

# JOURNAL OF ICIVILTECH

INNOVATIONS IN CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY

YEAR: 2024 VOLUME: 6 ISSUE: 2

EARTHQUAKE ENGINEERING

BUILDING MATERIALS ENGINEERING

STRUCTURAL ENGINEERING

CONSTRUCTION MANAGEMENT ENGINEERING

TRANSPORTATION ENGINEERING

GEOTECHNICAL ENGINEERING

e-ISSN: 2687-2129

HYDRAULIC AND WATER RESOURCES ENGINEERING

# Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology

(JICIVILTECH)

2024, Volume 6, Issue 2

## The Journal Information

**Publisher:** Hüseyin AKBULUT

**Editor-in-Chief:** Hüseyin AKBULUT

**Editors:** Cahit GÜNER, Murat HİÇYILMAZ

**Secretary of Publication:** Ayfer ELMACI, Burak Enis KORKMAZ, Şule YARCI

**Access:** Open Access

**Language of Publication:** English and Turkish

**Publication Frequency:** Twice a year (in December and June)

**Type of Publication:** Peer-reviewed and periodical

**e-ISSN:** 2687-2129

**Telephone:** +90 272 2182 30 00 (2324)

**E-mail:** [j.civiltech@gmail.com](mailto:j.civiltech@gmail.com)

**Webpage:** <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jiciviltech>

**Correspondence Address:** Afyon Kocatepe University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Ahmet Necdet Sezer Campus, 03200, Afyonkarahisar, TURKEY.

**Ahmet Raif BOĞA**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Ahmet YILDIZ**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Alan WOODSIDE**, *Brunel University, United Kingdom*  
**Bojan ZLENDER**, *University of Maribor, Slovenia*  
**Dunja PERIC**, *Kansas State University, United States*  
**Erol TUTUMLUER**, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*  
**Gözde KIRLI ÖZER**, *Bursa Uludağ University, Turkey*  
**Hasan ÖZKAYNAK**, *İstanbul Beykent University, Turkey*  
**Hashem R. AL-MASAEID**, *Jordan University of Science and Technolog, Jordan*  
**Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ**, *Gazi University, Turkey*  
**Imad L. AL-QADI**, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*  
**Iqbal KHAN**, *King Saud University, Saudi Arabia*  
**Ivanka NETINGER GRUBEŠA**, *University of Osijek, Croatia*  
**İlhami DEMİR**, *Kırıkkale University, Turkey*  
**İsmail DEMİR**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**João Pedro SILVA**, *Polytechnic Institute of Leiria, Portugal*  
**Masayasu OHTSU**, *Kyoto University, Japan*  
**Mehmet SALTAN**, *Süleyman Demirel University, Turkey*  
**Mujib RAHMAN**, *Brunel University, United Kingdom*  
**Murat KANKAL**, *Uludağ University, Turkey*  
**Paula FOLINO**, *University of Buenos Aires, Argentina*  
**Roumiana ZAHARIEVA**, *University of Architecture, Bulgaria*  
**Serdal TERZİ**, *Süleyman Demirel University, Turkey*  
**Sri Atmaja P. ROSYIDI**, *Muhammadiyah University of Yogyakarta, Indonesia*  
**Şerife Ebru OKUYUCU**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Tamer BAYBURA**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Veli BAŞARAN**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*

**Ahmet DELEN**, *Tokat Gaziosmanpaşa University, Türkiye*  
**Evren SEYREK**, *Dumlupınar University, Türkiye*  
**Hasan ÖZKAYNAK**, *İstanbul Beykent University, Türkiye*  
**Kemal SAPLIOĞLU**, *Süleyman Demirel University, Türkiye*  
**Meltem SAPLIOĞLU**, *Süleyman Demirel University, Türkiye*  
**Murat HİÇYILMAZ**, *Afyon Kocatepe University, Türkiye*  
**Mustafa SİVRİ**, *Isparta University of Applied Sciences, Türkiye*  
**Polat ÖZYİĞİT**, *Yozgat Bozok University, Türkiye*  
**Selen AKTAN**, *Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey*  
**Sercan BÜLBÜL**, *Konya Technical University, Türkiye*  
**Süleyman GÜCEK**, *Afyon Kocatepe University, Türkiye*  
**Veli BAŞARAN**, *Afyon Kocatepe University, Turkey*  
**Yavuz Selim GÜÇLÜ**, *İstanbul Technical University, Türkiye*  
**Ziya ÇAKICI**, *İzmir Demokrasi University, Türkiye*

# Contents / İçindekiler

Articles / Makaleler	Sayfa
<b>Erdem ÇOBAN</b> Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Yaz Sezonu Ortalama Akım Değerlerinin Tahmini <i>Estimation of Summer Season Average Flow Values with Machine Learning Algorithms</i>	73-81
<b>Münire FINDIK, İ. Devran ÇELİK, Ercan Egemen BAŞAR, S. Nilay KESKİN, Soner UZUNDURKAN</b> The Design of Piles under Combined Loading: Effect of Pile Length, Pile Spacing and Relative Density <i>Kombine Yükleme Altında Kazıkların Tasarımında; Kazık Uzunluğunun, Kazık Aralığının ve Rölatif Sıklığın Etkisi</i>	83-110
<b>Abdullah GÜNDOĞAY</b> Lifli Polimer ile Sargılanan Betonarme Kolonların Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisinin Anfis Yöntemi ile Elde Edilmesi <i>Obtaining the Stress-Strain Relationship of Reinforced Concrete Columns Wrapped with Fiber Reinforced Polymer</i>	111-130
<b>Oruc ALTINTASI, Dila GUZEL, Sila OVGU KORKUT</b> Application of Hierarchical Clustering Algorithm to Classify Docked Bike-Sharing System Stations <i>Bisiklet Paylaşım Sistemi İstasyonlarının Sınıflandırılmasında Hiyerarşik Kümeleme Algoritmasının Uygulanması</i>	131-142
<b>Mustafa YALÇIN, Ahmet DENİZ, Murat Ersin KORKMAZ</b> Yeşil Binalar için İmar Planı Tasarımlarında Güneş Enerji Verimliliğinin İncelenmesi; Samsun Örneği <i>Examining Solar Energy Efficiency in Development Plan Designs for Green Buildings; Samsun Example</i>	143-157
<b>İlyas Devran ÇELİK, Mustafa Bedirhan AY, Gülsüm Beyza YAVUZ, Kılıç Yasin ARSLAN</b> Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Başlık Levhalı Kutu Kesitlerin İncelenmesi <i>Investigation of Box Sections with Heading Plates Under the Effect of Flexural and Axial Force</i>	159-177

## Araştırma Makalesi

# Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Yaz Sezonu Ortalama Akım Değerlerinin Tahmini

\*<sup>1</sup>Erdem ÇOBAN

<sup>1</sup>Haliç Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, [erdemcoban@halic.edu.tr](mailto:erdemcoban@halic.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4526-7273>

Geliş: 07.06.2024;

Kabul: 07.07.2024

## Öz

Akarsu akım verilerinin tahmini su bilimi açısından kritik konuların başında gelmektedir. Özellikle yaz aylarında yağışların azalmasına ek olarak su kullanımının artması her yıl iklimsel değişikliklerin etkisinin arttığı dünyamızda tüm canlıları kuraklık riskiyle yüz yüze getirmektedir. Bu yüzden yaz aylarındaki suyun kullanımının önceden planlanması ve bu konuya daha hassas bir şekilde yaklaşılması her geçen gün daha da zorunlu hale gelmektedir. Bu planlamanın yapılmasında ise akarsu akım debilerinin tahmini, su ihtiyacının karşılanması açısından önemlidir. Bu çalışmada Beyşehir Gölünü besleyen üç akarsu üzerinde bulunan, akarsu gözlem istasyonlarından temin edilen veriler ile makine öğrenmesi modelleri kurulmuştur. Rastgele Orman (RO) ve Adaptive Yükseltme (AdaBoost) algoritmalarının kullanıldığı bu modeller ile üç girdi ve bir çıktı olacak şekilde; sonbahar, kış, ilkbahar mevsimsel ortalama akış değerlerinden yaz mevsimi ortalama akışı tahmin edilmeye çalışılmıştır. RO algoritması test ve tahmin arasındaki belirleme katsayısı ( $R^2$ ) 0.9368 değerindedir. Kök ortalama kare hatası (RMSE) değeri ise 0.0275 olarak bulunmuştur. AdaBoost algoritması ise RO algoritmasına göre daha güçlü tahminde bulunarak test ve tahmin arasındaki  $R^2$  değeri 0.981, RMSE değeri ise 0.05 olarak bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Makine Öğrenmesi, Tahmin, Akarsu Akım

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Çoban, E. (2024). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Yaz Sezonu Ortalama Akım Değerlerinin Tahmini. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(2), 73-81. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1497771>

## Estimation of Summer Season Average Flow Values with Machine Learning Algorithms

### Abstract

---

Estimation of stream flow data is one of the critical issues in hydrology. In addition to the decrease in precipitation, especially in the summer months, the increase in water use puts all living things in our world at risk of drought, where the impact of climatic changes increases every year. Therefore, it is becoming more and more necessary to plan the use of water in the summer months in advance and approach this issue more sensitively. In making this planning, estimation of stream flow rates is important in terms of meeting water needs. In this study, machine learning models were established with data obtained from stream observation stations on three streams feeding Beyşehir Lake. With these models using Random Forest (RF) and Adaptive Boosting (AdaBoost) algorithms, there are three inputs and one output; An attempt was made to estimate the summer average flow from the autumn, winter and spring seasonal average flow values. The coefficient of determination ( $R^2$ ) between RF algorithm test and prediction is 0.9368. The root mean square error (RMSE) value was found to be 0.0275. The AdaBoost algorithm made a stronger prediction than the RF algorithm, and the  $R^2$  value between test and prediction was found to be 0.981 and the RMSE value was 0.05.

*Keywords: Machine Learning, Prediction, Stream Flow*

## 1. Giriş

Küresel iklim değişikliğinin yaşamsal alandaki etkileri her geçen gün artmaktadır (Ziervogel vd., 2014). Bu etkilerin belki de en büyük karşılığı hidrolik alanında görülmektedir. Yağışların eğilimlerinin azalması, su çevriminin bozulması, akarsu akımlarının düşmesi, içilebilir temiz su kaynaklarına ulaşımın giderek zorlaşması bu etkilere verilebilecek örneklerden sadece birkaç tanesidir. İklimsel değişikliğe ilave olarak ortalama insan yaşam süresinin ve nüfusun artması, temizlik kültürünün yaygınlaşması, sanayii kaynaklı su ihtiyacının da artması gibi sebeplerden kaynaklı su ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır (Wang vd., 2016). Özellikle yağışların azaldığı hatta durduğu, bununla birlikte su ihtiyacının arttığı yaz döneminde su ihtiyacının karşılanabilir olup olmadığı sorusunun cevaplanması ve buna bağlı olarak su planlamasının yapılması adına tahminlerde bulunmak adına makine öğrenmesi yöntemlerinin güçlü tahmin becerilerinden yararlanılmaktadır. Buna göre yaz dönemine ait debi değerlerinin, o yıla ait diğer mevsimlerdeki debi değerleri üzerinden tahmin edilmesi, su yapılarının yapılması, taşkın koruma, hidroelektrik santral tesislerinin planlanması gibi su kaynakları yönetimi konusunda önemli bir yere sahiptir (Yang vd., 2023).

Hidroloji alanında tahmin algoritmaları bilişim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte son yıllarda oldukça artan eğilimdedir (Güçlü vd., 2014; Şişman ve Kizilöz, 2020). Saphoğlu (2023) aylık

akım tahmininde bulunmak adına K-En Yakın Komşu (KNN), Yapay Sinir Ağı (ANN) ve Uyarlanabilir Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), olarak üç farklı yapay zekâ modeli kullanmışlardır. Türkiye'nin batısındaki Ege bölgesinde yer alan Gediz Nehri Havzasının verilerini kullanmışlardır. Özel ve Büyükyıldız (2019) yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Regresyonu (DVR), Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) metotları kullanarak Konya Kapalı Havzası'nda yer alan Karaman istasyonuna ait meteorolojik verileri kullanarak farklı giriş kombinasyonları ile aylık buharlaşma miktarı tahmin etmişlerdir. En başarılı sonucu veren algoritmanın DVR olduğu sonucuna varmışlardır. Çubukçu vd. (2022) Mersin Lamas Nehri aylık ortalama akım verileri kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Derin Öğrenme (DÖ) optimizasyonları kullanılarak akım modellemesi yapmışlar ve sonuç olarak en iyi yöntemin DÖ olduğu YSA ve DVM yöntemlerinin ise buna göre daha başarısız sonuçlar verdiği gözlemlemişlerdir. Rasouli vd. (2012) günlük akım tahmininde bulunmak adına Bayes sinir ağı (BNN), destek vektör regresyonu (SVR) ve Gauss süreci (GP) kullanmışlar ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) ile bu yöntemleri karşılaştırmışlardır. Cheng vd. (2020) makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak günlük ve aylık akım tahmininde bulunmuşlardır. Yapay sinir ağı (ANN) ve uzun kısa süreli hafıza (LSTM) yöntemini kullanmışlardır. Lu vd. (2023) derin öğrenme ağlarına dayalı

mevsimsel yağış tahmininde bulunmuşlardır.

Bu çalışmada; Beyşehir Gölünü besleyen üç akarsuya ait akım değerleri kullanılarak sonbahar, kış ve ilkbahar mevsim ortalama akım değerlerinden oluşan veri kümesi, makine öğrenmesi algoritmalarından olan Random Forest (RF) ve AdaBoost algoritmaları ile yazlık mevsimsel ortalama akım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yaz dönemi ortalama akışın güçlü tahmini hem su yönetimi hem de gölün beslenmesinin öngörülebilirliği açısından önem teşkil etmektedir. Ayrıca literatür incelendiğinde benzer çalışmaların yapılmadığı görülmüş ve makine öğrenmesi algoritmasının bu tarz tahmin algoritmalarındaki başarılarının hidroloji alanında daha fazla kullanılması hedeflenmiştir. Farklı parametreler ile birçok tahin algoritması olmasına rağmen mevsimsel ortalama değerlerin girdi parametresi olarak kullanıldığı alternatif bir çalışma olması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Makine öğrenmesi algoritmaları veriden öğrenip; sınıflandırma, tahmin etme gibi becerilere sahip yapay zekânın bir alt kümesidir. Bu çalışmada bu algoritmalarından iki tanesi rastgele orman (Random Forest) ve AdaBoost kullanılmıştır.

### 2.1 Random Forest (Rastgele Orman)

Rastgele orman algoritması Leo Breiman tarafından geliştirilen topluluk makine öğrenmesi algoritmasıdır (Breiman,

2001). Topluluk sınıflandırma algoritmaları tek bir sınıflandırma yerine, birden fazla sınıflandırma kullanılmaktadır. Rastgele orman algoritması yapısında birden fazla karar ağacı bulunmaktadır ve bu algoritma bu karar ağaçlarından aldığı sonuçların ortalamalarını alarak sonuç vermektedir (Bayrakçı, 2022). Eğitilmiş bir k-sayı ağacı denklem 1'de tanımlanan rastgele orman modelinde toplanır.

$$H(X, \theta_j) = \sum_{i=0}^k(x, \theta_j) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (1)$$

Denklem (1)'de  $H(X, \theta_j)$  ifadesi bir meta karar ağacı sınıflandırma işlevini görmektedir.  $x$ , eğitim veri kümesinin giriş özellik vektörünü temsil ederken,  $\theta_j$  ise ağacın büyüme sürecini belirleyen bağımsız ve düzgün dağıtılmış rastgele bir vektördür.

### 2.2 Adaptive Yükseltme (AdaBoost)

Adaptive Boost (AdaBoost) algoritması örnek özellik uzayını yinelemeli olarak arar ve eğitim özelliği ağırlıklarını bulur. Yinelemeli süreçte eğitim örneklerinin özellik ağırlıkları sürekli olarak ayarlanır (Freund, 1997). Bu algoritmanın en temel özelliği zayıf modellerin iyi taraflarını alarak en başarılı modeli oluşturmaktır. AdaBoost'ta birden fazla model oluşturularak her modelin güçlü yönleri birleştirilir. Algoritma daha sonra bu modellerden başarılı bir model elde etmeye çalışır. AdaBoost algoritması zayıf modelleri birleştirerek en başarılı modelin çıktısını üretir.



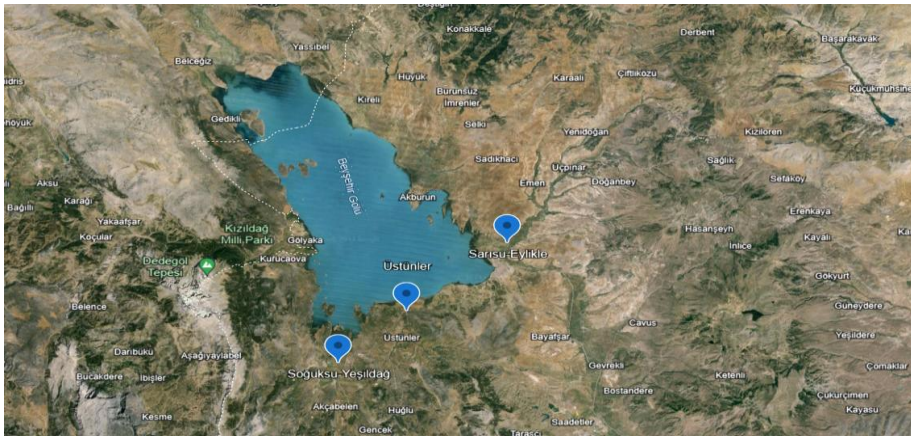
## 2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Konya Havzasındaki Beyşehir İlçe sınırlarında yer alan ve Beyşehir Gölünü besleyen akarsular üzerinde bulunan D16A104 Sarısu – Eylikle, D16A111 Soğuksu - Yesildağ Köprüsü, D16A015 Üstünler akım gözlem istasyonlarından alınan, 1974 ile 2010 yılları arasındaki günlük akım verileri kullanılmıştır. İstasyonlara ait enlem, boylam ve rakım bilgileri Tablo 1’de gösterilmiştir. Ayrıca istasyonların harita üzerindeki konumları da Şekil 1’de gösterilmiştir. Eksik verinin çok olmasından kaynaklı bu üç istasyondaki veriler öncelikle 12 aylık veriler olarak düzeltilmiştir. Ancak makine öğrenmesi algoritmalarının daha verimli ve hızlı çalışması adına bu aylık veriler mevsimsel ortalama olarak 4 parametreye indirgenmiştir. Bu şekilde algoritma mimarisi 3 girdi ve bir

çıktıdan oluşan bir hale getirilmiştir. Girdi parametreleri olarak sonbahar, kış ve ilkbahar ortalama akım değerleri, tahmin edilecek olan çıktı parametresi olarak da yaz mevsimi ortalama akım değerleri kullanılmıştır. Veriler, her mevsimdeki akım verilerinin yelpazesinin geniş olması dezavantajını azaltmak adına normalize edilerek 0 ile 1 aralığına getirilmiş ve veriler boyutsuzlaştırılmıştır. Her bir parametrede 70, toplamda 280 adet verinin kullanıldığı bu çalışmada, eğitim için verilerin yüzde 80’i, test için ise yüzde 20’si kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar hem eğitimin ölçülmüş çıktılarıyla hem de test için ayrılmış verilerin çıktı değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama da saçılma diyagramlarıyla görselleştirilerek grafik üzerinde korelasyon katsayı değerleriyle birlikte gösterilmiştir.

Tablo 1. İstasyonlara ait coğrafi bilgiler.

İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım (m)
Sarısu – Eylikle	37°42'43"N	31°44'13"E	1140
Soğuksu-Yesildağ	37°32'31"N	31°29'32"E	1124
Üstünler	37°36'57"N	31°35'29"E	1126



Şekil 1. İstasyonların harita üzerindeki konumları.

### 2.3. Doğrulama Modelleri

Regresyon modelinin performansının değerlendirilmesi için iki adet ölçüt kullanılmıştır.

#### 2.3.1. Belirleme katsayısı ( $R^2$ )

Belirleme katsayısı, istatistikte,  $R^2$  bir modelin doğrusal regresyon ortamında bir sonucu tahmin etme veya açıklama yeteneğini değerlendiren bir ölçüdür. Daha spesifik olarak  $R^2$ , bağımlı değişkendeki (Y) doğrusal regresyon ve yordayıcı değişken (X, bağımsız değişken olarak da bilinir) tarafından tahmin edilen veya açıklanan varyansın oranını gösterir.  $R^2$  ne kadar yüksek bir değerde olursa model verileri o kadar iyi tanımlar (Di Bucchianico, 2008). Formül aşağıdaki gibi verilmiştir

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=i}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{\sum_{j=i}^N (y_j - \bar{y}_j)^2} \quad (2)$$

Denklem (2)'de;  $y_j$  gerçeğe dayalı değerleri,  $\hat{y}_j$  tahmine dayalı değerleri ve  $\bar{y}_j$  veri kümesinin ortalama değerini temsil etmektedir. N ise örnek boyutu (değer sayısı) temsil etmektedir (Güler ve Kandemir, 2022)

#### 2.3.2. Kök Ortalama Kare Hatası

Kök ortalama kare hatası (RMSE), bir regresyon modelinin iki ana performans göstergesinden biridir. Bir model tarafından tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama farkı ölçer. Modelin hedef değeri

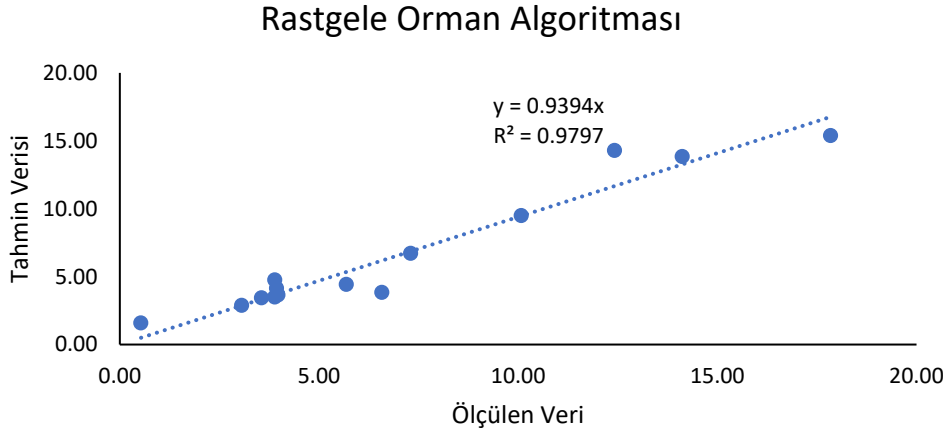
(doğruluk) ne kadar iyi tahmin edebildiğine dair bir tahmin sağlar. Denklemi aşağıda verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^N w_i u_i^2} \quad (3)$$

Denklem (3)'de; W popülasyonun toplam ağırlığını, N gözlem sayısını,  $w_i$  i. gözlemin ağırlığını,  $u_i$  ise i. gözlemle ilişkili hatayı temsil etmektedir.

