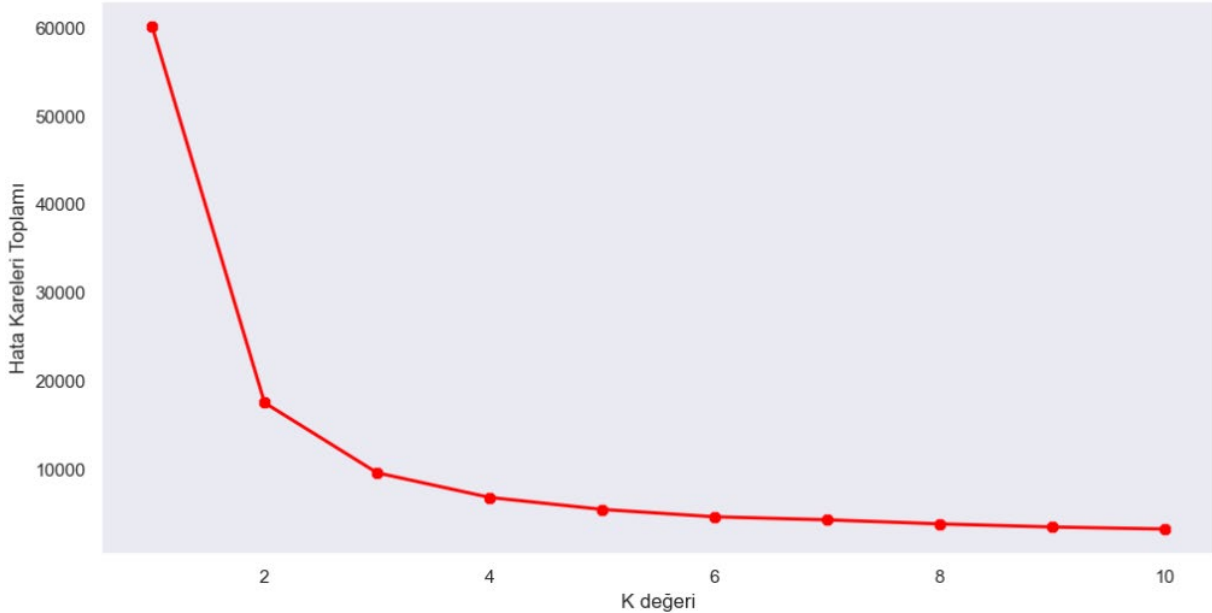
Kümeleme analizinin temel amacı, istatistiksel bir sonuca ulaşmaktan ziyade, aynı küme içindeki birimlerin birbirine olabildiğince benzer (homojen) olmasını sağlamak, farklı kümelerdeki birimlerin ise birbirinden farklı (heterojen) olmasını sağlamaktır. Başarılı bir kümeleme, verilerin geometrik olarak birbirine yakın bir şekilde gruplandırılmasını ve farklı kümelerdeki verilerin birbirinden uzak yer almasını bekler. Kümeleme analizi, verilerin temel yapısını anlamaya ve gruplandırmaya yönelik nesnel bir yöntem olarak tanımlanabilir. K-ortalamlar kümeleme algoritmasının bazı güçlü ve zayıf yönleri vardır. Algoritmanın güçlü yönleri: uygulanmasının kolay olması, büyük popülasyonlarla diğer kümeleme yöntemlerine göre hesaplama açısından daha hızlı olması ve yeni örneklerle uyum sürecinin kolay olmasıdır. Algoritmanın zayıf yönleri ise: K-ortalamlar yönteminin sonucunun gürültü, aykırı değerler ve boş kümelerden olumsuz etkilenmesidir. Ayrıca kümeleme sonucu, başlangıç noktalarına karşı hassastır [14]. K-ortalamlar yöntemi, sürekli olarak geliştirilen ve tam doğruluk sağlamayan bir algoritma olmasına rağmen, farklı ve daha verimli sonuçlar üretebilmek için uyarlanabilen bir tekniktir [15]. K-ortalamlar yönteminin başarısı, başlangıçta seçilen küme merkezlerinin değerlerine ve kullanılan benzerlik ölçütlerine bağlı olarak değişmektedir [16].

K-ortalamlar yönteminin değerlendirilmesinde yaygın olarak Toplam Hata Kareleri (SSE) kullanılmaktadır. En düşük SSE değerine sahip kümeler, en iyi sonucu sunar. Verilerin ait oldukları küme merkezlerine olan uzaklıklarının kareleri toplamı, SSE değeri olarak hesaplanır ve bu, 1 numaralı denklemle gösterilmiştir.

$$SSE = \sum_{i=1}^K \sum_{x \in C_i} uzaklık^2(m_i, x) \quad (1)$$

$x$ ,  $C_i$  Kümesinde bulunan veri,  $m_i$ ,  $C_i$  kümesinin merkez noktası.

k-ortalamlar yöntemi karesel hatayı en aza indirecek şekilde verilerin k kümeye atanmasını hedefler. Bu yöntemde, algoritma kullanıcı tarafından belirlenen k değeriyle, n veri noktasından oluşan veri setini k kümeye ayırarak sonuca ulaşmaya çalışır [17]. Bu çalışmada dirsek metodu (Elbow yöntemi) ile küme sayısı belirlenmiştir. Şekil 1’ de dirsek yöntemi sonucu elde edilen grafik gösterilmiştir.



Şekil 1. Dirsek yöntemi

Grafikte Y eksenini hata kareleri toplamını gösterirken, X eksenini küme sayısını temsil etmektedir. Genellikle hata kareleri toplamı küme sayısı arttıkça azalmaktadır. Ancak belirli noktadan sonra azalmanın hızı yavaşlar. Bu yavaşlamanın olduğu yer en uygun küme sayısını göstermektedir. Grafikte dirsek noktası üç küme civarında görünmektedir. Üçten sonra hata kareleri toplamı daha az azalmaya başlamaktadır. Bundan

dolayı daha fazla küme seçmek anlamlı bir iyileşme sağlamayacaktır. Bundan dolayı küme sayısı üç olarak alınmıştır. Bu çalışmada Python programlama dili kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Küme sayısı belirlendikten sonra K-ortalamar yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen üç kümenin alanlara göre ortalaması Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Alanların her bir kümedeki ortalama değerleri

Alanlar	Küme 1 Ortalama	Küme 2 Ortalama	Küme 3 Ortalama
Bulanık mantık	1.57	1.53	1.66
Çok kriterli karar verme	2.84	3.01	2.73
Ergonomi ve insan faktörleri yönetimi	1.68	1.43	1.47
Finansal mühendislik	1	1	1
İmalat sistemleri yönetimi	1.66	1.7	1.67
İşletme yönetimi	1.21	1.2	1.29
Kalite yönetimi	1.49	1.58	1.53
Karar bilimi	1.97	1.66	1.72
Lojistik ve ulaşım yönetimi	1.92	1.82	2.08
Makine öğrenmesi	1.18	1.18	1.34
Modelleme ve optimizasyon	3.7	3.47	3.42
Mühendislik ekonomisi	1.3	1.25	1.34
Rassal süreçler	1.42	1.69	1.71
Risk yönetimi	1.08	1.1	1.11
Simülasyon	1.67	1.58	1.5
Sistem mühendisliği	1.33	1.36	1.37
Tedarik zinciri yönetimi	2.32	2.26	2.67
Teknoloji ve yenilik yönetimi	1.22	1.22	1.29
Üretim ve hizmet sistemleri yönetimi	3.54	2.67	2.53
Veri madenciliği	1.14	1.13	1.15
Yapay zekâ	2.43	2.3	1.98
Yönetim bilişim sistemleri	1.36	1.28	1.26
Yöneylem araştırması	4.82	3.7	3.84
Alan dışı	4.31	3.16	4.37

Bulanık mantık, finansal mühendislik, imalat sistemleri yönetimi gibi alanlarda kümeler arasındaki ortalama değerler birbirine oldukça yakındır. Bu durum, bu alanlardaki verilerin kümeler arası çok farklı olmadığını, yani homojen bir dağılım gösterdiğini işaret edebilir. Karar bilimi, modelleme ve optimizasyon, simülasyon, üretim ve hizmet sistemleri yönetimi, yapay zekâ, yönetim bilişim sistemleri ve yöneylem araştırması alanlarında küme 1’in diğer kümelerle göre daha yüksek ortalamalar gösterdiği görülmektedir. Bu, küme 1’de bu alanlarla ilgili daha fazla odaklanma veya daha spesifik ilgi olduğuna işaret edebilir.

Çok kriterli karar verme, imalat sistemleri yönetimi ve kalite yönetimi alanlarında küme 2’nin diğer kümelerden daha yüksek ortalamalara sahip olduğu görülmektedir.

Küme 3 ise bulanık mantık, işletme yönetimi, lojistik ve ulaşım yönetimi, makine öğrenmesi, rassal süreçler, risk yönetimi, sistem mühendisliği, tedarik zinciri yönetimi, teknoloji ve yenilik yönetimi, veri







Şekil 5. İkinci kümedeki alan dağılımları

Tablo 4. İkinci kümede en yüksek ortalamaya sahip alanlar

Alanlar	Küme 2
Yöneylem araştırması	3.7
Modelleme ve optimizasyon	3.47
Alan Dışı	3.16
Bulanık mantık	3.01
Üretim ve hizmet sistemleri yönetimi	2.67
Yapay zekâ	2.3

İkinci kümede de yapay zekâ alanına önem verildiği görülmektedir. Bu kümede de birinci kümede olduğu gibi finansal mühendislik alanı en düşük değeri almıştır. Bunun yanı sıra işletme yönetimi, risk yönetimi, veri madenciliği gibi alanlar da diğer alanlara nispeten düşük puan almışlardır. Bu durum bu alanlarda çalışan akademik personelin daha az olduğunu göstermektedir. Son olarak ise Şekil 6' da üçüncü kümenin içerisinde yer alan üniversiteler gösterilmiştir.

Bu kümede yer alan üniversiteler arasında Hacettepe, Marmara, Orta Doğu Teknik, Koç, Konya Teknik, Kadir Has, Karadeniz Teknik, Ondokuz Mayıs, Ostim Teknik, Kocaeli, Kütahya Dumlupınar, Hasan Kalyoncu, Tarsus, Sivas Cumhuriyet, Pamukkale, Sakarya, MEF üniversiteleri gibi üniversiteler yer almaktadır. Şekil 7' de bu üniversitelerin yoğunlaştığı alanlar verilmiştir.



**Tablo 5.** Üçüncü kümede en yüksek ortalamaya sahip alanlar

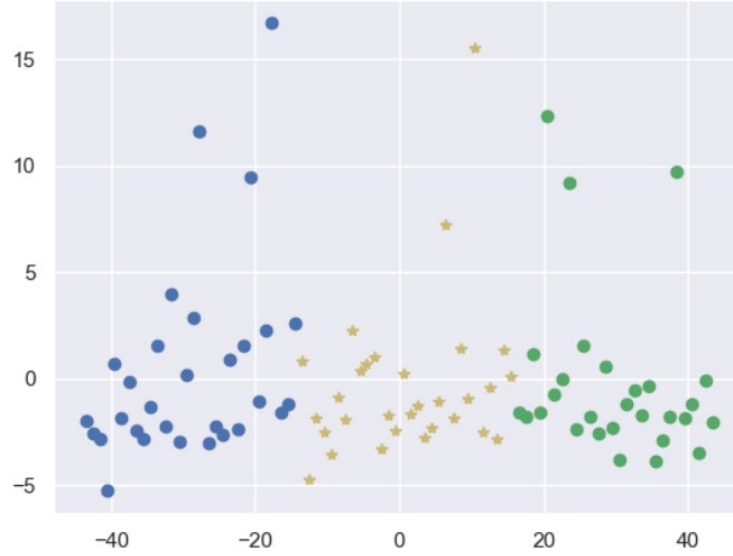
Alanlar	Küme 3
Alan Dışı	4.37
Yöneylem araştırması	3.84
Modelleme ve optimizasyon	3.42
Çok kriterli karar verme	2.73
Tedarik zinciri yönetimi	2.67
Üretim ve hizmet sistemleri yönetimi	2.53

**Tablo 6.** Üniversitelerin kümelere göre dağılımı

1.KÜME	2. KÜME	3. KÜME
Çankaya Üniversitesi	Aksaray Üniversitesi	Hacettepe Üniversitesi
Çukurova Üniversitesi	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi	Haliç Üniversitesi
İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi	Altınbaş Üniversitesi	Harran Üniversitesi
İskenderun Teknik Üniversitesi	Ankara Bilim Üniversitesi	Hasan Kalyoncu Üniversitesi
İstanbul Atlas Üniversitesi	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	Işık Üniversitesi
İstanbul Aydın Üniversitesi	Antalya Bilim Üniversitesi	Kadir Has Üniversitesi
İstanbul Bilgi Üniversitesi	Atatürk Üniversitesi	Karabük Üniversitesi
İstanbul Gedik Üniversitesi	Atılım Üniversitesi	Karadeniz Teknik Üniversitesi
İstanbul Gelişim Üniversitesi	Bahçeşehir Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi
İstanbul Kültür Üniversitesi	Balıkesir Üniversitesi	Koç Üniversitesi
İstanbul Medeniyet Üniversitesi	Başkent Üniversitesi	Konya Teknik Üniversitesi
İstanbul Medipol Üniversitesi	Beykoz Üniversitesi	KTO Karatay Üniversitesi
İstanbul Okan Üniversitesi	Boğaziçi Üniversitesi	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
İstanbul Rumeli Üniversitesi	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi	Maltepe Üniversitesi
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi	Bursa Teknik Üniversitesi	Marmara Üniversitesi
İstanbul Teknik Üniversitesi	Bursa Uludağ Üniversitesi	MEF Üniversitesi
İstanbul Ticaret Üniversitesi	Doğu Akdeniz Üniversitesi	Mudanya Üniversitesi
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	Doğuş Üniversitesi	Necmettin Erbakan Üniversitesi
İstinye Üniversitesi	Dokuz Eylül Üniversitesi	Nuh Naci Yazgan Üniversitesi
İzmir Bakırçay Üniversitesi	Düzce Üniversitesi	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İzmir Ekonomi Üniversitesi	Erciyes Üniversitesi	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Özyeğin Üniversitesi	Erzurum Teknik Üniversitesi	Ostim Teknik Üniversitesi
Toros Üniversitesi	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	Pamukkale Üniversitesi
Türk Hava Kurumu Üniversitesi	Eskişehir Teknik Üniversitesi	Piri Reis Üniversitesi
Türk-Alman Üniversitesi	Fenerbahçe Üniversitesi	Sakarya Üniversitesi
Üsküdar Üniversitesi	Galatasaray Üniversitesi	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Yaşar Üniversitesi	Gazi Üniversitesi	Tarsus Üniversitesi
Yeditepe Üniversitesi	Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Yıldız Teknik Üniversitesi	Gaziantep Üniversitesi	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi



Şekil 8’ de Temel Bileşenler Analizi (PCA) ile elde edilen bir dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8. Kümelerin PCA dağılım grafiği

PCA’ nın kullanım amacı  $p$  sayıdaki orijinal değişkeni, temel bileşenler olarak bilinen  $k$  sayıdaki yeni değişkenlere dönüştürmektir [18]. Yüksek boyutlu verilerin boyutlarını azaltmak ve bu verileri iki ya da üç boyutlu bir grafikte görselleştirmek için kullanılır. Şekil 8’de görüldüğü gibi veriler üç farklı kümeye ayrılmıştır.  $X$  ve  $Y$  eksenlerinde veri noktalarının konumları temsil edilir. Bu noktalar kümeler arasındaki ayrışmayı ve verilerin benzerliklerini görselleştirmeye yardımcıdır. Mavi daireler birinci kümenin dağılımını göstermektedir. Mavi küme grafiğin sol tarafında yoğunlaşmıştır. Değerlerin büyük çoğunluğu  $x$  ekseninde -40 ile 0 arasında,  $y$  ekseninde ise genellikle -5 ile 10 arasında yer almaktadır. Mavi kümedeki noktalar genel olarak birbirine daha yakın ve düşük  $y$  eksen değerlerine sahiptir. Sarı yıldızlar ikinci kümeyi göstermektedir. Sarı küme orta kısımda yer almaktadır,  $x$  ekseninde yaklaşık -10 ile 20 arasında ve  $y$  ekseninde genellikle -5 ile 5 arasında konumlanmıştır. Bu kümedeki noktalar, diğer kümelere göre daha dağınık durmaktadır ve bazıları  $y$  ekseninde daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Yeşil daireler üçüncü kümeyi göstermektedir. Yeşil küme grafiğin sağ tarafında yer almaktadır,  $x$  ekseninde 10 ile 40 arasında ve  $y$  ekseninde -5 ile 5 arasında yer almaktadır. Yeşil küme, mavi kümeyle göre biraz daha düzenli ve sıkışık bir dağılım göstermektedir.

#### 4.1 Genel Çıkarımlar (General Inferences)

K-ortalamlar yöntemiyle yapılan kümeleme sonucunda üniversiteler alanlarına göre üç kümeye ayrılmıştır.

- Birinci kümede yöneylem araştırması en yüksek odaklanma alanı olarak öne çıkmıştır. Bunun yanında, Modelleme ve Optimizasyon, Üretim ve Hizmet Sistemleri Yönetimi, Çok Kriterli Karar Verme ve Yapay Zekâ gibi alanlarda da yüksek bir yoğunlaşma görülmüştür. Aynı zamanda bu kümede "alan dışı" çalışmalar da dikkat çekmektedir, bu da disiplinler arası çalışmalara işaret etmektedir.
- İkinci kümede yine Yöneylem Araştırması, Modelleme ve Optimizasyon, Alan Dışı ve Bulanık Mantık alanlarında yüksek odaklanma olduğu görülmüştür. Bu küme, özellikle Üretim ve Hizmet Sistemleri Yönetimi gibi alanlarda da güçlüdür. Yapay Zekâ da bu kümede önemli bir alan olarak öne çıkmıştır.
- Üçüncü kümede en yüksek yoğunlaşma "alan dışı" kategorisinde görülmüştür, bu da bu kümedeki üniversitelerin disiplinler arası çalışmalara daha fazla odaklandığını göstermektedir. Yöneylem Araştırması, Modelleme ve Optimizasyon, Çok Kriterli Karar Verme ve Tedarik Zinciri Yönetimi

de öne çıkan alanlar arasındadır. Ancak, bu kümede Yapay Zekâ daha az yoğunlaşan bir alan olmuştur.

- Yapay zekâ, özellikle birinci ve ikinci kümede önemli bir alan olarak öne çıkarken, üçüncü kümede daha düşük bir yoğunluk göstermiştir. Birinci ve ikinci kümede bu alanın daha fazla odaklanıldığı, yenilikçi çalışmalara yönelim olduğu görülmektedir.
- Tüm kümelerde en az odaklanılan alan Finansal Mühendislik olmuştur. Bu alanın diğer alanlara kıyasla daha az akademik ilgi gördüğü anlaşılmaktadır.
- "Alan dışı" kategorisi, her üç kümede de dikkate değer büyüklükte yer tutmaktadır. Bu durum, endüstri mühendisliği akademisyenlerinin disiplinler arası çalışmalara yöneldiklerini ve kendi ana alanlarının dışında çalışmalarda da bulunduğunu göstermektedir.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma, Türkiye'deki vakıf ve devlet üniversitelerinin endüstri mühendisliği bölümlerinde görev yapan akademik personelin YÖK Akademik verilerine dayanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, endüstri mühendisliği alanındaki alt uzmanlık dalları dikkate alınarak, 88 üniversitenin akademik personeli analiz edilmiş ve K-Ortalamalar kümeleme yöntemi ile üniversiteler gruplandırılmıştır. Kümeleme analizinin sonucunda, üç ana küme elde edilmiştir. İlk kümede yer alan üniversiteler, özellikle yöneylem araştırması, modelleme ve optimizasyon, üretim ve hizmet sistemleri yönetimi gibi klasik endüstri mühendisliği alanlarında yoğunlaşmıştır. Ayrıca, bu kümede yer alan akademisyenlerin büyük bir kısmının disiplinler arası çalışmalara yöneldiği ve endüstri mühendisliği dışındaki alanlarda da faaliyet gösterdiği tespit edilmiştir. Birinci kümede yapay zekâ alanına da odaklanıldığı görülmektedir. Bu durum, bu üniversitelerin daha geniş bir akademik yelpazeye sahip olduklarını ve yenilikçi alanlara ilgi gösterdiklerini ortaya koymuştur. İkinci kümede yer alan üniversitelerde ise yine yöneylem araştırması ve modelleme ve optimizasyon gibi alanlar öne çıkmakta olup, bu kümede ayrıca bulanık mantık gibi daha spesifik alanlarda da yoğunlaşma görülmektedir. İkinci küme, klasik endüstri mühendisliği alanlarına ek olarak yapay zekâ gibi yenilikçi konulara da odaklanmıştır. Üçüncü küme ise daha çok lojistik ve tedarik zinciri yönetimi gibi yönetim odaklı alanlarda uzmanlaşmıştır. Bu küme, özellikle tedarik zinciri yönetimi ve lojistik alanlarına yönelik çalışmaların yoğun olduğu üniversiteleri içermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'deki endüstri mühendisliği bölümlerinin çalışma alanlarına ilişkin önemli bir perspektif sunmakta ve üniversitelerin hangi alanlarda uzmanlaştığını göstermektedir. Yenilikçi alanlar arasında yapay zekâ ve veri madenciliği gibi konuların öne çıkması, üniversitelerde bu alanlara olan ilgiyi ortaya koymaktadır. Çalışma, üniversiteler arası iş birliklerini geliştirme, akademik personelin uzmanlık alanlarına göre projeler üretme ve yenilikçi alanlara odaklanma açısından akademik ve stratejik karar alma süreçlerine katkı sağlayabilir. Bu çalışma, YÖK Akademik verilerine dayanarak Türkiye'deki vakıf ve devlet üniversitelerinin endüstri mühendisliği bölümlerini analiz etmiş olsa da verilerin yalnızca bu platformdaki güncelliğine ve doğruluğuna bağlı olması, analizlerin kapsamını sınırlamaktadır. Ayrıca, bir akademisyenin birden fazla çalışma alanında yer alması nedeniyle, analizlerde akademisyenlerin toplam sayılarına değil, çalışma alanlarına odaklanılmıştır. Bu durum, bazı kümelerde yoğunluğun gerçek durumu tam olarak yansıtmamasına neden olabilir. Bunun yanı sıra, çalışmada yalnızca belirli alt uzmanlık dalları incelenmiş olup, endüstri mühendisliği dışındaki alanların daha geniş bir perspektifte değerlendirilememesi bir başka sınırlamadır.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, TÜBİTAK-2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Desteği Programı tarafından desteklenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT of INTEREST)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## ARAŞTIRMA ve YAYIN ETİĞİ BEYANI (STATEMENT of PUBLICATION ETHICS)

Çalışmanın tüm süreçlerinin araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu, etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine uyduğunu beyan ederiz.

## YAZAR KATKISI (AUTHOR STATEMENT)

**Yasemin ÇEPIK:** Veri Toplama, Literatür Taraması ve Veri İşleme. **Zeynep AKBAYRAM:** Veri Toplama, Literatür Taraması ve Veri İşleme. **Nazmiye ELİGÜZEL:** Yöntemin Uygulanması, İstatistiksel Analizler, Makalenin Sonuçlarının Yorumlanması ve Makale Yazımı.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tanyaş, M. (1995). *Endüstri mühendisliğine giriş*. İrfan Yayıncılık ve Tanıtım Limited Şirketi.
- [2] ÇAĞIL, G., & Ayyar, B. (2019). Türkiye'de Endüstri Mühendisliği Bilinirlik Araştırması. *Balikesir University Journal of Social Sciences Institute*, 22(42).
- [3] Ercan, S., Metin, B. C., & Düzdar, İ. (2005). Endüstri mühendisliğine güncel bir bakış. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(7), 1-18.
- [4] Turner, W., Mize, J., & Case, K. E. (1987). *Introduction to industrial and systems engineering*.
- [5] Mummolo, G. (2007). The future for industrial engineers: education and research opportunities. *European Journal of Engineering Education*, 32(5), 587-598.
- [6] Erginel, N., Tekçe, M., Küçük, G., & Alper, A. (2016). Türkiye'de Endüstri Mühendisliği Mesleğine Bilimsel Açından Bir Bakış. *Endüstri Mühendisliği*, 27(1), 25-38.
- [7] Ünal, Y., Ekim, U., & Köklü, M. (2011). Üniversite Öğrencilerin Ortak Zorunlu Derslerdeki Başarılarının K-Means Algoritması ile Yncelenmesi. *Engineering Sciences*, 6(1), 342-347.
- [8] Rouyendegh, B. D., & Can, G. F. (2012). Selection of working area for industrial engineering students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 31, 15-19.
- [9] Özcan, H. (2016). Öğrencilerin Üniversite Tercihine Etki Eden Faktörler Üzerine Bir Araştırma. *Anadolu Eğitim Liderliği ve Öğretim Dergisi*, 4(1).
- [10] Uçar, U. U., & İşleyen, S. K. (2019). Türkiye'deki endüstri mühendisliği eğitiminin mezun görüşlerine dayalı analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(1), 109-123.
- [11] Demirtaş, E. A., Özdemir, M. S., Alpay, Ş., Özkan, N. F., Hasgöl, S., & Sipahioğlu, A. (2023). Teknolojik gelişmeler ışığında endüstri mühendisliğinin geleceği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(4), 1094-1111.
- [12] MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability/University of California Press*.
- [13] Han, J., Pei, J., & Tong, H. (2022). *Data mining: concepts and techniques*. Morgan kaufmann.
- [14] Haq, E. U., Hussain, A., & Ahmad, I. (2019). Performance evaluation of novel selection processes through hybridization of K-means clustering and genetic algorithm. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(6).
- [15] R. V. (1980). *Michael r. garey and david s. johnson, computers and intractability: a guide to the theory of np-completeness*.
- [16] Çalışkan, S. K., & Soğukpınar, İ. (2008). Kxknn: K-means ve k en yakın komşu yöntemleri ile ağlarda nüfuz tespiti. *EMO Yayınları*, 120-24.
- [17] Işık, M., & Çamurcu, A. Y. (2007). K-means, k-medoids ve bulanık c-means algoritmalarının uygulamalı olarak performanslarının tespiti. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(11), 31-45.
- [18] Demir, Y., Esenbuğa, N., & Bilgin, Ö. C. (2016). İvesi koyunlarının et kalitesini değerlendirmede temel bileşenler analizinin (PCA) kullanılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 536-541.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

### Kortikal Kemik Üzerinde Delme Sürecinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi

*Investigation of Drilling Process on Cortical Bone Using Finite Element Method*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Aysel EREN<sup>1</sup>, Mehmet DİRİLMİŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0009-0004-9984-1666

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0003-2287-8511

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Eren A., Dirilmiş M., “Kortikal Kemik Üzerinde Delme Sürecinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 10(1): 15-25, (2025).

**DOI:** 10.46578/humder.1614833



## Kortikal Kemik Üzerinde Delme Sürecinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi

Aysel EREN<sup>1</sup> , Mehmet DİRİLMİŞ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

### Öz

#### Makale Bilgisi

Başvuru: 07/01/2025  
Düzeltilme: 14/01/2025  
Kabul: 16/01/2025  
Yayınlanma: 31/03/2025

#### Alıntı

Eren A., Dirilmiş M.,  
“Kortikal Kemik Üzerinde  
Delme Sürecinin Sonlu  
Elemanlar Yöntemiyle  
İncelenmesi”, Harran  
Üniversitesi Mühendislik  
Dergisi, 10(1): 15-25,  
(2025).

Bu çalışmada, kemik delme işlemi sırasında meydana gelen termal etkiler ve mekanik gerilmeler, Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak simüle edilmiştir. Analizlerde, paslanmaz çelikten (4Cr13) üretilmiş matkap ucu ve kortikal kemik modelleri kullanılmıştır. Söz konusu modeller, Autodesk Fusion 360 yazılımında tasarlanmış ve ardından ABAQUS ortamına aktarılmıştır. Simülasyonda ilerleme hızı, dönme hızı ve başlangıç sıcaklığı gibi parametreler tanımlanmış, başlangıç sıcaklığı hem matkap ucu hem de kortikal kemik için 25 °C olarak kabul edilmiştir. Çıktı parametreleri ise sıcaklık ve Von Mises gerilmesi olarak belirlenmiştir. Delme işlemi sırasında ortaya çıkan sıcaklık artışı, biyolojik dokuların bütünlüğünü tehdit edebilir. Özellikle sıcaklığın 47 °C eşiğini aşması durumunda termal nekroz riski ortaya çıkmaktadır. Simülasyon bulguları, delme parametrelerinin sıcaklık ve gerilme dağılımlarına etkilerini ortaya koymuştur. Delme sırasında iş parçasındaki maksimum sıcaklık ve Von Mises gerilmesi sırasıyla 34,73 °C ve 160,8 MPa olarak bulunmuştur. Hava film tabakası ile basit bir soğutma kullanıldığında ise bu değerler sırasıyla 27,32 °C ve 148,1 MPa'dır. Bu tür çalışmalar, kemik yapısı üzerindeki operasyonlarda nekroz bölgesinden uzaklaşarak güvenli kesme parametrelerinin tespiti, bu parametrelerin nekroza etkilerinin simülasyon analizleri ile incelenmesi ve soğutma stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, delme sırasında oluşabilecek termal nekroz riskini en aza indirmek için soğutmanın ve kesme parametrelerinin önemini vurgulamakta ve işlem parametrelerinin optimize edilmesi yoluyla termal hasar riskinin azaltılabileceğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar analizi, Paslanmaz çelik (4Cr13), Kortikal kemik

## Investigation of Drilling Process on Cortical Bone Using Finite Element Method

### Abstract

#### Article Information

Received: 07/01/2025  
Revised: 14/01/2025  
Accepted: 16/01/2025  
Published: 31/03/2025

#### Citation

Eren A., Dirilmiş M.,  
“Investigation of Drilling  
Process on Cortical Bone  
Using Finite Element  
Method”, Harran  
University Journal of  
Engineering, 10(1): 15-25,  
(2025).

In this study, thermal effects and mechanical stresses occurring during bone drilling were simulated using the Finite Element Method (FEM). Stainless steel (4Cr13) drill bit and cortical bone models were used in the analyses. These models were designed in Autodesk Fusion 360 software and then transferred to ABAQUS environment. In the simulation, parameters such as feed rate, rotational speed and initial temperature were defined, and the initial temperature was accepted as 25 °C for both drill bit and cortical bone. The output parameters were determined as temperature and Von Mises stress. The temperature increase during the drilling process can threaten the integrity of biological tissues. Especially if the temperature exceeds the threshold of 47 °C, the risk of thermal necrosis arises. Simulation results revealed the effects of drilling parameters on temperature and stress distributions. The maximum temperature and Von Mises stress at the workpiece during drilling were found to be 34,73 °C and 160,8 MPa, respectively. When simple cooling with air film layer is used these values are 27,32 °C and 148,1 MPa. Such studies are of great importance in terms of determining safe cutting parameters away from the necrosis zone in operations on bone structure, investigating the effects of these parameters on necrosis by simulation analyses and developing cooling strategies. This study highlights the importance of cooling and cutting parameters to minimize the risk of thermal necrosis during drilling and shows that the risk of thermal damage can be reduced by optimizing process parameters.

**Keywords:** Finite element analysis, Stainless steel (4Cr13), Cortical bone

\*İletişim yazarı, e-mail: mehmet.dirilmis@harran.edu.tr

\*Corresponding author, e-mail: mehmet.dirilmis@harran.edu.tr

DOI: 10.46578/humder.1614833

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kemik dokusu, iskelet sisteminin önemli bir yapı taşıdır [1]. Mekanik kuvvetlere karşı direnç gösterebilen ve stres etkilerine uyum sağlayabilen bir yapıdır. Kortikal kemik, bu yapının dış yüzeyini oluşturur ve iskelete mekanik dayanıklılık sağlar [2]. Dış yüzey, ortopedi ve beyin cerrahisinde yapılan ameliyatlarda sıklıkla müdahale edilen bölgedir. Bu işlemler arasında vida yerleştirme, protez sabitleme ve kafatasının delinmesi örnek olarak gösterilebilir [3]. Bu işlemler esnasında, kesme işlemi gibi süreçler nedeniyle termal hasar ortaya çıkabilir. Termal hasar, sıcaklık kaynaklı olarak canlı dokunun zarar görmesi ve nekroz (hücrelerin bölgesel ölümü veya geri dönüşümsüz şekilde hasar alması) oluşumuna yol açabilir [4]. Bu nedenle, ameliyatlarda yapılan kesme işlemi önem arz etmektedir. Matkap ucu seçimi, geometrisine bağlı olarak ilerleme hızı, dönme hızı ve matkap ucu açısı gibi parametreler termal hasar üzerinde etkili olan faktörler arasında yer alır [5].

Alam vd. [6], yaptıkları deneylerde matkap ucu aşınma sürecinde kesme hızının yanı sıra delme kuvveti ve tork gibi faktörlerin de etkili olduğunu göstermişlerdir. Önerilen parametreler ise şu şekildedir: ilerleme hızı 30 mm/s, 2000 rpm devir ve kesici kenar pürüzlülüğü 2 mm'dir. Soğutucu sıvılar, bu tür işlemlerin yapıldığı ortamları iyileştirebilir. Örneğin, Effatparvar vd. [7] yaptıkları deneylerde normal salinle harici soğutma, soğutmasız delme ve OpSite sprey ile harici soğutmaya kıyaslamış ve salinle yapılan soğutma işleminin, soğutma olmayan koşullara göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Bunun yanı sıra, OpSite ile yapılan deneylerde ise diğer soğutma şekillerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

İş parçasının hedeflenen kalite ve performans seviyesine ulaşması için delme işlemleri, imalat süreçlerinde simülasyon ve tasarım aşamaları ile daha ulaşılabilir hale gelmiştir [8]. Bu tür süreçlerde başvurulan analiz tekniklerinden biri de sonlu elemanlar yöntemidir. Yüklemeler karşısında davranış biçimlerini inceleyen ve Parçaları daha küçük elemanlara ayırarak stres, gerilme, sıcaklık gibi birçok parametreyi hesaplayan cebirsel bir simülasyon türüdür [9, 10]. Yapılan çalışmalarda, istenen işleme şekli kullanılarak kesme parametrelerinin etkileri kayda geçirilebilmektedir [11]. Malzemelerin farklı yüklemeler karşısında davranış biçimini incelemek adına analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu simülasyon türleri şöyle sıralanabilir; foto-elastik kuvvet analiz yöntemi, gerilim ölçer kullanarak gerilme analiz yöntemi, termografik gerilme analiz yöntemi, lazer ışını ile gerilme analiz yöntemi olarak sıralanabilir. Komplike sistemlerin çözümünde, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) mühendislik, diş hekimliği, tıp ve biyomekanik gibi dallarda öne çıkan bir analiz biçimidir [12]. Bu analizlerde, çözüm sürecinde farklı teorik modeller kullanılır ve denge denklemleri ile sınır koşullarının tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar elde edilir [13]. Örneğin Gholampour vd. [14], gerçekleştirdikleri simülasyonda CO<sub>2</sub> soğutma süreçleri için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır; CO<sub>2</sub> soğutucularının, maksimum sıcaklık, itme kuvveti ve torku azaltmadaki verimlilik oranlarının geleneksel soğutmaya nazaran daha iyi sonuçlar elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, delme işlemi esnasında karşılaşılan termal hasar (47 °C [15]) gibi durumların incelenmesi adına kortikal kemik ve paslanmaz çelik (4Cr13) matkap ucu ile 2 (soğutmalı/soğutmasız) tür analiz incelenmiştir. Yapılan analizlerde sıcaklık ve Von Mises çıktıları elde edilmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

### 2.1 Materyal (Material)

Delme simülasyonu, Abaqus CAE programı (öğrenci sürümü) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Delme işleminde kullanılan parçalar, Autodesk Fusion 360 (öğrenci sürümü) ile tasarlanmıştır. Öğrenci sürümünün düğüm limiti nedeniyle, kesici uç ve iş parçası daha sade ve basitleştirilmiş bir model olarak oluşturulmuştur.

### 2.1.2 Analizde kullanılan metotlar (The methods used in the analysis)

Johnson Cook modeli, Denklem 1'de verilen formül ile açıklanmaktadır. Plastik deformasyon altındaki malzemelerin plastik şekil değiştirme davranışını tanımlayan matematiksel modellerden biridir. Bu model, gerilmenin plastik gerilme, plastik gerilme hızı ve sıcaklık değişimlerine bağlı olmasına dayanmaktadır.

Malzeme hasarının öngörülmesi, kesme ve delme işlemleri, balistik, darbe etkileri ve termal yüklemeler gibi dinamik süreçlerde kullanılmaktadır [16-18].

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n \left[1 + C \cdot \ln \frac{\dot{\varepsilon}^*}{\varepsilon_0^*}\right] \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_{melt} - T_0}\right)^m\right]) \quad (1)$$

Johnson-cook modelindeki parametrelerin tanımı; A: Akma gerilmesi, B: Plastik Pekleşme parametresi,  $\varepsilon^n$ : Plastik gerinim, n: Plastik pekleşme üssü, C: Plastik deformasyon katsayısı,  $\dot{\varepsilon}^*$ : Şekil değiştirme hızı,  $\varepsilon_0^*$ : Plastik deformasyon oranı, m: Sıcaklık bağımlılığı,  $T_{melt}$ : Erime sıcaklığı,  $T_0$ : Ortam sıcaklığı şeklindedir. İş parçasının soğutulması için kullanılan film (ısı transferi) katsayısı [19], Denklem 2’de verilen formül ile gösterilmektedir.

$$h = \frac{Nu \cdot kf}{L} \quad (2)$$

Analiz için h değeri 250 W/m<sup>2</sup>.K [19] ve hava sıcaklığı ise 5 °C olarak alınmıştır.

### 2.1.3 Malzeme özellikleri (Material properties)

Malzeme özellikleri, ilgili akademik makaleler referans gösterilerek belirlenmiştir. Kemik, izotropik bir malzeme olarak modellenmiştir. Matkap ucu ve kemiğin malzeme özellikleri Tablo 1’de yer almaktadır.

**Tablo 1.** Matkap ucu ve iş parçasının özellikleri [10]

	<b>Matkap ucu (Paslanmaz çelik 4Cr13)</b>	<b>İş parçası (kortikal kemik)</b>
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	7840	2000
E modülü (GPa)	21.0	20,0
Poisson oranı	0,3	0,36
Isıl iletkenlik (W/m.K)	460	0,56
Özgül ısı (J/Kg.K)	29,0	1640

Analizlerde kullanılan kortikal kemik modeli için kullanılan johnson-Cook hasar parametreleri değerleri Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2.** Plastik Johnson-Cook hasar parametreleri [10]

<b>A (MPa)</b>	<b>B (MPa)</b>	<b>n</b>	<b>C</b>	<b>M</b>	<b>T<sub>m</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>r</sub> (°C)</b>
50	101	0,08	0,03	1,03	1300	25

Abaqus programında yapılan analizler için giriş parametreleri Tablo 3’te yer almaktadır.

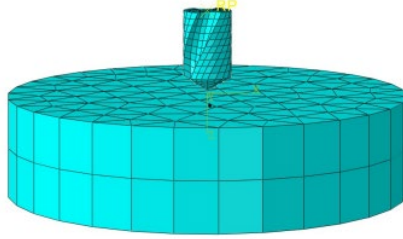
**Tablo 3.** Programda kullanılan giriş parametreleri

	<b>1.Analiz</b>	<b>2.Analiz</b>
Matkap ucu (mm)	3	3
Matkap uç açısı(°)	120	120
İlerleme hızı(mm/s)	2	2
Dönme hızı (rad/s)	50	50
Süre (s)	6	6
Kemik çapı (mm) (Ø)	25	25
Kemik kalınlığı mm)	6	6
T <sub>hava</sub> (°C)	---	5
h <sub>film</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	---	250

## 2.2 Yöntem (Method)

### 2.2.1 Ağ modeli (Mesh model)

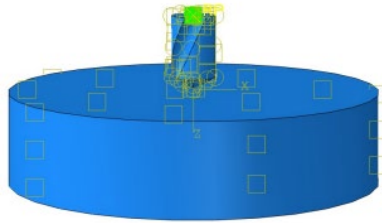
Mesh (ağ), parçaların fiziksel yapısının sayısal alana dönüştürüldüğü aşamadır. Elemanın boyutu, kalitesi ve eleman tipi burada belirlenir [20]. Öğrenci sürümünün düğüm limiti kısıtlamalarına uygun bir modelleme yapılmıştır. İş parçası ile matkap ucu için sırasıyla 346 ve 440 adet eleman kullanılmıştır. Ağ modeli Şekil 1’de görülmektedir.



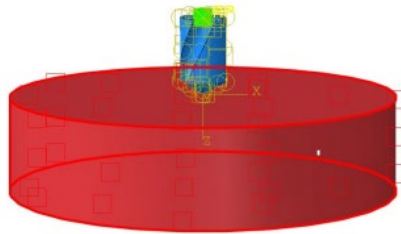
Şekil 1. Ağ modeli

### 2.2.2. Parçalar arası etkileşim (Interaction between parts)

Parçalar arasındaki, hareket, sürtünme v.b bağlantıların eklendiği aşamadır [20]. İki parça arasındaki etkileşim Şekil 2’de görülmektedir, yüzeyler arası (surface to surface) bağlantı modeli kullanılmıştır. Etkileşim durumunda oluşabilecek sürtünme, ısı üretimi gibi parametreler de yine bu temas yüzeylerine eklenmiştir. Matkap ucuna katılık (rijitlik/rigid body) özelliği de burada tanımlanmıştır. Bu aşama, aynı zaman da 2.analizde kullanılan hava film tabakasının da eklendiği bölümdür ve Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Parçalar arası etkileşim

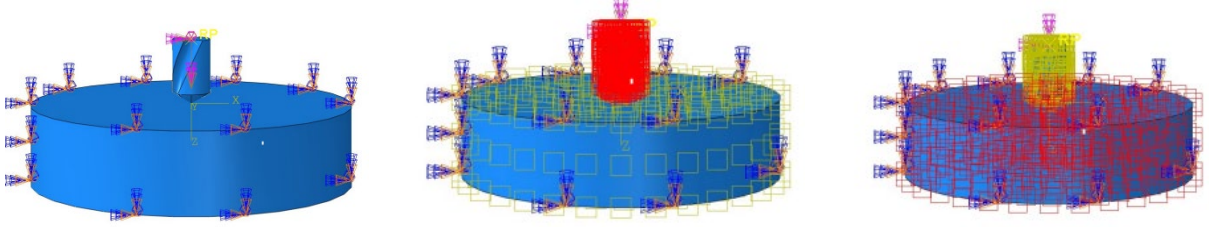


Şekil 3. İş parçasına atanan hava film tabakası



### 2.2.3 Yükleme ve sınır şartlarının tanımlanması (Defining loading and boundary conditions)

Matkap ucu için dönme ve ilerleme hızları gibi sınır koşullarının eklendiği aşamadır [20]. Ayrıca başlangıç sıcaklıkları da kısımda tanımlanmıştır. Her iki parça için başlangıç sıcaklığı 25 °C olarak belirlenmiştir. Yükleme ve sınır şartlarının tanımlanması, matkap ucu ve iş parçası başlangıç sıcaklık ataması gibi işlem tanımlamaları Şekil 4'te görülmektedir.



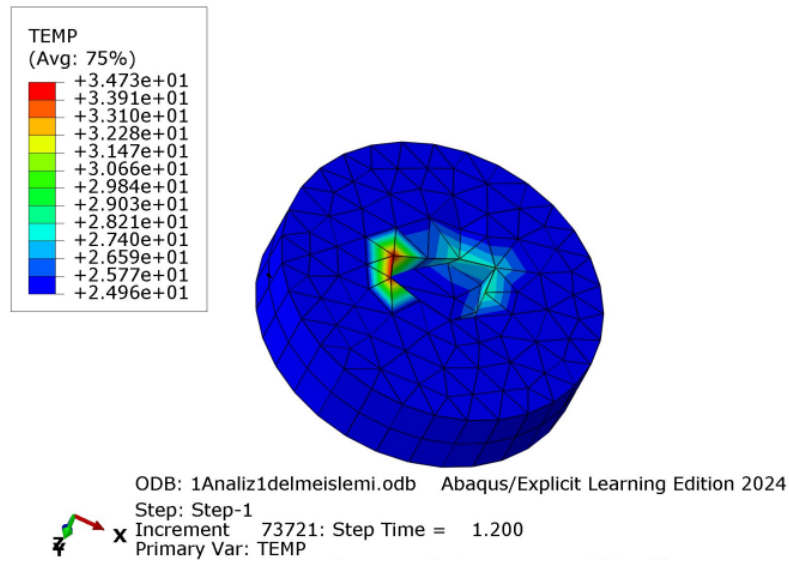
Şekil 4. Yükleme, sınır şartları ve başlangıç sıcaklık tanımlamaları

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSIONS)

Analiz için toplam süre 6 saniyedir. İlk olarak, delme işlemi herhangi bir soğutma olmadan yapılmıştır, daha sonra soğutma için hava film tabakası kullanılmıştır. İlerleme hızı 2 mm/s ve dönme hızı 50 rad/s olarak belirlenmiştir. 1.analizde maksimum sıcaklık ve gerilme değerleri sırasıyla 34,73 °C ve 160,8 MPa olarak ölçülmüştür. Hava film tabakası kullanılarak yapılan 2.analizde ise maksimum sıcaklık ve gerilme değerleri sırasıyla 27,32 °C ve 148,1 MPa olarak ölçülmüştür.

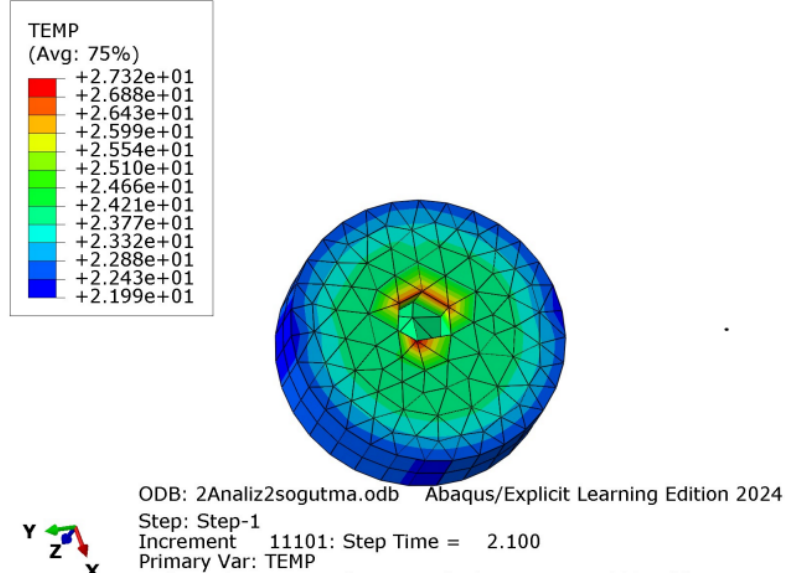
#### 3.1 Sıcaklık Çıktıları (Temperature Outputs)

1.Analiz için Şekil 5'te görülen maksimum sıcaklık değeri 34,73 °C olarak görülmektedir.



Şekil 5. 1.Analiz-sıcaklık (°C) görüntüsü

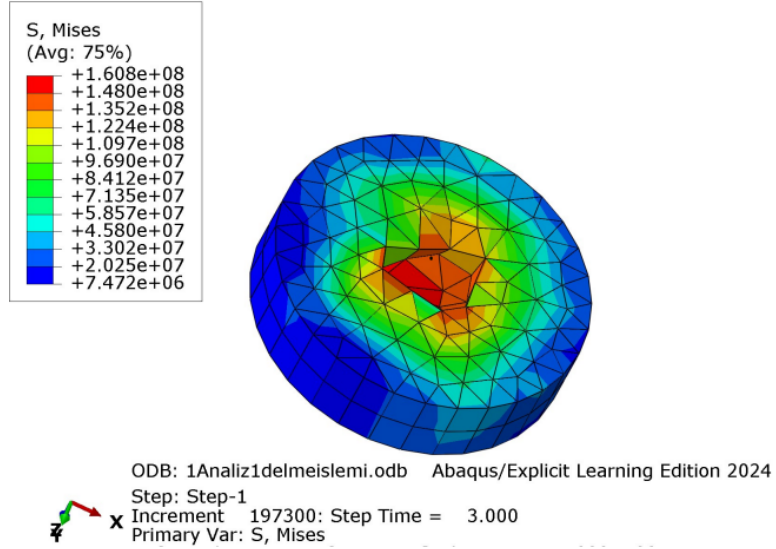
2.Analiz için hava film tabakası kullanılmıştır. Şekil 6’da, Maksimum sıcaklık değeri 27,32 °C olarak görülmektedir.



Şekil 6. 2.Analiz-sıcaklık (°C) görüntüsü

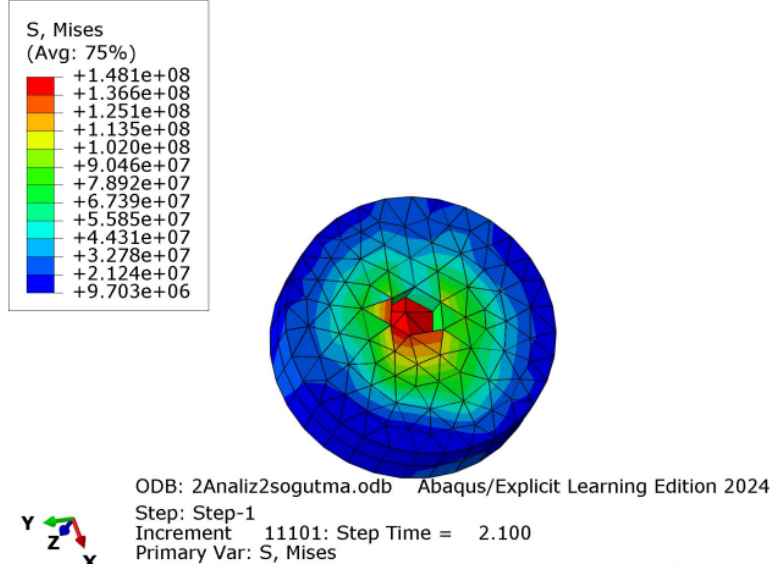
### 3.2 Gerilme Çıktıları (Stress Outputs)

1.Analiz için Şekil 7’de maksimum gerilme değeri 160,8 MPa olarak görülmektedir.



Şekil 7. 1.Analiz-gerilme (Pa) görüntüsü

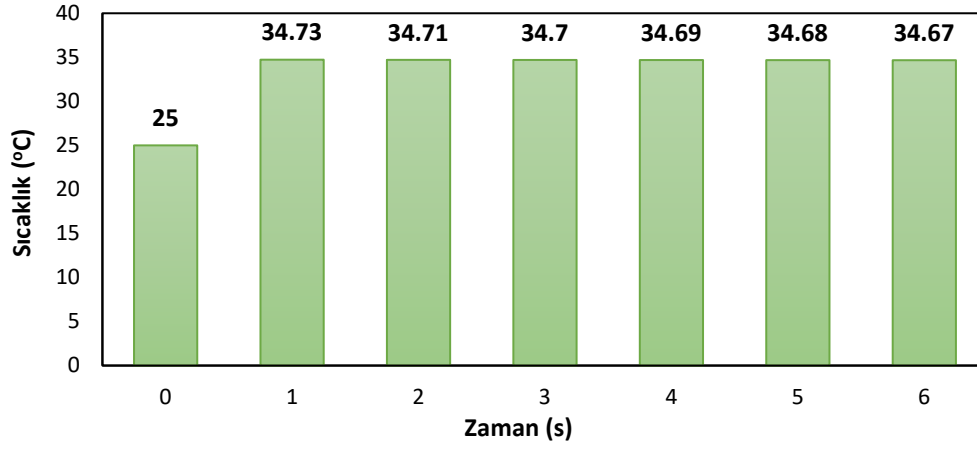
2.Analiz için hava film tabakası kullanılmıştır. Şekil 8’de maksimum gerilme değeri 148,1 MPa olarak görülmektedir.



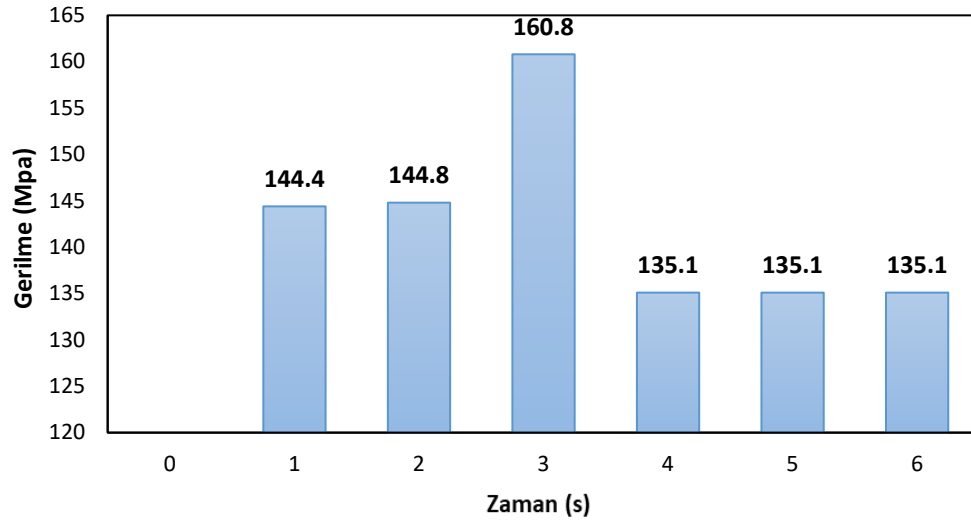
**Şekil 8.** 2.Analiz-gerilme (Pa) görüntüsü

İş parçası için kullanılan değerler, 2022 yılında yayımlanmış deneysel veriler temel alınarak belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda Wang vd. [10], yaptıkları çalışmada ilk olarak Abaqus programında gerçekleştirdikleri delme işleminde Johnson-Cook modelini kullanmış, kemiği izotropik bir malzeme olarak modellemişlerdir. Analizde ilerleme ve dönme hızları sabit tutulmuş, ayrıca soğutucu akışkan kullanılmamıştır. Analiz çıktısı olarak NT11 değişkeni elde edilmiş olup, bu değişken modeldeki her bir düğüm noktasındaki sıcaklık değerlerini göstermektedir. İşlem süresi 6 saniye olarak belirlenmiştir. Analizde 1,33 mm/s (80 mm/dk) ilerleme hızı ve 104,72 rad/s (1000 rpm) dönme hızı kullanılmıştır. Başlangıç sıcaklığı 25 °C olarak ayarlanmış, zaman içerisindeki delme sıcaklığına bakıldığında maksimum sıcaklık ise 40,1 °C olarak tespit edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada ise Umer vd. [15], Kortikal Kemiği transvers izotropik malzeme olarak modellemişlerdir. İlerleme hızı ve dönme hızları sırasıyla 0.5 mm/s (30 mm/dk) ve 62,83 rad/s (600 rpm) olarak belirlenmiştir. Çalışmada, yüksek sıcaklıkların (50,8 °C) yalnızca küçük bir alanda oluştuğunu, diğer büyük ölçekli alanların ise termal hasara neden olabilecek sıcaklık değerlerin (47 °C) altında kaldığını tespit etmişlerdir. Liu vd. [21], analiz için farklı matkap çapları, ilerleme hızları ve dönme hızları kullanmışlardır. Bu parametreler şu şekildedir; matkap çapları 7mm, 9mm ve 11 mm, ilerleme hızları: 0,5 mm/s 1 mm/s 1.5 mm/s ve dönme hızları; 52,36 rad/s (500 rpm), 73,26 rad/s (700 rpm), ve 94,25 rad/s (900 rpm) olarak belirlenmiştir. Yapılan işlemler sonucunda maksimum sıcaklık değeri 67,58 °C olarak ölçülmüş ve bu değere karşılık gelen parametreler 11 mm çaplı matkap ucu, 1 mm/s (60 mm/dk) ilerleme hızı ve 94,25 rad/s (900 rpm) dönme hızı olmuştur. En düşük sıcaklık ise 48,46 °C olarak belirlenmiş olup, bu değere karşılık gelen parametreler ise 9 mm çaplı matkap ucu, 0,5 mm/s (30 mm/dk) ilerleme hızı ve 52,36 rad/s (500 rpm) dönme hızı olarak kaydedilmiştir. İlk analizde, görülen maksimum sıcaklık 34,73 °C olarak tespit edilmiştir. Delme bölgesine yakın alanlarda sıcaklık değeri 27-28 °C arasında ölçülmüştür ve bu değer termal hasar oluşumunun altındadır. Maksimum gerilme değeri ise 160,8 MPa olarak ölçülmüştür. İş parçasının genel olarak delme çevresinde görülen gerilme değeri 70-134 MPa arasında kalmaktadır. İkinci analizde ise hava film tabakası kullanılmıştır. Bu durumda, sıcaklık 27,32 °C ve gerilme değeri de 148,1 MPa'dır. Delme bölgesine yakın alanlarda ise sıcaklık 23-25 °C arasında, gerilme değerleri ise 70-113 MPa arasında ölçülmüştür.