### 3. Bulgular

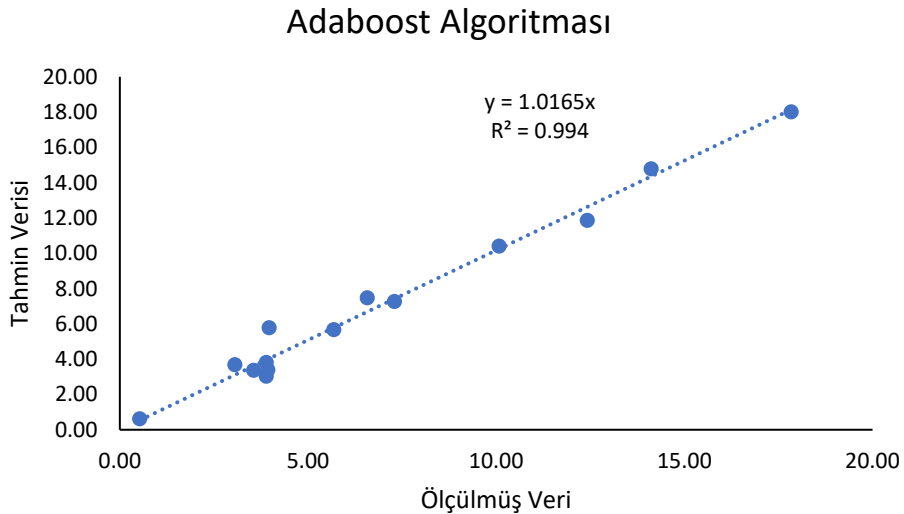
Çalışmada Beyşehir gölünü besleyen üç adet akarsuda bulunan istasyonlardan alınan veriler kullanılmıştır. Tahmin gücü yüksek Random Forest (Rastgele Orman) ve AdaBoost olmak üzere iki güçlü makine öğrenmesi algoritması yardımıyla ilkbahar ortalama akım, kış ortalama akım, sonbahar ortalama akım girdi parametreleri kullanılarak yaz ortalama akım tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada mevsimsel ortalama seçilmesinin sebebi, modelin karmaşıklığını azaltmak ve yaz sezonu için ortalama bir tahminde bulunma çabasıdır. Sonsuz parametreye bağlı olan akım parametresinin sadece diğer mevsimlerdeki ortalama akım değerleri ile tahmini modeli basitleştirmek adına alınmış bir karar olup anlamlı sonuçları da beraberinde getirmiştir. Test değerleri ile tahmin değerleri saçılma diyagramında görselleştirilmiştir. Belirleme sayısı ve kök ortalama kare hatası değerleri ile de tahminin başarısı değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Rastgele orman algoritmasına ait saçılma diyagramı.

Şekil 2’de rastgele Orman algoritması ile tahmin edilen ve test amacıyla kullanılan değerler bir grafik üzerinde saçılma diyagramı ile gösterilmeye

çalışılmıştır. Test ve tahmin arasındaki determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.9368 değerindedir. Kök ortalama kare hatası (RMSE) değeri ise 0.0275 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Adaboost algoritmasına ait saçılma diyagramı.

Şekil 3’de adaboost algoritması ile tahmin edilen ve test amacıyla kullanılan değerler bir grafik üzerinde

saçılma diyagramı ile gösterilmeye çalışılmıştır. Test ve tahmin arasındaki determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.981 değerindedir. Kök ortalama kare hatası

(RMSE) değeri ise 0.05 olarak bulunmuştur.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Yaz dönemi akarsu akım debisinin tahmini su kaynakları yönetimi açısından önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada üç mevsime ait ortalama akarsu akım verileri girdi olarak kullanılarak yaz dönemine ait akım verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda makine öğrenmesi algoritmalarından iki tanesi bu çalışmada kullanılmıştır. Bunlardan Rastgele Orman algoritması determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.9368 gelirken, kök ortalama kare hatası (RMSE) değeri 0.0275 olarak hesaplanmıştır. Adaboost algoritmasına bakıldığında determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri 0.981, kök ortalama kare hatası (RMSE) değeri 0.0275 olarak hesaplanmıştır.

Akarsu akım tahmini her geçen gün daha da kritik hale gelmektedir. Burada yapılan çalışmaya benzer farklı bölgelerde ve farklı verilerle alternatif yöntemler kullanılarak tahminlerde bulunmak literatüre katkı sağlayacak, su kaynakları yönetiminde ilerleme sağlanacaktır. Makine öğrenmesi yöntemleri güçlü tahmin yetenekleri bakımından birçok benzer çalışma açısından önemlidir. Özellikle su bilimleri alanında birçok tahmin modelinde diğer algoritmalarla kullanılmalıdır.

#### Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Analiz ve yorumlama, Araştırma, Yazma/orijinal taslak, Yazma/inceleme ve düzenleme, Görselleştirme

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarın bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edeceği hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dâhil edilmiştir.

#### Teşekkür

Veri paylaşımı ile çalışmaya katkısından dolayı DSI'ye teşekkür ederim.

#### 5. Kaynaklar

- Bayrakçı, H., Keşkekçi, A. B., & Arslan, R. (2022). Classification of iris flower by random forest algorithm. *Advances in Artificial Intelligence Research*, 2(1), 7-14. <https://doi.org/10.54569/aaair.1018444>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Cheng, M., Fang, F., Kinouchi, T., Navon, I. M., & Pain, C. C. (2020). Long lead-time daily and monthly streamflow forecasting using machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 590, 125376. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125376>
- Çubukçu, E. A., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2022). Akım Verilerinin Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Tahmin Edilmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 257-272.
- Di Bucchianico, A. (2008). Coefficient of determination ( $R^2$ ). *Encyclopedia of*

- statistics in quality and reliability. <https://doi.org/10.1002/9780470061572.eqr173>
- Dirlik, C., Kandemir, H., Çetin, N., Şen, S., Güler, B., & Gürel, A. (2022). Effects of different culture media compositions on in vitro micropropagation from paradox walnut rootstock nodes. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 9(4), 500-515. <https://doi.org/10.54287/gujsa.1194822>
- Freund, Y., & Schapire, R. E. (1997). A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of computer and system sciences*, 55(1), 119-139. <https://doi.org/10.1006/jcss.1997.1504>
- Güçlü, Y. S., Yeleşen, M. Ö., Dabanlı, İ., & Şişman, E. (2014). Solar irradiation estimations and comparisons by ANFIS, Angström–Prescott and dependency models. *Solar Energy*, 109, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.027>
- Lu, P., Deng, Q., Zhao, S., Wang, Y., & Wang, W. (2023). Deep learning for seasonal prediction of summer precipitation levels in eastern China. *Earth and Space Science*, 10(11), e2023EA003129. <https://doi.org/10.1029/2023EA003129>
- Özel, A., & Büyükyıldız, M. (2019). Usability of artificial intelligence methods for estimation of monthly evaporation. *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 8(1), 244-254. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.516891>
- Rasouli, K., Hsieh, W. W., & Cannon, A. J. (2012). Daily streamflow forecasting by machine learning methods with weather and climate inputs. *Journal of Hydrology*, 414, 284-293. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.039>
- Saplıoğlu, K. (2023). Monthly streamflow prediction using ANN, KNN and ANFIS models: Example of Gediz River Basin. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13(2), 42-49. <https://doi.org/10.35354/tbed.1298296>
- Şişman, E., & Kizilöz, B. (2020). Artificial neural network system analysis and Kriging methodology for estimation of non-revenue water ratio. *Water Supply*, 20(5), 1871-1883. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.095>
- Wang, X. J., Zhang, J. Y., Shahid, S., Guan, E. H., Wu, Y. X., Gao, J., & He, R. M. (2016). Adaptation to climate change impacts on water demand. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21, 81-99. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9571-6>
- Yang, S., Ling, F., Li, Y., & Luo, J. J. (2023). Improving Seasonal Prediction of Summer Precipitation in the Middle–Lower Reaches of the Yangtze River Using a TU-Net Deep Learning Approach. *Artificial Intelligence for the Earth Systems*, 2(2), 220078. <https://doi.org/10.1175/AIES-D-22-0078.1>
- Ziervogel, G., New, M., Archer van Garderen, E., Midgley, G., Taylor, A., Hamann, R., ... & Warburton, M. (2014). Climate change impacts and adaptation in South Africa. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(5), 605-620. <https://doi.org/10.1002/wcc.295>



Research Article

## The Design of Piles under Combined Loading: Effect of Pile Length, Pile Spacing and Relative Density

\*<sup>1</sup>Münire FINDIK, <sup>2</sup>İ. Devran ÇELİK, <sup>3</sup>Ercan Egemen BAŞAR, <sup>4</sup>S. Nilay KESKİN,  
<sup>5</sup>Soner UZUNDURKAN

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye, [mnr.dikmen@gmail.com](mailto:mnr.dikmen@gmail.com), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7333-8713>

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, [devrancelik@sdu.edu.tr](mailto:devrancelik@sdu.edu.tr), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9011-4041>

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, basarercan1@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8175-6923>

<sup>4</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, [nilaykeskin@sdu.edu.tr](mailto:nilaykeskin@sdu.edu.tr), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0367-943X>

<sup>5</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, [soneruzundurukan@sdu.edu.tr](mailto:soneruzundurukan@sdu.edu.tr), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4080-6642>

Received: 02.06.2024;

Accepted: 08.07.2024

### Abstract

In pile foundation systems, displacements in important structures affected by both axial and lateral loads must be limited within elastic limits. For elastic limits; effects of the important parameters such as; pile diameter, pile spacing, pile length /pile diameter ratio and relative density were examined. For this purpose, loadings were carried out in medium-dense and extreme dense sand conditions with the following parameter considerations: pile length/pile diameter ratios of 10, 15 and 30, pile spacings of 3D and 6D and for relative density of the soil 50% and 85%. By determining the vertical and lateral displacements of the pile foundation system formed under axial and lateral load effects and loading related ground stresses, the relationship between the foundation system and the ground was expressed. Experimental data were analyzed in Plaxis 3D. From the results of the performed model tests and Plaxis 3D optimum design parameters have been determined for soil-structure interaction in lateral loaded pile foundation systems.

**Keywords:** Pile Foundations, Lateral Loaded Pile, Cohesionless Soils, Plaxis 3D

\*<sup>3</sup>Corresponding author

#### To cite this article

Fındık, M., Çelik, İ.D., Başar, E.E., Keskin, N. & Uzundurkan, S. (2024). The Design of Piles under Combined Loading: Effect of Pile Length, Pile Spacing and Relative Density. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(2), 83-110.

<https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1494524>

## Kombine Yükleme Altında Kazıkların Tasarımında; Kazık Uzunluğunun, Kazık Aralığının ve Rölatif Sıklılığın Etkisi

### Öz

Kazıklı temel sistemlerinde hem eksenel hem de yanal yükler altındaki önemli yapılarda yer değiştirmelerin elastik sınırlar içerisinde sınırlandırılması gerekmektedir. Elastik sınırlar içinde kalarak izin verilen deplasman yükleme koşulları için; kazık çapı, kazık aralığı, kazık uzunluğu/kazık çapı oranı ve relative sıklılığının etkisi dikkate alınmalıdır. Bu amaçla deneyler orta ve çok sıkı kum koşullarında kazık boyu/kazı çapı oranları 10,15 ve 30, kazık aralıkları 3D ve 6D ve zeminin rölatif sıklılığı %50 ve %85 olarak dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Eksenel ve yanal yük etkileri altındaki yüklemeye bağlı olarak kazıklı temel sisteminin düşey ve yanal yer değiştirmeleri ve zemin gerilmeleri belirlenerek temel sistemi ile zemin arasındaki ilişki ifade edilmiştir. Deneysel veriler Plaxis 3D programında da analiz edilmiştir. Yapılan model testleri ve Plaxis 3D sonuçlarından, yatay yüklü kazıklı temel sistemlerinde zemin-yapı etkileşimi için optimum tasarım parametreleri belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kazıklı Temel, Yanal Yüklü Kazık, Kohezyonsuz Zemin, Plaxis 3D



## 1. Introduction

Pile foundations are commonly preferred in the conditions of; insufficient carrying capacity under superstructure loads, occurrence of different or exceeding settlement and shallow foundations not being sufficient. These foundations are serviceable to vertical, lateral or combined loads. Lateral load analysis is required for pile foundations in; (a) earthquake and wind loads for high-rise buildings, (b) horizontal loads caused by wave and ship loads for harbour and shore structures, (c) wind and wave loads for off-shore structures. Horizontal loaded piles are forced to lateral deformation and bending. If the pile carrying capacity is exceeded, plastic hinges are formed on the pile and the pile load carrying length is limited by the depth of plastic hinge occurrence. In the condition that a foundation member is loaded in the horizontal direction until the failure, which is the ultimate loading condition. At the ultimate condition, related to soil-structure interaction; active, passive and state of rest conditions occur around the pile. For piles under vertical loads, calculations with empirical approaches can be done, however, calculation and design stages of lateral loaded piles are much more complicated. In addition, cohesive and cohesionless ground settings, soil stratification, existence of ground water, load types, rigid or flexible pile, bearing condition of the pile edge, single or group pile design are among the parameters that affect the horizontal loaded pile behaviour.

In literature from past to present, there are many analytical and experimental studies conducted on the design and investigation of the behaviour of piles. Behaviour of piles and pile groups under lateral loading condition can be categorised as; limit condition (Broms, 1964); Ground reaction method (Matlock & Reese, 1960); Elastic continuity approach (Poulos, 1971; Banerjee & Davis 1978); Compression – Displacement ( $p - y$ ) approach is commonly used for the design of piles exposed to lateral loading. This method, which is based on the Winkler theory, describes the interaction between empirically derived non-linear spring and structure, with laterally loaded ground model (Reese et al., 1974); With the progression of the technology, this problem can be investigated more sensitively and faster by using Finite Element Models (FEM) (Maqtadir & Desai, 1986; Brown & Shie, 1991; Trochanis et al., 1991; Kimura et al., 1995; Yang & Jeremic, 2005; Rajagopal & Karthigeyan, 2008).

Expected performance level from the piles is to not cause failure risk by not exceeding the allowed displacement limit during the service life, as a design principle. In order to meet the earthquake effects with minimum damage, true behaviour of the structure under horizontal loads and the parameters affecting the behaviour must be determined. Engineering parameters that are important for the design of piled foundations, such as; pile diameter, distance between the piles, pile diameter/pile length ratio, material which the pile is used in, ground properties,

relative density etc. should be knowledgeable about. This is because the pile behaviour under lateral load and the ultimate lateral load carrying capacity are determined by pile length and diameter, pile frictional angle, pile hardness, ground type and density. The more preferred empirical p-y curves accept more rigidity and underestimate the ultimate resistance at a depth of 4 times the pile diameter. Therefore, these curves need to be updated (Adeel et al., 2022).

In literature, experimental and numerical studies are carried out for single pile, pile group, horizontal ground and slope. Salini et al. (2009), have investigated the effects of pile diameter, pile length, pile material and density, soil density and pile roughness on the pile lateral load carrying capacity with experiments using soft steel pile model. It has been detected that as length, diameter, weight and roughness of the pile and the soil density increased the lateral load carrying capacity of piles increased as well. The lateral load capacity of the pile increased with increasing diameter for the same length due to pile stiffness. Pile group has more lateral load carrying capacity compared to single piles, this increase has been determined as %100 in the conducted study. Phanikanth et al., (2010a), lateral load behaviour of fixed head single pile in cohesionless soil for different degrees of relative densities under dry and submerged conditions. In the conducted parametric study, displacement values of short rigid piles with fixed cap in loose sand has increased approximately %49 when the soil condition has been

changed from dry to submerged. For medium and high density of soil, displacement increases for wet soil condition compared to dry condition are %30 and %33, respectively. For loose, medium and high density of soil, displacement increases for submerged soil condition compared to dry condition are %37, %25 and %29, respectively displacement values for flexible piles. Phanikanth et al. (2010b), have investigated the effects of soils with different degrees of relative densities and changes in water content on the lateral loaded piles. For short piles in loose sand that are not socketed and with free cap, approximately %58 increase has been observed in the displacements in submerged condition compared to dry condition. For medium-dense and high-dense sand, displacement increases are approximately %30 and %27, respectively. Uncuoğlu and Laman (2013) lateral load capacity of rigid short piles in sand soil; pile length, pile diameter, pile section geometry and pile material variables were investigated. For this purpose, piles with different materials, 3 different diameters, and L/D ratios of 3,4,5 are utilised. Increasing the pile diameter has positively affected the stability of the short rigid piles that are under overturning moment, lateral load carrying capacity has increased distinctively especially in the loose sand condition. Increasing the pile length has contributed to the system in both loose and high-dense conditions. As a result, the increase in the L/D ratio due to pile length increase, diameter increase and the change in soil relative density have increased the lateral load carrying

capacity. Uray et al. (2019) investigated the horizontal bearing capacity of a horizontally loaded single pile for 25 mm horizontal displacement in the Plaxis 3D program. Parameters such as different corrected SPT, pile diameter and pile length have been selected as variable. It has been observed that the variation of pile length (L) and pile diameter (D) shows linear behaviour after a certain L value in the design graphs, in which the variation of the lateral load (Q) of the individual pile is given.

Piles are generally built in groups to support the structures and pile group behaviour is distinctively different from single piles. Pile-ground-pile interactions cause more deviation in the pile group compared to single pile for the same average load. Bending moment of the pile group is significantly higher than of the single pile due to ground resistance getting weaker (Brown et al., 1987). Chandrasekaran et al. (2010), carried out static lateral load experiments on soft model pile groups buried in clay soil. In the experiments, 3 pile groups featuring piles with L/D ratios of 15,30 and 40, placed in 3-9D settings, are used. Lateral load carrying capacity of the piles from 3x3 grid and 3D spacing group is approximately %40 lower than of the single pile. In the 7D spacing, the maximum bending moments were similar to those of a single pile. Chore et al. (2012), investigated lateral load applied two groups of piles including non-linear behaviour of cohesive soil with finite element model method. Serial and parallel pile combinations are

considered. Pile diameter of 30-40-50-60 cm and pile length of 3 m are considered. Pile placement is done using spacings between 2D-5D. It has been observed that the lateral resistance of the pile group increases with the increase in the diameter of the pile. Increase in the lateral load carrying capacity is higher in the serial placement condition of the piles compared to the parallel placement condition of the piles. With the increase in the pile diameter and placement, positive bending moment has decreased and negative bending moment has increased.

Load transfer mechanism of the laterally loaded piles in sloping ground is complex. When the force applied to the laterally loaded piles is in the slope direction, lateral load carrying capacity of the pile decreases significantly. This condition is also dependant on the pile location in regard to slope. Studies conducted on this subject experimentally and numerically regarding the pile behaviour were investigated Sivapriya and Gandhi (2011); in order to investigate the pile behaviour in slope ground, conducted experiments with changing pile locations and slope. It is detected that as the slope increases, the load carrying capacity decreases and as the pile gets further away from the slope, capacity increases. As the soil resistance increase and pile gets further away from the slope and the applied load increased, bending moment has also increased. Sivapriya and Gandhi (2013), in clay soil, placed with different distance than the slope, single pile behaviour under lateral load is investigated using 1 g model tests and

Plaxis 3D analysis. Pile load carrying capacity has seen to decrease approximately %10-50, affiliated to the soil strength (cohesion) and the slope of the ground.

Finite element model has predicted the bending moment higher compared to the experimental tests. Deendayal et al (2017) repeated experiments for L/D ratios 20, 25 and 30 in a single pile embedded in soft clay at a slope of 1V: 1H, 1V: 1.5H, 1V: 2H, 1V: 3H. The pile bearing capacity decreases when the ground surface changes from horizontal to 1V: 5H slope. Test results were compared with finite element model PLAXIS 3D results. It has been observed that increasing the slope decreases the lateral load capacity both in the test and in the finite element analysis. As the passive resistance in front of the pile decreases on the sloped surfaces, the pile carrying capacity is reduced. The same results were obtained for the L/D ratio 20, 25 and 30. In the experiments conducted for aluminum piles, the bending moment increased as the slope increased. As the L/D ratio increased, the distance at which the maximum bending moment occurred decreased. Rathod et al. (2018), Sawant et al. (2012a-b) investigated the behaviour of a laterally loaded pile on sloping ground using the three-dimensional finite element method. As the slope and edge distance of the soil increased at any depth, the displacement and bending moment decreased. Effect of slope ground on the pile has seen to decrease for S=5D offset distance. Sawant and Shukla (2012b) as expected, the bearing capacity of the foundations decreases significantly as

the distance between the foundations and the slope edge decreases (Moem et al., 2022).