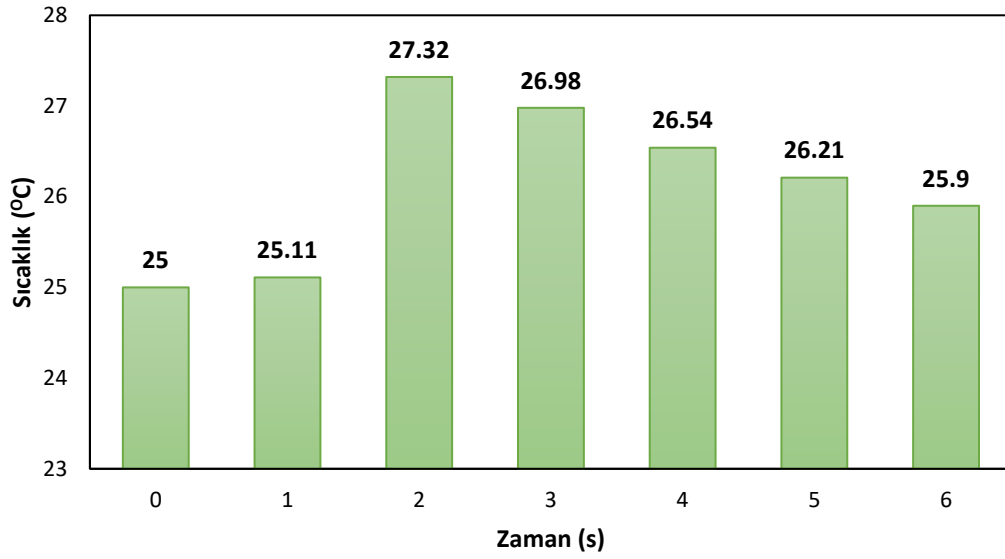
Simülasyon sonucunda elde edilen sıcaklık ve Von Mises gerilme değerlerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 9-12'de gösterilmektedir.



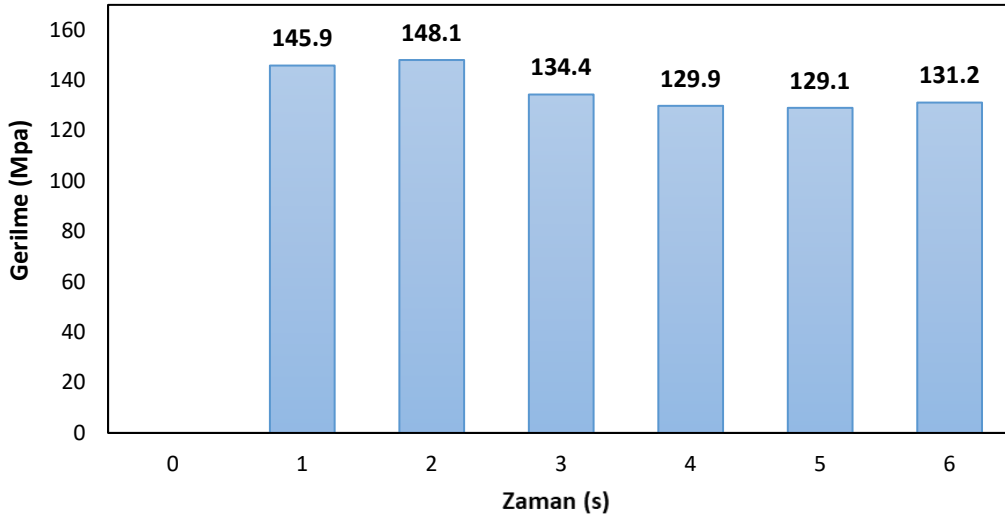
Şekil 9. Sıcaklık- zaman grafiği (1.Analiz)



Şekil 10. Gerilme- zaman grafiği (1.Analiz)



Şekil 11. Sıcaklık- zaman grafiği (2.Analiz)



Şekil 12. Gerilme- zaman grafiği (2. Analiz)

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu araştırmada, matkap ucu ile parça delme analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde, soğutucu sıvının etkisini gözlemlemek amacıyla bir soğutucu film tabakası uygulanmış ve başlangıç sıcaklığı 5 °C olarak belirlenmiştir. İlk aşamada, soğutma olmadan delme işlemi gerçekleştirilmiştir; sıcaklık ve Von Mises gerilmeleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, maksimum sıcaklık 34,73 °C olup, termal hasar eşiği olan 47 °C'nin altında kalmıştır. Gerilme değeri ise 160,8 MPa olarak tespit edilmiştir. Daha sonra, soğutma amacıyla hava film tabakası kullanılarak analiz tekrar yapılmıştır. İlerleme ve dönme hızları sabit tutulmuş (2 mm/s ve 50 rad/s) ve iş parçası ile matkap ucunun başlangıç sıcaklığı 25 °C olarak belirlenmiştir. Bu analizde maksimum sıcaklık 27,32 °C, gerilme değeri ise 148,1 MPa olarak ölçülmüştür. Bazı alanlarda, gerilmelerde düşüş yaşanmıştır. Yaşanan düşüşün sebepleri; soğutmanın malzemenin mekanik dayanımını artırması, sıcaklık farklarının azalmasıyla iç gerilmelerin düşmesi ve sürtünmenin azalmasıdır. Analiz sırasında karşılaşılan zorluklardan biri de mesh bölümündeki düğüm sınırıdır, daha detaylı bir analiz için mesh limitine ve iki parça arasındaki mesh uyumuna dikkat edilmelidir. İşlem sonunda ortaya çıkan

sıcaklık etkilerinin düşürülmesi için soğutucu akışkanlar, soğuk hava veya CO<sub>2</sub> gibi bir akışkan ile iş parçasında yapılacak olan işlem daha sağlıklı koşullar oluşturabilir ve daha düşük sıcaklıkların oluşmasını sağlayabilir.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### ARAŞTIRMA ve YAYIN ETİĞİ BEYANI (STATEMENT OF PUBLICATION ETHICS)

Çalışmanın tüm süreçlerinin araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu, etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine uyduğunu beyan ederiz.

### YAZAR KATKISI (AUTHOR STATEMENT)

**Aysel Eren:** Veri Toplama, Veri İşleme, Literatür Taraması, Yazım.

**Mehmet Dirilmiş:** Fikir/Kavram, Tasarım ve Dizayn, Denetleme, Danışmanlık.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gürgül, S., Uzun, C., & Erdal, N. (2016). Kemik biyomekaniği. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 8(1), 18-34.
- [2] Topaloğlu, U., Ketani, M. A., & Saruhan, B. G. (2017). Kemik doku ve kemikleşme çeşitleri. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 10(1), 62-71.
- [3] Reis, A., Aslantaş, K., & Özkaya, E. (2021). Kemik Delme İşlemlerinde Farklı Kesme Koşullarının ve Kesme Parametrelerinin Kesme Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 24(4), 1567-1577.
- [4] Alam, K., Qamar, S. Z., Iqbal, M., Piya, S., Al-Kindi, M., Qureshi, A., ... & Silberschmidt, V. V. (2023). Effect of drill quality on biological damage in bone drilling. *Scientific Reports*, 13(1), 6234.
- [5] Yıldırım, S., (2021). *Nekroz ve Gangren. Veteriner Genel Patoloji (pp.36-53)*, Erzurum: Atatürk Araştırma Merkezi.
- [6] Alam K, Piya S, Al-Ghaithi A, Silberschmidt V. Experimental investigation on the effect of drill quality on the performance of bone drilling. *Biomed Tech (Berl)*. 2020 Jan 28;65(1):113-120.
- [7] Effatparvar MR, Jamshidi N, Mosavar A. Appraising efficiency of OpSite as coolant in drilling of bone. *J Orthop Surg Res*. 2020 May 29;15(1):197.
- [8] Yıldız, A. (2021). *Delik delme işleminin sümülasyonu ve delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı mekanik gerilmelerin incelenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 124s, Ankara.
- [9] İlgin, A., Korkmaz, H. H., Malkoç, S., & Başçıftçi, F. A. (2004). İnsan Mandibulasında Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak Gerilme Analizi Yapılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(1), 29-38.
- [10] Wang, H., Gao, X., Wang, B., Wang, M., Liu, Y., Zan, T., ... & Liu, C. (2022). Evaluation of temperature distribution for bone drilling considering aging factor. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 16, 100174
- [11] Günay, M., Meral, T., & Korkmaz, M. E. (2018). AISI 420 Martenzitik paslanmaz çeliğin delinebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(3), 223-229.
- [12] Gümrükçü, Z., & Kurt, S. (2019). Sonlu Elemanlar Stres Analizi Yönteminin Implant Cerrahisinde Kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 29(3), 534-541.
- [13] Güler, M., & Şen, S. (2016). Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 56-66.
- [14] Gholampour S, Hassanalideh HH, Gholampour M, Frim D. Thermal and physical damage in skull base drilling using gas cooling modes: FEM simulation and experimental evaluation. *Comput Methods Programs Biomed*. 2021 Nov; 212:106463.

- [15] Umer, U., Abidi, M. H., & Alkhalefah, H. (2024). Analyses and optimization for cortical bone drilling via finite element models and MOGA-II. *Journal of Engineering Research*.
- [16] Nam, H. S., Kim, J. S., Han, J. J., Kim, J. W., & Kim, Y. J. (2015, February). Ductile fracture simulation for A106 Gr. B carbon steel under high strain rate loading condition. *In Recent Advances in Structural Integrity Analysis-Proceedings of the International Congress (APCF/SIF-2014)*, (p. 37). Woodhead Publishing
- [17] Li, L., Zhang, Y., Cui, X., Said, Z., Sharma, S., Liu, M., ... & Li, C. (2023). Mechanical behavior and modeling of grinding force: a comparative analysis. *Journal of Manufacturing Processes*, 102, 921-954.
- [18] Chen, C., Tu, Y., Chen, J., & Tang, E. (2023). Dynamic constitutive relationship of TiZrHfCu0.5 high entropy alloy based on Johnson-Cook model. *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 3729-3740.
- [19] Angin, D. (2012). *Isı ve kütle aktarımı ders notları*. Sakarya Üniversitesi. Retrieved from <https://www.foodelphi.com/isi-ve-kutle-aktarimi-ders-notlari-1-yrd-doc-dr-dilek-angin/>
- [20] DassaultSystèmes. (2024). *Abaqus Documentation*. Dassault-Systèmes.; <https://www.3ds.com/products/simulia/abaqus/cae>
- [21] Liu, Z., Yao, Z., Jiang, W., & Wang, J. (2023). Analysis of the influence of surgical robot drilling parameters on the temperature of skull drilling based on Box–Behnken design. *Science Progress*, 106(2), 00368504231180027.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



**HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

***HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING***

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

---

## **Modifiye Edilmiş Re-entrant Ökzetik Tasarımın Çekme Yüğü Altında İncelenmesi**

*Investigation of Modified Re-entrant Auxetic Design Under Tensile Load*

***Yazar(lar) (Author(s)):*** Ersan KIRAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-7980-4815

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kırar E., “Modifiye Edilmiş Re-entrant Ökzetik Tasarımın Çekme Yüğü Altında İncelenmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 10(1): 26-35, (2025).

**DOI:** 10.46578/humder.1600321





## Modifiye Edilmiş Re-entrant Ökzetik Tasarımın Çekme Yükü Altında İncelenmesi

Ersan KIRAR<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Makine Programı, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Teknik Bilimler MYO, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

### Makale Bilgisi

Başvuru: 12/12/2024  
Düzeltilme: 05/02/2025  
Kabul: 17/02/2025  
Yayınlanma: 31/03/2025

### Alıntı

Kırar E., "Modifiye Edilmiş Re-entrant Ökzetik Tasarımın Çekme Yükü Altında İncelenmesi", Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 10(1): 26-35, (2025).

### Öz

Ökzetik yapılar negatif poisson oranları sayesinde birçok uygulamada sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle çekme yükü altında ökzetik yapılar hem boyuna uzama hem de enine genişleme özelliği sayesinde çok ilgi görmektedir. Literatürde çeşitli yükleme koşulları altında birçok ökzetik tasarım incelemesinin yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da literatürde sıklıkla tercih edilen re-entrant ökzetik yapı şekilsel olarak modifiye edilmiştir. Orijinal ve şekilsel olarak modifiye edilen re-entrant ökzetik yapılar eşit çekme yükü altında incelenmiştir. Ayrıca ökzetik tasarımların ölçülerinin %30 artırılması/azaltılması durumlarının mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik tasarımda orijinale kıyasla daha fazla eş değer gerilme ve enine genişleme ve benzer boyuna uzama sonuçları elde edilmiştir. Şekilsel olarak modifiye edilen tasarımda orijinale kıyasla daha fazla gerilme elde edilse de deformasyon açısından ökzetik özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ökzetik yapılarda ölçü azaltılmasının ökzetik özelliklere olumlu etkilediği belirlenmiştir. Çalışmada da yüzde otuz oranında ölçüleri azaltılan ökzetik yapının ökzetik özelliklerinin daha iyi olduğu elde edilen poisson oranı ve deformasyon sonuçlarıyla tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ökzetik Tasarım, Çekme Yükleme, Negatif Poisson Oranı

## Investigation of Modified Re-entrant Auxetic Design Under Tensile Load

### Article Information

Received: 12/12/2024  
Revised: 05/02/2025  
Accepted: 17/02/2025  
Published: 31/03/2025

### Citation

Kırar E., "Investigation of Modified Re-entrant Auxetic Design Under Tensile Load", Harran University Journal of Engineering, 10(1): 26-35, (2025).

### Abstract

Auxetic structures are frequently preferred in many applications due to their negative poisson ratios. Especially under tensile load, auxetic structures attract great attention due to both longitudinal extension and transverse expansion properties. It has been observed in the literature that many auxetic design studies have been conducted under various loading conditions. In this study, the re-entrant auxetic structure frequently preferred in the literature has been modified shapely. The original and shapely modified re-entrant auxetic structures have been examined under equal tensile load. In addition, the effect of increasing/decreasing the dimensions of auxetic designs by 30% has been investigated on mechanical properties. As a result of the study, more equivalent stress and transverse extension and similar longitudinal extension results have been obtained in the shapely modified auxetic design compared to the original. Although more stress has been obtained in the shapely modified design compared to the original, it has been determined that auxetic properties are better in terms of deformation. In addition, it has been determined that reducing the dimensions in auxetic structures has a positive effect on auxetic properties. In the study, it was determined that the auxetic structure, whose dimensions were reduced by thirty percent, had better auxetic properties, based on the obtained poisson ratio and deformation results.

**Keywords:** Auxetic Design, Tensile Loading, Negative Poisson Ratio

\*İletişim yazarı, e-mail: ekırar@harran.edu.tr

\*Corresponding author, ekırar@harran.edu.tr

DOI: 10.46578/humder.1600321

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Modern endüstrinin gelişimi sayesinde, benzeri görülmemiş fiziksel ve mekanik özelliklere sahip yeni malzeme ve yapıların ortaya çıkması büyük ölçüde hızlanmıştır [1]. Pozitif poisson oranıyla karakterize edilen geleneksel malzemelerin aksine, ökzetik malzemeler uzunlamasına gerildiğinde büzülme yerine yanal olarak genişleyecektir [1-2]. Ayrıca geometrik tasarımlarına göre tipik ökzetik yapılar re-entrant vb. çeşitli türlerde bulunabilmektedir [3]. Bu tür olağandışı deformasyon, kayma direnci, enerji emilimi ve kırılma direnci açısından ökzetik yapılar üstün mekanik performansının elde edilmesine yardımcı olmaktadır [1, 3, 4]. Bu sebeplerden dolayı ökzetik yapılar; paketleme, havacılık, ulaşım ve insan vücudunun korunması alanları gibi potansiyel mühendislik uygulamaları nedeniyle büyük ilgi görmektedir [4].

Literatürde çeşitli ökzetik tasarımlar şekilsel olarak modifiye edilerek çalışılan oldukça çalışmaya rastlanmıştır. Çalışmalar incelendiğinde; Logakannan vd. [5] şekilsel olarak modifiye edilmiş yıldız şeklindeki ökzetik tasarımı basma yükü altında deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmasını yapmışlardır. Küçük ebatlı olan ökzetik yapıların daha iyi ökzetik özellik sergilediğini tespit etmişlerdir. Attard vd. [6] çalışmalarında yıldız şeklindeki ökzetik yapıları şekilsel olarak modifiye ederek mekanik özelliklerini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ölçü parametresinin poisson oranına etkili olduğunu belirlemişlerdir. Gao vd. [1] çalışmalarında dönen latice yapıdan oluşan ökzetik tasarımın poisson oranını ve elastisite modülünü sonlu elemanlar yöntemiyle ve analitik incelemişlerdir. Ayrıca çalışmada kullanılan yöntem arasında uyum elde etmişlerdir. Dong vd. [3] re-entrant ökzetik tasarımı kendi içinde benzer geometriye sahip re-entrant ökzetik yapıya dönüştürerek deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle basma yükü altında mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda yeni tasarımda ökzetik yapı açısından iyileşme tespit etmişlerdir. Zhang vd. [4] çalışmalarında şekilsel olarak modifiye edilmiş re-entrant ökzetik tasarımın mekanik özelliklerini basma yükü altında sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ökzetik tasarımları eş değer gerilme ve deformasyon açısından karşılaştırmışlardır. Auricchio vd. [7] “bi-tetrachiral” ökzetik tasarımının çekme yükü altındaki mekanik özelliklerini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Çalışmalarında iki yöntem arasında uyum elde ederek ökzetik tasarımların sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Wang vd. [8] çalışmalarında chiral ökzetik yapıyı basma yükü altında deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ve analitik olarak incelemesini yapmışlardır. Çalışma sonucunda deneysel ve analiz çalışması arasında uyum elde etmişlerdir. Ayrıca “large deflection theory” ye dayalı yaptıkları analitik hesapların sonuçlarının diğer yöntemlerden elde edilenle uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Biswas vd. [9] şekilsel olarak modifiye edilmiş re-entrant ökzetik yapıyı (bowtie auxetic structure) bal peteği yapısıyla hibrid plakaya dönüştürmüşlerdir. Elde ettikleri hibrid plakayı basma yükü altında sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Elde ettikleri verilere göre ökzetik tasarımların enerji absorbe etme yeteneklerini araştırmışlardır. Gohar vd. [10] çalışmalarında asimetrik yapıya sahip re-entrant ökzetik yapıyı basma testiyle ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmasını yapmışlardır. Çalışma sonucunda modifiye ettikleri yeni ökzetik tasarımların ökzetik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Ashfaq vd. [11] re-entrant ökzetik yapı dahil ökzetik tasarımları basma yükü altında mekanik özellik incelemesini hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemiyle yapmışlardır. Çalışma sonucunda ökzetik yapıların değerlendirmesini yapmışlardır. Khan vd. [12] modifiye edilmiş re-entrant ökzetik yapıyı çekme ve basma yükü altında analitik ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik tasarımdan ökzetik özellikleri destekleyici sonuçlar elde etmişlerdir. Li vd. [13] çalışmalarında şekilsel olarak modifiye edilmiş re-entrant ökzetik yapıyı (augmented re-entrant honeycomb) çekme yükü altında sonlu elemanlar analizinde ve analitik olarak mekanik özellikler açısından değerlendirmişlerdir. Ayrıca iki yöntem arasında uyum elde etmişlerdir. Zhu vd. [14] çalışmalarında şekilsel olarak modifiye edilmiş re-entrant ökzetik yapıyı (elliptical annular re-entrant honeycomb) sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma sonucunda modifiye edilmiş ökzetik tasarımın enerji depolama kabiliyetinin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. Zang vd. [15] re-entrant ökzetik yapıları çekme yükü altında malzemenin elastik ve plastik deformasyon bölgesinde deformasyon kabiliyetini incelemişlerdir. Çalışmayı analitik ve sonlu elemanlar yöntemiyle uygulayarak ökzetik tasarımların ilk akma dayanımını ve deformasyon yapısını tespit etmişlerdir. Alomarah vd. [16] çalışmalarında re-entrant chiral ve re-entrant ökzetik yapıları çekme yükü altında hem deneysel hem de Ls dyna yazılımında sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma sonucunda şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıların ökzetik özelliklerinin daha iyi olduğu

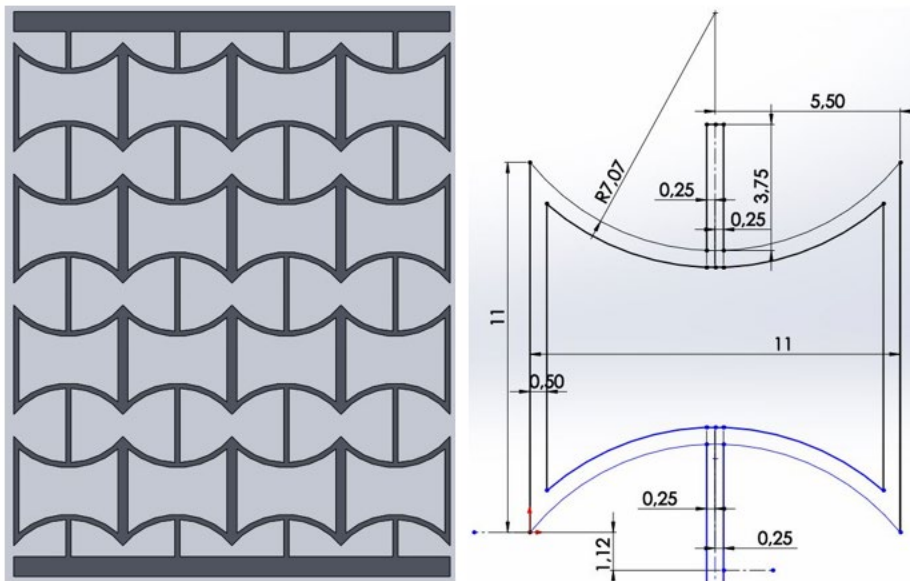
sonucuna varmışlardır. Can [17] çalışmasında re-entrant ökzetik yapının ölçülerini %40 azaltıp/arttırarak çekme yüklemesi altında incelemiştir. Çalışma sonucunda %40 ölçüsü azaltılan ökzetik yapının ökzetik özellik ve deformasyon açısından daha iyi olduğu sonucuna varmıştır. Çalışma sonucunda hem çekme dayanımı ve ökzetik etki açısından re-entrant chiral yapının daha iyi sonuç verdiğini belirlemiştir. Literatür incelemeleri sonucunda re-entrant ökzetik yapı dahil birçok ökzetik tasarımın şekilsel olarak modifiye edilerek çeşitli yükleme koşulları altında incelendiği tespit edilmiştir. Ancak çalışmada kullanılan şekilsel olarak modifiye edilmiş re-entrant ökzetik tasarımın incelemesine rastlanmamıştır. Ayrıca çalışmalarda ökzetik yapıların çekme yükü altındaki gerilme ve deformasyon yeteneklerinin incelendiği tespit edilmiştir. Literatür incelemesinde çeşitli yükleme koşulları altında re-entrant ökzetik tasarımların incelendiği belirlenmiştir. Özellikle ökzetik malzemelerin kompozit malzemelerde ve medilal uygulamalarda sıklıkla çekme yüküne maruz kalması nedeniyle çekme yükü altında inceleme yapan çalışmalarda rastlanmıştır. Ayrıca çeşitli ökzetik tasarımlarında şekilsel olarak modifiye edilerek çeşitli yükleme koşullarında mekanik özelliklerinin incelendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmada da literatürde rastlanmayan şekilsel olarak modifiye edilmiş re-entrant ökzetik tasarım çekme yükü altında mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, orjinal ökzetik tasarımın şekilsel olarak modifiye edilmesi sonucundaki şekil değişiminin ökzetik özelliğe etkisi araştırılmıştır. Ayrıca orijinal ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik tasarımların ölçüleri %30 arttırılarak/azaltılarak ölçünün ökzetik yapıdaki etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sayesinde yeni ökzetik tasarımın çekme yüklemesi altındaki deformasyon davranışı, poisson oranı ve gerilme dağılımı parametrelerine ölçü etkisinin göz önüne alınmasıyla literatüre yeni tasarım hakkında ekstra bilgi kazandırılmıştır. Çalışmadan elde edilen yeni ökzetik tasarım verileriyle literatüre hem yeni tasarım şekli hem de yeni tasarımın ökzetik özellikleri açısından katkı sağlanmıştır. Çalışmadan elde edilen bu bilgiler ışığında ileriki çalışmalarda tasarımın uygulamadaki kullanımına ışık tutacağı düşünülmektedir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

### 2.1 Materyal (Material)

#### 2.1.1. Literatürden kullanılan ökzetik yapı (Auxetic structure used in literature)

Çalışma kapsamında literatürde [9] kullanılan re-entrant (Şekil 1) ökzetik tasarım referans olarak tercih edilmiştir. Tercih edilen re-entrant ökzetik tasarım şekilsel olarak modifiye edilerek Şekil 2'deki biçime dönüştürülmüştür. Şekilsel olarak modifiye edilen yeni tasarım literatürde olmayışı nedeniyle çalışmaya özgünlük katılmıştır.



Şekil 1. Şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik tasarım ve ölçüleri

### 2.1.2. Ökzetik yapı için malzeme seçimi (Material selection for the auxetic structure)

Alüminyum malzemenin esnek yapısı sayesinde ökzetik tasarımların mekanik olarak incelemesi kolayca yapılabilmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan ökzetik yapı için ANSYS yazılımının malzeme kütüphanesindeki alüminyum malzeme kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan malzemenin mekanik özellikleri sunulmuştur.

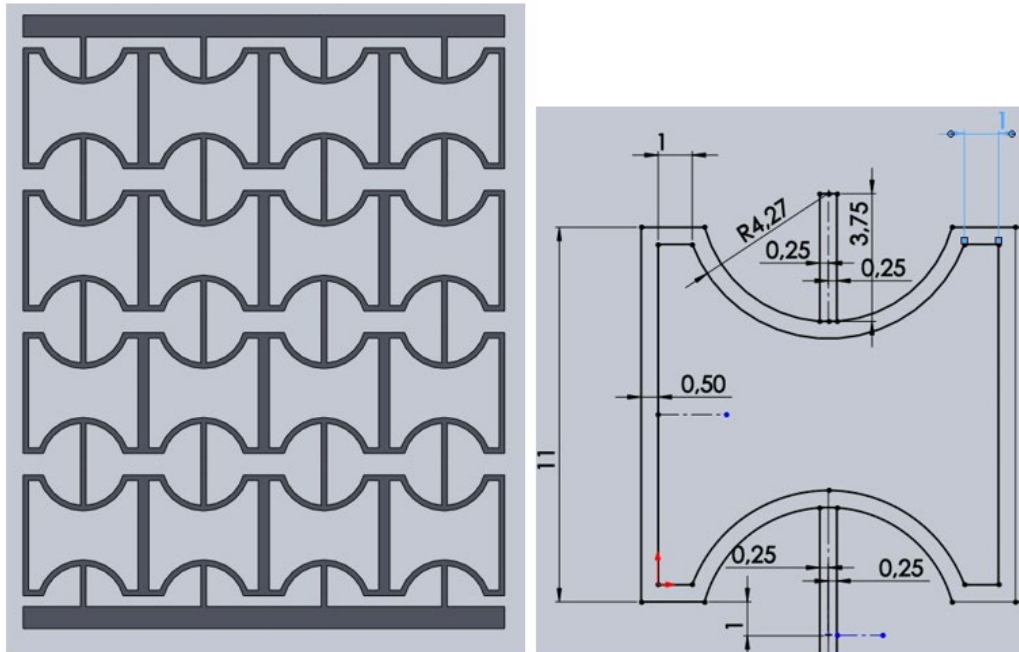
**Tablo 1.** Kullanılan alüminyum malzemenin mekanik özellikleri

Alüminyum mekanik özellikleri	Değerler
Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )	2770
Elastisite modülü (GPa)	71
Poisson oranı	0.33
Bulk modülü (GPa)	69.61
Kayma modülü (GPa)	26.69
Çekme akma dayanımı (MPa)	280
Çekme maksimum dayanımı (MPa)	310

## 2.2. Yöntem (Method)

### 2.2.1. Şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik tasarım (Shapely modified auxetic design)

Çalışma kapsamında Şekil 1'de verilen ökzetik tasarım şekilsel olarak modifiye edilmiştir. Şekilsel olarak modifiye edilen yeni ökzetik tasarım çekme yükü altında orijinal formuyla karşılaştırılarak incelenmiştir. Ayrıca kullanılan orijinal ve şekilsel olarak modifiye edilmiş tasarımların ölçüleri %30 oranında artırılarak ve azaltılarak kullanılan ökzetik tasarımlarda ölçünün etkileri incelenmiştir. Kullanılan büyütme ve küçültme oranının seçiminde, tasarım ölçülerine uygun olacak şekilde eşit oranda büyütme ve küçültme kriteri kullanılmıştır. Özellikle ölçüleri küçültülmesi aşamasında ökzetik özelliğe etkisi olmayacak şekilde ve literatürde [17] tercih edilene benzer oran kullanılmıştır.



**Şekil 2.** Şekilsel olarak modifiye edilmiş ökzetik tasarım

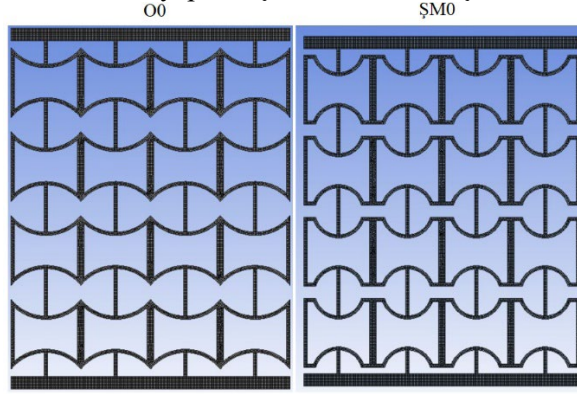
### 2.2.2. Ökzetik yapıların sonlu elemanlar analizi (Finite element analysis of auxetic structures)

Orijinal ve şekilsel olarak modifiye edilmiş ökzetik tasarımlar çekme yükü altında sonlu elemanlar analizinde incelenmiştir. Ökzetik tasarımların sonlu elemanlar modellemesinde ANSYS yazılımında statik

analiz bölümü kullanılmıştır. Malzeme elastik bölgede belirlenen bir çekme yükü altında inceleneceği için statik analiz bölümü tercih edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi çalışmasında kullanılan ökzetik tasarımlar ve kısa kodları Tablo 2’de sunulmuştur.

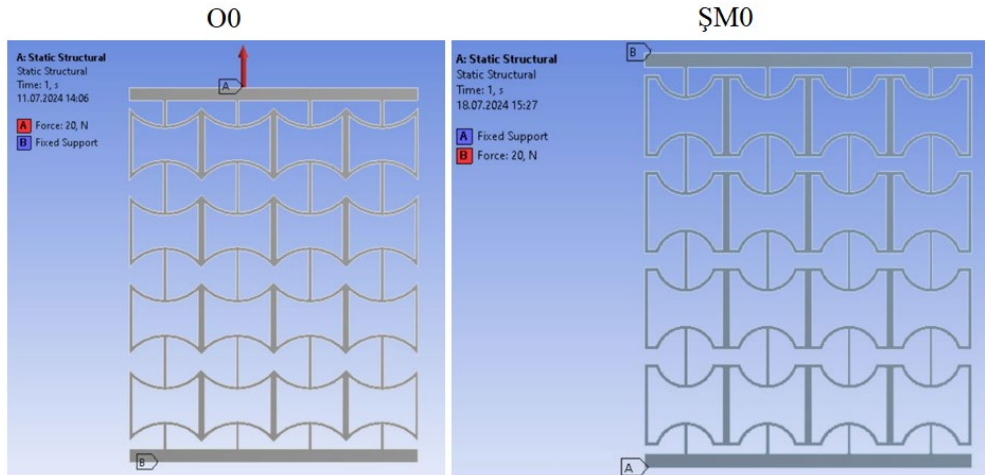
İncelenen ökzetik yapılar	Kısaltmaları
Orijinal tasarım	O0
%30 büyütülmüş orijinal tasarım	O+30
%30 küçültülmüş orijinal tasarım	O-30
Şekilsel modifiye edilmiş tasarım	ŞM0
%30 büyütülmüş Şekilsel modifiye edilmiş tasarım	ŞM+30
%30 küçültülmüş Şekilsel modifiye edilmiş tasarım	ŞM-30

Ökzetik yapılar katı modelleme yazılımında çizilmiştir. Hazırlanan katı modeller ANSYS yazılımına aktarılmıştır. Sonlu elemanlar modellemesinde ilk aşamada ANSYS kütüphanesindeki Alüminyum malzemesi (Tablo 1) seçilmiştir. Sonrasında katı model için yeterince doğru sonuçlar verecek mesh yapısı oluşturulmuştur. Mesh yapısında modelde basitleştirme amaçlı hekzahedron eleman tercih edilmiştir. Ökzetik tasarımlar için oluşturulan mesh yapıları Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Orijinal ve şekilsel modifiye edilmiş ökzetik tasarımların mesh yapısı

Ökzetik yapıların incelemesi için kullanılan sabit çekme yükü seçiminde, malzemenin plastik deforme olmaması durumu göz önüne alınmıştır. Bu nedenle denemeler ile elde edilen 20 N çekme yükü tüm modellere uygulanmıştır. Seçilen çekme kuvveti ökzetik tasarımın üst kısmına tanımlanmıştır. Ökzetik tasarımın alt tarafı da ankastre sabitlenmiştir (Şekil 4).



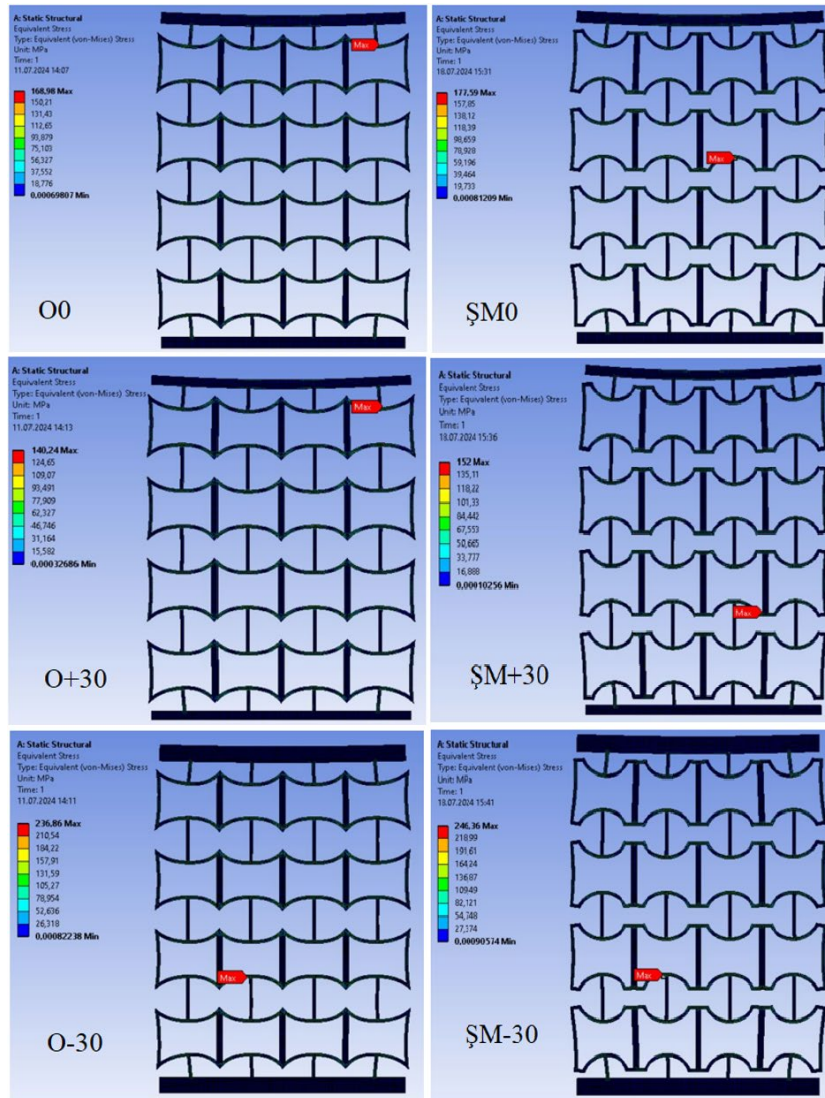
Şekil 4. Orijinal ve şekilsel modifiye edilmiş ökzetik tasarımların sonlu elemanlar modellemesi sınır şartları

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSIONS)

Çalışma kapsamında orijinal ve şekilsel modifiye edilmiş ökzetik yapılar eşit çekme yükü altında incelenmiştir. Ökzetik yapıların incelemesinde aksenal uzama, enine genişleme, Von mises eş değer gerilme ve poisson oranı tercih edilmiştir.

**Tablo 3.** Ökzetik tasarımların sonlu elemanlar analizi sonuçları

Ökzetik tasarımlar	Poisson oranı	Boyuna uzama (mm)	Enine genişleme (mm)	Von mises eş değer gerilme
O0	-0.2204	0.4001	0.0882	168.98
O+30	-0.2122	0.4237	0.0899	140.24
O-30	-0.2339	0.3716	0.0869	236.86
ŞM0	-0.3478	0.4069	0.1415	177.59
ŞM+30	-0.3241	0.4425	0.1434	152.00
ŞM-30	-0.3752	0.3686	0.1383	246.36

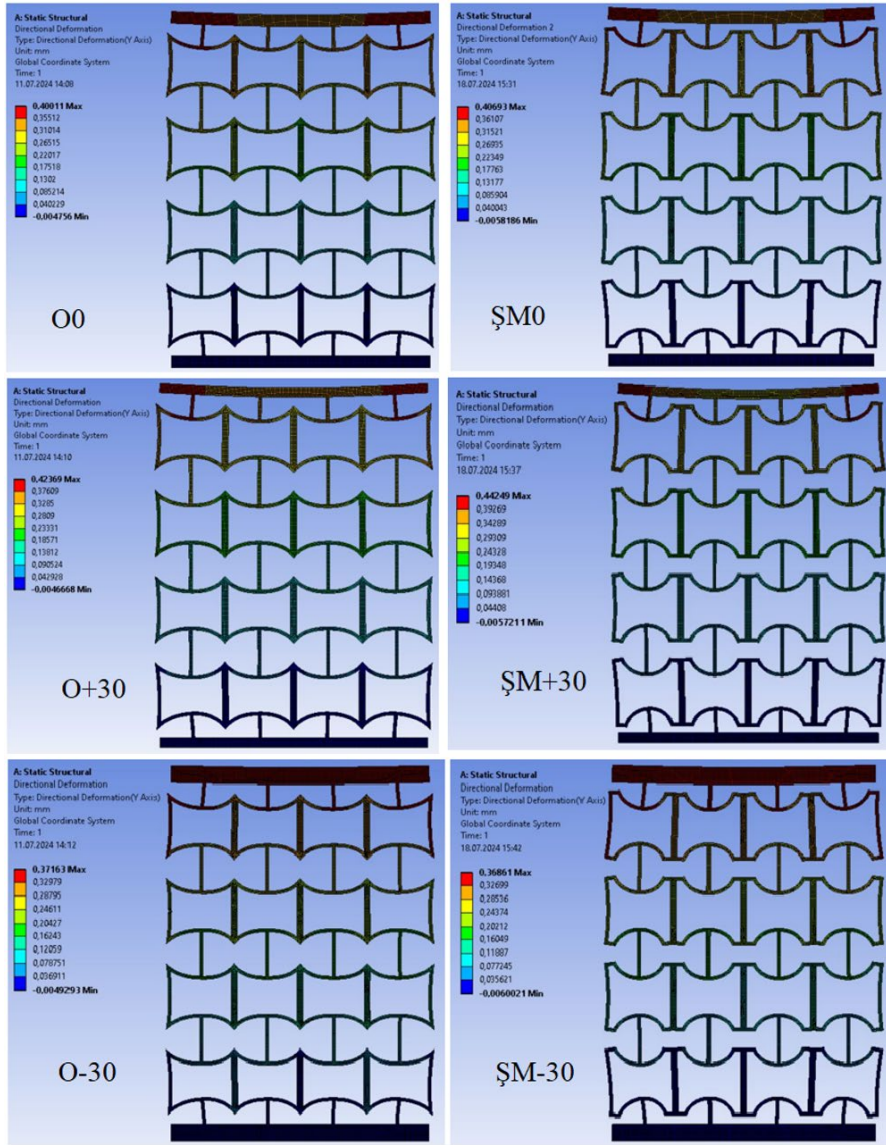


**Şekil 5.** Ökzetik yapıların Von mises eş değer gerilme sonuçları

Tablo 3 ökzetik tasarımların sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen deformasyon davranışını, poisson oranını ve eş değer gerilme sonuçlarını içermektedir. Tablo 3'teki boyuna uzama sonuçlarıyla tasarımın gerinim kabiliyeti incelenmiştir. Ayrıca ökzetik tasarımlarda boy değişiminin gerinime etkisi alınan boyuna uzama sonucuyla değerlendirilmiştir. Analizde kullanılan modelin uçlarındaki sınırlamalar

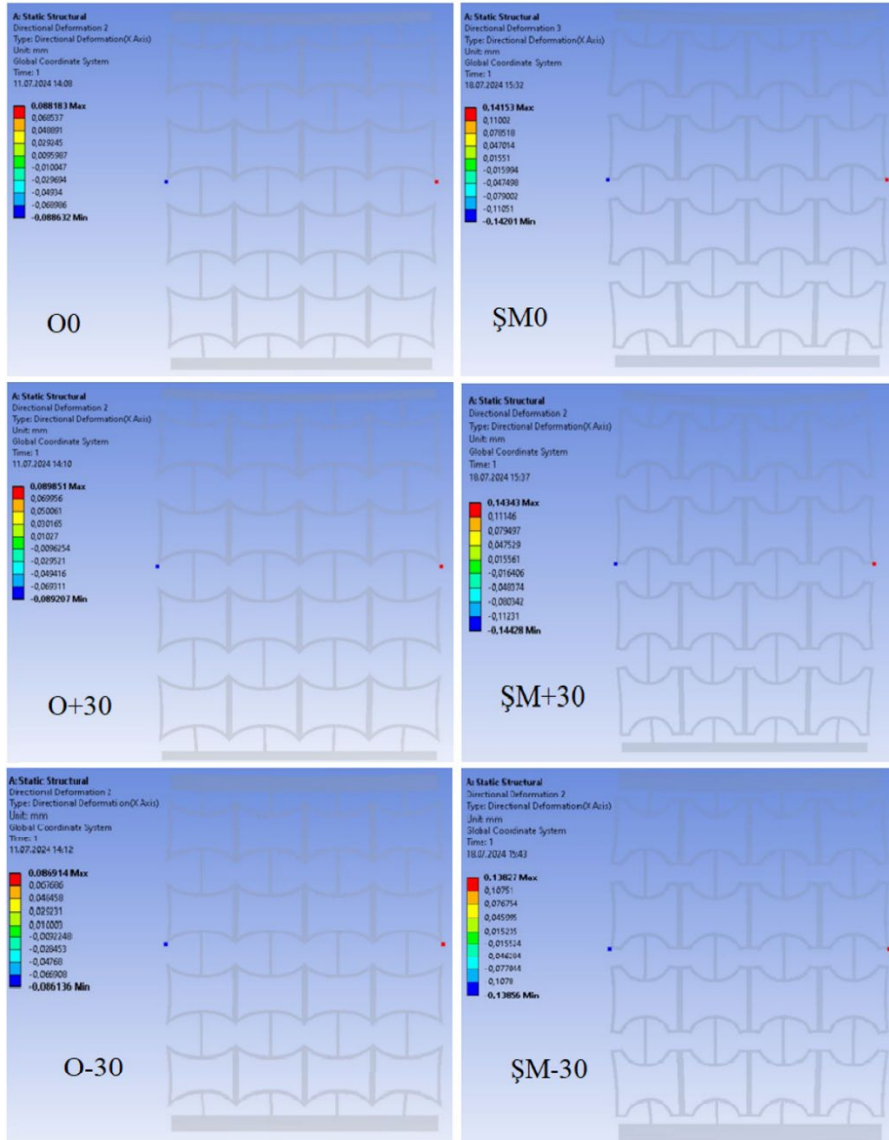
nedeniyle enine genişleme sonuçları için Şekil 7’de görülen tasarımların ortasındaki noktalar tercih edilmiştir. Elde edilen enine genişleme sonucuyla tasarımların ve boyut değişiminin enine genişlemeye etkisi incelenmiştir. Çalışmada enine genişleme ve boyuna uzama sonuçları kullanılarak da poisson oranı Tablo 3’teki gibi hesaplanmıştır. Ayrıca tüm tasarımlar için Şekil 5’te verilen Von mises eş değer gerilme sonucu alınmıştır. Eş değer gerilme sonucuyla tasarımların eşit yüklemeye altındaki gerilme dağılımları incelenerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 3 ve Şekil 5’teki eş değer gerilme sonuçları incelendiğinde en fazla orijinal ökzetik yapıda 168.98 MPa ve şekilsel modifiye edilen yapıda ise 177.24 MPa elde edilmiştir. Ayrıca ökzetik yapıların %30 ölçüsel olarak büyütülmesi sonucunda orijinal yapının eş değer gerilmesinde %17.01 düşüş ve şekilsel modifiye edilende ise %18.96 düşüş elde edilmiştir. Ökzetik yapıların %30 ölçüsel olarak küçültülmesi sonucunda orijinal yapının eş değer gerilmesinde %40.17 artış ve şekilsel modifiye edilende ise %43.46 artış tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre ökzetik yapının ölçüsel büyütülmesiyle numunenin alanın artması nedeniyle gerilme sonuçlarını düşürdüğü ve ölçüsel küçültülmesinde ise alan azalması nedeniyle gerilmeye artış olmasının normal olduğu belirlenmiştir. Ökzetik yapıların eş gerilme sonuçlarında, şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapının eşit yük altında daha fazla gerilmeye sahip olması nedeniyle bu yönden olumsuz bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 6. Ökzetik yapıların aksenal uzama sonuçları

Şekil 6 ve Tablo 3'teki boyuna uzama sonuçları incelendiğinde, orijinal ökzetik yapıda 0.400 mm ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıda 0.407 mm uzama belirlenmiştir. Ayrıca ökzetik yapıların ölçülerinin %30 artırılması sonucunda, orijinal ökzetik yapıda %6 artış ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıda %8.6 artış belirlenmiştir. Ökzetik yapıların ölçülerinin %30 küçültülmesi sonucunda ise, orijinal ökzetik yapıda %7 düşüş ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıda %9.34 düşüş belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ölçü artışına paralel olarak uzama artmış ve ölçü azalmasına bağlı olarak da uzamanın azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca şekilsel modifiye edilen ökzetik yapıyla orijinal ökzetik yapı arasında boyuna uzama açısından çok az bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda tüm ökzetik yapılarda boyuna uzama sonuçları elde edilmiştir. Bu deformasyon özelliğiyle literatüre [15, 16] uyum sağlamıştır.



Şekil 7. Ökzetik yapıların enine genişleme sonuçları

Tablo 3 ve Şekil 7'deki enine genişleme sonuçları incelendiğinde, orijinal ökzetik yapıda 0.088 mm ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıda 0.142 mm enine genişleme belirlenmiştir. Ökzetik yapının ölçülerinin %30 artırılması sonucunda, orijinal ökzetik yapıda %2.27 artış ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıda %0.7 artış tespit edilmiştir. Ökzetik yapının ölçülerinin %30 küçültülmesi sonucunda ise, orijinal ökzetik yapıda %1.14 düşüş ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıda %3.5 düşüş tespit edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlara göre ökzetik yapının enine genişlemesinde ölçü artışıyla artış



ve ölçü azalmasıyla da azalma gözlemlenmiştir. Elde edilen enine deformasyon sonuçlarıyla literatüre [15, 16] uyum sağlamıştır.

Tablo 3'teki ökzetik tasarımların sonlu elemanlar analizi sonuçları incelendiğinde orijinal ve şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik tasarımların ölçülerinin değişmesi sonucunda beklenildiği gibi az miktarda değişimle de olsa %30 oranında ölçüsü azaltılan ökzetik yapılarda daha uzun süreli ökzetik özellik tespit edilmiştir. Bu durum poisson oranındaki artışla da desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki [17, 5] çalışmaların sonuçlarına da uyum göstererek çalışma sonuçları teyit edilmiştir. Ökzetik yapıların %30 oranında ölçülerinin artmasıyla da ökzetik özelliklerinde az miktarda olsa düşüşler tespit edilmiştir. Bu durum hücre boyutlarının artışıyla daha kolay deforme olmasına bağlanmıştır. Ayrıca şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik tasarımdan orijinale kıyasla daha yüksek poisson oranı elde edilmiştir. Bu durumda, şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapının şekli nedeniyle enine genişleme sonuçlarının orijinale kıyasla daha fazla olmasına bağlanmıştır. Sonuç olarak şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapıda maksimum eş değer gerilme az daha fazla elde edilse de, enine daha fazla genişlemesi sonucunda negatif poisson oranı verisi artarak ökzetik özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada literatürde kullanılan orijinal ökzetik yapı şekilsel olarak modifiye edilmiştir. Ayrıca ökzetik yapıların ölçüleri %30 arttırılıp/azaltılması durumunun mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Mevcut çalışma için öncelikle belirtilen ökzetik yapılar katı modellenmiştir. Sonrasında Ansys sonlu elemanlar yazılında statik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarında, maksimum eş değer gerilme, boyuna uzama, enine genişleme ve poisson oranı verileri kullanılarak ökzetik yapılar değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda;

- Sonlu elemanlar analizinde mesh yapısından bağımsızlığı kontrol edilerek oluşturulan model sayesinde yeterince doğru sonuçlar alınmıştır. Tasarımların analiz sonuçları deformasyon, eş değer gerilme ve poisson oranı parametreleri açısından değerlendirilerek tasarımlar incelenmiştir.
- Orijinal ökzetik yapının maksimum eş değer gerilme sonucu şekilsel olarak modifiye edilene kıyasla daha az çıkmıştır.
- Şekilsel olarak modifiye edilen ve orijinal ökzetik yapılar arasında boyuna uzama açısından az miktarda fark tespit edilmiştir.
- Şekilsel olarak modifiye edilen ökzetik yapının orijinal tasarıma kıyasla daha fazla enine genişlediği belirlenmiştir.
- Şekilsel modifiye edilen yapının enine daha fazla genişlemesi sonucunda negatif poisson oranı verisi artarak ökzetik özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.
- %30 oranında ölçüleri azaltılan ökzetik yapının ökzetik özelliklerinin daha iyi olduğu elde edilen poisson oranı ve deformasyon sonuçlarıyla belirlenmiştir.
- Çalışmada elde edilen yeni ökzetik tasarımla ilgili olumlu sonuçlarla literatüre yeni bir tasarım eklenmiştir. Ayrıca ökzetik yapının ölçü değişiminin ökzetik özelliklere etkisi kullanılan tasarımda araştırılarak literatüre katkı sağlanmıştır.

#### ARAŞTIRMA ve YAYIN ETİĞİ BEYANI (STATEMENT OF PUBLICATION ETHICS)

Çalışmanın tüm süreçlerinin araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu, etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine uyduğumu beyan ederim.

#### YAZAR KATKISI (AUTHOR STATEMENT)

**Ersan KIRAR:** Sonlu elemanlar analizi çalışması, Veri Toplama, Veri İşleme, Yazım

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gao, Y., Wei, X., Han, X., Zhou, Z. & Xiong, J. (2021). Novel 3D auxetic lattice structures developed based on the rotating rigid mechanism. *International Journal of Solids and Structures*, 233, 111232.

- [2] Subramani, P., Rana, S., Oliveira, D. V. & Fangueiro, R. (2014). Xavier J. Development of novel auxetic structures based on braided composites. *Materials and Design*, 61, 286–295.
- [3] Dong, P., Hou, R., Hu, J., Lin, C., Liu, Y. & Qin, L. (2023). Novel self-similar re-entrant auxetic metamaterials (SREAM): Design, mechanical property, and geometric optimization. *Polymer Testing*, 122, 108015.
- [4] Zhang, X., Hao, H., Tian, R., Xue, Q., Guan, H. & Yang, X. (2022). Quasi-static compression and dynamic crushing behaviors of novel hybrid re-entrant auxetic metamaterials with enhanced energy-absorption. *Composite Structures*, 288, 115399.
- [5] Logakannan, K. P., Ramachandran, V., Rengaswamy, J., Gao, Z. & Ruan, D. (2020). Quasi-static and dynamic compression behaviors of a novel auxetic structure. *Composite Structures*, 254, 112853.
- [6] Attard, D., Farrugia, P. S., Gatt, R. & Grima, J. N. S. (2020). A novel class of auxetic hierarchical structures. *International Journal of Mechanical Sciences*, 179, 105631.
- [7] Auricchio, F., Bacigalupo, A., Gambarotta, L., Lepidi M., Morganti, S. & Vadalà F. (2019). A novel layered topology of auxetic materials based on the tetrachiral honeycomb microstructure. *Materials & Design*, 179, 107883.
- [8] Wang, Q., Yang, Z., Lu, Z. & Li, X. (2020). Mechanical responses of 3D cross-chiral auxetic materials under uniaxial compression. *Materials & Design*, 186, 108226.
- [9] Biswas, A. N., Mahesh, N., Peri, S. R., Krishnan, B. R. & Sreekanth, P. S. R. (2022). Hybrid auxetic materials implemented in crates & non-pneumatic wheels for shock absorption. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1327–1334.
- [10] Gohar, S., Hussain, G., Ilyas, M. & Ali, A. (2021). Performance of 3D printed topologically optimized novel auxetic structures under compressive loading: experimental and FE analyses. *Journal of materials research and technology*, 15, 394-408.
- [11] Ashfaq, B., Hussain, G., Khan, M. B., Alkahtani, M. & Wei, H. A. (2024). novel design of mono and bi-cells based hybrid auxetic structures and assessment of their compressive properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 28, 1620–1632.
- [12] Khan, S. Z., Mustahsan, F., Mahmoud, E. R. I. & Masood, S. H. (2020). A novel modified re-entrant honeycomb structure to enhance the auxetic behavior: Analytical and numerical study by FEA. *Materials Today: Proceedings*, vol:39, part 2, 1041-1045.
- [13] Li, X., Wang, Q., Yang, Z. & Lu, Z. (2019). Novel auxetic structures with enhanced mechanical properties. *Extreme Mechanics Letters*, 27, 59–65.
- [14] Zhu, D., Wei, Y., Shen, X., Yan, K., Yuan, M. & Qi, S. (2024). A novel elliptical annular re-entrant auxetic honeycomb with enhanced stiffness. *International Journal of Mechanical Sciences*, 262, 108732.
- [15] Zhang, J., Lua, G., Ruana, D. & Wang, Z. (2018). Tensile behavior of an auxetic structure: Analytical modeling and finite element analysis. *International Journal of Mechanical Sciences*, 136, 143–154.
- [16] Alomarah, A., Ruan, D., Masood, S., Sbarski, I. & Faisal, B. (2018). An investigation of in-plane tensile properties of re-entrant chiral auxetic structure. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96, 2013–2029.
- [17] Can, H. O. (2017). *Akıllı Malzemelerin Mekanik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 52s.





**HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

***HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING***

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

## **Practical Design of Stepped Spillways Using Machine Learning Methods and Fuzzy Inference System**

*Makine Öğrenme Yöntemleri ve Bulanık Çıkarım Sistemi Kullanılarak Basamaklı Dolusavakların Pratik Tasarımı*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Sadık ALASHAN<sup>1</sup>, Sedat GOLGIYAZ<sup>2</sup>, Erdinç İKİNCİOĞULLARI<sup>3</sup>, Eyyüp Ensar YALÇIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0003-1769-4590

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0003-0305-9713

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0003-2518-980X





<sup>4</sup> ORCID ID: 0000-0001-9446-2991

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Alashan S., Golgiyaz S., İkinciöğulları E., Yalçın E. E., “Practical Design of Stepped Spillways Using Machine Learning Methods and Fuzzy Inference System”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 10(1): 36-50, (2025).

**DOI:** 10.46578/humder.1638527



## Practical Design of Stepped Spillways Using Machine Learning Methods and Fuzzy Inference System

Sadık ALASHAN<sup>1</sup> , Sedat GOLGİYAZ<sup>2</sup> , Erdiñ İKİNCİOĞULLARI<sup>1\*</sup> , Eyyüp Ensar YALÇIN<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

### Abstract

#### Article Information

Received: 12/02/2025

Revised: 04/03/2025

Accepted: 10/03/2025

Published: 31/03/2025

#### Citation

Alashan S., Golgiyaz S., İkinciogullari E., Yalçin E. E., "Practical Design of Stepped Spillways Using Machine Learning Methods and Fuzzy Inference System", Harran University Journal of Engineering, 10(1): 36-50, (2025).

Energy-dissipating pools or flip bucket structures reduce the energy of downstream flow in conventional spillways. Recently, stepped spillways have been widely used to dissipate the flow of energy downstream. Flows on the stepped spillways are complex and advanced techniques such as Fuzzy Logic (FL), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Artificial Neural Network (ANN), Genetic Programming (GP), Deep Learning, and Tree-Based models are required to calculate energy dissipation ratios. Fuzzy Logic has the advantage of considering physical processes when examining problems using rule bases. In this study, energy dissipation over stepped spillways is calculated using machine learning methods and the Fuzzy Inference System in Python programming language. Experimental data by different researchers are used to model stepped spillways. Two new parameters, such as an approach channel and step-top geometric ratios, are used in addition to the literature to obtain energy dissipation ratios on stepped spillways. Artificial Neural Network Regressor (ANN) from machine learning methods gives minimum percentages and absolute errors (-0.117% and 1.398) and maximum  $R^2$  values (0.976) for the testing dataset. Although the accuracy of the ANN method changes with hidden layer sizes and ratios between training and testing data, the Fuzzy Logic (FL) is independent to training data. The FL method represents good results with low Mean Percentages Error (MPE) and Mean Absolute Errors (MAE) (-1.688% and 2.000) and an  $R^2$  value (0.951), and the produced Python function using the fuzzy inference system can be applied easily to different flow conditions and stepped spillways.

**Keywords:** Stepped spillways, energy dissipation, skfuzzy, fuzzy logic, artificial neural network regressor, machine learning methods.

## Makine Öğrenme Yöntemleri ve Bulanık Çıkarım Sistemi Kullanılarak Basamaklı Dolusavakların Pratik Tasarımı

### Öz

#### Makale Bilgisi

Başvuru: 12/02/2025

Düzeltilme: 04/03/2025

Kabul: 10/03/2025

Yayınlanma: 31/03/2025

#### Alıntı

Alashan S., Golgiyaz S., İkinciogullari E., Yalçin E. E., "Practical Design of Stepped Spillways Using Machine Learning Methods and Fuzzy Inference System", Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 10(1): 36-50, (2025).