For design engineers, pile behaviour under axial load combined with lateral load is in a complex condition. In recent years, experimental and numerical studies are carried out to investigate the combined load effect. Lee et al. (2011), showed that the presence of axial load on a driven pile damages its lateral capacity, as the lateral displacement of the model pile head increases as the axial load increases in sandy soil. Bending moments in the pile cap under axial load compared to condition without axial load, have increased %10, %36 and %39 for loose, medium-dense and high-dense sands, respectively. Zadeh and Kalantari (2011) indicate that the combined loads in the lateral behaviour of the piles significantly increase the lateral capacity in sand and greatly reduce the capacity in clayey soils. In sandy soils, based on the level of the vertical loads, lateral load carrying capacity of the piles increases up to %40 percent along with the piles. As the lateral response L/B ratio of piles under combined vertical and lateral loading increases, the combined loading on the lateral capacity decreases. Zhang et al. (2020), have investigated pile behaviour in horizontal ground and slope ground with test and finite element method. 3D simulation of single pile in different shapes was made using ABAQUS program. Horizontal and vertical load combinations were applied. Tests and analyses carried out in order to examine the load carrying capacity of the ground has shown that the asymmetric ground load around the pile causes

lateral displacement to the pile, increase in the slope angle decreases single pile carrying capacity, vertical load causes more horizontal displacement as the slope angle increases.

With the literature considered, pile foundation systems under combined loading should be investigated furthermore. In this experimental study, parameters like lateral displacement under axial and lateral load, ground stresses caused by loading were investigated and relation between the ground and the pile foundation is tried to be presented. In the pile foundation design, knowledge about important parameters such as pile diameter, spacing between the piles, pile length/pile diameter ratio, soil relative density is necessary. Therefore, as a result of the performed model tests, a suitable approach for ground-structure interaction in lateral loaded pile foundation systems is chosen and optimum design parameters are tried to be identified.

## **2. Experimental studies**

In this study, design parameters such as settlement under axial and lateral load, deformation, displacement and maximum moment were examined with pile foundation system and relation between the foundation system, the structure and the ground was investigated. The occurrence of displacements is expected, especially in the structures serving under dynamic loads such as wave load and earthquake load, however, it is also expected for these displacements to remain in elastic

boundaries. With this condition considered, investigation of elastic and post-elastic behaviour of structures and obtainment of optimum design parameters are aimed. For model tests to be carried out, different combinations are made by changing engineering parameters such as pile diameters, pile spacing, pile length/pile diameter ratio, relative density of the soil which pile foundation is placed. Namings of the combinations used in the study can be seen in Table 1 In the definition of the combinations, pile length, soil relative density and pile placement spacing are used. For 8 mm pile diameter, Length/Diameter (L/D) ratio has been selected 10,15 and 30 while pile lengths are selected 80 mm, 120 mm and 240 mm. Spacing/Diameter (S/D) ratio is selected 3 and 6 and raft slab size has been selected 80\*128 mm and 128\*224 mm, accordingly. In sandy soil, selected two conditions of relative relative density are 50 (medium-dense) and 85 (high-dense). Effect of the soil relative density has been investigated in the tests. For the nomenclature in the Table, L/D pile length to diameter ratios of 10,15 and 30, and medium-dense soil relative density (M) and very high-dense soil relative density (V) are specified. Pile spacing conditions are specified 3/6 based on their properties.

In the tests, sand soil with the grain diameter of 0,5-1,0 mm was used. In the model tests, in order to determine the properties of the used soil; sieve analysis, pyknometer (ASTM D854-14), maximum and minimum void ratios (ASTM D4253-16), direct shear box (Astm D3080) tests for %50 and %85

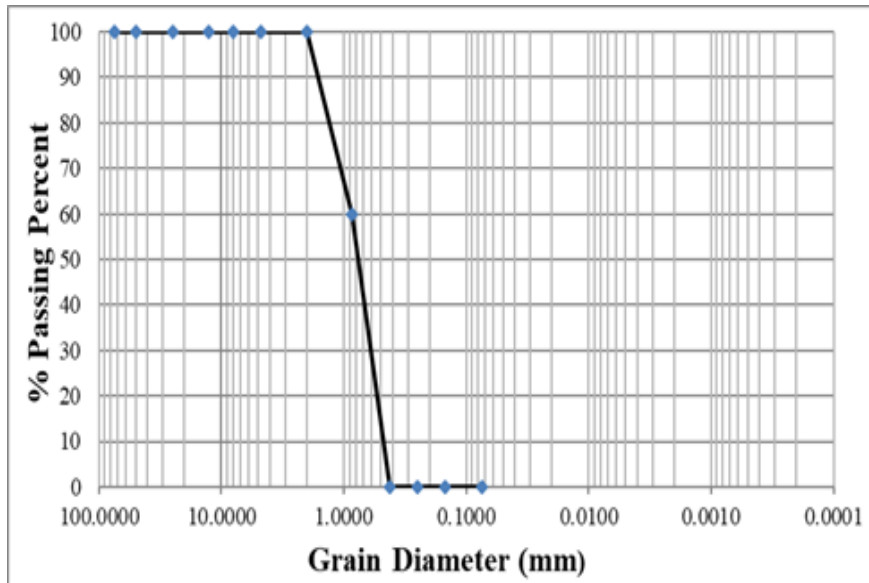
relative densities were performed. Granulometry curve of the soil is presented in Figure 1.

Sieve analysis results of poorly graded sand (SP) are presented in Table 2.

(ASTM 6913). Relative density properties are presented in Table 3 and Table 4. For %50 and %85 relative density values, necessary engineering parameters are determined for the placement of the model in the test tank.

**Table 1.** Namings for tests and graphs.

Test box 500*750*500 mm									
Pile	L/D			Dr		S/D		Test Name	
Diameter	10	15	30	50	85	3	6		
Diameter 8 mm	*			*		*		E10M3D8	
	*				*	*		E10V3D8	
	*			*			*	E10M6D8	
	*				*		*	E10V6D8	
		*			*		*		E15M3D8
		*				*	*		E15V3D8
		*			*			*	E15M6D8
		*				*		*	E15V6D8
				*	*		*		E30M3D8
				*		*	*		E30V3D8
				*	*			*	E30M6D8
				*		*		*	E30V6D8



**Figure 1.** Grain diameter distribution of sand soil.

**Table 2.** Physical properties of the sand.

Granulometer parameters	Unit	Value
Coarse Sand Percentage	%	0
Medium Sand Percentage	%	100
Fine Sand Percentage	%	0
D10	mm	0.48
D30	mm	0.65
D60	mm	0.85
D50	-	0.75
Uniformity Coefficient Cu	-	1.77
Gradation Coefficient Cc	-	1.03
Soil Class	-	SP

**Table 4.** Material properties of sand soil for high-dense and medium-dense conditions.

	%85	%50	Stell
$\gamma_{dry}$	1.70E-04	1.58E-04	77.8E-04
E(kN/cm <sup>2</sup> )	3.9	2.5	21000
$\nu$	0.3	0.3	0.3
G(kN/cm <sup>2</sup> )	1.385	0.81	
$\Phi(^{\circ})$	42	39	-
c(kN/cm <sup>2</sup> )	0	0	-

In model tests, test tank and raft sizes should be determined to keep the impact of boundary effects on test results minimal. In literature it is mentioned that the boundary effects do not change the test results and many studies are conducted about what are the raft and test tank sizes should be for the occurrence of semi-infinite setting. As a result of these studies, it has been determined that boundary conditions will not affect the experiment and thus provide semi-infinite environmental conditions if there is no spacing when between the edge points of the foundation and the tank edges is 2B and

there is 2L length of soil after L pile length is placed (Gandhi & Selvam, 1997; Yetimoğlu, 1998; Terzi et al., 2009; Sadrekerimi, 2010; Sawwaf, 2010; Yılmaz, 2010; Bağrıaçık & Laman, 2011). In conclusion, sizes of the sand tank used in the tests are 500\*750\*500 mm.

In all the tests, in order to standardise the relative density of the soil layer, pluviation method is used. Therefore, sand grain placement is performed from same height with same density. Sand from the pluviation gains speed in the pipe and is dropped from a fixed height into the tank. This natural flow ensures

the occurrence of soil layer with %50 relative density. Tank depth is 500 mm, for every 50 mm a mark has been placed, according to this: using oven cases with 30 mm diameter and 20 mm depth, relative density is checked by taking samples from top and bottom parts of the tank, twice for each filling.

Soil is placed in layers of 50 mm height into the tank. For very high-dense soil placement, sandy soil is placed into the tank in 50 mm layers of which are compacted using electrical vibration device until the desired layer thickness obtained. During the compaction, in order to obtain uniform relative density and to prevent the sand grains from breaking, a steel plate with the dimensions of 120\*120\*2 was affixed.

In the test setup of which the schematic view is presented in Figure 2.a; loading beam, loading piston, loading arm, load cell, displacement meter, piled raft foundation, pressure gauges are present. Loading piston capacity is 20 tonne and has a loading speed of 0.5 mm/min. Load cell inside the loading arm is for 5 tonne and has a sensitivity of 0.01 kN. Displacement meters are capable of measuring to 50 mm with 0.01 mm sensitivity. As can be seen in Figure 2b, piled raft foundation is placed in the sand tank with a speed of 0.5 mm/min and later load–settlement curves can be obtained with the help of these systems. With the pressure gauges, which are presented in Figure 2c, pressure values occurring at the bottom part of the raft foundation can be measured.

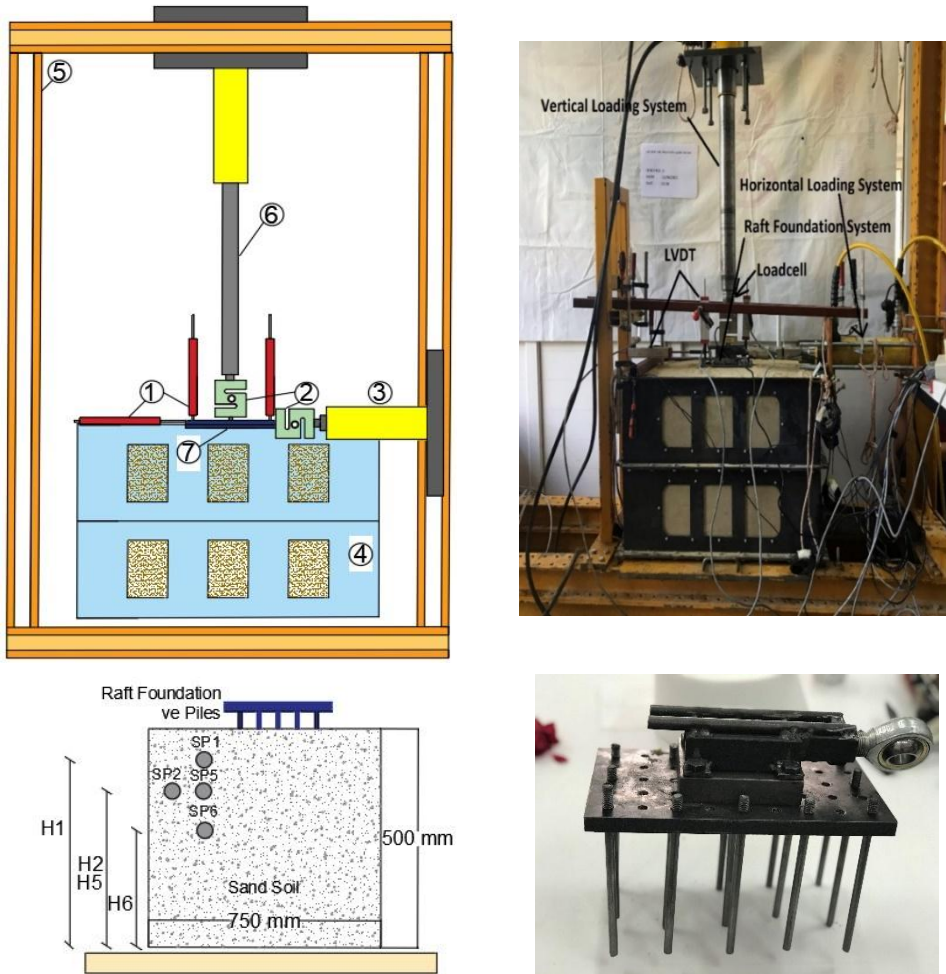
In order to get readings of the vertical and horizontal loads affecting the piled raft foundations, two electronic S type load cells with 5 tonne capacity are used during the tests. In the foundation groups with raft slab size of 80\*128 mm, 200 kg (0,2 kN) vertical load is applied before applying the horizontal load. For the foundation groups with raft slab size of 128\*224 mm, 500 kg (0,5 kN) vertical load is applied before applying the horizontal load. For the vertical loading, 0,6 times the ultimate vertical load is determined and applied (Zadeh & Kalantiri, 2011). Displacement of the pile group has been determined with the displacement meters placed on the raft slab in vertical and horizontal directions. During the tests, all the measurements are transferred to computer using datalogger. For displacements, mm unit is used, kN unit is used for loads and kPa unit is used for pressures.

### 3. Numerical Study

In the study, data from the tests are verified with numerical analyses using Plaxis 3D CE V20 programs (Plaxis 3D, 2013). The ground is modelled 3D as 50\*75 cm in width and 50 cm in depth, with the consideration of case dimensions. In order to reflect the ground behaviour more realistic, parameters defined in the models were selected carefully, which are presented in Table 4. Angle of dilatancy has been defined using  $\psi=\theta-30^\circ$  formula in Plaxis 3D Foundation program.

Due to the non-linear stress deformation behaviour of the ground in Plaxis 3D v-2013 Reference Manual, this behaviour





1. Displacement Meter
- 2-3. Loadcell
4. Sand Tank
5. Load Frame
6. Loading Arm
7. Piled Raft Foundations

**Figure 2.** Experiment equipment and schematic illustration.

has been defined “Mohr-Coulomb (MC)”. Pile and raft foundation have been defined with Linear Elastic model and selected material properties are presented in Table 5.

Numerical analyses are carried out in four stages. These stages are as following; definition of initial stress

condition, forming of the piled raft foundation, applying the vertical and horizontal load.

Vertical load has been applied distributed load on the foundation in one stage. Horizontal load has been applied incrementally with 0,2 kN each

**Table 5.** Steel material properties.

	Pile (8 mm)	Foundation (3D)	Foundation (6D)
$\gamma_k$ (N/cm <sup>3</sup> )	0.077	0.077	0.077
E(N/cm <sup>2</sup> )	2.1x10 <sup>7</sup>	2.1x10 <sup>7</sup>	2.1x10 <sup>7</sup>
D(cm)	0.8	2	2
A(cm <sup>2</sup> )	0.5027	102.4	286.72
I2-I3(cm <sup>4</sup> )	0.0201		

interval until the failure of the ground as point load. After the acquisition of the initial stresses, the displacement values occurred in the initial phase have been resetted to zero for the next stages of the calculations.

Model tests subjected to static loading are carried out in order to investigate the effect of the boundary conditions on the test results using two sand tanks with the dimensions of 50\*75\*50 cm and 75\*150\*100 cm. Numerical models are created in Plaxis 3D program for different foundation dimensions using stiffness parameters presented in Table 3 and Table 4. Numerical analyses are performed for 50\*75\*50 cm (Figure 3b), 75\*150\*100 cm (Figure 3c) and field conditions (Figure 3d). As mentioned in the literature (Ateş et al, 2021) results obtained from the reference tests are compared to Plaxis 3D finite element model program results. In all three conditions, lateral displacement and carrying capacity results were similar. Therefore, the tanks used in the study were acceptable for the test results.

Load-displacement graphs obtained from the analyses for the evaluation of the boundary condition, maximum pile length used in the study are given

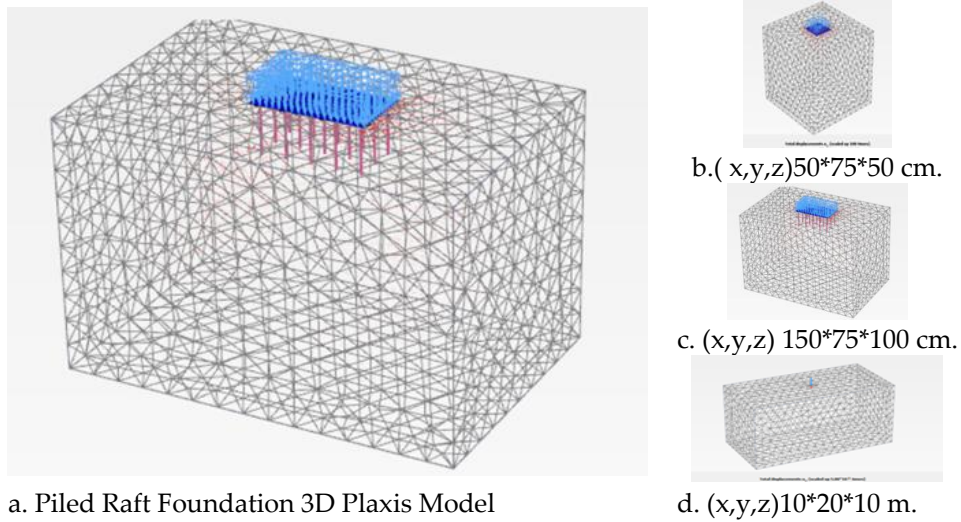
comparatively for two different (relative density) conditions. From the graphs, results for the sample with L/D ratio of 30 for sand tank boundary conditions can be seen matching. Therefore, the sand tank with 50x75x50cm dimensions used in the study is sufficient.

#### 4. Research findings

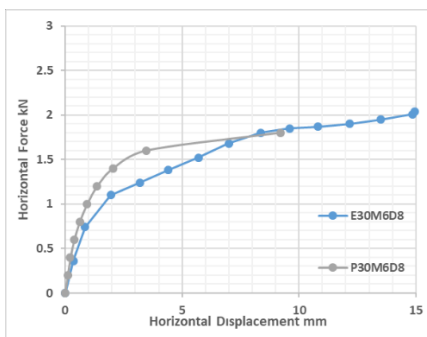
In this study, piled foundation system under vertical load has been analysed under static incremental horizontal load. Horizontal load initial condition has been created for the changing vertical load condition regarding the piled foundation system geometry. In this section, applied vertical load values for two different slab size and settlement conditions are presented comparatively.

##### *Vertical Force- Vertical Displacement*

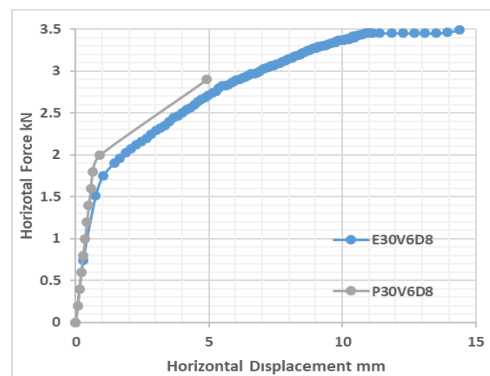
In foundation groups with raft slab size of 80\*128 mm vertical load is applied before applying the horizontal load. Displacement of the pile group is measured with two different measurements using displacement meters placed on the raft slab in the vertical direction. For medium-dense sand comparison with L/D: 10,15 and 30, E10M3D8, E15M3D8, E30M3D8 tests are compared.



**Figure 3.** Plaxis 3D numerical models overall view and tank dimensions.



a) Medium dense soil



b) Very dense soil

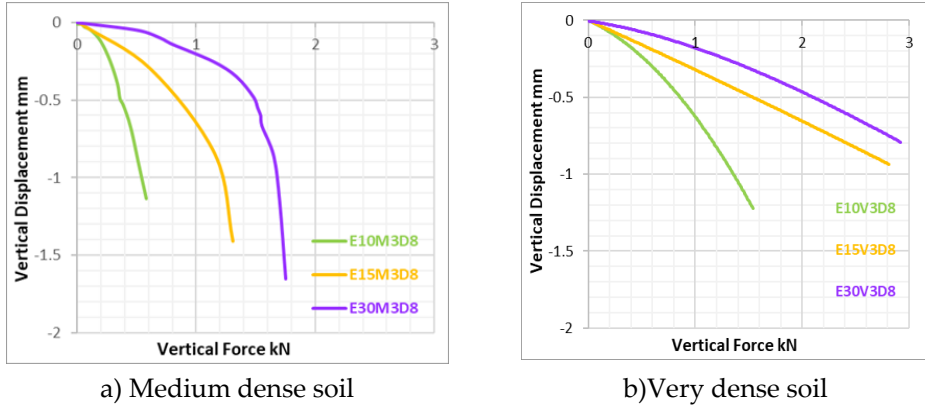
**Figure 4.** Verification of the finite element analysis and test results for L/D ratio of 30.

For very high-dense sand comparison with L/D: 10,15 and 30, E10V3D8, E15V3D8, E30V3D8 tests are compared

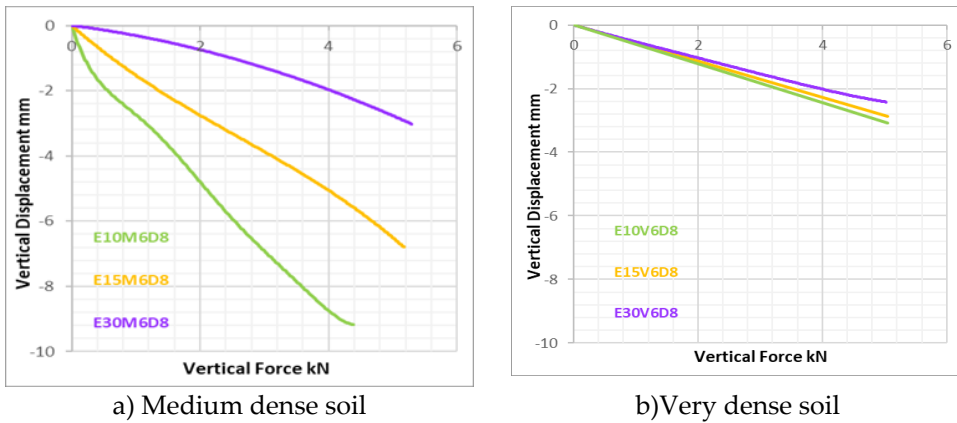
For the foundation groups with raft slab size of 128\*224 mm, 500 kg (0,5 kN) vertical load is applied before applying the horizontal load. Displacement of the pile group is measured with two different measurements using displacement meters placed on the raft slab in the vertical direction.