Enerji sönmüleyici havuzlar veya sıçratma eşiği yapıları, klasik dolusavakların mansabındaki akım enerjisini sönmülemektedir. Son yıllarda, akım enerjisini sönmülemek amacıyla basamaklı dolusavaklar yaygın olarak kullanılmaktadır. Basamaklı dolusavaklardaki akım karmaşık olup enerji sönmüleme oranlarını hesaplamak için ileri tekniklere sahip Bulanık Mantık (BM), Yapay Sinir Ağları Uyarlamalı - Bulanık Çıkarım Sistemi (YSA- BÇS), Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik Programlama (GP), Derin Öğrenme ve Ağaç Tabanlı modeller kullanılmaktadır. BM, kural tabanlıları kullanarak problemleri incelerken fiziksel süreçleri göz önünde bulundurabilme avantajına sahiptir. Bu çalışmada, Python programlama dilinde makine öğrenmesi yöntemleri ve Bulanık Çıkarım Sistemi kullanılarak basamaklı dolusavakların enerji sönmüleme oranları hesaplanmıştır. Basamaklı dolusavakları modellemek için farklı araştırmacıların deneysel verileri kullanılmıştır. Basamaklı dolusavaklarda enerji sönmüleme oranlarını tahmin edebilmek için literatürde kullanılan parametrelere ek olarak yaklaşım kanalı ve basamak üstü geometrik oranları gibi iki yeni parametre kullanılmıştır. Makine öğrenmesi yöntemlerinden YSA ile test veri seti için minimum yüzde ve mutlak hata (% -0.117 ve 1.398) ve maksimum  $R^2$  değerleri (0.976) elde edilmiştir. YSA yönteminin doğruluğu gizli katman boyutları ve eğitim-test veri oranlarıyla değişse de Bulanık Mantık (BM) yönteminin sonuçları eğitim verilerinden eğitimsizdir. BM yönteminde düşük ortalama yüzdelik ve mutlak hatalar (% -1.688 ve 2.000) ve 0.951  $R^2$  değeri ile iyi sonuçlar elde edilmiştir ve BM yöntemi kullanılarak üretilen Python fonksiyonu farklı akış koşullarına ve basamaklı dolusavaklara kolayca uygulanabilme imkânına sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Basamaklı dolusavak, Enerji sönmüleme, skfuzzy, Bulanık mantık, yapay sinir ağı regresörü, makine öğrenmesi yöntemleri.

## 1. INTRODUCTION

Stepped spillways have been used for over 3500 years because it is easy to design and build them [1]. The Akarnian stepped spillway, claimed to be the world's earliest example of a stepped spillway, was built about 1300 BC, according to the literature [1]. Since the beginning of the 20th century, stepped spillways have begun to be constructed with more demand to dissipate the flow energy [2].

The flow energy is dissipated downstream of traditional spillways using energy-dissipating pools or flip bucket structures. Stepped spillways have recently become popular for dissipating the flow energy downstream of small dams [3]. The flow energy can be dissipated on the stepped channel about 70–80% more energy than other spillways [4]. Therefore, it is emphasized that the stepped spillways are more cost-effective than the traditional ones since the size of the energy-dissipating structures installed downstream is decreased by 30–40% [3,5]. The high energy dissipation on the stepped spillway also decreases the flow momentum. Hence, the probability of cavitation decreases, and the cavitation index rises [6]. Stepped spillways are also frequently utilized in water treatment facilities to improve the water's oxygen quantity [7]. Stepped spillways are frequently constructed in roller compacted concrete (RCC) dams with a unit flow rate of up to  $q=10\text{--}15\text{ m}^3/\text{sm}$ . Optimizing energy dissipation and extending the structure's active life are the main reasons of constructing stepped spillways [3]. Additionally, stepped spillways reduce ground cavitation in loose ground regions to their high energy dissipation capability. This high energy dissipation capability enables making necessary energy reduction in lower structure lengths. This situation is an advantage in terms of economics, as well as a selection criterion for construction of dams with location problems. Floods affecting spillway design have occurred more frequently in recent years with higher discharges due to the effects of climate change. This necessitates the dissipation of higher discharges over shorter distances and increases the demand for stepped spillways.

As a result of the widespread use of stepped spillways, many researchers have conducted intensive experimental studies on the subject [8–20]. Felder et al. [14] used three models besides the traditional stepped spillway model to assess the aeration rates and energy dissipation capabilities. The studies were carried out for discharges between 0.02 and 0.155  $\text{m}^3/\text{s}$ . The channel width is 0.52 m, the width of the steps is 0.20 m, and the height of the steps is 0.10 m. For pooled models, thresholds with dimensions of 0.031 m high and 0.015 m wide were put at the ends of the stairs. The results show that the pooled stepped spillway models dissipate energy more slowly than the traditional stepped spillways. Felder et al. [13] used three stepped spillway models: classical, pooled, and combined. In an experimental set with an  $8.9^\circ$  channel angle, a 0.50 m channel width, a 0.318 m step width, and a 0.05 m step height, the researchers conducted 21 experiments with discharges between 0.02 and 0.117  $\text{m}^3/\text{s}$ . They discovered that the combination model had the highest energy dissipation rate while the conventional stepped spillways had the lowest. The numerical studies have also intensified with the development of computer technology [21–32]. Meanwhile, researchers in various fields of science and engineering have recently been interested in artificial intelligence (AI) approaches, including Fuzzy Logic, ANFIS, ANN, GP, and Deep Learning models, because these methods can correlate large and complicated datasets without previously knowing how they are related [33,34].

Salmasi and Ozger [35] examined the applicability and accuracy of the ANFIS technique in predicting the correct values of energy dissipation of the skimming flow regime across stepped spillways. The recommended ANFIS model's training and testing determination coefficients were 0.974 and 0.966, respectively. They emphasized that the formulation of accounting for the energy dissipation over stepped spillways using this technique is more effective than regression equations.

Roushangar et al. [36] used the neural computing approach capability to evaluate the energy dissipation performance of the stepped spillway under the nappe flow regime. They utilized ANFIS and Feed-Forward Neural Network (FFNN) techniques to determine the most influential parameters. The findings show that neural computing-based approaches consistently predict energy dissipation over stepped spillways under a nappe flow regime. Also, the ANFIS model outperformed the FFNN model in terms of overall performance. Nevertheless, the essential depth, height, and number of steps were shown to be the variables that influence energy dissipation the most.

Mojtahedi et al. [37] conducted a comprehensive study about the energy dissipation performance of stepped chutes using experimental, numerical, and FL methods. They stated that the prediction accuracy of the FL data was evaluated using the mean absolute percentage error criterion (%7.8). The FL model can be used as an efficient tool for the design and operational control of stepped spillways.

In this study, energy dissipation ratios on stepped spillways are calculated using a FL system with the skfuzzy toolbox, as well as Machine Learning (ML) and Linear Regression (LR) methods in the Python programming language. Experimental results from different researchers are used as the study datasets. The datasets are divided into two sub-series, training and testing datasets, for the ML and LR methods; however, FL does not require training datasets. The FL method uses a rule-based approach instead of training datasets. A function (endistepway) with low error ratios (mean percentage error, -1.688%, and mean absolute error, 2.000) and a high determination coefficient (0.951) has been developed for implementing the FL method in stepped spillways. The function enables easy calculation of energy dissipation ratios in stepped spillways. Also, it employs two new parameters - the approach channel and top step geometric ratio - that have never been used in the literature, along with the step height ratio and spillway angle parameters.

## 2. MATERIAL and METHOD

### 2.1 Geometrical Model and Data

Three laboratory test results [13, 14, 38] of the flat-stepped spillway were used to compare the results of the ML, LR and FL methods. The sketch of the flat stepped model is shown in Fig. 1. In here,  $H$  is the height of the spillway,  $L$  is the length of the spillway,  $L_a$  is the length of the approach channel,  $D_c$  is the critical flow depth,  $D$  is the flow depth on the last step,  $L_s$  is the step length,  $H_s$  is the step height, and  $W_s$  is the channel width.

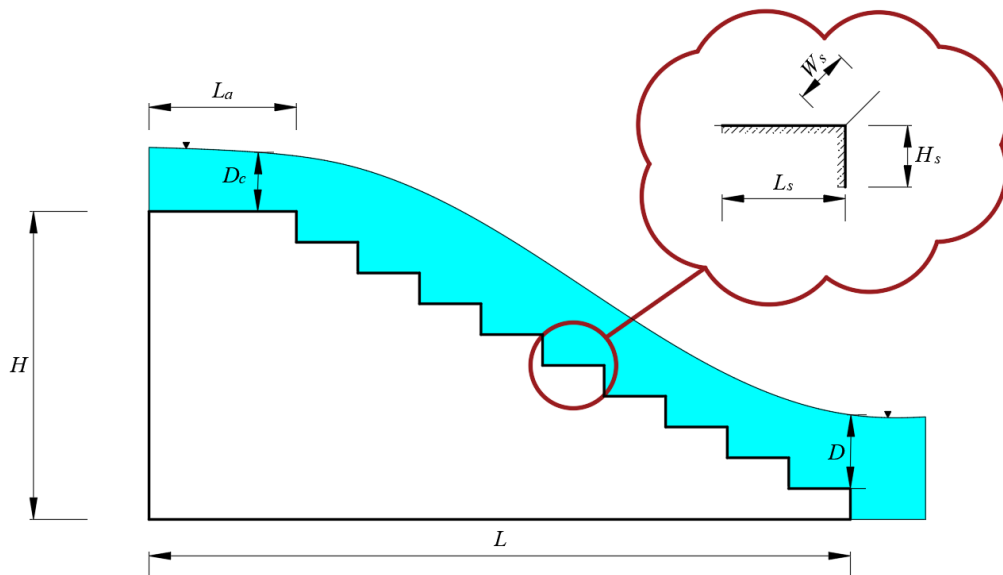


Figure 1. A sketch of the longitudinal section of stepped spillways

### 2.2 Dimensional Analysis for Stepped Spillways

Considering the specific design of the spillway and the extensive research carried out by a number of experts, the following parameters have been identified as the most important factors influencing the flow over stepped spillways:

The fluid's characteristics encompass essential parameters such as dynamic viscosity ( $\mu$ ), mass density ( $\rho$ ), and gravitational acceleration ( $g$ ).

**Table 1.** The Values of Discharges and Desing Parameters of Stepped Spillways

	Discharge ( $Q$ ) ( $m^3/s$ )	Unit discharge ( $q$ ) ( $m^3 s^{-1} m^{-1}$ )	$W_s$ (m)	$H$ (m)	$L_a$ (m)	Chute angle ( $\alpha$ ) ( $^\circ$ )	Step number
Felder et al. [13]	0.030	0.058	0.52	1.00	1.01	26.6	10
	0.038	0.073	0.52	1.00	1.01	26.6	10
	0.049	0.094	0.52	1.00	1.01	26.6	10
	0.063	0.121	0.52	1.00	1.01	26.6	10
	0.075	0.144	0.52	1.00	1.01	26.6	10
	0.090	0.173	0.52	1.00	1.01	26.6	10
	0.097	0.187	0.52	1.00	1.01	26.6	10
	0.113	0.217	0.52	1.00	1.01	26.6	10
Felder et al. [14]	0.018	0.036	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.027	0.054	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.039	0.078	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.049	0.098	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.061	0.122	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.076	0.152	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.091	0.182	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.105	0.210	0.5	1.05	0.318	8.9	21
	0.117	0.234	0.5	1.05	0.318	8.9	21
Irzooki et al. [38]	0.00183	0.00600	0.305	0.25	0.05	26.6	5
	0.00279	0.00914	0.305	0.25	0.05	26.6	5
	0.00607	0.01992	0.305	0.25	0.05	26.6	5
	0.00642	0.02105	0.305	0.25	0.05	26.6	5
	0.00737	0.02416	0.305	0.25	0.05	26.6	5
	0.00202	0.00661	0.305	0.25	0.05	45	5
	0.00210	0.00688	0.305	0.25	0.05	45	5
	0.00568	0.01862	0.305	0.25	0.05	45	5
	0.00665	0.02180	0.305	0.25	0.05	45	5
	0.00808	0.02650	0.305	0.25	0.05	45	5
	0.00065	0.00214	0.305	0.25	0.025	26.6	10
	0.00104	0.00342	0.305	0.25	0.025	26.6	10
	0.00320	0.01050	0.305	0.25	0.025	26.6	10
	0.00365	0.01198	0.305	0.25	0.025	26.6	10
	0.00750	0.02459	0.305	0.25	0.025	26.6	10
	0.00039	0.00128	0.305	0.25	0.025	45	10
	0.00084	0.00276	0.305	0.25	0.025	45	10
	0.00347	0.01137	0.305	0.25	0.025	45	10
0.00439	0.01440	0.305	0.25	0.025	45	10	
0.00759	0.02489	0.305	0.25	0.025	45	10	

The hydraulic characteristics of the flow include critical parameters such as the depth of the flow ( $D$ ) and the velocity of the flow ( $V$ ).

The shape and geometry characteristics of the spillway include key parameters such as step height ( $H_s$ ), step length ( $L_s$ ), length of the approach channel ( $L_a$ ), number of steps ( $N_s$ ), channel width ( $W_s$ ) and spillway height ( $H$ ).

Thus, the dimensional analysis for the stepped spillway is expressed as a function of the parameters  $f(H, W_s, N_s, H_s, L_s, L_a, V, D, g, \rho, \mu) = 0$ . Within the framework of the  $\pi$ -Buckingham theory, the variables  $\rho$ ,  $V$  and  $D_c$  were chosen as repetitive variables. From this analysis the Eq. 1 was derived:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = f\left(\frac{H}{D_c}, \frac{W_s}{D_c}, \frac{H_s}{D_c}, \frac{L_s}{D_c}, \frac{L_a}{D_c}, Fr, Re, N_s\right) \quad (1)$$

According to the laboratory studies [13, 14, 38], the difference in the total energy ( $E_L$ ) was calculated as Eq. (2). In here,  $E_0$  and  $E_1$  are the upstream and downstream energies on the stepped spillway, respectively. Then, the energy dissipation ratio ( $\Delta E$ ) was calculated as shown in Eq. (3). The parameters of the laboratory studies used in this study are given in Table 1.

$$E_L = E_0 - E_1 \quad (2)$$

$$\Delta E = \frac{E_L}{E_0} \quad (3)$$

### 2.3 Random Forest Regressor

Random Forest (RF) regressor is a popular machine learning algorithm widely employed in regression tasks due to its robustness and effectiveness [39]. RF is an ensemble method formed by multiple decision trees. Each decision tree is constructed using randomly selected features and trained on a subset of the dataset. The creation of these subsets and the way each tree is built introduces randomness to the algorithm. RF aggregates the predictions of each tree to make a more generalizable and robust prediction. This method is resistant to overfitting and often outperforms a single decision tree. Therefore, RF yields effective results even when applied to datasets with complex feature interactions and high dimensionality.

### 2.4 XGB Regressor

XGBoost (XGB) regressor stands as a prominent algorithm in the realm of gradient boosting, and it is celebrated for its exceptional performance in regression tasks [40]. XGB operates by sequentially adding weak learners, usually decision trees, to form a robust ensemble model. It achieves this by minimizing the gradient of the loss function at each iteration, thus correcting the errors made by the preceding trees. Additionally, XGB employs a weighted sum aggregation method during the ensemble construction, effectively balancing the contribution of each tree while minimizing the overall model error. This meticulous approach allows XGB to capture intricate relationships within the data and produce highly accurate predictions even in the presence of noise or outliers.

### 2.5 K-Nearest Neighbors Regressor

K-Nearest Neighbors (KNN) regressor stands as a fundamental and intuitive algorithm in the domain of machine learning, particularly in regression tasks [41]. Unlike parametric models, the KNN regressor makes predictions by computing the distance between the query instance and each data point in the feature space. Typically, the Euclidean or Manhattan distance metrics are utilized for this purpose. Subsequently, KNN identifies the  $k$  nearest neighbors to the query instance based on these distances. The prediction for the query instance is then calculated as the average (or weighted average) of the target values of these  $k$  neighbors. Notably, KNN does not assume any underlying functional form of data, making it particularly useful when the relationship between features and target variables is complex or nonlinear. However, it is essential to choose an appropriate value for the hyper parameter  $k$ , as selecting a too small or too large value may lead to suboptimal predictions. Despite its simplicity and interpretability, KNN may suffer from computational inefficiency when dealing with large datasets. Overall, KNN serves as a versatile tool in regression tasks, offering a balance between simplicity and performance.



## 2.6 Light Gradient Boosting Machine Regressor

Light Gradient Boosting Machine (LGBM or LightGBM) is an algorithm that has gathered significant attention in the machine learning community in recent years. As one of the gradient boosting methods, LGBM stands out for its ability to provide fast training and high performance, especially on large datasets. LGBM is based on the Gradient Boosting Framework, which is a tree-based ensemble method [42]. However, the one of standout features of LGBM is its ability to work faster and more efficiently compared to other GBM implementations. This capability significantly reduces training times for large datasets, making it an ideal choice for large-scale machine learning projects. Another key feature that enhances the performance of LGBM is its ability to automatically capture interactions between features. This allows the model to learn more complex relationships and improve prediction accuracy. Additionally, LGBM offers better memory usage and scalability, enabling it to effectively handle large datasets. Therefore, LGBM is considered a powerful tool for solving regression problems in large datasets.

## 2.7 Artificial Neural Network Regressor

Artificial Neural Network (ANN) regressor is a powerful algorithm widely used in the field of ML. ANN are designed based on biological neural networks and form the foundation of deep learning techniques used to learn complex relationships [43]. The model is trained on an ANN which consisting of multiple layers, with each layer forming a network of interconnected nodes. Each node produces an output by weighted combinations of input features and then transforms this output using a function called an activation function. The training process is carried out to minimize the error between the actual output and the predicted output of the model. This is typically done using a loss function, and optimization techniques such as backpropagation algorithm are used to update the weights of the network. The ability of ANN to adapt to various data types and problem domains makes it a versatile tool in regression tasks. With its capacity to learn intricate functions and relationships, the ANN excels in capturing nonlinear patterns within datasets, offering valuable insights for predictive modeling.

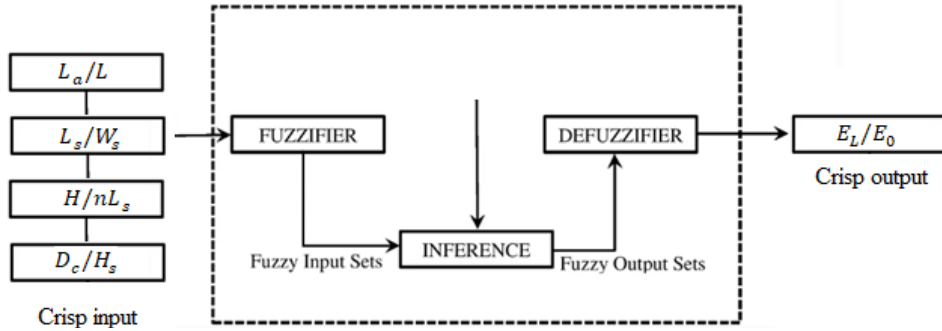
## 2.8 Linear Regressor

Linear Regressor (LR) is a regression method that primarily predicts the output variable by utilizing a linear combination of input features. This model typically employs the least squares method to calculate regression coefficients. Regression coefficients represent the weighted sum of variables for each feature, indicating their contributions to changes in the output variable. Despite being a simple model, LR is robust in explaining and interpreting relationships among variables in the dataset, making it particularly preferred for data analysis and exploratory studies. However, this model requires the assumption of linearity in relationships within the dataset and has limitations in modeling complex, nonlinear relationships. In such cases, more complex models or feature engineering techniques may be employed. Nonetheless, LR's advantages, including high interpretability, fast training, and low computational cost, make it a preferred choice in many problem scenarios.

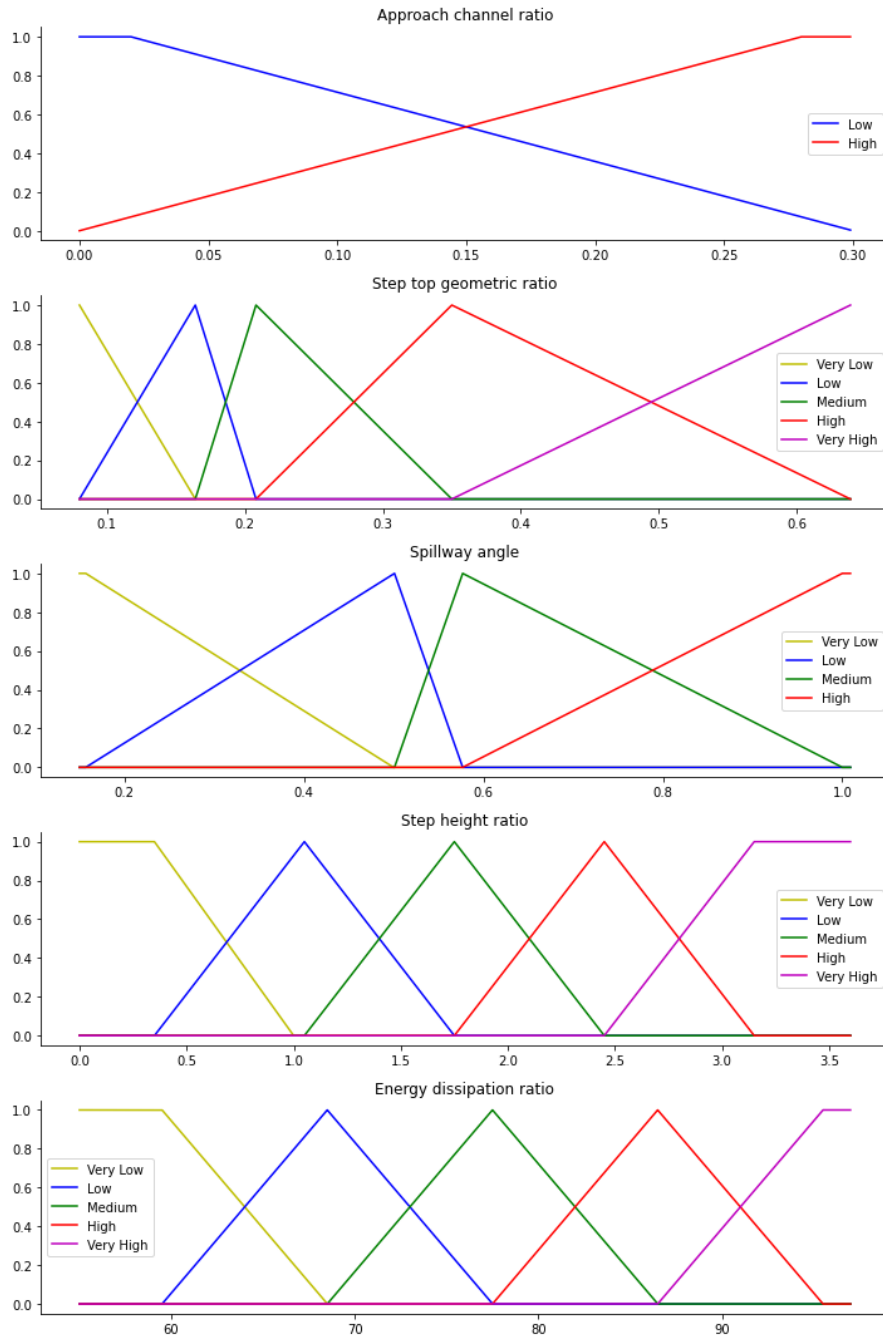
## 2.9 Fuzzy Logic Model

FL enables the examination of a complex phenomenon by using IF and THEN logical rule base (Fig. 2) [44]. Also, verbal interpretations in FL are used to separate fuzzy sets into subsets such as “Low”, “Medium”, and “High”, thus make easier to explain a nonlinear complex phenomenon. Spillways discharge floodwater from rivers downstream through very steep chute channels. This means that very large potential energy is converted into kinetic energy, resulting in complex air-water mixed flows with very high velocities in nappe, transition, and skimming flow conditions. In FL models, the complex flow is examined by input and output variables. Discharges, step heights, widths, lengths, numbers, and approach channel and spillway lengths are the main factors that form the flow in stepped spillways. According to dimension analysis, dimensionless variables (ratios) can be obtained to examine this complex flow situation and generalize solutions. The parameters are investigated to calculate the energy dissipation ratios ( $E_t/E_0$ ) in stepped spillways include the approach channel ratio ( $L_a/L$ ; approach channel length to spillway length),

step-top geometric ratio ( $L_s/W_s$ ; step length to step width), spillway angle ( $H/nL_s$ ; spillway height to cumulative step length) and step height ratio ( $D_c/H_s$ ; critical depth to step height).



**Figure 2.** A schematic representation of Fuzzy Inference System [45].



**Figure 3.** Membership functions of the parameters for design of stepped spillways.

The most important parameter frequently used in the literature to calculate energy dissipation is the step height ratio ( $D_c/H_s$ ). The step height ratio to critical depth (step height ratio), step length to step width (step top geometric ratio), and energy dissipation values are categorized into five subsets: very low, low, medium, high, and very high (Figure 3). Additionally, the ratio of the spillway height to cumulative step length (spillway angle) is classified into four subsets: very low, low, medium, and high. Lastly, the ratio of the approach channel to spillway length (approach channel ratio) is divided into only two subsets: low and high.

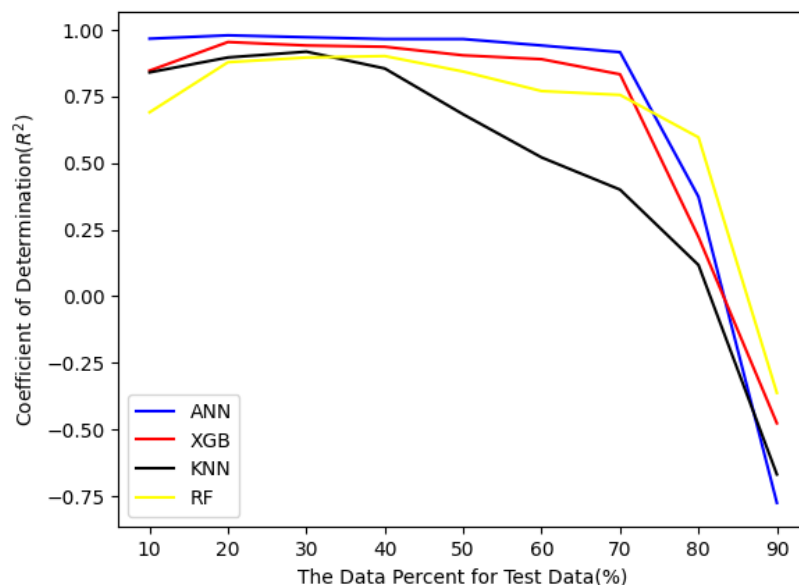
Spyder, a scientific Python development environment, is used with the "skfuzzy" FL toolbox to model energy dissipation on stepped spillways in fuzzy inference system (Appendix). Membership functions for related parameters are given in Figure 3. Trapezoidal and triangular membership functions are used to represent subsets and relations among them. Limit values and membership functions (triangular and trapezoidal) for these subsets are seen in Figure 3.

A fuzzy rule base determines the relationship between 4 input parameters and 1 output parameter. The rule base has 17 rules, of which 7 trigger the very low energy dissipation subset, 6 the medium energy dissipation subset, 2 the low energy dissipation subset, and 2 the very low energy dissipation subset.

### 3. RESULTS and DISCUSSIONS

In this study, energy dissipation ratios have been predicted with the ratios of the approach channel to spillway length ( $L_a/L$ ), step length to step width ( $L_s/W_s$ ), spillway height to cumulative step length ( $H/n \cdot L_s$ ), and critical depth to step height ( $D_c/H_s$ ). Different datasets areas obtained from empirical studies conducted by different researchers in literature.

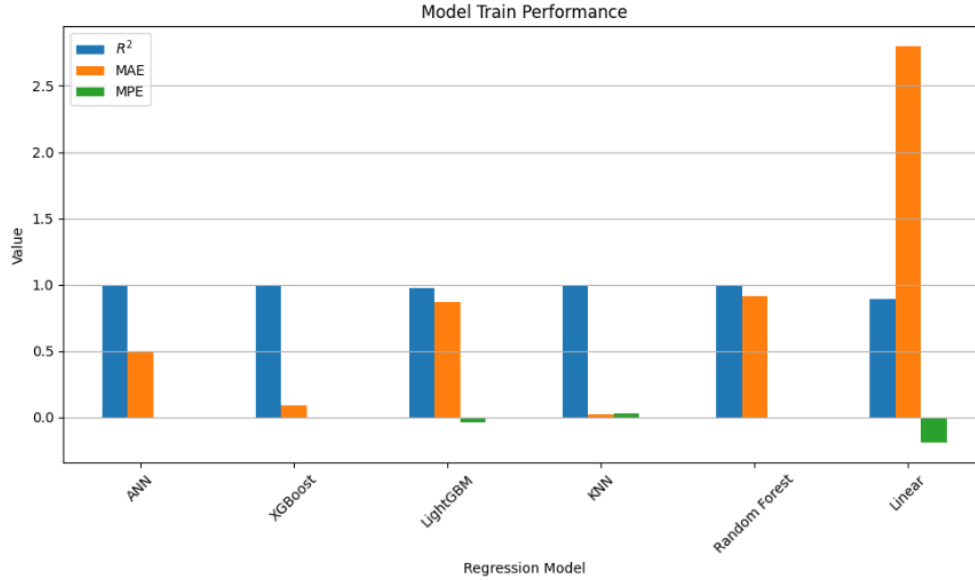
RF, XGB, KNN, LGBM, ANN, and LR machine learning methods are used to search optimum parameters which can represent best models. The splitting rates between the training and test datasets significantly change the model performances (Figure 4). MAE, MPE, and  $R^2$  values are obtained to test the models' accuracies using 20% testing and 80% training datasets (Figures 5 and 6).