For medium-dense sand comparison with L/D: 10,15 and 30, E10M6D8, E15M6D8, E30M6D8 tests are compared. For very high-dense sand comparison with L/D: 10,15 and 30, E10V6D8, E15V6D8, E30V6D8 tests are compared.

Based on the superstructure load, settlement occurs in the raft and pile systems. When this settlement is calculated: raft width, ground elasticity



**Figure 5.** L/D ratio comparison under vertical force for medium-dense and very high-dense soil.



**Figure 6.** L/D ratio comparison under vertical force for medium-dense and very high-dense soil.

module, ground poisson ratio should be considered. From the test results, it was seen that as the raft size increased, the settlement decreased. In addition, as the soil relative density increase, the ground elasticity module will increase aswell and as the elasticity module increases, settlement of the piled raft foundation decreases.

Short piled raft foundation was exposed to more settlement compared to long piled raft foundation. Because the

settlement has decreased due to the increase in the lateral friction. For medium-dense soils and 6D placement, maximum capacity for short piles has been achieved at a greater displacement while for the long piles maximum capacity was reached at a smaller displacement. For medium-dense soil, 3D pile placement was seen to be ideal while for the high-dense soil, 6D was a more optimum placement. For same values of settlement, long piles have more carrying capacity compared to short piles.

### *Horizontal Force – Horizontal Displacement*

All samples brought to the final vertical limit in the study were analysed under static incremental lateral load. The results obtained in this context are presented in the section.

#### ➤ Effect of Soil Relative Density Ratio

In order to investigate the effect of soil placement on the carrying capacity of pile groups, tests are carried out for two different relative density values. In the model with raft slab of 80\*128 mm; piles with 8 mm diameter, L/D ratios of 10,15 and 30, and relative densities of 50 and 85 are utilised. Test names for these models are determined; E10M3D8, E10V3D8, E15M3D8, E15V3D8, E30M3D8 and E30V3D8. Tests are repeated for these correlations. In 3D placement condition, for all pile lengths, horizontal load-vertical displacement graphs are presented comparatively for medium and high-dense soil conditions with equal axis scaling. In graphs, numerical analysis results created for all model tests with the use of Plaxis 3D finite element model program are also presented.

Increase in the soil relative density affecting the horizontal carrying capacity positively can be seen in all the graphs. For the condition of pile length/diameter ratio being 10, very high-dense soil compared to medium-dense, 2,72 times higher capacity was obtained. For 15 length/diameter ratio, this increase is 3 times and for 30, 1,8 times. Lateral displacement response of

L/D 30 condition compared to L/D 10 and 15 conditions was a more rigid slope in the graphs. In performed model tests, lateral soil resistance is exceeded at 8 mm position for L/D ratios of 10 and 15 in medium-dense soil condition. However, a resistance occurrence was observed at 8 mm in long pile but then gained rigidity and went into collapse mode at 15 mm position. As the vertical stresses throughout the pile increase, lateral stresses increase as well. The increase of the lateral stresses results with higher passive forces being active (Chatterjee, 2022). This condition reflects that with the increase in the passive soil pressure support, pile shows resistance again.

This obtained result is in agreement with Broms (1964b) study. According to Broms (1964b); horizontally loaded pile is forced to deform and bend in horizontal direction. In cohesionless soils, reaching the ultimate load and plastic hinge occurrence on the pile conditions are expressed related to passive stresses. If the pile carrying capacity is exceeded, plastic hinge occurs on the pile and load carrying length of the pile cannot increase any further and is limited at the depth of the plastic hinge. A ground element loaded in the horizontal direction will be loaded until the failure occurs. When the limit condition, the failure condition, is reached, passive stresses are formed in the ground.

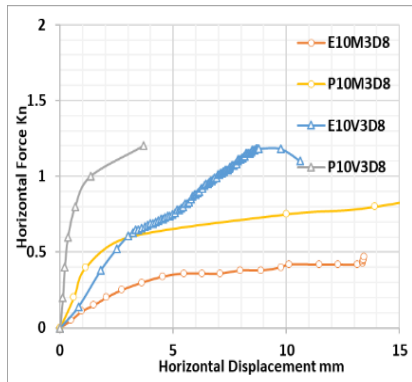
From the results, first displacement resistances of the high-dense placement were seen notably higher compared to the medium-dense placement, for all the

pile lengths. From the comparison of the graphs, lateral displacement resistance for L/D ratio 10 and 15 occurred at 3 mm and foundation system regained resistance at 5 mm.

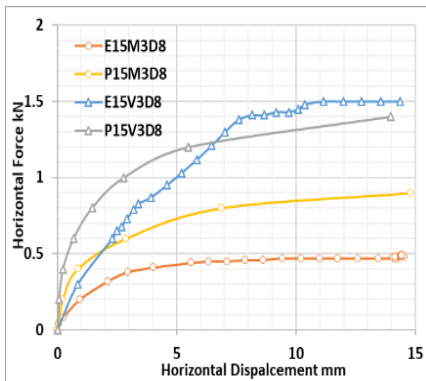
For L/D ratio of 30, obtained results show that lateral displacement resistance compared to the other lengths has proceeded without a notable loss until 8 mm. For the following displacements, it was seen that rigidity did not lose value and this condition went on until 15 mm with positive contributions to the capacity.

Numerical analysis results of 8 mm pile for medium and very dense soil conditions for different pile lengths have shown that for the L/D ratio of 10 condition, while high dense soil condition ultimate value is matching, settlement stiffness is separated with the test results.

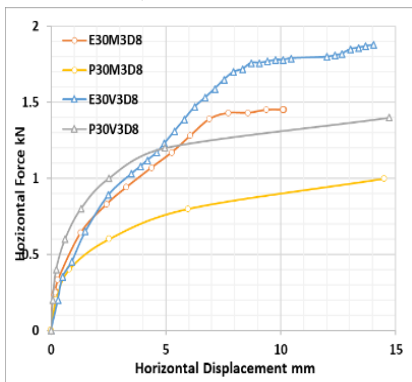
For medium dense condition, ultimate value has been found approximately 1,5 times of the test results. Displacement stiffness was also higher for the numerical model in this condition. As the pile length increased, the numerical analysis and test results became more consistent with each other. The most ideal of the results has been obtained from L/D ratio of 30, high dense soil condition. The L/D ratio of 30, high dense soil condition numerical analysis result was matching with the test result until the horizontal displacement value of 5 mm. Following that point, separations was observed in pile behaviour due to space between the grains in the pile-soil interaction zone. The analyses has shown that the block/bulk behaviour occurring in the pile-soil interaction zone with the increase in the pile length and the soil relative density is positively affecting the alignment between the numerical



a) L/D ratio 10



b) L/D ratio 15



c) L/D ratio 30

**Figure 7.** Graphs for L/D ratio of 10,15,30.

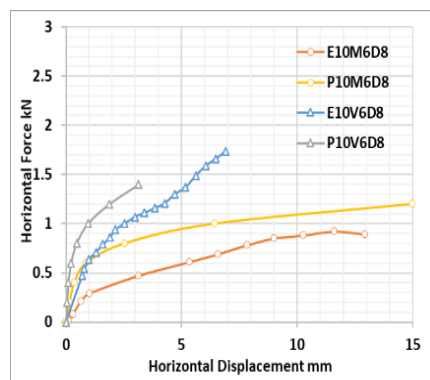
analysis and test results. Therefore, it can be concluded that the effects of void/space between the grains and deformation occurrence on the piles should be taken into consideration for numerical analysis.

In the model with raft slab of 128\*224 mm; piles with 8 mm diameter, L/D ratios of 10,15 and 30, and relative densities of 50 and 85 are utilised. Test names for these models are determined; E10M6D8, E10V6D8, E15M6D8, E15V6D8, E30M6D8 and E30V6D8.

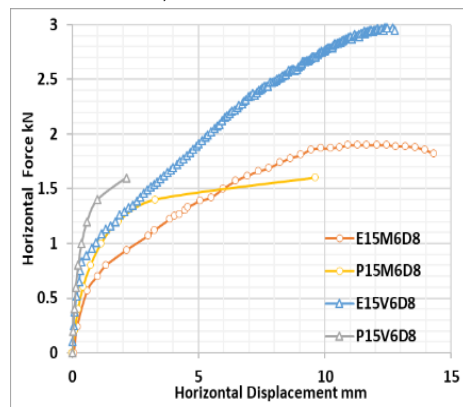
In 6D placement compared to 3D placement, obtained horizontal force values are average of 2 times high. In the condition of pile length/diameter ratio being 10, very high-dense soil compared to medium-dense soil has resulted with 2,2 times higher horizontal carrying capacity. For L/D ratio of 15 condition, this increase is 1,5 times and for L/D ratio of 30, it is 1,8 times as much.

Model test results of 6D pile setting show that obtained capacity curve behaviour in medium-dense and high-dense conditions for L/D ratio of 10 is similar to 3D setting. In design of the laterally loaded piles, ultimate lateral resistance of the soil affecting the pile is the most important aspect (Zhang et al., 2005). However, for L/D ratio of 15 and 30 conditions, the increase in the soil density around the pile surroundings has affected the behaviour distinctively. For L/D ratio of 15 condition, first displacement rigidity loss values are matching. For L/D ratio of 30 condition, displacement stiffness is exceeded for the same lateral displacement again,

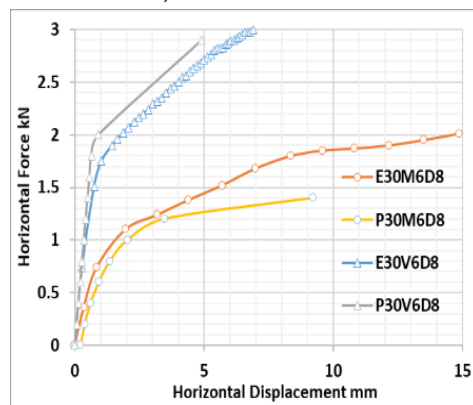
however, obtained capacity increase for this condition is twice as much.



a) L/D ratio 10



b) L/D ratio 15



c) L/D ratio 30

Figure 8. Graphs for L/D ratio of 10,15,30.

Comparison of the numerical analysis results of 8 mm pile diameter for 6D placement and the model test results have shown that the consistency between models has increased. This condition can be explained with the activity of the soil between the piles in pile-soil interaction zone under horizontal load. In 3D placement, while the side surfaces of the most outer piles and pile toe provide resistance for lateral load, in 6D placement, soil layer between the piles is added to this resistance as friction. Therefore, the zone under the

slab is contributive to the block/bulk behaviour. Thus, the gap between the numerical analysis and the model test gets narrowed.

➤ Effect of L/D Ratio

In the model with raft slab of 80\*128 mm; piles with 8 mm diameter, L/D ratios of 10,15 and 30, E10M3D8, E15M3D8, E30M3D8 tests are compared. For very high-dense sand comparison with L/D ratios of 10,15 and 30, E10V3D8, E15V3D8, E30V3D8 tests are compared.

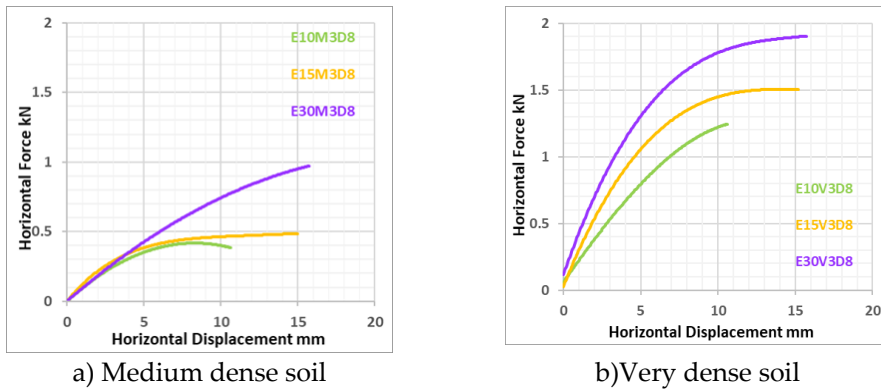


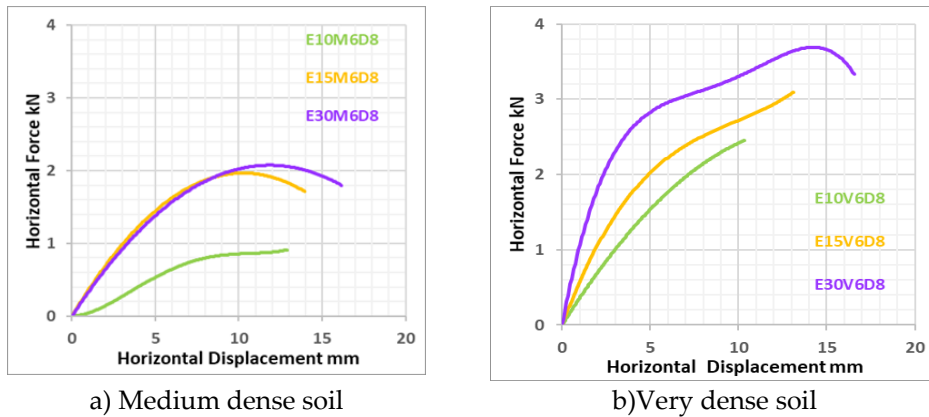
Figure 9. L/D ratio comparison in medium-dense and high-dense soils.

In figure 9, effect of change in the pile length on the lateral carrying capacity in medium and high-dense setting can be seen. For medium-dense condition, behaviour for lateral displacement is similar for all pile lengths. Behaviours for L/D ratios of 10 and 15 are very similar. For L/D ratio of 30, the passive stresses caused by soil loading after 10 mm lateral displacement, has reflected to results and increased the ultimate carrying capacity twice as much. Graphs of very high-dense setting shows that the increase in the pile length has increased lateral carrying capacity notably. Most

distinctive difference in the graphs is that collapse occurred soon after the ultimate load is reached in L/D ratio of 10 condition, however, ultimate loads are in a stoop rather than a focused point for other pile length conditions.

In the model with raft slab of 128\*224 mm; piles with 8 mm diameter, L/D ratios of 10,15 and 30, E10M6D8, E15M6D8, E30M6D8 tests are compared. For very high-dense sand comparison with L/D ratios of 10,15 and 30, E10V6D8, E15V6D8, E30V6D8 tests are compared.





**Figure 10.** L/D ratio comparison in medium-dense and high-dense soils.

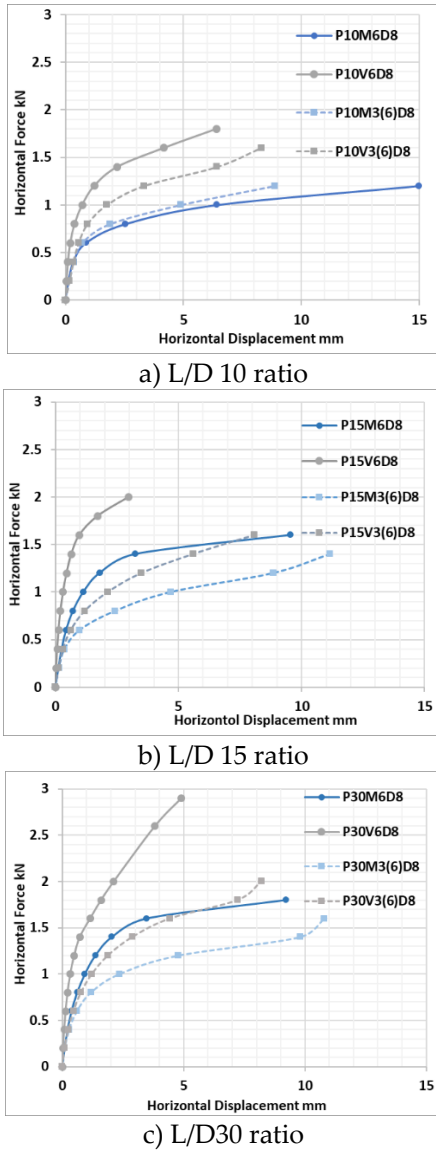
In 6D setting, the increase in the pile length, due to soil condition being medium-dense, couldn't provide much contribution to L/D ratio of 30 condition unlike to L/D ratios of 10 and 15 conditions. In medium-dense soil setting, no further contributions to the foundation system were detected from pile length L/D ratio being higher than 15. However, increasing pile length contributes to the lateral carrying capacity at the same rate in the very high-dense soil setting.

From investigating the L/D ratio and the lateral load carrying capacity relations, it was detected that L/D ratio increasing by the increase of pile length, which increases the pile friction area, has a positive impactful effect on the lateral load carrying capacity of the pile (Ersoy & Yildırım, 2014). Pile length increase has provided more contribution to lateral load carrying capacity in high-dense sand setting compared to loose sand setting (Uncuoğlu & Laman, 2013).

In the conducted experimental studies in the literature, it was observed that lateral support of the piles and lateral carrying capacity of the foundation system is higher in dense soil compared to loose soil. Long piles due to having more surface area contacting the surrounding soil, can dissipate more energy (Nguyen et al., 2017). It was observed that due to increase in the L/D ratio also increasing the carrying support provided by the pile lateral friction, the lateral load carrying capacity of the foundation system has increased %70-200, which is in agreement with the studies in the literature.

In the study, 3D placement for 8 mm pile diameter and 12.8\*22.4 cm slab dimensions is modelled using Plaxis 3D and the results from the model is presented comparatively with 6D placement results for the same size of slab in Figure 11.

For the determination of the lateral displacement stiffness of the piled foundation systems working under horizontal loads, test and numerical.



**Figure 11.** 3D and 6D Plaxis 3D analysis results.

analysis results have shown that pile-soil interaction zone is substantial. Biggest slab used in this study with 6D placement has been analysed also for the 3D placement in numerical analysis. For the two different placements, by means of lateral resistance, the change in the interaction performance of the soil

between the piles can be seen. 6D placement compared to 3D placement, for L/D ratio of 30 condition, has resulted with 70% higher capacity for high dense condition and 28% for medium dense condition. For L/D ratio of 15, this increase between the placements were 10% for high dense and 14% for medium dense. For L/D ratio of 10, 12% for high dense condition and 13% for (8 mm displacement) medium dense condition. Analyses show that the pile-soil interaction between the piles positively and significantly affects the lateral displacement stiffness. This effect, the gain, can be seen more clearly as the pile length increases.

➤ Ground Pressure Comparison

For the structure and soil interaction, in order to make an economical design in such a way that the deformation remains elastic and within acceptable limits, it is important to determine the stresses and displacements caused by the deformation in the soil environment caused by the loads acting on the foundation soils.

Due to soils having a complex structure, in order to obtain realistic stress-deformation analysis, model tests were prepared and soil pressures caused by the loadings and other changing parameters were measured using the soil pressure gauges placed at certain elevations.

Force-soil pressure graphs are presented using the data obtained from the pressure gauges placed at different elevations for each test. For L/D ratio of

10; E10M3D8 and E10V3D8 tests in medium and high-dense conditions for 80\*128 mm foundation, E10M6D8 and E10V6D8 tests in medium and high-dense conditions for 128\*224 mm foundation are utilised in comparison.

In the tests for this category, soil pressure gauges SP1, SP5 and SP6 has been placed 25 cm into the tank at -10 cm, -15 cm and -20 cm elevations. In order to observe the changes in the lateral soil pressure, SP2 was placed 15

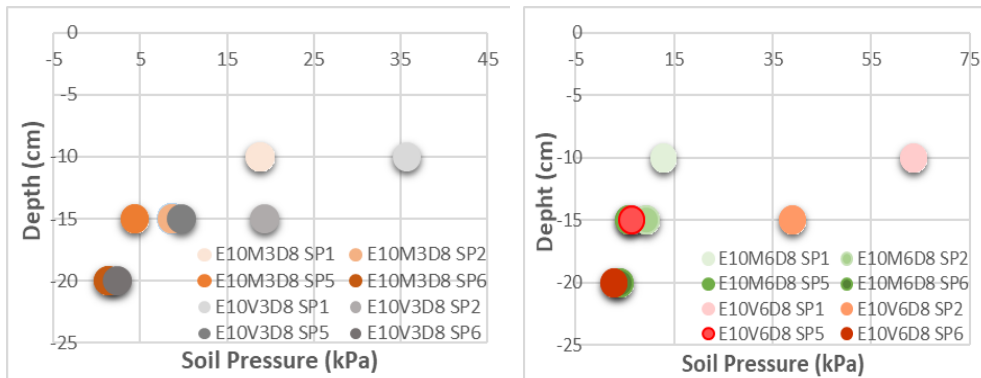


Figure 12. Soil pressures for L/D ratio of 10 in medium-dense and very high-dense soil.

cm into the tank at -15 cm elevation.

For L/D ratio of 15; E15M3D8 and E15V3D8 tests in medium and high-dense conditions for 80\*128 mm foundation, E15M6D8 and E15V6D8 tests in medium and high-dense conditions for 128\*224 mm foundation are utilised in comparison.

For the tests in this category, soil pressure gauges SP1, SP5 and SP6 has been placed 25 cm into the tank at -15 cm, -20 cm and -25 cm elevations. In order to observe the changes in the lateral soil pressure, SP2 was placed 15 cm into the tank at -20 cm elevation.

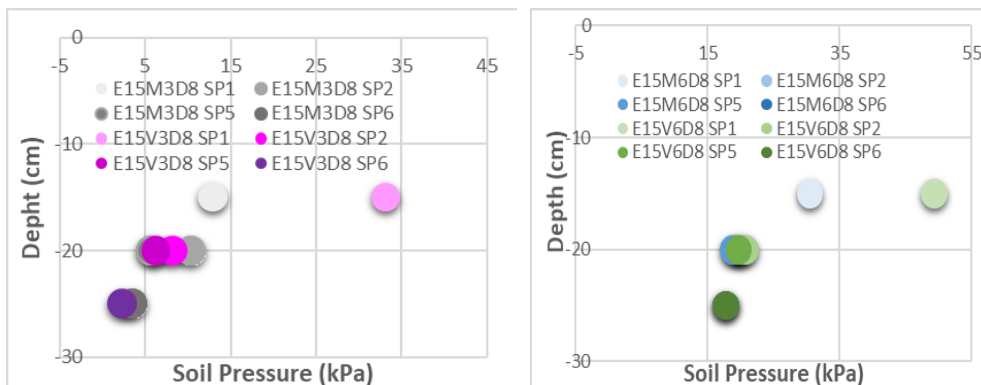
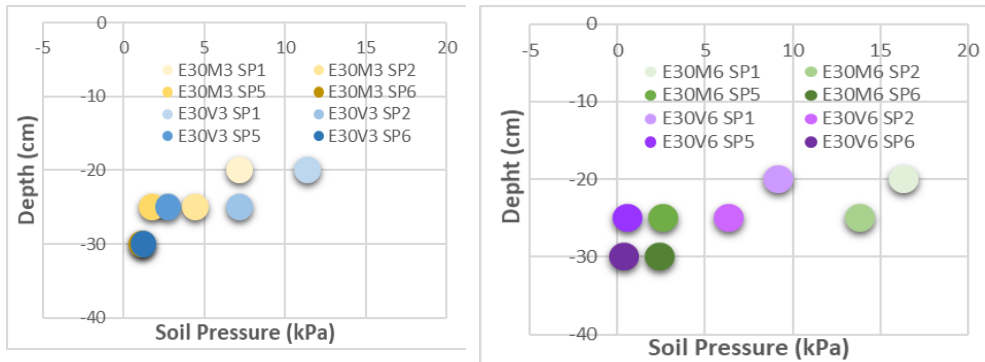


Figure 13. Soil pressures for L/D ratio of 15 in medium-dense and very high-dense soil.

For L/D ratio of 30; E30M3D8 and E30V3D8 tests in medium and high-dense conditions for 80\*128 mm foundation, E30M6D8 and E30V6D8 tests in medium and high-dense conditions for 128\*224 mm foundation are utilised in comparison.

For the tests in this category, soil pressure gauges SP1, SP5 and SP6 has been placed 25 cm into the tank at -25 cm, -30 cm and -35 cm elevations. In order to observe the changes in the lateral soil pressure, SP2 was placed 15 cm into the tank at -30 cm elevation.



**Figure 14.** Soil pressures for L/D ratio of 30 in medium-dense and very high-dense soil.

Laterally loaded piles usually are designed according to bending moment and displacement criterions, in many conditions. Because the ultimate carrying capacity of the soil surrounding the pile can only be reached at very high displacement values. The soil response is nonlinear, although the ultimate carrying capacity of the soil surrounding the pile is in many cases not fully activated. As a result of this; relation between load, moment and displacement in laterally loaded piles are nonlinear, even at safe load values (Duncan et al., 1994).

There are two factors causing the nonlinear behaviour for laterally loaded piles. First, load-displacement behaviour of the soil surrounding the pile is nonlinear. As the load is transmitted from the pile to the ground at an

increasing rate, the displacement increases with a greater rate. The second is when the strength of the soil at the top of the pile reaches it's ultimate value, additional loads are transmitted to deeper soils as they do not reach the ultimate value of strength to the same degree. To transfer loads to deeper soils, the pile displaces more along the depth and the soil resistance increases along the depth. Therefore, the moments increase much faster than the load acting on the pile head. The analyses show that for the larger value of the lateral load, the maximum moment and soil resistance occur at deeper depths, not at the pile head (Duncan et al., 1994).

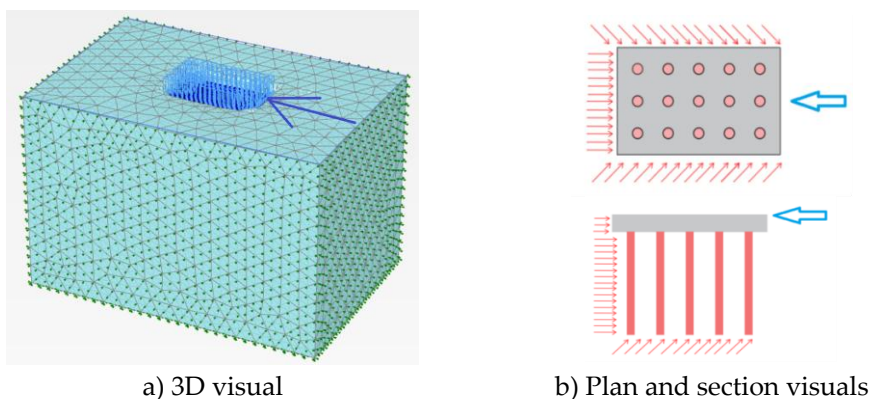
In the case of lateral loads, the piles act as a transversely loaded carrier element. Lateral load is transferred to the surrounding soil by means of the soil's

lateral resistance. When a pile is loaded laterally, some or all parts of the pile tries to slide horizontally in the direction of the applied load. This behaviour causes the pile to bend, rotate or shift (Salgado, 2007). As the pile applies pressure on the ground in front of it, compressive stresses and deformations develop in the soil that provides resistance to the pile movement.

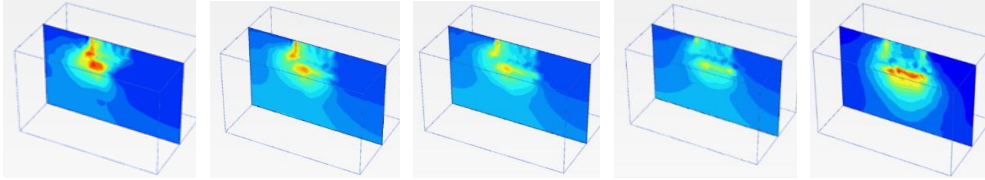
Accordingly; as the number of piles increased, as the raft head grew and as the carrying capacity increased due to the increase in the soil relative density, the stress values formed in the soil has increased aswell. For the L/D ratio of 10, the ground pressures increased by %100 when switched from medium-dense to very high-dense setting, this increase is %60 when switched from 3D to 6D setting. For the L/D ratio of 15, the ground pressures increased by %120 when switched from medium-dense to very high-dense setting, this increase is %50 when switched from 3D to 6D setting. For the L/D ratio of 30, the

ground pressures increased by %100 when switched from medium-dense to very high-dense setting, this increase is %50 when switched from 3D to 6D setting. Because the load transferred to the pile base is related to the stiffness of the pile. The L/D ratio, which is the slenderness (pile length / pile diameter), is defined as a parameter of pile stiffness. As the stiffness of the piles decreases, the load transferred to the pile point decreases (Birand, 2001).

In addition, the stress change depending on the L/D ratio was also examined. Ground loading conditions and loading direction of the conducted experimental study have been presented in Figure 15a. Depending on the static incremental load, stresses occurring in the ground forms around the load resisting pile-soil interaction surfaces (Figure 15.b). With the increase of the L/D ratio depending on the pile length, stresses are concentrating on the pile ends and load resisting surfaces. Visuals for the ground stresses are presented in Figure 16.



**Figure 15.** Loading direction and resistance surfaces.



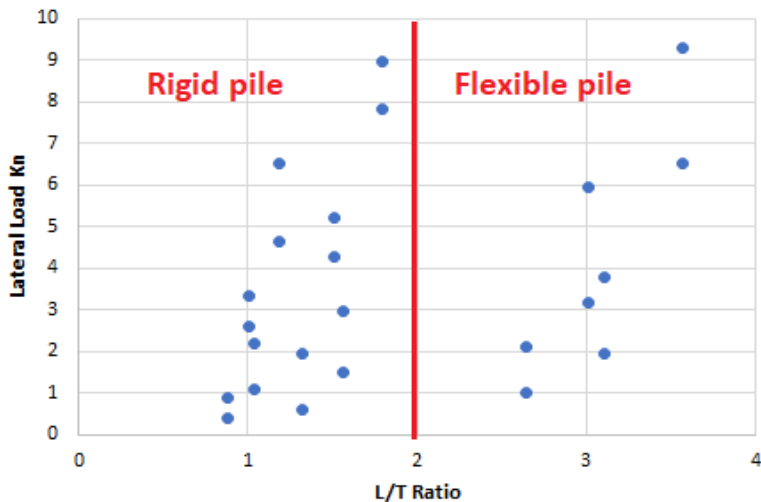
**Figure 16.** Stress change with the increasing load.

Lateral load analysis procedures differ for short, medium and long shafts. Short, medium and long shaft classifications are based on shaft characteristics (ie length, diameter and bending stiffness) and ground conditions described below. A pile with an  $L/T < 2$  based on stiffness is considered "short" as long as it maintains a lateral deflection pattern close to a straight line.

The pile is defined as "long" when  $L/T = 4$ .  $L$  is the length of the pile below the ground surface and  $T$  is relative hardness defined  $T = (EI/f)^{0.2}$ ; where  $f$  is the subsoil reaction coefficient ( $F/L^3$ ). The relative hardness value changes

with  $T$ ,  $EI$  and  $f$ . For a short pile, the bending stiffness ( $EI$ ) in the analysis can have a constant value (linear elastic). The subfloor reaction coefficient  $f$  changes with the deflection level and decreases with increasing lateral load.

When  $(4 > (L/T) > 2)$  the shaft acts as a "middle" pile. When a middle pile is analysed as a long pile, it results in an overestimated lateral response. It should be noted that the classification of pile type in this study (ie, assessment of its relative stiffness,  $T$ ) is based on the initial bending stiffness of the shaft and the average of the subsoil reaction coefficient ( $f$ ), including free-field liquefaction effect (Report CA04-0252, 2008).



**Figure 17.** Horizontal load capacities based on L/T ratio.

L/T ratios were calculated for two different diameters (8 and 16 mm) and three different L/D ratios 10, 15 and 30 depending on the pile diameter and presented in a table. It is presented in Figure 12 that the test results of the piles classified as short and medium piles depending on the L/T ratio show behavioural differences depending on the slenderness. For the short piles failure condition, failure occurs as a result of the soil reaching the limit state before the piles reach the limit state, while for the long piles failure condition, failure occurs when the piles reach the limit state.

## **5. Conclusions**

In this study, model experiments were carried out to examine the pile foundations under vertical and horizontal loads in cohesionless soils for their behaviour regarding the lateral load carrying capacity and the variables. The effects of relative compactness, pile spacing and L/D ratio were investigated in the experiments. Load-displacement graphs and soil pressure values for different depths are presented.

As seen in the soil resistance-compactness relationship, with the increase in the relative compactness of the soil, the lateral carrying capacity of the soil increased 1.5-1.7 times for 80\*128 mm piled foundation and 1.5-2.2 times for 128\*224 mm foundation. For this reason, the overall lateral support of the pile has increased and the results have increased accordingly.

The increase in soil resistance increased the displacement stiffness applied by the soil to the pile. When the raft foundation condition of 80\*128 mm, where the pile spacing is placed in 3D, is changed to the 6D setting 128\*224 mm raft foundation, the contact area of the raft and the ground has increased, thus increasing the friction area and making a positive contribution to the lateral load carrying capacity.

The optimum pile spacing is specified as 1.5D-12D in the literature. When the pile spacing increased from 3D to 6D, the lateral load carrying capacity increased by 50-70% in medium dense soil and 100% in very high dense soil. While the optimum pile spacing is 3D in medium dense soil setting, it is determined as 6D in very high dense soil setting.

Lateral load carrying capacity increased with the increase of L/D ratio from 10 to 30 based on the pile length. For the 80\*128 mm foundation with L/D ratio of 10 in medium dense soil setting, with the increase in the L/D ratio, an increase of 20 percent was achieved for L/D ratio of 15, and 90% increase for the L/D ratio of 30. These increases for L/D ratios when compared for the very high dense soil condition, it was detected 25% for L/D ratio of 15 and 110% for L/D ratio of 30. In the 128\*224 m raft foundation, this increase is 100%-165% in medium dense sand, and 25%-75% in very high dense sand.

Lateral bearing capacity has increased at all pile lengths up to lateral displacement of 10% of the pile diameter. After this level, the lateral

bearing capacity for L/D ratio 10 started to decrease, but the lateral displacement resistance continued to increase up to a certain value at L/D 15 and L/D 30 ratios where the pile length increased.

Soil pressures in horizontal loading condition, in cases where the L/D ratio is 10 and 15, were formed at the pile point the most and increased with depth, as seen in the short pile behaviour. In the L/D ratio of 30 condition, the maximum soil resistance was formed at the higher levels of the pile, and the stresses measured from the pressure gauges at the pile point decreased compared to other lengths. Because as the slenderness of the piles increases, the load transferred to the pile point decreases.

From the finite element analysis carried out using Plaxis 3D, for medium dense soil, as the pile length increased, the lateral carrying capacity has increased linearly. From the tests, for 3D placement, as the L/D ratio raised from 10 to 15 and for 6D placement as the L/D ratio raised from 15 to 30, effect of the pile increase has not been observed. Field conditions were considered for the tests. Ground behaviour has been observed to change as extra space/void is formed between the grounds due to loading. This behaviour could not be addressed in the finite element models and due to this, the ground has acted more rigid and resulted with higher capacity.

6D placement models compared to 3D placement models have resulted with higher lateral resistance capability. In 3D placement even with the pile increase,

the results were lower than of the 6D placement. The reason for this condition is the lateral surfaces of the outer piles and soil-pile end point interactions. In 6D placement, soil-pile interactions between the piles is also added to this condition and therefore 6D placements has higher lateral displacement resistance. This result has been obtained in both test and the numerical models.

In the finite element analysis carried out in Plaxis 3D program, as the pile length increased in high dense soil a linear increase has been observed in lateral carrying capacity. The high dense soil condition results are matching for finite element model analysis and test.

#### **Declaration of Ethical Standards**

The authors declare that they comply with all ethical standards.

#### **Credit Authorship Contribution Statement**

Author 1: Sources, Research, Methodology Essay, Writing – original draft, Visualization, Analysis and interpretation, Editing  
Author 2: Experiment, Methodology, Analysis and Interpretation, Project management, Financing Visualization, Editing  
Author 3: Research, Experiment,  
Author 4: Analysis and interpretation Visualization, Editing,  
Author 5: Analysis and interpretation Visualization, Editing,

#### **Declaration of Competitive Interests**

The authors have no conflict of interest to declare regarding the content of this article.

#### **Data Availability**

All data generated or analyzed during this study are included in this published article. Data will be made available if deemed necessary.



## Acknowledgement

This study has been prepared within the thematic area of 'Construction, Construction Management and Construction Materials' of YÖK 100/2000 doctoral program. The authors thank YÖK and YÖK100/2000 program staff. We would like to thank SDUBAP for financial resources.

## 6. References

- Ashour M., Norris G., & Elfass S. (2008). Analysis of Laterally Loaded Long or Intermediate Drilled Shafts of Small or Large Diameter in Layered Soil, *Report CA04-0252, Department of civil and environmental engineering university of nevada, Reno*.
- Ateş, B., & Şadoglu, E. (2021). Experimental Investigation of Optimum Pile Spacing of Pile Raft Foundations on Sand Soils, *Technical journal*, 32(1), 10477 - 10494. <https://doi.org/10.18400/tekderg.644885>
- Brown, D. A., Reese, L. C., & O'Neill, M. W. (1987). Cyclic Lateral Loading of a Large-Scale Pile Group *Journal of geotechnical engineering*, 120 (6), 1018-1033. , 113(11), 1326–1343. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1987\)113:11\(1326\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1987)113:11(1326))
- Chandrasekaran, S. S. Boominathan, A. & Dodagoudar, G. R. (2010). Group Interaction Effects on Laterally Loaded Piles In Clay, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 136(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000245)
- Duncan, M. J., & Ooi, P. S. K. (1994). Lateral Load Analysis of Groups of Piles and Drilled Shafts, *Journal of geotechnical engineering*, ASCE, 120(6), 1034. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:6\(1034\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:6(1034))
- Duncan, M., Evans, L. T. & Ooi, P. S. K. (1994). Lateral Load Analysis of Single Piles and Drilled Shafts, *Journal of geotechnical engineering*, 120 (6), 1018-1033. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:6\(1018\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:6(1018))
- Kimura, M., Adachi, T., Kamei, H., & Zhang, F. (1995). 3-D Finite Element Analyses of The Ultimate Behaviour of Laterally Loaded Cast-In- Place Concrete Piles, *Proc., 5th Int. Symp. On Numerical Models In Geomechanics*, G. N. Pande and S. Pietruszczak, Eds., Numog V.A.A. Balkema, Rotterdam.
- Lee, J., Prezzi, M., & Salgado, R. (2011). Experimental Investigation of the Combined Load Response of Model Piles Driven In Sand. *Geotech Test J* 34(6),1–15. <https://doi.org/10.1520/GTJ103269>
- Matlock, H., & Reese, L. C. (1960). Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles, *Transactions of the american society of civil engineers*, 127(1), 1220–1247. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000303>
- Nguyen, Q. Van, Fatahi, B. & Hokmabadi, A. S. (2017). Influence of Size and Load Bearing Mechanism of Piles on Seismic Performance of Buildings Considering Soil-Pilestructure Interaction, *International journal of geomechanics*, 17(7), 1–22. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000869](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000869)
- Phanikanth, V. S., Choudhury Deepankar, & Reddy G. R. (2010). Behaviour of Fixed Head Single Pile In Cohesionless Soil Under Lateral Loads, *EDJE*, 15(M),1243-1262.
- Phanikanth, V.S., Choudhury, D. & Reddy G. R. (2010). Response of Single Pile Under Lateral Loads in Cohesionless Soils. *Electronic journal of geotechnical engineering*, 15(10)-H, 813-830.
- Plaxis 3D. (2013). Manuals. Plaxis Finite Element Code for Soil and Rock Analysis 3D Version 2013, (Edited by Brinkgreve, R.J.B.), Delft University of Technology & PLAXIS The Netherlands.
- Poulos, H. G. & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*, Rainbow- Bridge Book Co., England.