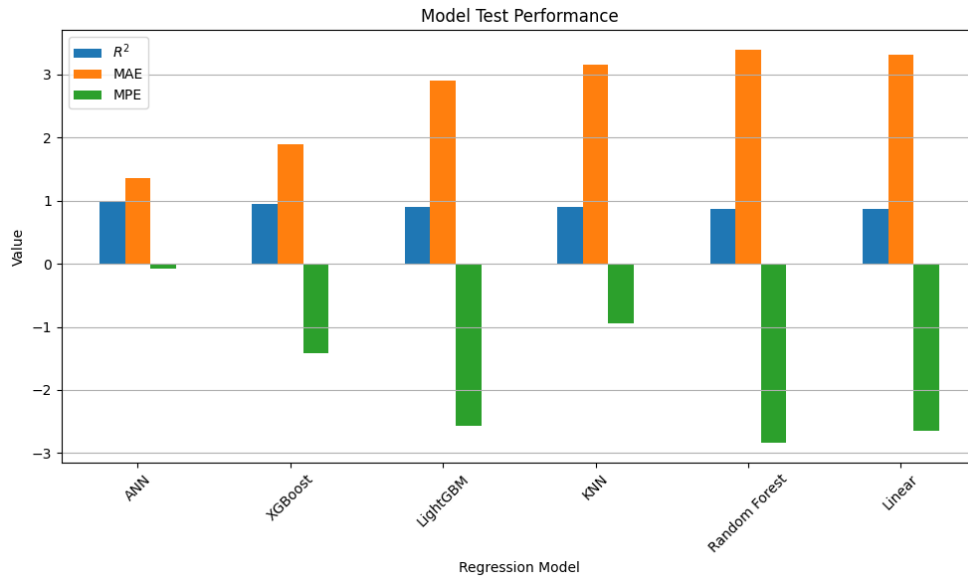
**Figure 4.** Model performances for different test data rates.

For the decision tree LGBM model, optimum parameters have been calculated as  $n\_estimators = 55$ ,  $boosting\_type = gbdt$ ,  $learning\_rate = 0.35$ ,  $num\_leaves = 23$ ,  $feature\_fraction = 0.8$ ,  $bagging\_fraction = 0.85$ ,  $max\_depth = 2$ , and  $min\_data\_in\_leaf = 1$ . The training and testing dataset give determination coefficients 0.978, and 0.897 respectively. Also, the method has a MAE of 0.87 in the training and 2.91 in

the testing dataset. MPE are -0.039% for the training dataset and -2.562% for the testing dataset. The training dataset has higher error rates than the testing dataset, but the error rates remain below 5%. Although the determination coefficient ( $R^2$  of testing data (0.897) is good it is significantly lower than that of training dataset This indicates that the method has a low degree of overfitting. The models with high learning capacity and low complexity represent more successful results.



**Figure 5.** The training data MAE, MPE, and  $R^2$  values obtained from the regression models.

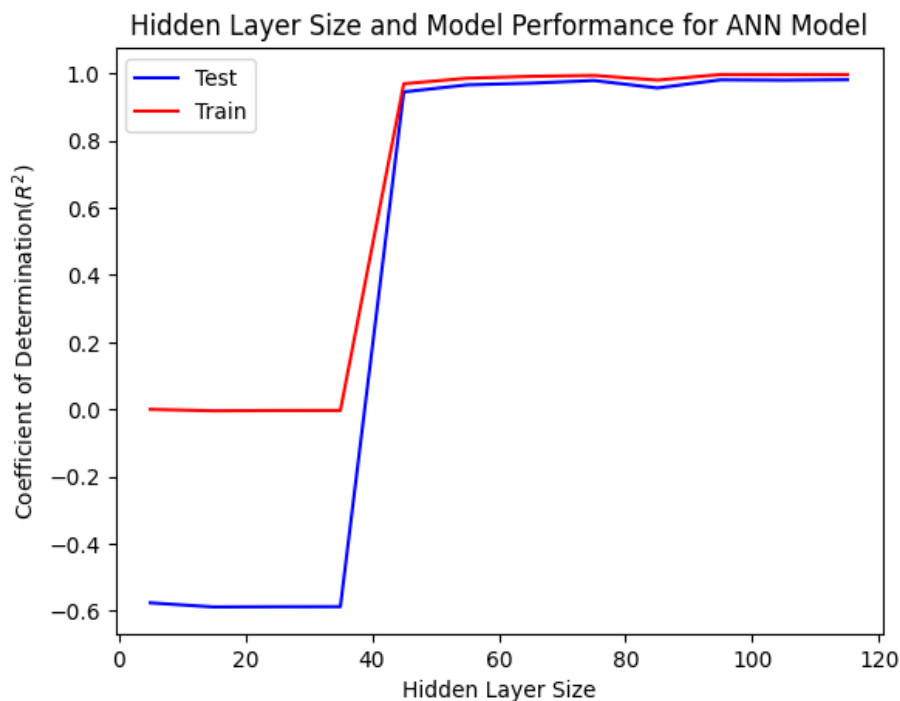


**Figure 6.** The testing data MAE, MPE, and  $R^2$  values obtained from the regression models.

For the KNN model, the lowest neighbors number gives the best results in searching parameters. For example,  $n\_neighbors=1, 2,$  and  $3$  provide  $0.999, 0.98,$  and  $0.92$  determination coefficients in the training dataset. Similarly, the determination coefficients in the testing dataset are  $0.895, 0.78,$  and  $0.65$  for the  $n\_neighbors=1, 2,$  and  $3$  respectively. The MAE and MPE values in the training dataset are  $0.024$  and  $0.029\%$ , whereas in the testing dataset, these values are  $3.164$  and  $-0.943\%$  respectively. As seen in the LGBM, the KNN model has a good  $R^2$  value of  $0.895$  in the testing dataset, but it ( $0.999$ ) is very high in the training dataset.

For the RF model, the maximum depth parameter (`max_depth`) has been obtained as 7 in optimum parameter searching. The training and testing dataset have 0.987 and 0.864 determination coefficients for this value. The MAE values are 0.933 and 3.500 for the training and testing datasets, respectively. As for the MPE, it is -0.182% for the training dataset and 3.048% for the testing dataset. As seen in LGBM and KNN, the error of the method increases significantly in the testing dataset, however these errors remain below 5%. The  $R^2$  values of the testing dataset (0.999) is lower significantly than that of the training dataset (0.895).

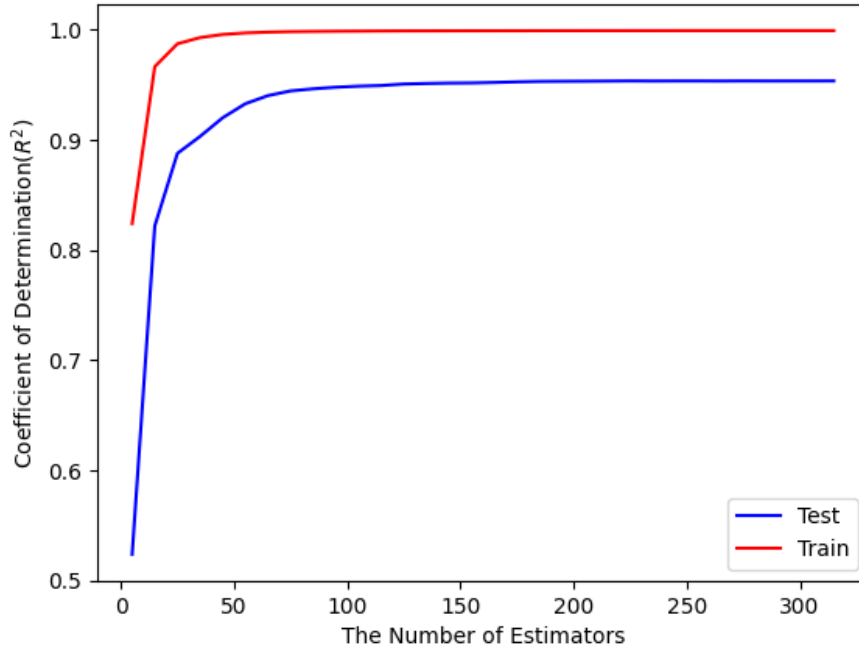
For the ANN model, the optimum parameters are detected as `hidden_layer_sizes = 75`, `activation = 'logistic'`, `solver = 'adam'`, `max_iter = 19000`, and `n_iter_no_change = 500`. As the hidden layer sizes increase, the performance of the model also increases (Figure 7). The model's performance increases with its complexity as different from the LGBM model. The training and testing  $R^2$  values are 0.99 and 0.98, respectively. The method has 0.646 MAE, -0.015% MPE in the training dataset and 1.398 MAE, -0.117% MPE in the testing dataset. The errors of the method do not show a significant difference compared to the used ML models. The model is robust, considering that the training and testing performances are similar.



**Figure 7.** Variations of the performance of the ANN model with hidden layer sizes.

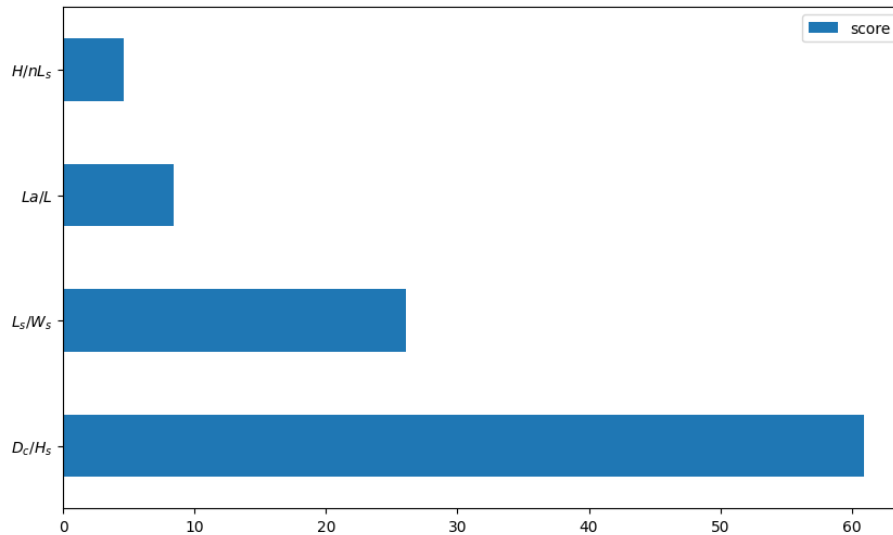
The XGB model gives the best results in low depths as the LGBM model. Optimum parameters for this model have been estimated as `max_depth = 2` and `n_estimators = 315`. The XGB model has high performance with 0.999 and 0.953  $R^2$  for the training and testing dataset performances. The model is robust for high estimator numbers in the aspect of  $R^2$  (Figure 8). The MAE and MPE is calculated as 0.094 and -0.001% in the training dataset and 1.903 and -1.41% for the testing dataset. The errors in the testing dataset are significantly higher than those of the training dataset, however, it remains below 5%. The  $R^2$  value of the testing dataset is importantly lower than that of the training dataset; however, they are at good levels (0.999 and 0.953).

For the LR model, the training and testing performances are similar. The  $R^2$  of the training and testing datasets are 0.89 and 0.86. Although the model's accuracy is lower than the other models, similar results for the training and testing performances show that the model is robust. The training dataset has a 2.797 MAE and -0.190% MPE, while the testing dataset has values of 3.315 MAE -2.65% MPE. The method shows a significant difference only in the MPE values, while the MPE and  $R^2$  values are approaching each other in the training and testing datasets.



**Figure 8.** Variations of the number of estimators and model performance for XGB model.

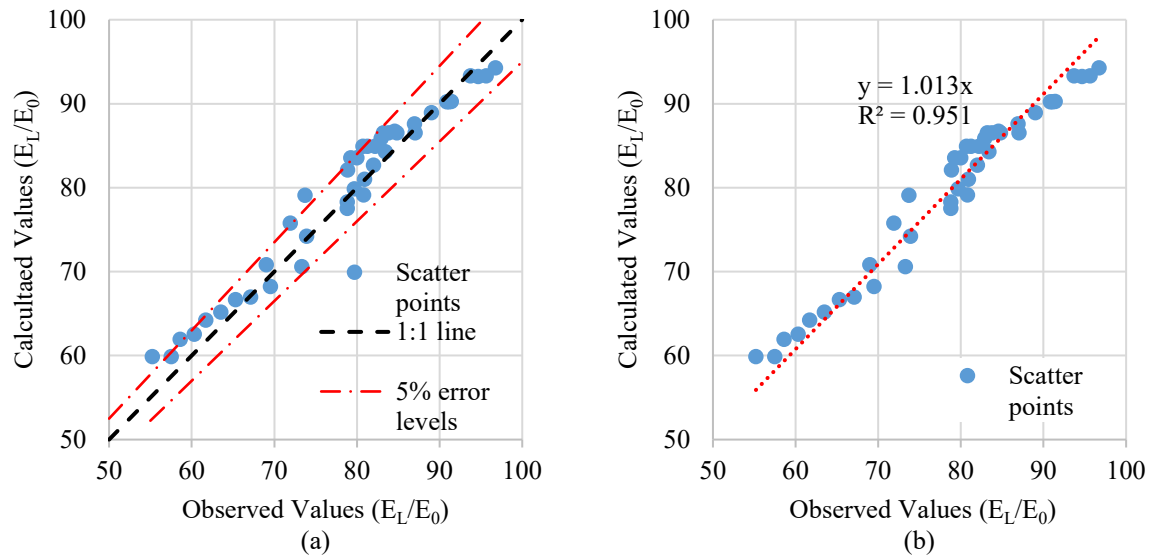
Additionally, the XGB model has been executed to identify important levels in the input parameters. The step height ratio parameter, defined as the critical depth to step height, ( $D_c/H_s$ ) is identified as the most effective parameter with importance percentage of 60.962% (Figure 9). The next most important parameter, step-top geometric ratio ( $L_s/W_s$ ), defined as the step length to step width, has an importance percentage of 26.062%. Additionally, the approach channel ratio parameter ( $L_a/L$ ), defined as the approach channel length to spillway length, and spillway angle parameter ( $H/n \cdot L_s$ ), defined as the spillway height to cumulative step length, have importance percentages of 8.389% and 4.586%, respectively.



**Figure 9.** The percentage of the input parameters obtained from the XGB model.

Moreover, an FL model was formed without using the training dataset. FL is not a black box, so the dataset enters fuzzy logic after the programming is finished and is free from training and testing series. Mamdani Inference System [46] provides a relationship between inputs and output parameters. FL yields fuzzy output sets and defuzzification provides crisp values, and the centroid method is used, which considers the center of the output set [47]. MAE and MPE are used to determine FLs efficiency on energy dissipation of stepped spillways. MAE and MPE values are calculated as 2.000 and -1.688%. The results can be accepted as a

good aspect of statistics. Also, observed and calculated energy dissipation values are plotted on graphs to visualize results (Fig. 10).



**Figure 10.** Membership functions of the parameters for design of stepped spillways.

In Fig. 10a, most of the scatter points, which give observed (calculated) energy values on the horizontal (vertical) axis, are in 5% error levels (red lines). This result shows that the error rate is less than some CFD results in the literature [8, 25, 48]. The determination coefficient between observed and calculated energy dissipation values is approximately 0.951 in Fig. 10b.

#### 4. CONCLUSION

Machine Learning methods, including RF, XGB, KNN, LGBM, ANN, and LR regression models yield  $R^2$  ranging from 0.976 (ANN) and 0.864 (LR) for the testing datasets. The FL model only uses testing datasets and has a higher  $R^2$  than the LGBM (0.897), KNN (0.896), RF (0.864), and LR (0.864) models in the testing dataset. As for the XGB model, it has similar MAE (1.903), MPE (-1.41%) and  $R^2$  (0.954) values to the FL model, which has MAE, MPE and  $R^2$  values of 2.000, -1.688%, and 0.951, respectively. The ANN produces the best results with  $R^2=0.976$ , MAE=1.398, and MPE=-0.117. However, the errors vary significantly depending on hidden layers, and the ratio of training to testing datasets. Moreover, like other ML models, it is a black-box model and is not based on physical rules. Furthermore, the two new parameters introduced in this study, defined as the approach channel and step-top geometric ratios have importance percentages of 26.062% and 8.389%, respectively.

Unlike ML models that rely on training and testing processes to evaluate complex flow events in stepped spillways, the fuzzy inference system may gain a physical basis using rule bases associated with examined problems. The accuracy of ML methods varies depending on the ratio of data sets divided into training and test data sets. The Fuzzy Inference System (FIS) is independent from the dataset and constructed with fuzzy rules. This represents its effectiveness and priority. The FIS model can be used safely and allows us to calculate the energy dissipation on stepped spillways quickly. The function (endistepway) produced in this study can calculate energy dissipation ratios with low MPE (-1.69) and MAE (2.00) ratios. It does not need advanced computers like computational fluid dynamics programs and has short processing times. It also has open-source codes and can be easily accessed and safely used to calculate the energy dissipation on stepped spillways. This situation enables engineers to model stepped spillways efficiently from economic and technical aspects. Unfortunately, floods continue to increase significantly with the negative effects of climate change [49]. Efficiently designed spillways play an important role in discharging floods from dam reservoirs, which cause great economic and loss of life.

## ACKNOWLEDGMENTS

The first version of this study was published as a preprint.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest in this study.

## AUTHOR STATEMENT

All authors contributed to the study conception and design. Data collection and analysis were performed by **Sadık Alashan** and **Eyyüp Ensar Yalçın**. The machine learning part was performed by **Sedat Golgiyaz**. The first draft of the manuscript was written by **Erdinç İkinciogullari** and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved of the final manuscript.

## DATA AVAILABILITY

The datasets used during the current study have been provided from literature studies (Felder, Fromm, et al., 2012; Felder, Guenther, et al., 2012; Irzooki, Rasheed Mohammed, & Ameen, 2016)

## REFERENCES

- [1] Chanson, H. (2000). Forum article. Hydraulics of Stepped Spillways: Current Status. *Jl Hyd Engrg*, ASCE, 126.
- [2] Chanson H. (2004). Drag reduction in skimming flow on stepped spillways by aeration. *J Hydraul Res*, 42:316–22. <https://doi.org/10.1080/00221686.2004.9728397>.
- [3] Berkün, M. (2007) *Su Yapıları*. Birsen Yayınevi [in Turkish].
- [4] Boes, RM., Chanson, H., Matos, J., Ohtsu, I., Yasuda, Y., Takahasi, M. (2000). Characteristics of Skimming Flow over Stepped Spillways. *J Hydraul Eng*, 126:860–73. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2000\)126:11\(860\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2000)126:11(860)).
- [5] Boes, RM., Hager, WH. (2003). Hydraulic Design of Stepped Spillways. *J Hydraul Eng*, 129:671–9. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2003\)129:9\(671\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2003)129:9(671)).
- [6] Chanson, H. (1993). Stepped spillway flows and air entrainment. *Can J Civ Eng*, 20:422–35. <https://doi.org/10.1139/193-057>.
- [7] Chanson, H. (1998). *Review of studies on stepped channel flows*. Work Flow Charact around Hydraul Struct River Environ, 25.
- [8] Bai, ZL., Peng, Y., Zhang, JM. (2017). Three-Dimensional Turbulence Simulation of Flow in a V-Shaped Stepped Spillway. *J Hydraul Eng*, 143:06017011. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001328](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001328).
- [9] Felder, S., Chanson, H. (2014). Effects of Step Pool Porosity upon Flow Aeration and Energy Dissipation on Pooled Stepped Spillways. *J Hydraul Eng*, 140:04014002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000858](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000858).
- [10] Zare, HK., Doering, JC. (2012). Effect of rounding edges of stepped spillways on the flow characteristics. *Can J Civ Eng*, 39:140–53. <https://doi.org/10.1139/L11-121>.
- [11] Zhang, G, Chanson, H. (2018). Effects of Step and Cavity Shapes on Aeration and Energy Dissipation Performances of Stepped Chutes. *J Hydraul Eng*, 144:04018060. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001505](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001505).
- [12] Zhou, Y., Wu, J., Ma, F., Hu, J. (2020). Uniform flow and energy dissipation of hydraulic-jump-stepped spillways. *Water Sci Technol Water Supply*, 20:1546–53. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.056>.
- [13] Felder, S., Fromm, C., Chanson, H. (2012) *The University of Queensland Report Ch86/12 Air Entrainment And Energy Dissipation On A 8.9° Slope Stepped Spillway with Flat and Pooled Steps*. School of Civil Engineering.
- [14] Felder, S., Guenther, P., Chanson, H. (2012). *The University of Queensland Report CH87/12 Air-water flow properties and energy dissipation on stepped spillways: a physical study of several*



- pooled stepped configurations*. School of Civil Engineering.
- [15] Mero, S., Mitchell, S. (2017). Investigation of energy dissipation and flow regime over various forms of stepped spillways. *Water Environ J*, 31:127–37. <https://doi.org/10.1111/wej.12224>.
- [16] Peyras, L., Royet, P., Degoutte, G. (1992). Flow and Energy Dissipation over Stepped Gabion Weirs. *J Hydraul Eng*, 118:707–17. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1992\)118:5\(707\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1992)118:5(707)).
- [17] Rice, CE., Kadavy, KC. (1996). Model Study of a Roller Compacted Concrete Stepped Spillway. *J Hydraul Eng*, 122:292–7. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1996\)122:6\(292\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1996)122:6(292)).
- [18] Torabi, H., Parsaie, A., Yonesi, H., Mozafari, E. (2018). Energy Dissipation on Rough Stepped Spillways. *Iran J Sci Technol - Trans Civ Eng*, 42:325–30. <https://doi.org/10.1007/s40996-018-0092-5>.
- [19] Wu, J., Qian, S., Wang, Y., Zhou, Y. (2020). Residual Energy on Ski-Jump-Step and Stepped Spillways with Various Step Configurations. *J Hydraul Eng*, 146:06020002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001710](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001710).
- [20] Zare, HK., Doering, JC. (2012). Inception Point of Air Entrainment and Training Wall Characteristics of Baffles and Sills on Stepped Spillways. *J Hydraul Eng*, 138:1119–24. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000630](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000630).
- [21] Ashoor, A., Riazi, A. (2019). Stepped Spillways and Energy Dissipation: A Non-Uniform Step Length Approach. *Appl Sci*, 9:5071. <https://doi.org/10.3390/app9235071>.
- [22] De Carvalho, RF., Amador, AT. (2009). Physical and numerical investigation of the skimming flow over a stepped spillway. *Adv Water Resour Hydraul Eng - Proc 16th IAHR-APD Congr 3rd Symp IAHR-ISHS*, 1767–72. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-89465-0\\_304/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89465-0_304/COVER).
- [23] Tabbara, M., Chatila, J., Awwad, R. (2005). Computational simulation of flow over stepped spillways. *Comput Struct*, 83:2215–24. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2005.04.005>.
- [24] Yalcin, EE., İkinciogullari, E., Kaya, N. (2023). Comparison of Turbulence Methods for a Stepped Spillway Using Computational Fluid Dynamics. *Iran J Sci Technol - Trans Civ Eng*, 47:3895–911. <https://doi.org/10.1007/S40996-023-01127-5/FIGURES/14>.
- [25] Ghaderi, A., Abbasi, S., Abraham, J., Azamathulla, HM. (2020). Efficiency of Trapezoidal Labyrinth Shaped stepped spillways. *Flow Meas Instrum*, 72:101711. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101711>.
- [26] Ghaderi, A., Abbasi, S., Di Francesco, S. (2021). Numerical Study on the Hydraulic Properties of Flow over Different Pooled Stepped Spillways. *Water*, 13:710. <https://doi.org/10.3390/w13050710>.
- [27] İkinciogullari, E. (2023). Stepped spillway design for energy dissipation. *Water Supply*, 23:749–63. <https://doi.org/10.2166/WS.2023.016>.
- [28] İkinciogullari, E. (2023). A novel design for stepped spillway using staggered labyrinth trapezoidal steps. *Flow Meas Instrum*, 93:102439. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2023.102439>.
- [29] İkinciogullari, E. (2023). Energy dissipation performance of the trapezoidal stepped spillway. *J Eng Res*, 11(2A). <https://doi.org/10.36909/JER.13649>.
- [30] İkinciogullari, E. (2024). Energy dissipation performance of labyrinth and harmonic stepped spillways. *J Hydroinformatics*. <https://doi.org/10.2166/HYDRO.2024.221>.
- [31] Mohammad, M., Tabari, R., Tavakoli, S. (2016). Effects of Stepped Spillway Geometry on Flow Pattern and Energy Dissipation. *Arab J Sci Eng*, 41:1215–24. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1874-8>.
- [32] Reeve, DE., Zuhaira, AA., Karunarathna, H. (2019). Computational investigation of hydraulic performance variation with geometry in gabion stepped spillways. *Water Sci Eng*, 12:62–72. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.04.002>.
- [33] Korkut, O., Demirel, S., Taşar, B., Kaya, YZ. (2023). Adana İli Referans Evapotranspirasyon Miktarının Bulanık Smrgt, Anfis ve Çoklu Doğrusal Regresyon Kullanılarak Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Derg*, 6:106–20. <https://doi.org/10.47495/OKUFBED.1079066>.
- [34] Üneş, F., Taşar, B., Demirci, M., Zelenakova, M., Kaya, YZ., Varçin, H. (2021). Daily Suspended Sediment Prediction Using Seasonal Time Series and Artificial Intelligence Techniques. *Rocz Ochr Śr*, 23:117–37. <https://doi.org/10.54740/ROS.2021.008>.
- [35] Salmasi, F., Özger, M. (2014). Neuro-Fuzzy Approach for Estimating Energy Dissipation in Skimming Flow over Stepped Spillways. *Arab J Sci Eng*, 39:6099–108. <https://doi.org/10.1007/S13369-014-1240-2/METRICS>.

- [36] Roushangar, K., Akhgar, S., Salmasi, F., Shiri, J. (2016). Neural networks- and neuro-fuzzy-based determination of influential parameters on energy dissipation over stepped spillways under nappe flow regime. <https://doi.org/10.1080/09715010.2016.1235472>.
- [37] Mojtahedi, A., Soori, N., Mohammadian, M. (2020). Energy dissipation evaluation for stepped spillway using a fuzzy inference system. *SN Appl Sci*, 2:1–13. <https://doi.org/10.1007/S42452-020-03258-0/>
- [38] Irzooki, RH., Rasheed Mohammed, J., Ameen, AS. (2016). Computational Fluid Dynamics Modeling of Flow over Stepped Spillway. *J Eng Sci*, 23:1–11.
- [39] Geurts, P., Ernst, D., Wehenkel, L. (2006). Extremely randomized trees. *Mach Learn*. <https://doi.org/10.1007/s10994-006-6226-1>.
- [40] Chen, T., Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proc. ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min*. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>.
- [41] Kaya, H., Guler, E., Kırmacı, V. (2023). Prediction of temperature separation of a nitrogen-driven vortex tube with linear, kNN, SVM, and RF regression models. *Neural Comput Appl*. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-08030-6>.
- [42] Bakır, R., Orak, C., Yüksel, A. (2024). Optimizing hydrogen evolution prediction: A unified approach using random forests, lightGBM, and Bagging Regressor ensemble model. *Int J Hydrogen Energy*, 67:101–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.173>.
- [43] Golgiyaz, S., Celtek, MS., Daskin, M., Talu, MF., Onat, C. (2023). Flame stability measurement through image moments and texture analysis. *Meas Sci Technol*. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/acb001>.
- [44] Zadeh L. A. (1967). Fuzzy sets. *Inf Control*, 8:38–53.
- [45] Singh, S., Singh, S., Banga, VK. (2020). Design of fuzzy logic system framework using evolutionary techniques. *Soft Comput*, 24:4455–68. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04207-9>.
- [46] Mamdani, EH., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int J Man Mach Stud*. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2).
- [47] Şen Z. (2009). Fuzzy logic and hydrological modeling.
- [48] Li, S., Zhang, J., Xu, W. (2018). Numerical investigation of air–water flow properties over steep flat and pooled stepped spillways. *J Hydraul Res*, 56:1–14. <https://doi.org/10.1080/00221686.2017.1286393>.
- [49] Alashan, S. (2020) Innovative Trend Analysis Methodology in Logarithmic Axis. *Konjes* 2020;8:573–85. <https://doi.org/doi:10.36306/konjes.668212>.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

### Proje Yönetim Üzerine Yazılan Lisansüstü Tezlerinin Bibliyometrik Analizi

*Bibliometric Analysis of Postgraduate Theses Written On Project Management*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Yunus AYDIN<sup>1</sup>, Mehmet PINARBAŞI<sup>2</sup>, Tamer EREN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0003-0652-2136

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0003-3424-2967

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0001-5282-3138

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Aydın Y., Pınarbaşı M., Eren T., “Proje Yönetim Üzerine Yazılan Lisansüstü Tezlerinin Bibliyometrik Analizi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 10(1): 51-64, (2025).

DOI: 10.46578/humder.1628386



## Proje Yönetim Üzerine Yazılan Lisansüstü Tezlerinin Bibliyometrik Analizi

Yunus AYDIN<sup>1</sup> , Mehmet PINARBAŞI<sup>2</sup> , Tamer EREN<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> TÜBİTAK SAGE, Kümeveleri No:1, 06470, Mamak/ANKARA

<sup>2</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71000, Yahşihan/KIRIKKALE,

### Makale Bilgisi

Başvuru: 28/01/2025  
Düzeltilme: 08/02/2025  
Kabul: 19/02/2025  
Yayınlanma: 31/03/2025

### Alıntı

Aydın Y., Pınarbaşı M., Eren T., "Proje Yönetim Üzerine Yazılan Lisansüstü Tezlerinin Bibliyometrik Analizi", Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 10(1): 51-64, (2025).

### Öz

Organizasyonel hedefleri geliştirmeye yönelik bir strateji olarak proje yönetiminin artan kullanımı, son yıllarda önemli bir trend olarak ortaya çıktı ve 2000'li yılların sonlarında ivme kazandı. Ancak, bu alanın akademik bağlamda daha kapsamlı bir şekilde ele alınarak mevcut eğilimlerin, zorlukların ve gelişim alanlarının daha derinlemesine incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, proje yönetiminde mevcut durumun daha iyi anlaşılması için alanın mevcut durumunun ölçülmesini amaçlamaktadır. Ulusal Tez Merkezi'nden "proje yönetimi" konusunda derlenen 141 yüksek lisans ve doktora tezi kullanılarak bibliyometrik analiz yapılmıştır. Bu çalışma, proje yönetimi konusunun 2013 yılından 2024 yılına kadar son on yılda geçirdiği evrimi kapsamaktadır. Tezler yazıldığı üniversiteler, danışmanlar, en sık kullanılan anahtar kelimeler, çalışma yapılan sektörler, tezlerin yapıldığı enstitüler, ana bilim dalları, yöntemler, üniversitenin türü açısından incelenmiştir. Bu araştırma, Türkiye'de proje yönetimi alanında yapılacak akademik çalışmalara kaynak teşkil edebilecek analizler sunmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, proje yönetimi alanında henüz ele alınmamış konuların daha derinlemesine incelenmesine katkı sağlamak amacıyla diğer araştırmacılar tarafından kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Proje Yönetimi, Bibliyometrik Analiz, Lisansüstü Tezler

## Bibliometric Analysis of Postgraduate Theses Written On Project Management

### Article Information

Received: 28/01/2025  
Revised: 08/02/2025  
Accepted: 19/02/2025  
Published: 31/03/2025

### Citation

Aydın Y., Pınarbaşı M., Eren T., "Bibliometric Analysis of Postgraduate Theses Written On Project Management", Harran University Journal of Engineering, 10(1): 51-64, (2025).

### Abstract

The increasing use of project management as a strategy to improve organizational goals has emerged as a significant trend in recent years and gained momentum in the late 2000s. However, this field needs to be addressed more comprehensively in the academic context and current trends, challenges and development areas need to be examined in more depth. This study aims to measure the current status of the field in order to better understand the current situation in project management. A bibliometric analysis was conducted using 141 master's and doctoral theses on "project management" compiled from the National Thesis Center. This study covers the evolution of the project management subject in the last decade from 2013 to 2024. Theses were examined in terms of universities where they were written, consultants, most frequently used keywords, sectors where studies were conducted, institutes where theses were written, main branches of science, methods and type of university. This research provides analyses that can constitute a source for academic studies to be conducted in the field of project management in Turkey. The findings obtained from this study can be used by other researchers in order to contribute to a more in-depth examination of topics that have not yet been addressed in the field of project management.

**Keywords:** Project Management, Bibliometric Analysis, Postgraduate Theses

\*İletişim yazarı, e-mail: tamereren@gmail.com

\*Corresponding author, e-mail: tamereren@gmail.com

DOI: 10.46578/humder.1628386

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Proje Yönetimi, belirlenen amacı/amaçları gerçekleştirebilmek adına sahip olunan kaynakların tasarlanması, düzenlenmesi, harekete geçirilmesi ve denetlenmesi sürecidir. Proje yönetimi, özellikle karmaşık ve büyük ölçekli projelerde, zaman ve maliyet yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, proje yönetimi konusundaki literatürün bibliyometrik analizi yapılacaktır.

Bibliyometri, bilimsel tabanda yazılan kitap, makale ve diğer yayınların analizinde istatistiksel metotların kullanılmasına dayanan bir disiplindir. Bu yöntemler, özellikle kütüphane ve bilgi bilimi alanlarında yaygın olarak uygulanmaktadır. Bibliyometri, spesifik bir zaman periyodundaki bilimsel yayınları incelerken, aynı zamanda bir çalışmanın sonraki araştırmalara olan etkisini de değerlendirmektedir [1].

Uzun zamandır kullanılan proje yönetimi teknikleri, günümüzde giderek daha fazla alanda uygulanmakta ve teorik gelişmelerle de desteklenmektedir. 20. yüzyılın ortalarına kadar çoğunlukla inşaat projelerinde kullanılan proje yönetimi kavramı, bugün gelişen ve büyüyen kuruluşların rutin dışı işlerini daha planlı bir şekilde yönetmek için başvurduğu bir yöntem haline gelmiştir [2].

Proje yönetimi, projenin ihtiyaçlarını karşılamak için bilgi, beceri ve yöntemlerin proje faaliyetlerine uygun bir yöntemle uygulanması ve entegre edilmesidir. Proje yönetimi, ekiplerin projeleri etkili bir şekilde yürütmelerine olanak tanır [3].

Bu çalışmanın temel amacı, proje yönetimi alanında gerçekleştirilen akademik tezlerin bibliyometrik yöntemlerle analiz edilerek mevcut araştırma eğilimlerinin, odak alanlarının ve metodolojik yaklaşımlarının ortaya konulmasıdır. Bu analizler aracılığıyla, proje yönetimi konusundaki akademik birikimin sistematik bir şekilde değerlendirilmesi ve gelecekte yapılacak araştırmalara yol gösterici veriler sunulması hedeflenmektedir. Ayrıca, tezlerde ele alınan konuların dağılımı, kullanılan yöntemler ve proje yönetimi uygulamalarındaki eğilimlerin belirlenmesiyle, alanın gelişim dinamikleri hakkında kapsamlı bir çerçeve sunulması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada Ulusal Tez Merkezi'nde yer alan, tez başlığında "proje yönetimi" ifadesini barındıran yüksek lisans ve doktora tezleri bibliyometrik olarak analiz edilmiştir. Araştırma iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk kısım, tezler danışman hocaları, bağlı oldukları üniversiteler, tez türleri, yazıldıkları yıllar, bağlı oldukları enstitüler, tez türlerine göre ve kullanılan anahtar kelimelere göre sınıflandırılarak ele alınmıştır. İkinci kısımda ise, tezlerin ait olduğu ana bilim dallarıyla birlikte hangi proje yönetimi konularını kapsadığı, tezlerde benimsenen proje yönetimi yaklaşımları, proje yönetimi uygulama alanları ve bu alanlara göre kullanılan teknikler, gelecek araştırmalar için rehber niteliğinde incelenmiştir.

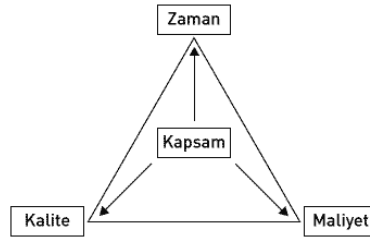
Proje yönetimi alanındaki çalışmaların farklı dönemlerde kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi, bu alandaki güncel eğilimlerin ve çalışma alanlarının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Ulusal Tez veri tabanında 2013-2024 yılları arasında yayınlanan 141 yüksek lisans ve doktora tezini çeşitli açılardan analiz etmeyi amaçlamaktadır. Literatürde, proje yönetimi çalışmalarına odaklanan araştırmalar genellikle tek bir konu alanını veya belirli bir bilimsel dergiyi ele almaktadır. Birden fazla tezi karşılaştırmalı olarak inceleyen çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu araştırmada, 141 farklı yüksek lisans ve doktora tezi yöntem, desen, örneklem grubu ve veri toplama aracı gibi çeşitli değişkenler açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, güncel proje yönetimi çalışmalarına odaklanan araştırma sayısının da sınırlı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, proje yönetimi konusundaki tezleri farklı değişkenler açısından incelemeyi hedefleyen bu çalışmanın literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada giriş bölümünü takiben beş ana bölüm halinde bir yapı sunulmaktadır: İlk olarak, okuyucuları proje yönetimi konusuyula bağlandırmayı amaçlayan teorik bir inceleme yapılmıştır. İkinci adım, bibliyometrik analiz kapsamında bilgi sunmaktadır. Üçüncü adım yöntem hakkında bilgi vermektedir. Dördüncü adım proje yönetimi konusunda yapılan bibliyometrik araştırma sonuçlarının sunulmasından oluşmaktadır. Son olarak, bibliyometrik araştırmanın sonuçları ve değerlendirme kısmı yer almaktadır.

## 2. PROJE YÖNETİMİ (PROJECT MANAGEMENT)

Proje yönetimi başarısına ilişkin değerlendirmeler yapıldığında pek çok farklı yaklaşımı bulmak ve kullanmak mümkündür. En geleneksel yaklaşımlardan biri demir üçgen yaklaşımıdır. Birlikte yönetilmesi gereken üç ana unsurun projeleri karakterize ettiğini doğruluyor: kapsam, maliyet ve zaman [4].

Bir projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için genel kabul görmüş olan proje yönetimi, Şekil 1'de de gösterilen ve altın üçgen olarak adlandırılan zaman, kapsam ve maliyet olmak üzere üç temel kısıta sahiptir. Müşteri veya sponsorun beklediği şekilde sonuçlanmasını arzuladığı, ürün çalışmasının ortaya çıktığı kapsam kısıtı; proje için gereken sürenin belirlendiği zaman kısıtı; projeyi tamamlamak için gereken maliyetlerin belirlenip, planlanan şekilde beklenen sonuçlara ulaşmasını sağlayacak şekilde yönetilmesi, projenin kalitesini ve proje ekibine duyulan güveni artıracaktır [5].



Şekil 1. Proje Yönetimi Üçgeni

Proje yönetiminin, bu muazzam piramitleri inşa etmek için malzemeler ve insan gücü gibi birçok kaynağın kullanıldığı bir proje gerektirmiş olması sebebiyle, Büyük Piramitler kadar eski olduğunu ifade etmek yanlış olmaz. Proje Yönetimi Enstitüsü (PMI) bir projeyi “belirli bir ürün, hizmet ya da sonuç yaratmak amacıyla yapılan geçici bir girişim” olarak tanımlar ve “proje yönetimini, proje gereksinimlerini karşılamak amacıyla bilgi, yetenek, araçlar ve tekniklerin uygulanması” olarak tanımlar [6].

Proje Yönetiminde ilk olarak proje yöneticisi seçimi yapılır. Sektörel olarak bakıldığında özellikle savunma sanayi projelerinde gizlilik ve güvenlik kritik seviyede olduğu için projeye atanacak sorumlunun bu hassasiyetler temel alınarak yapılması çok önem arz etmektedir [7].

Bu seçim işlemleri yapılırken çeşitli yöntemlerde ele alınmaktadır. Proje yöneticisi seçiminden projede çalışacak personel ve seçime tabi olan birçok alanda özellikle Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır [8].

Bu seçimlerde kullanılacak kriterlerin belirli veya belirsiz olma durumlarına göre kullanılan yöntemlerde değişebilmektedir. Proje yönetiminde ele alınan birden fazla konu belirsizlik içermektedir. Özellikle bütçe ve müşteri kaynaklı belirsizlikler projede zamansal uzamlara ve bütçe aşımına sebep olmaktadır. Bundan dolayı modelleme yapılırken sözel durumların sayısal ortama dönüştürülmesi konusunda bulanık yöntemler kullanılması (Fuzzy AHP gibi) tercih edilir [9].

Proje yönetiminde ilk adım, başlatma sürecidir. Başlatma sürecinin ardından gelen planlama süreci, uygulama sürecine geçişle devam eder. Proje uygulama sürecinin ardından ise izleme ve kontrol süreci devreye girer. İzleme ve kontrol sürecinden elde edilen sonuçlar, planlama ve uygulama aşamalarındaki verilerin uygulanabilirliğini doğruladığı takdirde, süreç devam eder. Proje yönetiminin başarıyla sürdürülmesi için her aşamada kontrol sürecinin olması gereklidir. Son aşamada ise projede tutarlılık ve uygulanabilirlik sağlandığı durumlarda kapanış sürecine geçilerek proje tamamlanır. Proje yönetiminin aşamaları şu şekilde sıralanabilir [10].

Proje başlatma, başlangıç ve bitiş zamanlarının belirli olduğu faaliyetlerin tamamını doğru ve sistematik bir şekilde tanımlamak, proje yönetimi açısından oldukça önemlidir. Zaman aralığı belirli olan faaliyetlerin başlatma süreci için onaylanması, yeni bir proje veya aşama için onay olarak tanımlanması amacıyla yürütülen tüm faaliyetler olarak ifade edilir. Bir sonraki aşama olan planlama, projede bitiş zamanının

belirli olması ve çoğunlukla insan kaynaklarının kendi fonksiyonel bölümlerinde görev yapıyor olmaları, detaylı bir planlama aşamasını zorunlu kılmaktadır. Projeler genellikle süre ve maliyet açısından aşma eğiliminde olduklarından, başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için etkin bir planlama süreci oldukça önemlidir. Projede gerçekleştirilmesi beklenen hedeflere ulaşmak amacıyla, proje planında tanımlanan işleri tamamlamak üzere yürütülen tüm aşamalar, yürütme ve uygulama süreci olarak adlandırılır. Planlamanın kabul edilmesiyle birlikte belirlenen proje faaliyetleri için uygulama sürecine geçilmiş olur. Bu izleme ve kontrol süreci, ilerleyişin ve performansın izlenmesi, gerekli düzenlemelerin yapılması, planlamada gerekli değişikliklerin belirlenmesi ve bu değişikliklerin uygulanması gibi tüm süreçleri kapsar. Projede tüm faaliyetlerin sonuçlandırılması amacıyla yürütülen tüm aşamalar, projenin kapanış süreci olarak tanımlanır.

## 2. BİBLİYOMETRİK ANALİZ (BIBLIOMETRIC ANALYSIS)

Bibliyometrik analiz, bireysel araştırmacıları, araştırma ekiplerini, ülkeleri, kuruluşları veya dergilerin etkisini değerlendirmeye yarayan hem nitel hem de nicel analiz tekniklerinden biridir. Bu yöntem, bilimsel bilginin gelişimini kavramak, araştırma eğilimlerini tespit etmek ve bilimsel iletişimin ilerleyişini izlemek için değerli bir araçtır [11].

Bibliyometri, özellikle bilimsel kitaplar, makaleler ve diğer çalışmaların analizinde istatistiksel tekniklerin kullanılmasına dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemler, kütüphanecilik ve bilgi yönetimi alanında yaygın olarak uygulanmaktadır. Bibliyometrik analiz, belirli bir dönem diliminde yapılan akademik çalışmaların araştırdığı gibi, bir çalışmanın sonrasında gerçekleştirilen araştırmaları hangi ölçüde etkilediğini de göstermektedir [1].

Bibliyometri, temelinde sayısal verilerin incelenmesine dayanan bir araştırma alanı olarak tanımlanmaktadır. Bibliyometrik araştırmalar, belirli niteliklere sahip dokümanların veya yayınların incelenmesine dayanır ve bilimsel iletişimle ilgili farklı sonuçların elde edilmesine olanak tanır [12].

Başka bir deyişle, bibliyometrik analiz, belirli konularda yazılmış bilimsel çalışmaların özelliklerini ve atıf durumlarını inceleyen niceliksel bir yöntemdir. Bibliyometrik analiz, çalışılan konu hakkında araştırmacılara ayrıntılı bilgi sunmasıyla dikkat çeken bir özelliğe sahiptir [13].

Çalışmanın amacı, Türkiye'de proje yönetimi alanında gerçekleştirilen akademik çalışmalarını inceleyerek, bu alandaki araştırmalara rehberlik edebilecek analizler sunmaktır. Bu bağlamda, bilimsel araştırmalarda proje yönetimi konusunda derinlemesine bilgi edinmeyi sağlayacak kaynakların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bu çalışma, araştırmacıların proje yönetimindeki gelişmeleri öngörebilmeleri ve 2013-2024 yılları arasında bu alanda yapılmış olan çalışmaların durumunu ve eğilimlerini değerlendirmeleri için bir zemin oluşturmayı hedeflemektedir.

Bu bibliyometrik analiz, araştırmacılara "proje yönetimi" alanında yazılmış tezlerin temel niteliklerine dair geniş bir bakış açısı kazandıracaktır. Ayrıca, sunulan bilgiler, "proje yönetimi" alanındaki araştırma ilerlemelerini daha net bir biçimde ortaya koyarak, araştırmacılara yazar, tez, ülke, kurum, kaynakça ve araştırma konularından elde edilen başlıca bilgileri sunmada yardımcı olacaktır.

## 3. YÖNTEM (METHOD)

Bu araştırmada, Türkiye'de proje yönetimi konusunda hazırlanmış yükseköğretim (yüksek lisans ve doktora) tezlerinin bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir. Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi (YÖK Tez Merkezi) veri tabanı kullanılarak "Proje Yönetimi" anahtar kelimesi ve "Tez Adı" ile yapılan taramada, 2013 ve 2024 yılları arasında toplamda 146 tez tespit edilmiştir. Ancak, tam metnine erişilemeyen 5 tez dışlanmış ve sonuç olarak 141 tez analiz kapsamına alınmıştır.

Çalışmada farklı bir dışlama veya dahil etme kriteri uygulanmamış, yalnızca tam metne erişilemeyen tezler değerlendirme dışında bırakılmıştır. Analiz kapsamında tezler; danışman akademik unvanları, üniversiteler, enstitüler, tez türü (yüksek lisans/doktora), tez dili (Türkçe/İngilizce), yıllara göre dağılım, kullanılan

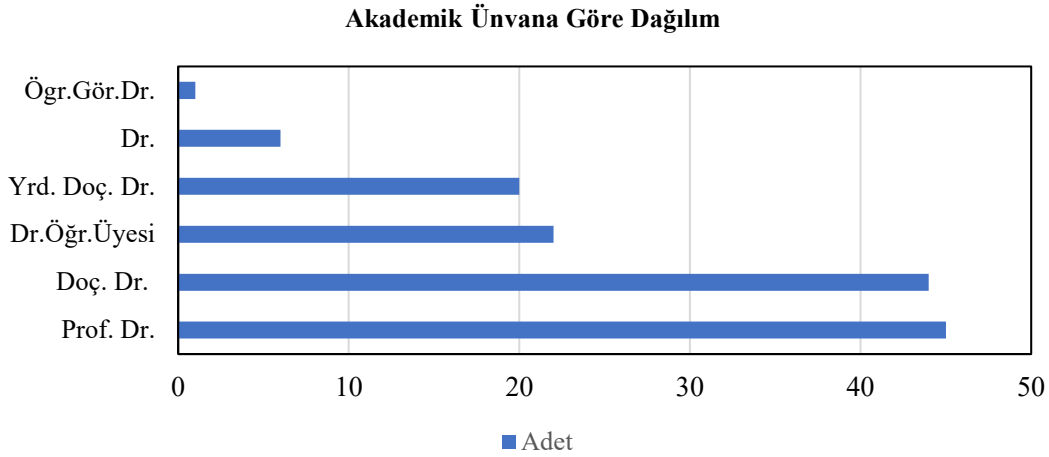
araştırma yöntemleri, ele alınan proje yönetimi konuları, uygulama yapılan sektörler, ana bilim dalları ve kullanılan anahtar kelimeler gibi kriterlere göre sınıflandırılmıştır. Veriler temizleme ve düzenleme işlemlerine tabi tutulmuş, yinelenen kayıtlar çıkarılmış ve eksik veriler mümkün olduğunca tamamlanmıştır.

Bibliyometrik analiz için Excel kullanılmış ve proje yönetimi alanında en çok çalışma yapan danışmanların akademik unvanları analiz edilerek karşılaştırılmış, tezlerde en sık kullanılan anahtar kelimeler belirlenerek anahtar kelime bulutu oluşturulmuş ve tezlerin dağılımları grafikler ve tablolar yardımıyla görselleştirilmiştir. Çalışmanın sınırlamaları arasında, yalnızca Türkiye’de yayımlanan tezlerin analiz edilmesi ve sadece belirli yıllar arasında yayımlanan tezlerin değerlendirilmiş olması yer almaktadır. Bu nedenle uluslararası literatürdeki çalışmalar bu çalışmaya dahil edilmemiştir.

#### 4. BULGULAR (FINDINGS)

Çalışmanın bu kısmında, "Proje Yönetimi" anahtar kelimesi kullanılarak yapılan araştırma sonucunda erişilen yüksek lisans ve doktora tezleri ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Tezler, belirli gruplara ayrılarak araştırma soruları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

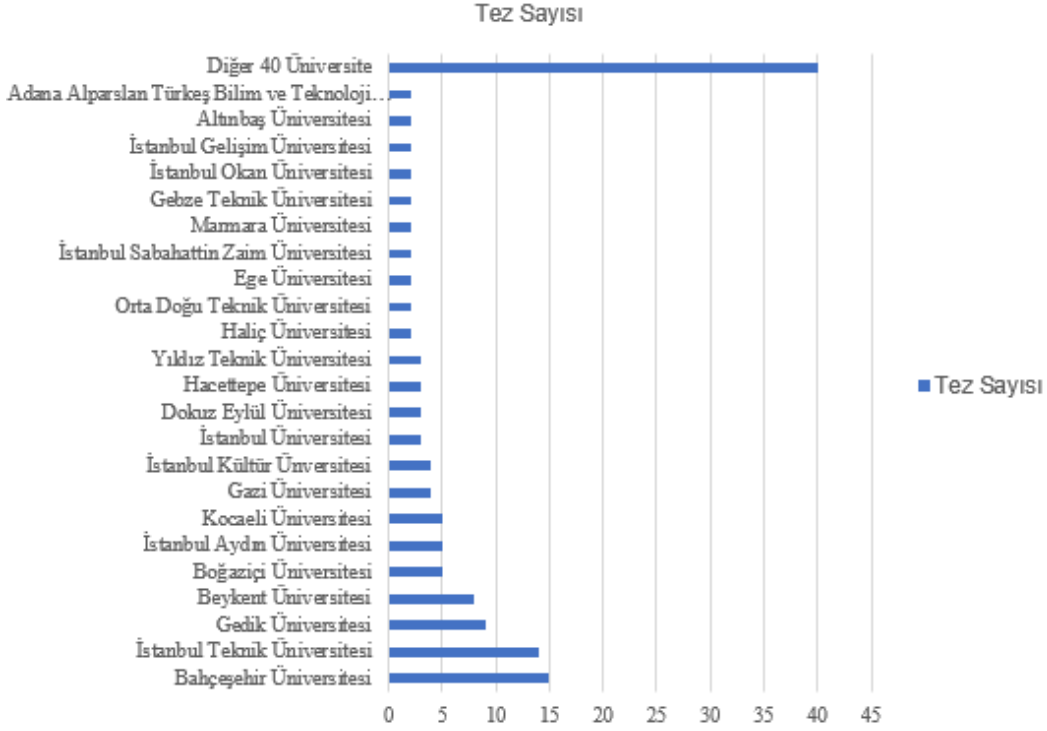
Akademik unvanlara göre yapılan detaylı inceleme, Şekil 2’de tablo olarak sunulmuştur. Danışmanlara göre yapılan incelemede Profesör ve Doçent ünvana sahip danışmanların çoğunlukta olduğu görülmektedir.



**Şekil 2.** Akademik Ünvana Göre Tez Sayıları

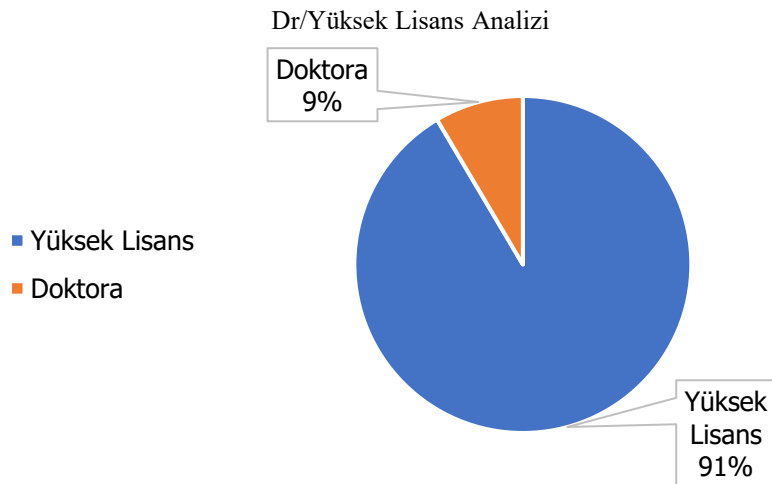
Şekil 3’te verildiği üzere, incelenen tezler içerisinde Bahçeşehir Üniversitesi (15) ve İstanbul Teknik Üniversitesi (14) tez ile en çok çalışma yapılan üniversiteler olmuştur. Gedik Üniversitesi (9), Beykent üniversitesi (8), Boğaziçi üniversitesi (5) tez ile ilk on üniversite içerisine girmişlerdir (Şekil 2). Diğer üniversitelerdeki yayınlar 2-3 şeklinde dağılım göstermektedir. Bu yıllar arasında toplamda 63 üniversite lisansüstü tez çalışması yapıldığı görülmektedir. Ayrıca 1 adet tez yayınlanmış olan Üniversiteler tablonun üst kısmında “Diğer” olarak belirtilmiştir. 1 er adet olduğu için toplu gösterilmiştir.





**Şekil 3.** Üniversitelere Göre Tez Sayıları

Şekil 4'teki pasta grafikte, 2013-2024 yılları arasında yapılan tez çalışmalarının Yüksek Lisans ve Doktora düzeylerine göre dağılımı gösterilmiştir. Grafik, yüksek lisans tezlerinin toplam çalışmaların %91'ini, doktora tezlerinin ise %9'unu oluşturduğunu ortaya koyuyor. Bu dağılım, akademik çalışmaların büyük bir çoğunluğunun yüksek lisans düzeyinde yapıldığını göstermektedir. Yüksek lisans tezlerinin daha fazla olmasının nedeni, yüksek lisans programlarının doktora programlarına göre daha yaygın ve ulaşılabilir olması olabilir. Ayrıca, doktora çalışmalarının daha uzun süre gerektirmesi ve daha derinlemesine bir araştırma süreci içermesi de bu farkın oluşmasına katkıda bulunabilir. Bu sonuç, doktora çalışmalarının daha sınırlı bir öğrenci kitlesi tarafından tercih edildiğini ve yürütüldüğünü göstermektedir.



**Şekil 4.** Türlerine Göre Tez Sayıları

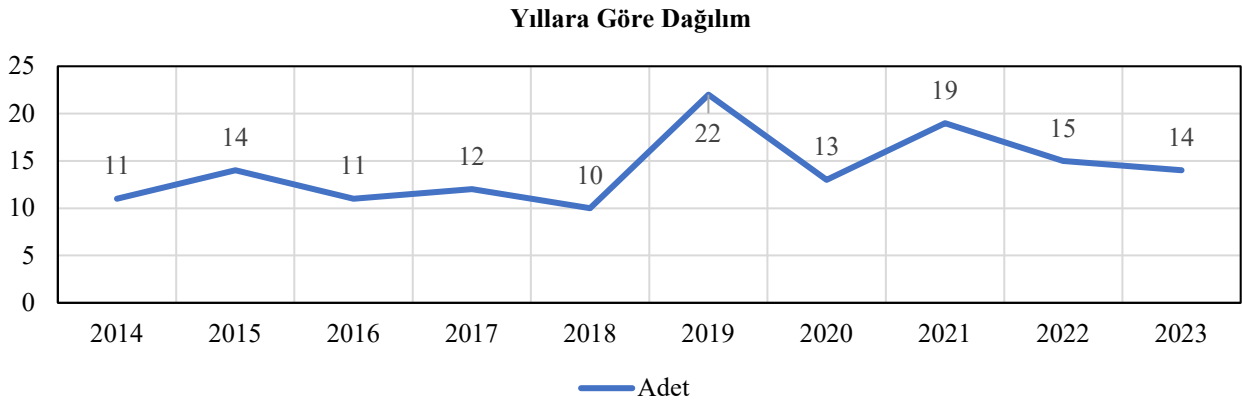
Şekil 5'te 2013-2024 yılları arasında yayınlanan tez çalışmalarının yıllara göre dağılımı gösterilmektedir. Grafik, belirli yıllarda tez çalışmalarının sayısında dalgalanmalar olduğunu ortaya koymaktadır.