- Poulos, H. G. (1971a). Behavior of Laterally Loaded Piles I. Single Piles, *Journal of soil mechanics & foundations div*, 97(5), 711–731.  
<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001592>
- Poulos, H. G. (1971b). Behavior Of Laterally Loaded Piles II. Pile Groups, *Journal of soil mechanics & foundations div*, 97(5), 733–751.  
<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001593>.
- Reese, Cox, W. R. & Koop, F. D. (1974). Analysis of Laterally Loaded Piles In Sand, *Offshore Technology conference*, Texas, May. <https://doi.org/10.4043/2080-MS>.
- Sadrekrimi, J., & Asem, A. (2010). The Effect of Pile Spacing on Bearing Capacity of Pile Groups, From Research to Design in European Practice, Bratislava, Slovak Republic.
- Salgado, R. (2007). *The Engineering of Foundations*. The McGraw-Hill Companies, Inc., UK.
- Salini U. & Girish M. S. (2009). Lateral Load Capacity of Model Piles on Cohesionless Soil, *EDJE*, 14, 1-11.
- Sawant, V.A., & Shukla, S.K. (2012). Finite Element Analysis for Laterally Loaded Piles In Sloping Ground, *Coupled systems mechanics*, 1(1): 59-78.  
<https://doi.org/10.12989/csm.2012.1.1.059>
- Sawwaf, M. (2010). Experimental Study of Eccentrically Loaded Raft with Connected and Unconnected Short Piles, *Journal geotechnical. geoenviron. engineering.*, ASCE, 136(10), 1394-1402.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000341](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000341)
- Terzaghi, K. (1955). Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction, *Géotechnique*, (4), 297-326.
- Terzi, N.U., Kılıç, H., & Gültekin, S., (2009). Experimental and Numerical Investigation of Behavior of a Laterally Loaded Model Pile in Sand Environment, *Journal of engineering sciences*, 15(1), 119-127.
- Uncuoğlu E., & Laman M., (2013). Experimental Investigation of the Behavior of Laterally Loaded Short Piles, *Technical journal*, 24(116) ,6257-6278, 394
- Uray E., Zarzour M., & Tan Ö. (2019). Investigation of Preliminary Design Guidelines for Horizontal Loaded Pile in Sandy Soils, 8th International *Geotechnical symposium*, Istanbul, November.
- Zadeh, N. G., & Kalantari, B. (2011). Performance of single pile under vertical and lateral load in sand, clay and layered soil. *EJGE*, 16, 1131-1146.
- Zhang J., Wang X., Wang H., & Qin H. (2020). Model Test and Numerical Simulation of Single Pile Response Under Combined Loading In Slope, *Appl. Sci.* 10(17), 6140.  
<https://doi.org/10.3390/app10176140>
- Zhang, L., Silva, F. & Grismala, R. (2005). Ultimate Lateral Resistance to Piles In Cohesionless Soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 131(1), 78-83.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:1\(78\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:1(78))

## Araştırma Makalesi

# Lifli Polimer ile Sargılanan Betonarme Kolonların Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisinin Anfis Yöntemi ile Elde Edilmesi

\*1Abdullah GÜNDOĞAY

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, [abdullahgundogay@sdu.edu.tr](mailto:abdullahgundogay@sdu.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5355-9014>

Geliş: 07.06.2024;

Kabul: 16.07.2024

## Öz

Türkiye’de 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş ili merkezli meydana gelen depremlerin ardından betonarme binaların güçlendirilmesinde lifli polimerlerin kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle mimari açıdan eleman boyutlarını değiştirmemesi, uygulamasının kolay, hızlı ve pratik olması, malzeme çekme dayanımının yüksek olması, vb. sebeplerden dolayı lifli polimer ile sargılama tercih edilmeye başlanılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında lifli polimer ile sargılanmış farklı enkesit boyutlarındaki betonarme kolonların sargılı beton basınç dayanımı ve buna karşı gelen birim şekildeğişirme değeri Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne (TBDY, 2018) göre hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Sargılı beton basınç dayanımının ve birim şekildeğişirmenin hesaplanmasında kullanılan girdi sayısının fazla olması nedeniyle çoklu regresyon analizi yapılarak etkili olan parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler için çeşitli alt küme sayılarında Anfis modelleri oluşturulmuştur. Sargılı beton basınç dayanımını ve birim şekil değiştirmeyi en iyi tahmin eden Anfis modeli tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Lifli Polimer, Betonarme, Kolon, Gerilme-Şekil Değişirme, Anfis

\*1Sorumlu yazar

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Gündoğay, A. (2024). Lifli Polimer ile Sargılanan Betonarme Kolonların Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisinin Anfis Yöntemi ile Elde Edilmesi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(2), 111-130. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1497506>

# Obtaining the Stress-Strain Relationship of Reinforced Concrete Columns Wrapped with Fiber Reinforced Polymer

## Abstract

---

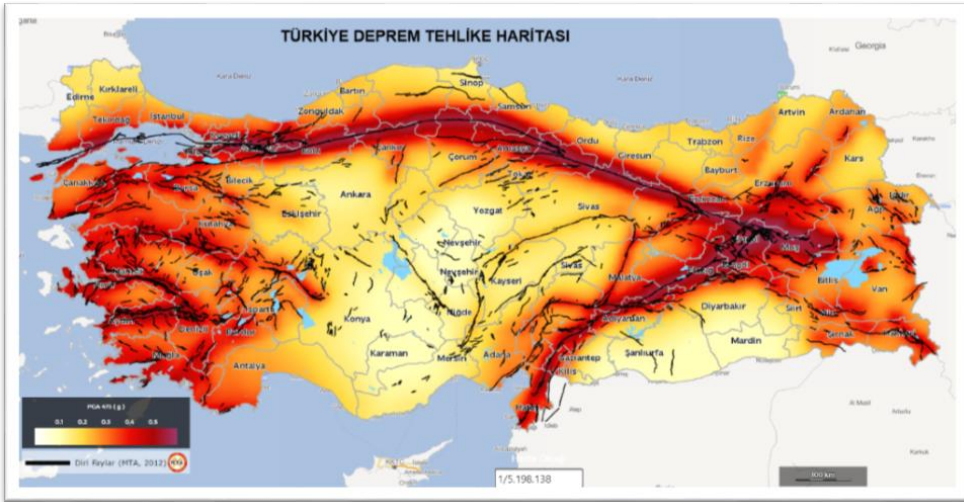
Following the earthquakes that occurred in Kahramanmaraş province on February 6, 2023, in Türkiye, the use of fiber reinforced polymers in strengthening reinforced concrete buildings has become quite widespread. Especially in terms of architecture, it does not change the element dimensions, its application is easy, fast, and practical, its material tensile strength is high, etc. for these reasons, wrapping with fiber reinforced polymers begun to be preferred. Within the scope of the study, the wrapped concrete compressive strength and the corresponding unit strain value of reinforced concrete columns of different cross-section sizes wrapped with fiber reinforced polymer were calculated and compared according to the Turkish Earthquake Code (TEC, 2007) and the Turkish Building Earthquake Code (TBEC, 2018). Due to the large number of inputs used in the calculation of confined concrete compressive strength and strain, the effective parameters were determined by performing multiple regression analyses. For these parameters, Anfis models were created in various subset numbers. The Anfis model that best predicts the confined concrete compressive strength and strain was determined.

**Keywords:** *Fiber Reinforced Polymer, Reinforced Concrete, Column, Stress-Strain, Anfis*

## 1. Giriş

Ülkemiz topraklarının çok büyük bir kısmı deprem riski altındadır. Betonarme binaların tasarımında kullanılan Türkiye Deprem Tehlike Haritası incelendiğinde Doğu Anadolu, Kuzey Anadolu ve Batı Anadolu fay hatları net bir şekilde görülmektedir (Şekil 1). 6 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Pazarcık ve Elbistan olarak meydana gelen depremler Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elâzığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye ve Şanlıurfa illerinde şiddetli olarak hissedilerek binaların hasar görmesine veya yıkılmasına neden olmuştur. Bu durum ülke ekonomisine büyük zarar vermiş ve mevcut yapı stokunun deprem performansının incelenmesinin önemini arttırmıştır.

Literatürde yapılmış olan çalışmalarda, mevcut betonarme binalarda beton basınç dayanımının düşük olması, nervürlü donatı kullanılması, taşıyıcı sistemin hatalı seçilmesi ve eksik boyutlandırılması, planda ve düşeyde düzensizliklerin bulunması, donatı detaylandırmasının hatalı yapılması, tasarım yönetmeliklerinde verilen kurallara uyulmaması, mühendislik ve denetim hizmetinin alınmaması, işçilik hataları, vb. nedenlerden dolayı kendilerinden beklenen deprem performans seviyelerini sağlamadığı görülmüştür (İnel vd., 2006; İnel vd., 2007; Ergün vd., 2012a; Ergün vd., 2012b; Dinçer & Mert, 2014; Tekeli vd., 2015; Gündoğay & Tekeli, 2018; Alemdar & Caymazer, 2018; Gündoğay vd., 2019; Kaya & Alakavuk, 2022; Işık & Tuncer, 2023).



Şekil 1. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018).

Depremde can ve mal kaybını en aza indirebilmek için deprem performans seviyelerini sağlamayan betonarme binaların hızlı bir şekilde

güçlendirilmesi veya yıkılması gerekmektedir. Ülkemizde geçmişten günümüze kadar kullanılmış olan yönetmeliklerde mevcut betonarme

binaların deprem performansının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili hesap kurallarından ve ilkelerinden ilk olarak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY, 2007) bahsedilmiştir. Bu yönetmelik yerine 2019 yılında günümüzün ihtiyaçlarına göre hazırlanmış ve detaylandırılmış olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) yürürlüğe girmiş ve yapılan değişikliklerin etkisi farklı konulardaki çalışmalarda araştırılmıştır (Koçer, vd., 2018; Ulutaş, 2019; Ünsal, vd., 2020; Karaca vd., 2020; Döndüren, vd., 2021; Özmen & Sayın, 2021; Aksoylu & Arslan, 2021; Gündoğay & Aksakal, 2022; Akyıldız & Ayhan, 2022).

TBDY (2018)'de betonarme binaların hem eleman hem de sistem bazında güçlendirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Eleman güçlendirmesi, betonarme elemanların (kolon, giriş ve perde) dayanımlarını ve şekil değiştirme kapasitelerini arttırmaya yöneliktir. Eleman boyutlarını değiştirmemesi, kolay, hızlı ve pratik uygulanabilmesi, yüksek çekme dayanımının olması, vb. nedenlerden dolayı lifli polimer ile sargılama yöntemi, betonarme elemanların güçlendirilmesinde günümüzde daha çok tercih edilmeye başlanmıştır.

Lifli polimer ile sargılama yapılan betonarme elemanlarda, betonun doğrusal olmayan davranışı için idealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkisi önerilmektedir (TBDY, 2018). Literatürde betonun doğrusal olmayan davranışının incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır (İlki & Kumbasar, 2001;

Özmen vd., 2007; Uzbaş, 2014; Yüksel & Foroughi, 2019; Işık, vd., 2019; Foroughi, vd., 2021; Gündoğay 2022; Kılıç & Güllü, 2022; Aksakal & Gündoğay, 2023). Ancak ülkemizde lifli polimer ile yapılan çalışmalara DBYBHY (2007)'nin yürürlüğe girmesinden sonra ağırlık verilmiştir (Sayın, vd., 2010; Özer & Alacalı, 2021). Örneğin; Şahin ve Bedirhanoğlu (2008), lifli polimer ile sarılmış betonarme kolonların basınç dayanımını bulanık mantık yöntemiyle, Murtazaoğlu vd. (2015) ise çoklu regresyon modelleriyle tahmin etmişlerdir. Ustabaş vd. (2020) betonarme köprü kolonundan almış oldukları karot numuneleri lifli polimer ile güçlendirerek deneysel ve analitik olarak incelemişler ve sonuçların uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Deneysel çalışmalarda lifli polimer ile sargılama yapılan silindirik beton numunelerin basınç dayanımlarında ve şekil değiştirme kapasitelerinde önemli miktarlarda artış elde edilmiştir (Çetinkaya, vd., 2004; Ertürkmen, vd., 2017; Sarıbiyık, 2016; Alfaqeeh, vd., 2018; Sarıbiyık, 2018; Yaman, vd., 2022).

Bu çalışmada lifli polimer ile sargılanmış çeşitli enkesit boyutlarındaki betonarme kolonların beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değeri DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'ye göre hesaplanarak kıyaslanmıştır. TBDY (2018) için sargılı beton basınç dayanımında ve birim şekil değiştirme değerinde etkili olan girdi parametreleri çoklu regresyon analizi yapılarak belirlenmiştir. Bu parametreler için farklı alt küme sayılarında Anfis modelleri oluşturularak sargılı beton basınç dayanımı ve buna karşılık gelen

birim şekil değiştirme değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

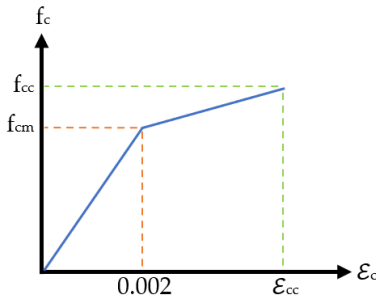
### 2.1. Lifli polimer ile sargılama

DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de lifli polimer ile sargılama yapılan betonarme elemanlarda betonun doğrusal olmayan davranışı için iki doğrudan oluşan idealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin kullanılması önerilmektedir (Şekil 2). Büküm noktasındaki gerilme ve şekil değiştirme değerleri için sırasıyla sarılmamış mevcut betonun basınç dayanımı ( $f_{cm}$ ) ve 0.002 alınmaktadır. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin son noktasındaki değerler ise lifli polimerle sargılanmış betonun basınç dayanımı ile ( $f_{cc}$ ) buna karşı gelen birim şekil değiştirmeyi ( $\epsilon_{cc}$ ) ifade etmektedir (Denklem 1-2).

$$f_{cc} = f_{cm}[1 + 2.4 (f_l/f_{cm})] \geq 1.2f_{cm} \quad (1)$$

$$\epsilon_{cc} = 0.002[1 + 15 (f_l/f_{cm})^{0.75}] \quad (2)$$

Burada verilen  $f_l$ , lifli polimer sargılamanın sağladığı yanal basınç miktarını temsil etmektedir ve Denklem 3 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2. İdealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.

$$f_l = \frac{1}{2} K_a \rho_f \epsilon_f E_f \quad (3)$$

Denklem 3'te verilen  $K_a$ , betonarme kesitin şekil etkinlik katsayısını;  $\rho_f$ , lifli polimer sargılamanın hacimsel oranını;  $\epsilon_f$ , lifli polimerin etkin birim uzamasını;  $E_f$ , lifli polimerin elastisite modülünü temsil etmektedir. Şekil etkinlik katsayısı, betonarme kesitin dikdörtgen dairesel ve elips olması durumları için farklı hesaplanmaktadır. Dikdörtgen kesitlerin şekil etkinlik katsayısı kesit boyutlarına ( $b$ ,  $h$ ) ve köşelerde yapılan yuvarlatma yarıçapına ( $r_c$ ) bağlıdır (Denklem 4).

$$K_a = 1 - \frac{(b - 2r_c)^2 + (h - 2r_c)^2}{3bh} \quad (4)$$

Lifli polimer sargılamanın etkin birim şekil değiştirmesinin hesabında DBYBHY (2007) için Denklem 5'te, TBDY (2018) için ise Denklem 6'da verilen sınır değerler dikkate alınmaktadır.

$$\epsilon_f \leq 0.50 \epsilon_{fu} \leq 0.004 \quad (5)$$

$$\epsilon_f \leq 0.50 \epsilon_{fu} \leq 0.01 \quad (6)$$

Denklem 5-6'da verilen  $\epsilon_{fu}$ , lifli polimer sargının kopma birim uzamasını temsil etmektedir.

### 2.2. Kesit ve malzeme özellikleri

Çalışma kapsamında lifli polimer sargılama ile güçlendirilen betonarme kolonların özellikleri belirlenirken son 50 yıl içinde ülkemizdeki yapı stokunun tasarımında kullanılmış olan yönetmelikler dikkate alınmıştır. Bu kapsamda 1975 ve 1998 yıllarında yayımlanmış olan Afet Bölgelerinde

Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500, 2000), DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de betonarme kolonun tasarımında verilmiş olan sınır değerler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Tasarım yönetmeliklerinde verilen sınır değerler.

Yönetmelik	$b_{min}$ (mm)	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (MPa)
ABYYHY (1975)	250	75000	16
ABYYHY (1998)	250	75000	16
TS 500 (2000)	250	-	16
DBYBHY (2007)	250	75000	20
TBDY (2018)	300	90000	25

Tablo 1'de verilen  $b_{min}$ , betonarme kolonun minimum kesit boyutunu;  $A_c$ , betonarme kolonun enkesit alanını;  $f_{ck}$  ise minimum beton basınç dayanımını temsil etmektedir.

DBYBHY (2007)'ye göre betonarme kolonlara lifli polimer sargılama yapılabilmesi için uzun kenar boyutunun kısa kenar boyutuna oranı ( $h/b$ ) ikiden, TBDY (2018)'ye göre ise iki buçuktan fazla olmamalıdır. Ayrıca betonarme kolonların köşeleri en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılmalıdır.

Çalışmada beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değeri araştırılan betonarme kolonların kesit özellikleri ve lifli polimer sargı detayları Tablo 2'de sunulmuştur. Kesitlerin kısa kenar

boyutu 250 ve 300 mm, uzun kenar boyutu ise kısa kenar boyutuna eşit veya 50 mm arttırılarak kombinasyonlar yapılarak belirlenmiştir. Lifli polimer sargı ile güçlendirme incelendiğinden dolayı, tasarım yönetmeliklerinde belirtilen beton basınç dayanımı sınırlarının altında üç farklı beton basınç dayanımı dikkate alınmıştır. Çalışmada Lifli polimer sargı kat adedinin ve yuvarlatma yarıçapının değişiminin etkisi de incelenmiştir. 324 adet beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değeri hem DBYBHY (2007) hem de TBDY (2018) için elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Kesit özellikleri ve lifli polimer sargılama detayları.

Değişken	Değer Aralığı
b (mm)	250-300
h/b	1.0 – 2.5
$f_{cm}$ (MPa)	5 – 10 – 15
$n_f$	1 – 2 – 3
$r_c$ (mm)	30 – 35

Tablo 2'de verilen  $n_f$ , lifli polimer sargı kat adedini temsil etmektedir. Çalışmada tek doğrultulu karbon lifli SikaWrap-300C sargı malzemesinin özellikleri dikkate alınmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Sargı malzemesinin özellikleri.

Teknik Özellikler	
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.82
Kalınlık (mm)	0.167
Çekme Dayanımı (MPa)	4000
Elastisite Modülü (GPa)	230
Kopma Uzaması (%)	1.7

### 2.3. Çoklu doğrusal regresyon

Çoklu doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişkenin bir bağımlı



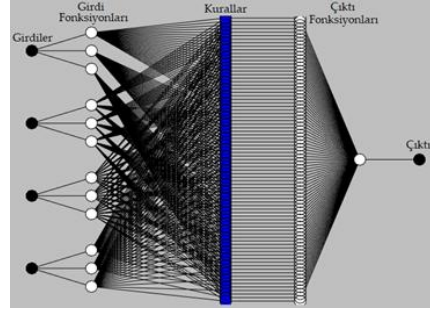
değişken üzerindeki etkisini inceleyen istatistiksel bir analiz yöntemidir. Genel formülü Denklem 7'de verilmiştir.

$$Y = B + A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n \quad (7)$$

Denklem 7'de verilen Y, bağımlı değişkeni; B, sabit katsayıyı; A, regresyon katsayılarını; X, bağımsız değişkenlerini; n ise girdi sayısını temsil etmektedir. Buradaki amaç, bağımsız değişkenler için en iyi uyum sağlayan regresyon ve sabit katsayılarını belirlemektir. Bağımsız değişkenler kullanılarak bağımlı değişkenin değeri tahmin edilebilmektedir.

## 2.4. Anfis

Anfis, bulanık mantık sistemleri ile yapay sinir ağlarını birleştiren bir öğrenme yöntemidir. Bulanık mantık sistemlerinin esnekliği ile yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğini bir araya getirerek karmaşık sistemleri modelleme ve tahmin etme imkânı sunar. Buradaki temel amaç, girdi veri kümesinden alınan bilgiyi kullanarak çıktı değerini tahmin etmektir (Şekil 3). Özellikle, karmaşık olmayan veri kümelerinde ve giriş değişkenlerinin arasındaki ilişkilerin belirsiz olduğu durumlarda etkili olmaktadır. İnşaat mühendisliği ile ilgili yapılmış olan birçok çalışmada da tercih edilmiştir (Kaya, vd., 2014; Saphioğlu & Küçükerdem, 2018; Saltan & Alaefary, 2018; Saphioğlu & Kucukerdem, 2018; Sungur, vd., 2022; Acar & Saphioğlu, 2022).



Şekil 3. Anfis modellerinin yapısı.

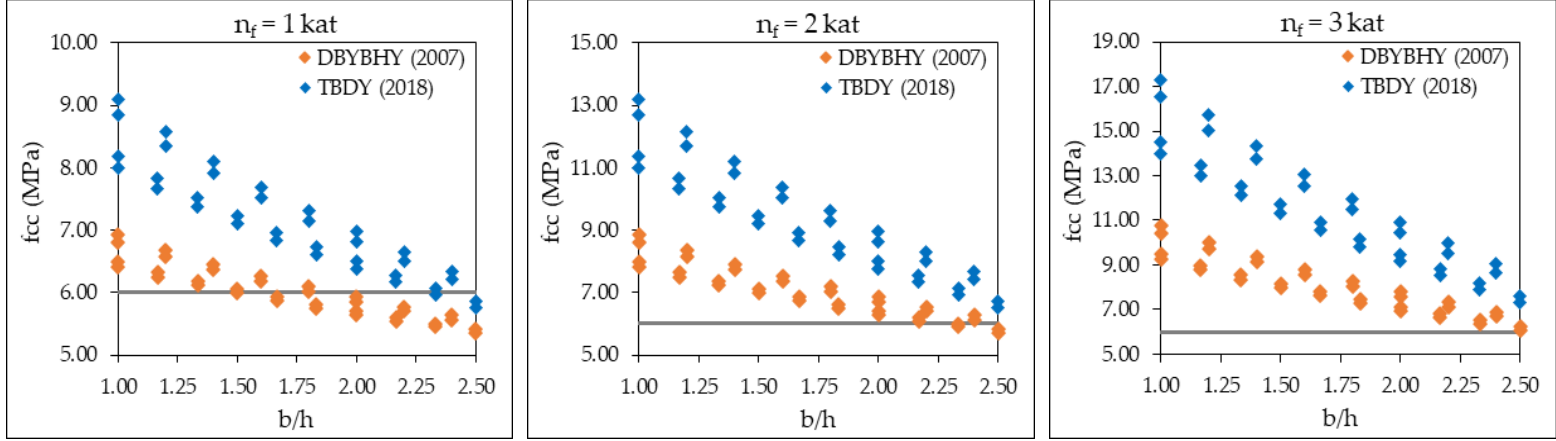
## 3. Bulgular

### 3.1. Sargılı beton basınç dayanımları ve birim şekil değiştirmeler

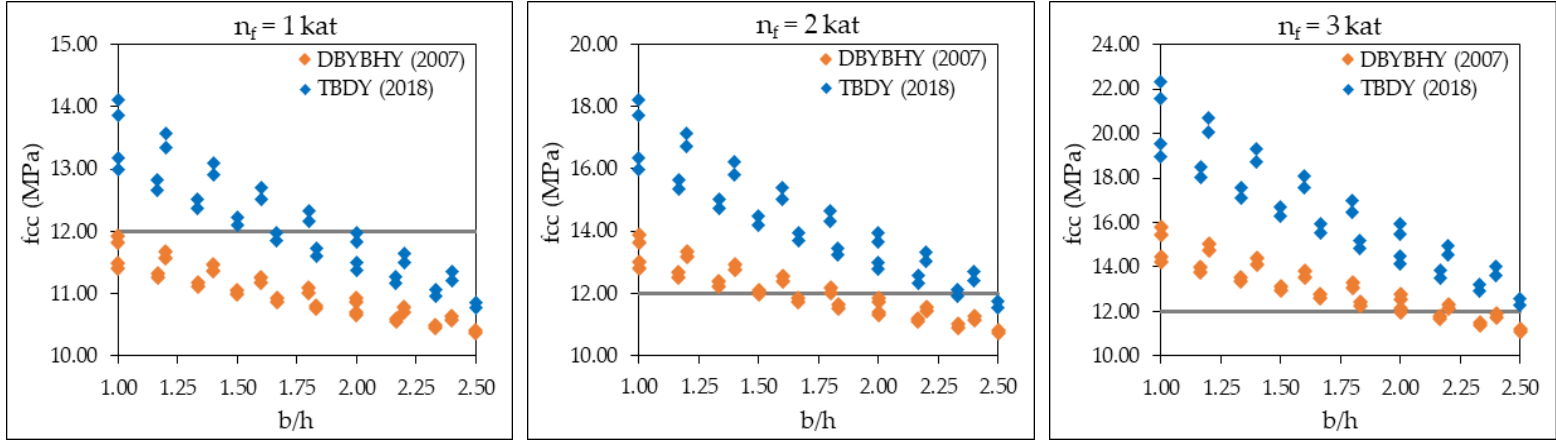
Çalışmada öncelikle DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) için lifli polimer ile sargılanmış çeşitli enkesit boyutlarındaki betonarme kolonların beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sargılanmış beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değerlerinin yorumlanabilmesi için TBDY (2018) için elde edilen değerler DBYBHY (2007)'ye oranlanarak artış yüzdeleri hesaplanmış ve Tablo 4'te sunulmuştur. Ayrıca mevcut beton dayanımına göre sargılı beton basınç dayanımlarının dağılımı Şekil 4 ile Şekil 6 arasında, sargı kat adedine göre birim şekil değiştirmelerin dağılımı ise Şekil 7 ile Şekil 9 arasında verilmiştir.

**Tablo 4.** Beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değerlerinin artış oranı.

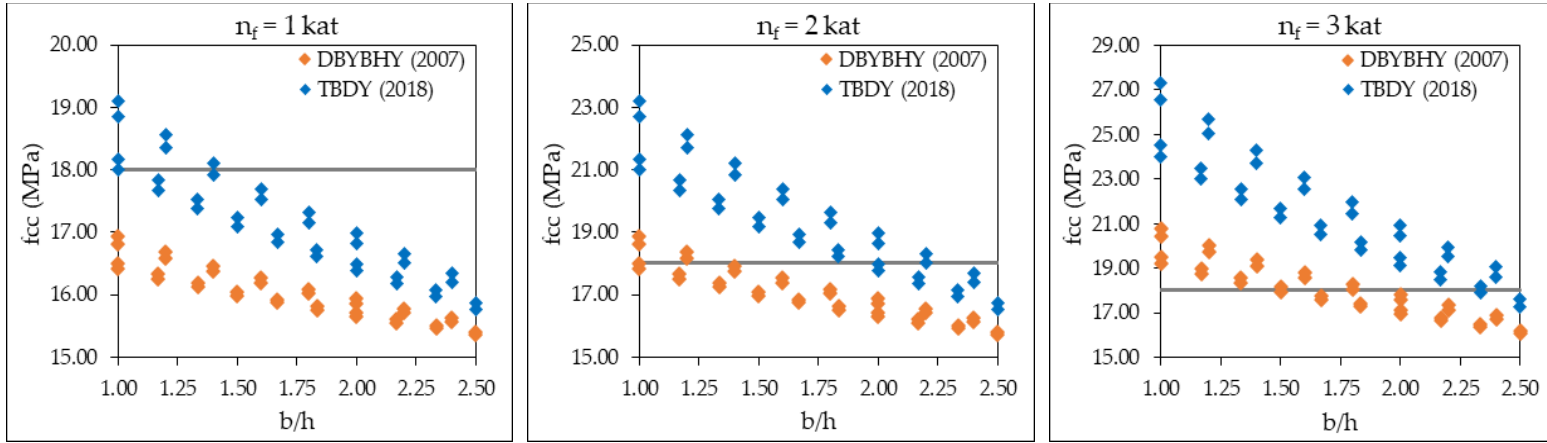
b (mm)	h (mm)	r <sub>c</sub> (mm)	n <sub>f</sub> = 1 kat						n <sub>f</sub> = 2 kat						n <sub>f</sub> = 3 kat					
			f <sub>cm</sub> = 5 MPa		f <sub>cm</sub> = 10 MPa		f <sub>cm</sub> = 15 MPa		f <sub>cm</sub> = 5 MPa		f <sub>cm</sub> = 10 MPa		f <sub>cm</sub> = 15 MPa		f <sub>cm</sub> = 5 MPa		f <sub>cm</sub> = 10 MPa		f <sub>cm</sub> = 15 MPa	
			f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)	f <sub>cc</sub> (%)	ε <sub>cc</sub> (%)
250	250	30	29.9	59.6	17.3	52.0	12.1	46.7	47.3	65.3	29.9	59.6	21.9	55.4	58.6	67.8	39.6	63.2	29.9	59.6
250	300	30	27.0	58.2	15.3	50.2	10.7	44.8	43.5	64.3	27.0	58.2	19.6	53.8	54.7	67.0	36.1	62.0	27.0	58.2
250	350	30	24.2	56.7	13.6	48.4	9.4	42.9	39.8	63.2	24.2	56.7	17.4	52.1	50.8	66.2	32.8	60.8	24.2	56.7
250	400	30	21.6	55.1	11.9	46.4	8.2	40.8	36.2	62.0	21.6	55.1	15.3	50.2	46.7	65.2	29.5	59.4	21.6	55.1
250	450	30	19.0	53.3	10.4	44.3	7.1	38.6	32.5	60.7	19.0	53.3	13.4	48.2	42.6	64.1	26.3	57.9	19.0	53.3
250	500	30	16.5	51.3	8.9	42.0	6.1	36.2	28.7	59.1	16.5	51.3	11.5	46.0	38.2	62.7	23.0	56.1	16.5	51.3
250	550	30	14.0	48.8	7.4	39.3	5.1	33.5	24.9	57.1	14.0	48.8	9.7	43.3	33.6	61.1	19.7	53.9	14.0	48.8
250	600	30	11.5	45.9	6.0	36.1	4.1	30.4	20.8	54.7	11.5	45.9	7.9	40.2	28.6	59.0	16.4	51.2	11.5	45.9
250	250	35	31.3	60.2	18.2	52.7	12.8	47.6	49.0	65.7	31.3	60.2	23.0	56.1	60.4	68.2	41.3	63.7	31.3	60.2
250	300	35	28.3	58.9	16.2	51.0	11.3	45.7	45.2	64.8	28.3	58.9	20.6	54.5	56.5	67.4	37.7	62.6	28.3	58.9
250	350	35	25.4	57.4	14.3	49.2	10.0	43.7	41.5	63.7	25.4	57.4	18.3	52.8	52.6	66.6	34.3	61.4	25.4	57.4
250	400	35	22.8	55.9	12.7	47.4	8.8	41.8	37.9	62.6	22.8	55.9	16.3	51.1	48.6	65.6	31.0	60.1	22.8	55.9
250	450	35	20.2	54.2	11.1	45.3	7.6	39.6	34.2	61.3	20.2	54.2	14.3	49.2	44.5	64.6	27.8	58.6	20.2	54.2
250	500	35	17.6	52.3	9.6	43.1	6.6	37.4	30.5	59.9	17.6	52.3	12.4	47.1	40.3	63.4	24.5	56.9	17.6	52.3
250	550	35	15.2	50.0	8.1	40.6	5.6	34.8	26.7	58.1	15.2	50.0	10.6	44.6	35.8	61.9	21.3	55.0	15.2	50.0
250	600	35	12.7	47.4	6.7	37.7	4.6	32.0	22.8	55.9	12.7	47.4	8.8	41.8	31.0	60.1	18.0	52.6	12.7	47.4
300	300	30	24.7	57.0	13.9	48.8	9.7	43.2	40.6	63.5	24.7	57.0	17.8	52.4	51.5	66.3	33.4	61.0	24.7	57.0
300	350	30	22.6	55.8	12.6	47.2	8.7	41.6	37.6	62.5	22.6	55.8	16.1	51.0	48.3	65.6	30.8	60.0	22.6	55.8
300	400	30	20.5	54.4	11.3	45.6	7.8	40.0	34.7	61.5	20.5	54.4	14.6	49.5	45.1	64.8	28.2	58.8	20.5	54.4
300	450	30	18.6	53.0	10.1	43.9	7.0	38.2	31.9	60.4	18.6	53.0	13.1	47.9	41.9	63.9	25.7	57.6	18.6	53.0
300	500	30	16.7	51.4	9.0	42.1	6.2	36.4	29.0	59.2	16.7	51.4	11.7	46.1	38.5	62.8	23.3	56.2	16.7	51.4
300	550	30	14.8	49.7	7.9	40.2	5.4	34.4	26.2	57.8	14.8	49.7	10.3	44.2	35.1	61.7	20.8	54.7	14.8	49.7
300	600	30	13.0	47.7	6.9	38.1	4.7	32.3	23.3	56.2	13.0	47.7	9.0	42.1	31.6	60.3	18.4	52.9	13.0	47.7
300	650	30	11.2	45.4	5.9	35.7	4.0	30.0	20.3	54.3	11.2	45.4	7.7	39.8	27.9	58.7	15.9	50.8	11.2	45.4
300	700	30	9.4	42.8	4.9	32.9	3.3	27.4	17.3	52.0	9.4	42.8	6.4	37.0	24.1	56.7	13.5	48.3	9.4	42.8
300	750	30	7.6	39.5	3.9	29.8	2.6	24.5	14.2	49.0	7.6	39.5	5.2	33.7	20.0	54.1	11.0	45.2	7.6	39.5
300	300	35	25.9	57.7	14.6	49.5	10.2	44.1	42.1	63.9	25.9	57.7	18.7	53.1	53.2	66.7	34.8	61.6	25.9	57.7
300	350	35	23.7	56.4	13.2	48.0	9.2	42.4	39.1	63.0	23.7	56.4	17.0	51.7	50.0	66.0	32.1	60.5	23.7	56.4
300	400	35	21.5	55.1	11.9	46.4	8.2	40.8	36.2	62.0	21.5	55.1	15.3	50.2	46.7	65.2	29.5	59.4	21.5	55.1
300	450	35	19.5	53.7	10.7	44.8	7.4	39.1	33.3	61.0	19.5	53.7	13.8	48.7	43.5	64.3	27.0	58.2	19.5	53.7
300	500	35	17.6	52.2	9.5	43.1	6.6	37.3	30.4	59.8	17.6	52.2	12.4	47.0	40.2	63.4	24.5	56.9	17.6	52.2
300	550	35	15.7	50.6	8.5	41.2	5.8	35.4	27.6	58.5	15.7	50.6	11.0	45.2	36.9	62.3	22.0	55.5	15.7	50.6
300	600	35	13.9	48.7	7.4	39.2	5.0	33.4	24.7	57.0	13.9	48.7	9.7	43.2	33.4	61.0	19.6	53.8	13.9	48.7
300	650	35	12.1	46.6	6.4	36.9	4.3	31.2	21.8	55.3	12.1	46.6	8.3	41.0	29.8	59.6	17.2	51.9	12.1	46.6
300	700	35	10.3	44.2	5.4	34.4	3.6	28.8	18.8	53.2	10.3	44.2	7.1	38.5	26.1	57.8	14.7	49.6	10.3	44.2
300	750	35	8.5	41.2	4.4	31.4	3.0	26.0	15.8	50.6	8.5	41.2	5.8	35.5	22.1	55.5	12.2	46.9	8.5	41.2



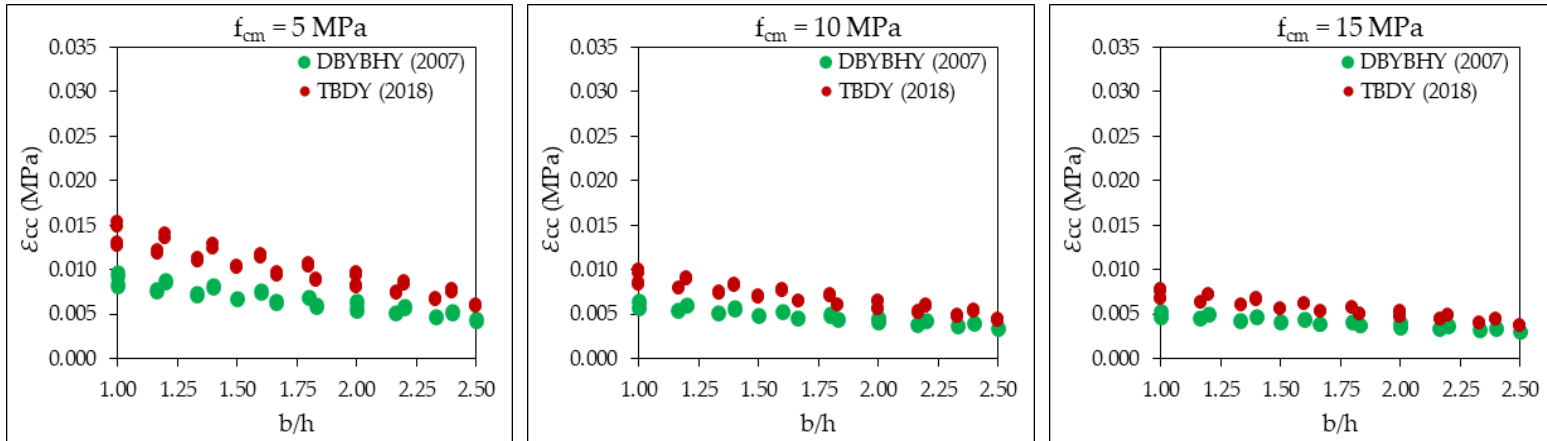
Şekil 4. 5 MPa beton dayanımına sahip kesitlerin lifli polimerle sargılama sonucu beton basınç dayanımları.



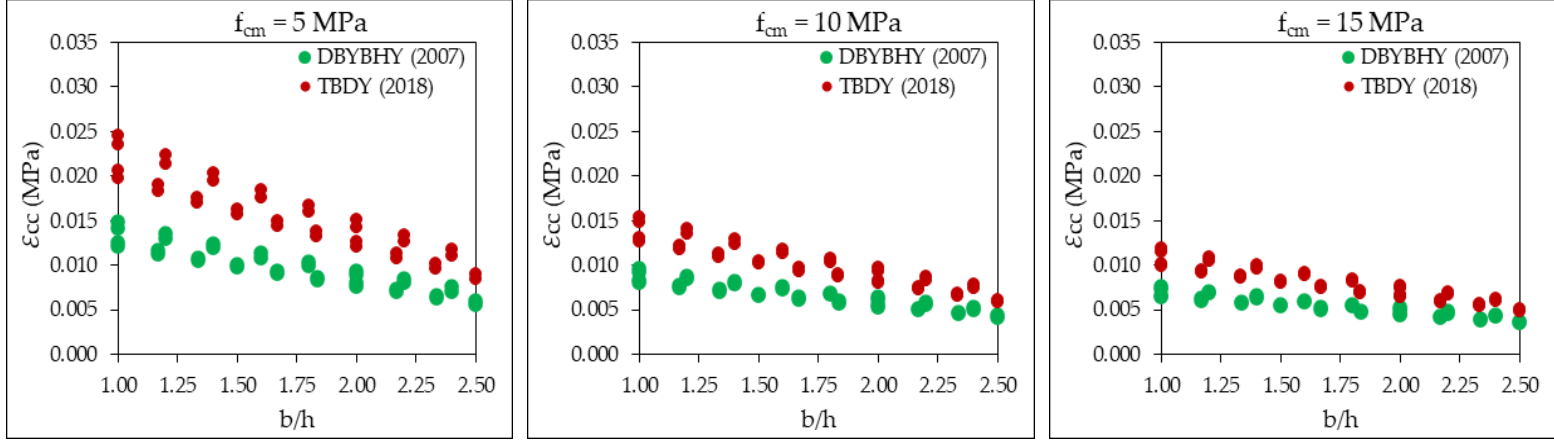
Şekil 5. 10 MPa beton dayanımına sahip kesitlerin lifli polimerle sargılama sonucu beton basınç dayanımları.



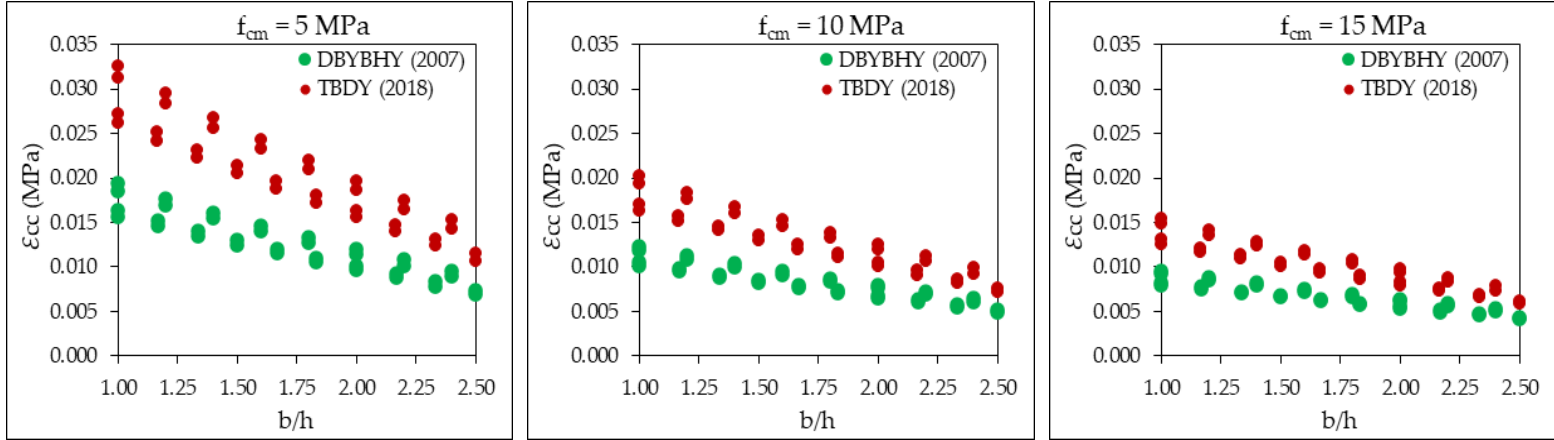
Şekil 6. 15 MPa beton dayanımına sahip kesitlerin lifli polimerle sargılama sonucu beton basınç dayanımları.



Şekil 7. 1 kat lifli polimerle sargılanan kesitlerin birim şekil değiştirme değerleri.



Şekil 8. 2 kat lifli polimerle sargılanan kesitlerin birim şekil değişirme değerleri.



Şekil 9. 3 kat lifli polimerle sargılanan kesitlerin birim şekil değişirme değerleri.

Tablo 4'te TBDY (2018) için hesaplanan sargılı beton basınç dayanımları DBYBHY (2007)'ye göre 1 kat sargılama yapılan kesitlerde %7.6 ile %60.4, 2 kat sargılama yapılan kesitlerde %3.9 ile %41.3, 3 kat sargılama yapılan kesitlerde ise %2.6 ile %31.3 arasında daha yüksek elde edilmiştir. Birim şekil değiştirme değerleri incelendiğinde 1 kat sargılama yapılan kesitlerde %39.5 ile %68.2, 2 kat sargılama yapılan kesitlerde %29.8 ile %63.7, 3 kat sargılama yapılan kesitlerde ise %24.5 ile %60.2 arasında artmıştır. Kesitin yuvarlatma yarıçapının artması sargılı beton basınç dayanımını ve birim şekil değiştirme değerini arttırmıştır.

Şekil 3-5'te verilen gri renkli yatay çizgi, lifli polimer ile sargılama sonucunda mevcut beton basınç dayanımının en az %20 artması sınırını göstermektedir. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'de lifli polimer ile sargılama sonucunda beton dayanımının bu sınırın altında kalmaması gerekmektedir. Şekil 4-6 incelendiğinde bu şartın sağlanabilmesi için mevcut beton basınç dayanımının artması ile sargı kat adedinin artırılması gerekmektedir. Kesitin uzun kenar boyutunun kısa kenar boyutuna oranı arttıkça sargılı beton basınç dayanımı düşmektedir.

Şekil 7-9'da düşük beton basınç dayanımlı kesitlerde lifli polimer sargılama yapılması birim şekil değiştirme değerini daha fazla arttırmaktadır. Sargılama kat adedinin artması ile birim şekil değiştirme değerleri de artmaktadır. Kesitin uzun kenar boyutunun kısa kenar boyutuna oranı arttıkça birim şekil değiştirme değeri düşmektedir.

### 3.2. Çoklu regresyon ve Anfis sonuçları

Çalışma kapsamında TBDY (2018) için elde edilen 324 adet sargılı beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değeri kullanılmıştır. Girdi parametresi olarak kesit özellikleri ( $b$ ,  $h$ ,  $h/b$ ,  $f_{cm}$ ) ve lifli polimer sargılama detayları ( $r_c$ ,  $n_f$ ,  $\rho_f$ ) kullanılmıştır. Lifli polimer sargı malzemesine ait  $t_f$  ve  $\varepsilon_{fu}$  değerleri tüm kesitlerde sabit olduğu için girdi parametresi olarak dikkate alınmamıştır. Girdi parametrelerinin tek tek dikkate alındığı çoklu regresyon analizi yapılarak regresyon ( $R^2$ ) değerlerine bakılmıştır (Tablo 5). Böylece etkili olan girdi parametreleri belirlenebilmiştir.

**Tablo 5.** Girdi parametrelerinin regresyon sonuçları.

Girdi	$R^2$	
	$f_{cc}$	$\varepsilon_{cc}$
$b$ (mm)	0.018	0.038
$h$ (mm)	0.121	0.259
$h/b$	0.110	0.235
$f_{cm}$ (MPa)	0.719	0.327
$r_c$ (mm)	0.001	0.002
$n_f$	0.132	0.286
$\rho_f$ (%)	0.223	0.467

Tablo 5 incelendiğinde hem beton basınç dayanımında hem de birim şekil değiştirme değerinde  $b$  ve  $r_c$  girdi parametreleri diğerlerine göre az etkili veya etkisiz olmuştur. Beton basınç dayanımı için en etkili girdi parametresi  $f_{cm}$ , birim şekil değiştirme için ise  $\rho_f$  olduğu görülmüştür.