- 2013-2016: Tez çalışmaları 11-14 arasında bir seyir izlemiştir, nispeten sabit bir eğilim gösteriyor.
- 2017-2019: 2017 yılında 12 olan tez sayısı, 2018 yılında en düşük seviyeye (10 adet) düşmüştür.
- Ancak 2019 yılında bu sayı hızla artarak 22'ye ulaşmıştır, bu da bu yılın tez çalışmaları açısından en verimli yıl olduğunu göstermektedir.
- 2020-2023: 2020 yılında tez sayısında bir düşüş (13 adet) gözlemlenmiş, ancak 2021 yılında tekrar bir artışla 19'a çıkmıştır. 2022 ve 2023 yıllarında ise tez sayıları kademeli olarak azalarak 14'e kadar düşmüştür.

Bu dalgalanmalar, çeşitli faktörlere bağlı olabilir. Örneğin, 2019 yılında artan tez sayısı, o dönemdeki akademik ilginin veya araştırma projelerinin yoğunluğunu gösterebilir. 2020 yılında görülen düşüş, COVID-19 pandemisinin eğitim ve araştırma faaliyetleri üzerindeki etkisiyle ilişkilendirilebilir. 2022-2023 yıllarında ise azalan trend, belki de pandeminin devam eden etkileri veya diğer sosyoekonomik faktörlerle bağlantılı olabilir.

- 2024: Bu yıl içerisinde henüz yayınlanmış bir tez bulunmamaktadır.

Genel olarak, bu grafik, yıllar içinde proje yönetimi alanında yapılan akademik çalışmaların nasıl dalgalandığını ve belirli yıllarda hangi faktörlerin bu dalgalanmaları etkileyebileceğini anlamak için yararlı bir bakış sunmaktadır.

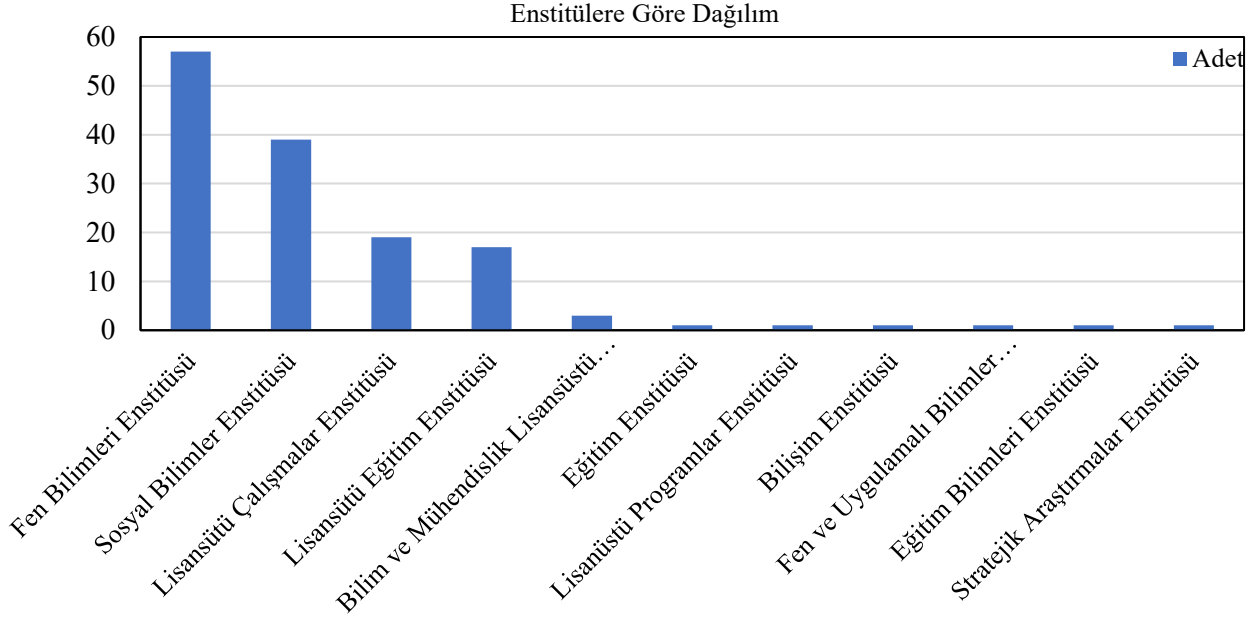


**Şekil 5.** Yıllara Göre Tez Sayıları

Grafikte, 2013-2024 yılları arasında çeşitli enstitülerde yapılan tez çalışmalarının dağılımı Şekil 6'da gösterilmektedir.

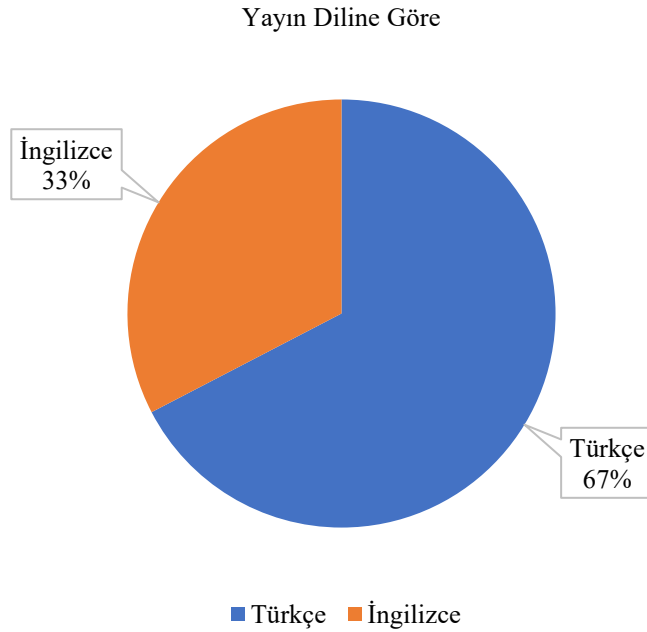
- Fen Bilimleri Enstitüsü: Yaklaşık 55 adet tez çalışması ile en yüksek sayıya sahip olan bu enstitü, fen bilimleri alanındaki araştırmaların yoğunluğunu ortaya koymaktadır. Bu, fen bilimleri alanındaki akademik ilginin ve araştırma faaliyetlerinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.
- Sosyal Bilimler Enstitüsü: Yaklaşık 30 adet tez çalışması ile ikinci sırada yer alan Sosyal Bilimler Enstitüsü, sosyal bilimler alanında da önemli miktarda araştırma yapıldığını göstermektedir.
- Lisansüstü Çalışmalar Enstitüsü: Bu enstitüde yapılan yaklaşık 20 tez çalışması, lisansüstü düzeydeki araştırmaların önemli bir kısmını temsil etmektedir.
- Lisansüstü Eğitim Enstitüsü ve Bilim ve Mühendislik Lisansüstü Enstitüsü: Bu iki enstitüde de sırasıyla yaklaşık 15 ve 10 adet tez çalışması yapılmıştır. Bu da eğitim ve mühendislik alanlarında belirli bir akademik yoğunluğun olduğunu göstermektedir.

- Diğer Enstitüler: Eğitim Enstitüsü, Lisansüstü Programlar Enstitüsü, Bilişim Enstitüsü gibi diğer enstitülerde yapılan tez çalışmaları ise 5 adetin altında kalmış ve daha düşük bir yoğunluk sergilemektedir. Bu durum, bu alanlarda daha az araştırma yapıldığını veya bu enstitülerde daha az öğrenci ya da araştırmacının tez çalışması yaptığını gösterebilir.



Şekil 6. Enstitülere Göre Tez Sayıları

Genel olarak, grafik, belirli enstitülerdeki araştırma faaliyetlerinin yoğunluğunu ve bu alanlarda yapılan akademik çalışmaların dağılımını net bir şekilde göstermektedir. Fen Bilimleri ve Sosyal Bilimler Enstitüleri, açık ara en fazla tez çalışması yapılan enstitülerdir, bu da bu alanlardaki akademik ilgiyi ve araştırma faaliyetlerini yansıtmaktadır.

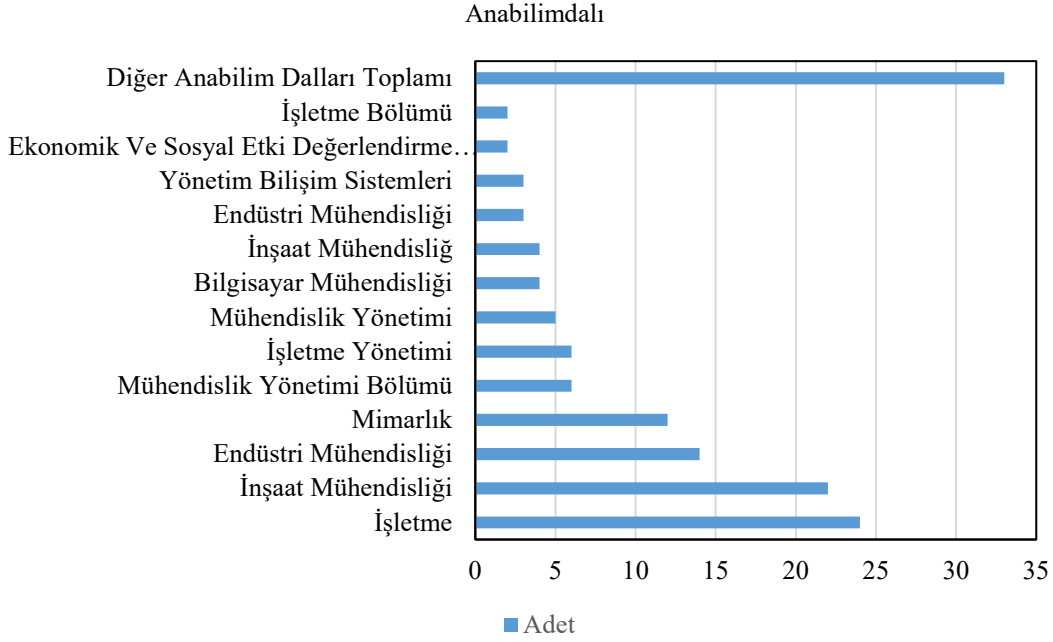


Şekil 7. Yazıldığı Dile Göre Tez Sayıları

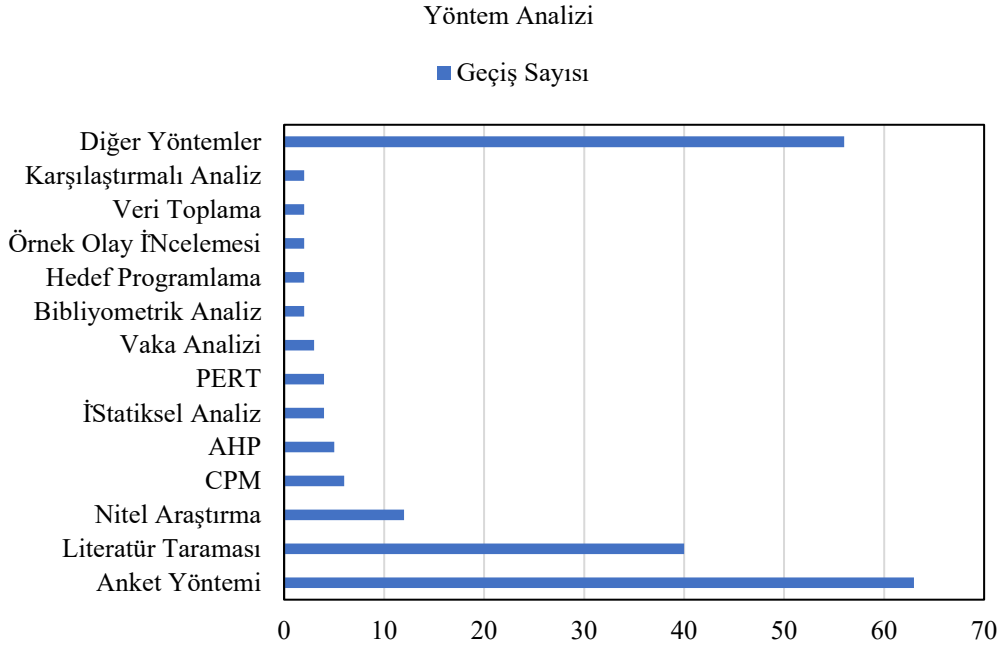
Şekil 7’de 2013-2024 yılları arasında yapılan tezlerin yazıldığı dillerin dağılımı gösterilmektedir.



Bu analiz, proje yönetimi ile ilgili akademik çalışmaların geniş bir disiplin yelpazesine yayıldığını ve özellikle işletme ve mühendislik gibi pratik uygulamalara odaklanan alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.



**Şekil 9.** Ana Bilim Dalına Göre Tez Sayıları



**Şekil 10.** Yönteme Göre Tez Sayıları

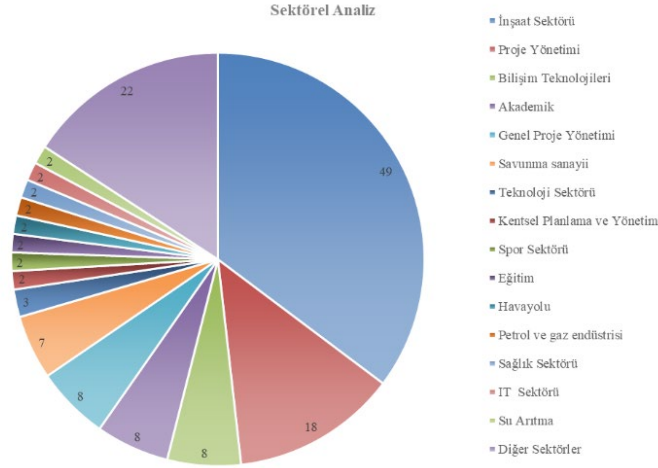
Şekil 10, 2013-2024 yılları arasında yapılan tez çalışmalarında kullanılan yöntemlerin dağılımını göstermektedir. Grafik, belirli yöntemlerin daha sık tercih edildiğini ve bazı yöntemlerin diğerlerine göre daha popüler olduğunu ortaya koymaktadır.

- Anket Yöntemi en sık kullanılan yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu, birçok araştırmanın veri toplama amacıyla anketleri tercih ettiğini ve anketlerin proje yönetimi alanında yaygın bir araç olarak kullanıldığını göstermektedir.
- Literatür Taraması da oldukça yüksek bir geçiş sayısına sahiptir. Bu, literatür taramasının genellikle araştırmalarda mevcut bilgiyi toplama, mevcut çalışmaların analiz edilmesi ve araştırma boşluklarının belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanıldığını ortaya koyar.
- Nitel Araştırma üçüncü sırada yer almaktadır, bu da araştırmacıların proje yönetimi alanındaki karmaşık fenomenleri daha derinlemesine incelemek için nitel yöntemleri tercih ettiğini göstermektedir.
- Diğer yöntemler arasında AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), CPM (Kritik Yol Yöntemi), İstatistiksel Analiz, Pert, Vaka Analizi ve Bibliyometrik Analiz gibi yöntemler de bulunmaktadır, ancak bunların kullanım sıklığı daha düşüktür.
- Diğer Yöntemler kategorisi ise, çeşitli farklı yöntemlerin bir araya geldiği ve toplamda belirli bir sayıya ulaştığı bir grubu temsil etmektedir. Bu, proje yönetimi araştırmalarında çok çeşitli metodolojik yaklaşımların benimsendiğini gösterir.
- Bu grafik, proje yönetimi alanındaki akademik çalışmaların çoğunun veri toplama, mevcut literatürün gözden geçirilmesi ve niteliksel analizler gibi belirli metodolojilere dayandığını göstermektedir. Bu, araştırmacıların proje yönetimi alanında çeşitli yöntemleri nasıl ve ne ölçüde kullandıklarına dair değerli bir iç görü sunmaktadır.

Şekil 11’de, 2013-2024 yılları arasında yayınlanan tez çalışmalarında incelenen sektörlerin dağılımı gösterilmektedir. Bu dağılım, hangi sektörlerin proje yönetimi araştırmalarında daha fazla odak noktası haline geldiğini ortaya koymaktadır.

- İnşaat Sektörü açık ara en fazla incelenen sektör olarak öne çıkmaktadır. Bu, inşaat projelerinin karmaşıklığı, yüksek maliyetleri ve uzun süreli olmaları nedeniyle proje yönetimi çalışmalarında sıklıkla tercih edildiğini göstermektedir.
- Genel Proje Yönetimi kategorisi de dikkate değer bir şekilde temsil edilmektedir. Bu, spesifik bir sektöre odaklanmayan ancak proje yönetimi prensiplerini genel anlamda ele alan çalışmaların sayısının da yüksek olduğunu gösterir.
- Kentsel Planlama ve Yönetim ile Petrol ve Gaz Endüstrisi gibi sektörler de belirli bir ilgi görmüş olup, bu sektörlerdeki projelerin de akademik çalışmalarda incelendiği anlaşılmaktadır.
- Sağlık Sektörü ve Yazılım Proje Yönetimi gibi sektörler ise daha az sayıda çalışmada incelenmiştir, ancak bu alanlar da proje yönetimi açısından önemli konular sunmaktadır.
- Diğer sektörler, örneğin Sigorta Sektörü, Üretim, Ticaret ve Hizmet Sektörü, Yerel Yönetim Sektörü gibi kategorilerde de çalışmalar yapılmıştır, ancak bunlar nispeten daha az sayıda temsil edilmektedir.

Bu dağılım, proje yönetimi alanında inşaat sektörünün dominant bir konu olduğunu, ancak diğer sektörlerin de giderek artan bir ilgi gördüğünü ortaya koymaktadır. Çalışmaların sektörlere göre dağılımı, hangi alanlarda daha fazla araştırma yapıldığını ve bu sektörlerde proje yönetiminin nasıl bir öneme sahip olduğunu gösterir.

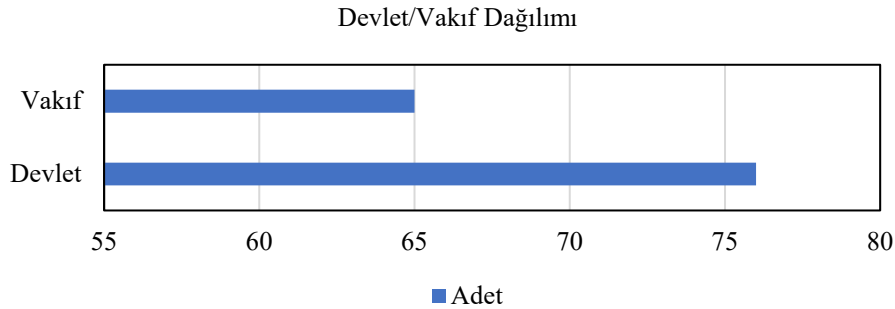


Şekil 11. Sektöre Göre Tez Sayıları

Şekil 12'deki 2013-2024 yılları arasında yayınlanan tezlerin vakıf ve devlet üniversitelerine göre dağılımı incelendiğinde, devlet üniversitelerinin daha fazla tez çalışmasına ev sahipliği yaptığı görülmektedir. Devlet üniversitelerindeki tez sayısı, vakıf üniversitelerindeki kıyasla belirgin bir şekilde daha yüksektir. Bu durum, devlet üniversitelerinin akademik araştırmalar ve tez üretimi açısından daha aktif bir rol oynadığını ya da daha fazla öğrenciye sahip olduğunu gösterebilir.

Vakıf üniversiteleri ise, devlet üniversitelerine göre daha az sayıda tez çalışması ile temsil edilmektedir. Bu fark, vakıf üniversitelerinin nispeten daha genç olması, öğrenci sayısının devlet üniversitelerine göre genellikle daha az olması veya araştırma faaliyetlerine ayrılan kaynakların farklılığı gibi nedenlerden kaynaklanabilir.

Genel olarak, grafikteki veriler, devlet üniversitelerinin tez üretiminde ön planda olduğunu, ancak vakıf üniversitelerinin de bu alanda önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Bu dağılım, Türkiye'deki yükseköğretim kurumlarının akademik üretkenliği ve araştırma kapasiteleri hakkında da fikir vermektedir.



Şekil 12. Devlet/Vakıf Üniversitesine Göre Tez Sayıları

Proje yönetimi alanındaki akademik çalışmaların büyük ölçüde inşaat, işletme ve mühendislik disiplinlerinde yoğunlaştığı, doktora düzeyindeki araştırmaların ise sınırlı kaldığı görülmektedir. Çalışmalarda ağırlıklı olarak nitel ve anket tabanlı yöntemler kullanılırken, analitik modelleme ve yapay zeka tabanlı yaklaşımların daha az tercih edildiği tespit edilmiştir. Gelecek araştırmaların, proje yönetiminin bilişim, savunma ve sağlık gibi farklı sektörlerdeki uygulamalarına odaklanması, veri odaklı yöntemlerin daha yaygın kullanılması ve kriz dönemlerinde proje yönetimi süreçlerinin nasıl şekillendiğine dair derinlemesine analizler içermesi, literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Proje yönetimi alanında 2013-2024 yılları arasında gerçekleştirilen lisansüstü tezler üzerinde yapılan bibliyometrik analiz, bu dönemdeki akademik eğilimleri, kullanılan yöntemleri, çalışılan konuları ve tezlerin yayımlandığı dilleri inceleyerek alandaki gelişmeleri ve araştırma boşluklarını ortaya koymuştur. Analiz, hem nitel hem de nicel verilerin toplanması ve görselleştirilmesiyle, alandaki araştırmacılar için yol gösterici sonuçlar sunmuştur. İşte bu analizden çıkarılabilecek bazı önemli sonuçlar ve değerlendirmeler: Araştırma Eğilimleri ve Yöntemler açısından, Anket Yöntemi ve Literatür Taraması en sık kullanılan araştırma yöntemleri olarak öne çıkmaktadır. Bu, proje yönetimi alanında araştırmacıların genellikle anketler yoluyla veri topladığını ve literatüre dayalı analizler yaptığını göstermektedir. Nitel araştırmalar da önemli bir yer tutmakta olup, bu yöntemlerin proje yönetimi süreçlerini derinlemesine anlamada etkili olduğu görülmektedir. Nispeten Az Kullanılan Yöntemler: CPM, AHP ve Bibliyometrik Analiz gibi daha spesifik yöntemlerin daha az kullanıldığı, ancak belirli konularda detaylı ve yapılandırılmış analizler için tercih edildiği anlaşılmaktadır. Bu, bu yöntemlerin alanın derinlemesine ve yapılandırılmış incelenmesinde önemli olduğunu gösterir.

Konular ve Temalar açısından, Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler, Proje Yönetim Metodolojileri (Agile, Scrum vb.), Verimlilik ve Performans İyileştirme ve Risk Yönetimi en yaygın olarak araştırılan konular arasında bulunmaktadır. Bu temalar, proje yönetimi alanında son yıllarda artan bir ilgiye işaret eder ve bu alandaki araştırma eğilimlerini yansıtır. Sektör Dağılımı: İnşaat sektörü, bu dönemde tez çalışmalarında en fazla üzerinde durulan sektör olmuştur. Bu, inşaat projelerinin karmaşıklığı ve proje yönetim süreçlerinin önemi ile ilgili olabilir. Sağlık sektörü ve yazılım projeleri de önemli konular arasında yer alırken, kentsel planlama ve enerji gibi alanlarda da araştırma yapılmıştır.

Yayın Dili açısından, tezlerin büyük çoğunluğunun Türkçe yazıldığı, ancak önemli bir kısmının da İngilizce olarak kaleme alındığı görülmektedir. Bu durum, Türk akademik çevrelerinin yerel ve uluslararası düzeyde bilimsel katkı yapmaya çalıştığını gösterir. Lisansüstü Eğitim ve Tezlerin Kurumsal Dağılımı açısından, Fen Bilimleri Enstitüleri ve Sosyal Bilimler Enstitüleri, proje yönetimi alanında en fazla tez çalışmasının yapıldığı enstitüler olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, proje yönetiminin hem teknik hem de sosyal bilimler açısından ele alındığını göstermektedir. Devlet Üniversiteleri, vakıf üniversitelerine kıyasla daha fazla tez üretmiştir. Bu da devlet üniversitelerinin akademik araştırma ve tez üretiminde daha aktif olduğunu veya daha fazla öğrenciye sahip olduğunu düşündürülebilir. Lisansüstü Eğitim Türleri açısından, Yüksek Lisans Tezleri doktora tezlerine göre sayıca daha fazla gerçekleştirilmiştir. Bu durum, proje yönetimi alanında daha fazla öğrencinin yüksek lisans düzeyinde eğitim almayı tercih ettiğini göstermektedir. Yüksek lisans tezlerinin sayısının fazla olması, akademik kariyerin ilk aşamalarında proje yönetimine duyulan ilginin yüksek olduğunu ortaya koyar.

Özetle, 2013-2024 yılları arasında proje yönetimi alanında Türkiye'de önemli bir akademik üretkenlik olduğunu ve bu alanda yapılan araştırmaların geniş bir yelpazeye yayıldığını göstermektedir. Özellikle sürdürülebilirlik, risk yönetimi ve verimlilik gibi konular, proje yönetiminde kritik öneme sahip olmaya devam etmektedir. Ayrıca, tezlerde kullanılan yöntemlerin çeşitliliği, araştırmacıların farklı analiz teknikleriyle proje yönetimi süreçlerini nasıl ele aldıklarını göstermektedir. Bu durum, akademik çalışmaların metodolojik zenginliğini ve proje yönetimi alanındaki çeşitli problemlerin çözümüne yönelik geniş bir bakış açısını yansıtır.

Bu sonuçlar, proje yönetimi alanında gelecekteki araştırmalara yön vermek için önemli bir referans noktası sunmaktadır. Ayrıca, bu alandaki araştırmaların daha ileriye taşınması için hangi konuların daha fazla incelenmesi gerektiği ve hangi metodolojilerin daha etkin kullanılabileceği hakkında da önemli ipuçları sunar.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.



## YAZAR KATKISI (AUTHOR STATEMENT)

**Yunus Aydın:** Fikir/Kavram, Literatür Taraması, Veri Analizi ve Ana Metin Yazımı. **Mehmet Pınarbaşı:** Danışmanlık, Rehberlik, Çalışmanın İncelenmesi ve Geri Bildirim. **Tamer Eren:** Danışmanlık, Düzeltmeler, Akademik Yönlendirme ve Geri Bildirim.

## ARAŞTIRMA ve YAYIN ETİĞİ BEYANI (STATEMENT OF PUBLICATION ETHICS)

Çalışmanın tüm süreçlerinin araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu, etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine uyduğunu beyan ederim.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gündüz, H., & Eren, T. (2024). Kent Dirençliliği Konusunda Yapılan Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi. *Resilience*, 8(1), 73-22.
- [2] Bozat, S. B. (2022). *Proje Yönetiminde Etkim İnsan Kaynağı Dağıtımı İçin Bir Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [3] Özdemir, H. (2022). *Proje Yönetimi Yaklaşımının Matematiksel Yöntemlerle Seçilmesi ve Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [4] Machado, F. J., & Martens, C. D. P. (2015). Project Management Success: A Bibliometric Analysis. *Revista de Gestao e Projetos*, 6(1), 28-44.
- [5] Kılıç, T. (2023). *Proje Yönetimi Başarısını Konu Alan Akademik Çalışmaların Bibliyometrik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- [6] Çolak, E. S. Z. (2023). *Organizasyonel Sürdürülebilirlik İçin Proje Yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Yönetim Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, İstanbul.
- [7] Tezcan, B., & Eren, T. (2024). Bulanık Ortamda Proje Yöneticisi Seçimi: Savunma Sanayi Firmasında Bir Uygulama. *Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, 34(1), 153-168.
- [8] Sarımeşmet, B., Yumuşak, R., & Eren, T. (2023). Bir mobilya üretim tesisi için üretim geliştirme mühendisi seçimi. *Journal of Turkish Operations Management*, 7(1), 1469-1482.
- [9] Aydın, Y., & Eren, T. (2018). Hava Savunma Sanayii Alt Yüklenici Seçiminde Bulanık Mantık Altında Çok Kriterli Karar Verme Ve Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması. *Journal of Aviation*, 2(1), 10-30.
- [10] Dağgöl, E. (2023). *Proje Yönetimi Sürecinde Sürekli İyileştirmeye İlişkin Anlayış*. Yüksek Lisans Tezi, Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Ekonomik ve Sosyal Etki Değerlendirme Çalışmaları Anabilim Dalı, Adana.
- [11] Eren, T., Aksungur, B. N., Sever, H., & Güven, E. (2024). İnsansız Hava Araçları Konulu Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 6(1), 21-29.
- [12] Sanlı, Y. B., Baltacı, F., Güven, E., & Eren, T. (2024). Siber Güvenlik Çalışmaları Üzerine Bibliyometrik Analiz. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 17(3) 223-229.
- [13] Bozdemir, E., & Çivi, F. (2019). Standart Maliyet Yönteminin Görsel Haritalama Tekniğine Göre Bibliyometrik Analizi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 81, 59-84.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>