Etkili girdi parametreleri belirlendikten sonra girdi modelleri oluşturularak en uygun girdi modeli belirlenmeye çalışılmıştır (Tablo 6-7). Bunun için her

girdi modelinin  $R^2$  ve düzeltilmiş regresyon (Adjusted  $R^2$ ) değerleri belirlenmiştir. Her girdi parametresi modeldeki  $R^2$  değerini arttırır iken Adjusted  $R^2$  değerini sabit tutmakta veya azaltmaktadır. Bu yüzden en uygun girdi modeline karar verirken Adjusted  $R^2$  değerinin dikkate alınması gerekmektedir (Denklem 8).

**Tablo 6.**  $f_{cc}$  için girdi modellerinin  $R^2$  ve Adjusted  $R^2$  sonuçları.

Girdi Modelleri	$R^2$	Adjusted $R^2$
$f_{cm}$	0.719	0.718
$f_{cm} - \rho_f$	0.942	0.941
$f_{cm} - \rho_f - n_f$	0.983	0.983
$f_{cm} - \rho_f - h$	0.986	0.986
$f_{cm} - \rho_f - h/b$	0.988	0.988
$f_{cm} - \rho_f - h/b - n_f$	0.994	0.993

**Tablo 7.**  $\epsilon_{cc}$  için girdi modellerinin  $R^2$  ve Adjusted  $R^2$  sonuçları.

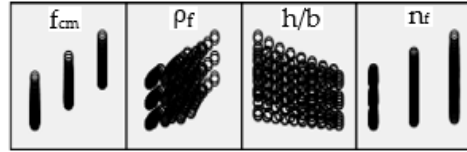
Girdi Modelleri	$R^2$	Adjusted $R^2$
$\rho_f$	0.467	0.466
$\rho_f - f_{cm}$	0.794	0.793
$\rho_f - f_{cm} - n_f$	0.868	0.867
$\rho_f - f_{cm} - h$	0.891	0.890
$\rho_f - f_{cm} - h/b$	0.893	0.892
$\rho_f - f_{cm} - h/b - n_f$	0.899	0.898

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - p - 1} \quad (8)$$

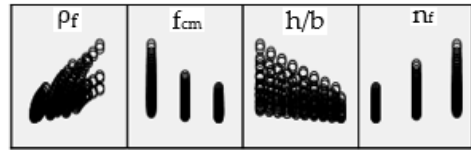
Denklem 8'de verilen N, toplam örnek sayısını; p ise bağımsız değişken sayısını temsil etmektedir.

Tablo 6 ve Tablo 7'ye göre hem sargılı beton basınç dayanımının hem de birim şekildeğiştirmenin belirlenmesinde  $f_{cm}$ ,  $\rho_f$ ,  $h/b$  ve  $n_f$  parametrelerinin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. En uygun girdi modelleri

için saçılım diyagramları Şekil 10-11'de, bu modellere ait denklemler ise Denklem 9-10'da verilmiştir.



**Şekil 10.**  $f_{cc}$  için girdi modellerinin saçılımları.



**Şekil 11.**  $\epsilon_{cc}$  için girdi modellerinin saçılımları.

$$f_{cc} = 2.634 + f_{cm} + 19.211\rho_f - 1.651n_f - 1.525(h/b) \quad (9)$$

$$\epsilon_{cc} = [16.572 + 27.145\rho_f - 0.753f_{cm} - 1.842n_f - 2.884(h/b)] 10^{-3} \quad (10)$$

Anfis için 252 adet veri eğitime, 72 adet veri ise teste ayrılarak üç ve dört girdili modeller oluşturulmuştur. Modellerde  $f_{cm}$  ve  $n_f$  parametrelerinin değer aralığı üç adet olduğu için alt küme sayıları tüm modellerde sabit tutulmuş,  $h/b$  ve  $\rho_f$  parametrelerinin alt küme sayısı ise değiştirilmiştir. Örneğin; 4 girdili modelin birinci ve dördüncü parametrelerinin alt küme sayıları 3 ile 6 arasında değişirken, ikinci ve üçüncü parametrelerinin ise 3 olarak sabit bırakılmıştır. Yani 4-3-3-4, 6-3-3-5, vb. modelleri oluşturulmuştur. Buradaki sayılar her bir parametrenin alt küme sayısını ifade etmektedir. Anfis modellerinden elde edilen  $R^2$  ve mutlak hata değerleri Tablo 8'de sunulmuştur.

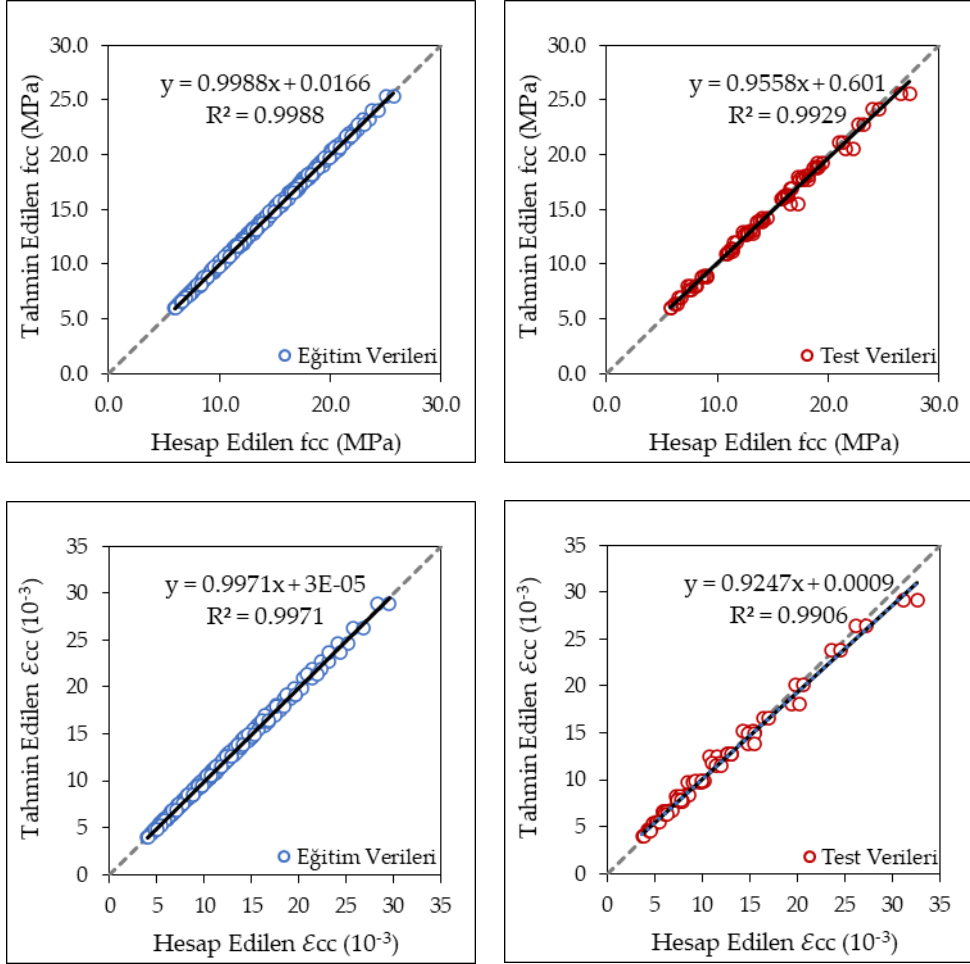
**Tablo 8.** Anfis modellerine ait eğitim ve test verilerinin sonuçları.

Model	Girdiler	$f_{cc}$				$\varepsilon_{cc}$			
		Eğitim		Test		Eğitim		Test	
		R <sup>2</sup>	Mutlak Hata	R <sup>2</sup>	Mutlak Hata	R <sup>2</sup>	Mutlak Hata	R <sup>2</sup>	Mutlak Hata
3-3-3-3	h/b - $f_{cm}$ - $n_t$ - $\rho_f$	0.999	0.163	0.992	0.509	0.997	0.268	0.990	0.783
3-3-3-4		0.999	0.163	0.992	0.530	0.997	0.268	0.990	0.809
3-3-3-5		0.999	0.163	0.992	0.524	0.997	0.270	0.989	0.813
3-3-3-6		0.999	0.162	0.917	1.598	0.997	0.268	0.943	1.700
4-3-3-3		0.999	0.162	0.992	0.510	0.997	0.268	0.990	0.773
4-3-3-4		0.999	0.162	0.992	0.528	0.997	0.268	0.989	0.813
4-3-3-5		0.999	0.162	0.992	0.519	0.997	0.268	0.990	0.802
4-3-3-6		0.999	0.162	0.919	1.568	0.997	0.268	0.941	1.724
5-3-3-3		0.999	0.162	0.993	0.502	0.997	0.268	0.990	0.774
5-3-3-4		0.999	0.162	0.992	0.508	0.997	0.268	0.989	0.804
5-3-3-5		0.999	0.162	0.993	0.489	0.997	0.268	0.991	0.764
5-3-3-6		0.999	0.162	0.925	1.512	0.997	0.268	0.942	1.696
6-3-3-3		0.999	0.162	0.990	0.557	0.997	0.268	0.988	0.802
6-3-3-4		0.999	0.162	0.991	0.538	0.997	0.268	0.990	0.772
6-3-3-5		0.999	0.162	0.977	0.807	0.997	0.268	0.985	0.899
6-3-3-6		0.999	0.162	0.894	1.829	0.997	0.268	0.941	1.709
3-3-3	h/b - $f_{cm}$ - $\rho_f$	0.998	0.213	0.989	0.596	0.995	0.352	0.985	0.938
3-3-4		0.999	0.168	0.990	0.584	0.997	0.279	0.988	0.899
3-3-5		0.999	0.180	0.990	0.589	0.997	0.296	0.986	0.934
3-3-6		0.999	0.164	0.990	0.589	0.997	0.271	0.987	0.927
4-3-3		0.998	0.212	0.990	0.590	0.995	0.349	0.985	0.933
4-3-4		0.999	0.170	0.991	0.579	0.997	0.285	0.987	0.907
4-3-5		0.999	0.171	0.988	0.622	0.997	0.283	0.982	0.985
4-3-6		0.999	0.170	0.991	0.560	0.997	0.270	0.987	0.914
5-3-3		0.998	0.197	0.990	0.588	0.995	0.349	0.985	0.932
5-3-4		0.999	0.170	0.991	0.578	0.997	0.281	0.988	0.886
5-3-5		0.999	0.163	0.963	1.091	0.997	0.269	0.929	1.812
5-3-6		0.999	0.162	0.991	0.560	0.997	0.269	0.988	0.879
6-3-3		0.998	0.198	0.989	0.612	0.995	0.340	0.985	0.952
6-3-4		0.999	0.166	0.990	0.590	0.997	0.275	0.986	0.936
6-3-5		0.999	0.168	0.962	1.036	0.997	0.280	0.937	1.650
6-3-6		0.999	0.162	0.990	0.582	0.997	0.268	0.987	0.896
3-3-3	h/b - $n_t$ - $\rho_f$	0.233	4.086	0.399	4.114	0.537	3.406	0.657	3.835
3-3-4		0.233	4.086	0.400	4.117	0.537	3.406	0.658	3.840
3-3-5		0.233	4.086	0.400	4.116	0.537	3.406	0.657	3.841
3-3-6		0.233	4.086	0.327	4.369	0.537	3.406	0.615	4.096
4-3-3		0.233	4.086	0.400	4.114	0.537	3.406	0.657	3.834
4-3-4		0.233	4.086	0.399	4.116	0.537	3.406	0.656	3.841
4-3-5		0.233	4.086	0.400	4.115	0.537	3.406	0.657	3.840
4-3-6		0.233	4.086	0.327	4.365	0.537	3.406	0.612	4.110
5-3-3		0.233	4.086	0.400	4.113	0.537	3.406	0.658	3.834
5-3-4		0.233	4.086	0.399	4.114	0.537	3.406	0.657	3.836
5-3-5		0.233	4.086	0.400	4.113	0.537	3.406	0.658	3.833
5-3-6		0.233	4.086	0.322	4.379	0.537	3.406	0.611	4.104
6-3-3		0.233	4.086	0.398	4.115	0.537	3.406	0.657	3.833
6-3-4		0.233	4.086	0.398	4.118	0.537	3.406	0.657	3.834
6-3-5		0.233	4.086	0.395	4.125	0.537	3.406	0.651	3.863
6-3-6		0.233	4.086	0.320	4.403	0.537	3.406	0.613	4.086
3-3-3	h/b - $f_{cm}$ - $n_t$	0.982	0.628	0.967	1.091	0.958	1.026	0.955	1.688
4-3-3		0.982	0.624	0.970	1.019	0.958	1.021	0.957	1.589
5-3-3		0.982	0.621	0.971	1.031	0.959	1.018	0.958	1.628
6-3-3		0.984	0.594	0.971	1.029	0.962	0.974	0.960	1.598
3-3-3	$f_{cm}$ - $n_t$ - $\rho_f$	0.986	0.558	0.967	1.033	0.964	0.946	0.944	1.712
3-3-4		0.988	0.518	0.968	0.988	0.970	0.869	0.943	1.661
3-3-5		0.986	0.548	0.968	1.021	0.969	0.886	0.931	1.841
3-3-6		0.989	0.500	0.892	1.764	0.972	0.839	0.897	2.164



Tablo 8 incelendiğinde  $h/b$  ve  $\rho_f$  parametreleri için alt küme sayısının beş olduğu dört girdili 5-3-3-5 modeli hem sargılı beton basınç dayanımı hem de

birim şekildeğiştirme değeri için en iyi sonucu vermiştir. Bu modelin eğitim ve test verilerinin sonuçları için saçılım diyagramları Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. 5-3-3-5 modeline ait saçılım diyagramları.

#### 4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında lifli polimer ile sargılanmış farklı kesit özelliklerine sahip betonarme kolonların beton basınç dayanımları ve birim şekil değıştirme değeri DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) için elde edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Sargılı beton basınç

dayanımında ve birim şekil değıştirme değeri etkili olan parametreler çoklu regresyon analizleri yapılarak belirlenmiş ve çeşitli Anfis modelleri oluşturularak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- TBDY (2018) için hesaplanan sargılı beton basınç dayanımı ve birim şekil

değiştirme değerleri DBYBHY (2007)'ye kıyasla daha yüksek elde edilmiştir. Bunun nedeni DBYBHY (2007)'de lifli polimer sargılamanın etkin birim şekil değiştirme sınır değerinin çok düşük seviyede olmasıdır. Bu durum sargılamadan dolayı ortaya çıkan yanal basınç miktarını kısıtlamaktadır.

- Mevcut beton basınç dayanımının artması halinde lifli polimer sargı kat adedinin artırılması gerekmektedir. Bunun nedeni hem DBYBHY (2007) hem de TBDY (2018)'de lifli polimerle sargılama sonucunda mevcut beton basınç dayanımının en az %20 artması zorunluluğudur.
- Düşük beton basınç dayanımına sahip kesitlerde lifli polimer sargılamanın yapılması birim şekil değiştirme değerini daha fazla arttırmaktadır. Bunun nedeni lifli polimer sargılamanın sağladığı yanal basınç miktarının mevcut beton basınç dayanımından bağımsız olarak elde edilmesidir.
- Betonarme kolon kesitinin h/b oranı artması halinde sargı etki alanının etkisi azaldığı için lifli polimer sargının sağladığı yanal basınç katkısı azalmaktadır.
- Betonarme kolon kesitinin h/b oranı azalması halinde birim şekil değiştirme değeri artmaktadır.
- Betonarme kesitin köşelerinde yapılan yuvarlatma yarıçapının artması sargılı beton basınç dayanımını ve birim şekil değiştirmeyi az miktarda da olsa arttırmıştır.
- Çoklu regresyon analizleri sonucunda sargılı beton basınç dayanımının belirlenmesinde en etkili girde parametresi mevcut beton basınç

dayanımı, birim şekil değiştirme değerinde ise lifli polimer sargılamanın hacimsel oranıdır.

- Anfis sonucunda dört girdili ( $h/b - f_{cm} - n_f - \rho_f$ ) ve alt küme sayısının 5-3-3-5 olduğu model sargılı beton basınç dayanımının ve birim şekil değiştirme değerinin tahmininde oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı kesit boyutları / beton basınç dayanımları / lifli polimer sargı malzemeleri / sargı kat adetleri için çalışmanın genişletilmesi literatüre katkı sağlayacaktır.

Uluslararası yönetmelikler için gerilme-şekil değiştirme diyagramları elde edilerek TBDY (2018)'nin sonuçlarıyla kıyaslanabilir. Sonlu elemanlar programları kullanılarak kesitlerin modelleme çalışmaları yapılabilir. Deneysel çalışmalar yapılarak teorik hesaplar ile uyumu incelenebilir.

#### **Etik Standartlar Bildirgesi**

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### **Yazarlık Katkı Beyanı**

Yazar 1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Analiz ve yorumlama, Araştırma, Yazma/orijinal taslak, Yazma/inceleme ve düzenleme, Görselleştirme

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### **Verilerin Kullanılabilirliği**

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

## 5. Kaynaklar

- Acar, R., & Saphioğlu, K. (2022). Etkili girdi parametrelerinin çoklu regresyon ile belirlendiği su sertliğinin ANFIS yöntemi ile tahmin edilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 1413-1424. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1147492>
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Resmi Gazete.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>
- Aksakal, A. K. & Gündoğay, A. (2023). Investigation of unconfined concrete stress-strain diagrams in finite element program. *Ahi Evran 3rd International Conference on Scientific Research*. Baku, Azerbaijan.
- Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2021). 2007 ve 2019 deprem yönetmeliklerinde betonarme binalar için yer alan farklı deprem kuvveti hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 359-374. <https://doi.org/10.29137/umagd.844186>
- Akyıldız, M. H., & Ayhan, E. (2022). 2007 ve 2018 yılları Türkiye deprem yönetmeliklerine göre zemin parametreleri ve deprem verilerinin karşılaştırılması; Siirt ili vaka çalışması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 271-282. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1095089>
- Alemdar, Z. F., & Caymazer, D. (2018). Kentsel dönüşüm kapsamında çok katlı betonarme bir binanın deprem performansının değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 273-283. <https://doi.org/10.17712/gumushane.fenbilimleri.2018.8.2.273-283>
- Alfaqeeh, A., Sarıbyık, A., & Nart, E. (2018). Düşük dayanımlı betonların CFRP kompozitler ile güçlendirilmesi ve sonlu eleman yöntemi ile analizi. *Academic Perspective Procedia*, 1(1), 949-958. <https://doi.org/10.33793/acperpro.01.01.159>
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete.
- Çetinkaya, N., Kaplan, H., & Şenel, Ş. M. (2004). Betonarme kirişlerin lifli polimer (frp) malzemeler kullanılarak onarım ve güçlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(3), 291-298.
- Diñer, F., & Mert, N. (2014). Betonarme okul binasının TDY 2007'ye göre nonlineer statik analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 18(1), 1-9. <https://doi.org/10.16984/saufbed.65528>
- Döndüren, M. S., Hava, Ş., & Ecemiş, A. S. (2021). Betonarme bir binanın eşdeğer deprem yükü yöntemi ile dbybhy 2007 ve tbdy 2018 yönetmeliklerine göre analizi. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 9(2), 327-342. <https://doi.org/10.36306/konjes.867309>
- Ergün, A., Kürklü, G., & Başaran, V. (2012a). Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin incelenmesi ve güçlendirilmesi çalışmaları için Afyonkarahisar'dan bir hastane örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 1-11.
- Ergün, A., Kürklü, G., & Başaran, V. (2012b). Afyonkarahisar hükümet konağının DBYBHY 07'e göre deprem güvenliğinin incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 13-21.
- Ertürkmen, D., Dündar, C., & Tokgöz, S. (2017). Karbon lifli polimer sargılı

- standart silindir beton numunelerin eksenel yük altındaki davranışlarının incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 679-686.  
<https://doi.org/10.5505/pajes.2016.43815>
- Foroughi, S., Jamal, R., & Yüksel, B. (2021). TBDY 2018 ve Mander modeline göre sargılı betonun gerilme-şekil değiştirmesinin araştırılması. *El-Cezeri*, 8(1), 363-375.  
<https://doi.org/10.31202/ecjse.788121>
- Gündoğay, A. & Tekeli, H. (2018). Investigation of some parameters affecting earthquake performance of workshop buildings. *6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*. Antalya, Turkey.
- Gündoğay, A. (2022) The effect of confined concrete models on the behaviour of reinforced concrete columns. *In 1st-International Congress on Modern Sciences*. Tashkent, Uzbekistan.
- Gündoğay, A., & Aksakal, A. K. (2022). Betonarme kolon eğrilik sünekliğinin 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 202-210.  
<https://doi.org/10.31590/ejosat.1079707>
- Gündoğay, A., Ulutaş, H., & Tekeli, H. (2019). Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(2), 755-768.  
<https://doi.org/10.24012/dumf.432136>
- Işık, E., Özdemir, M., Karaşın, İ. B., & Karaşın, A. (2019). Betonarme yapılarda kullanılan malzeme modellerinin karşılaştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 968-984.  
<https://doi.org/10.17798/bitlisfen.520354>
- Işık, G., & Tuncer, F. (2023). Bursa'da yıkım kararı verilen tescilli betonarme yapıların deprem performans analizleri etkinliğinin tartışılması. *Kent Akademisi*, 16(1), 297-317.  
<https://doi.org/10.35674/kent.1105130>
- İlki, A. & Kumbasar, N. (2001). Sargılı beton için mevcut modellerin deneysel verilerle karşılaştırılması. *Teknik Dergi*, 12(3), 2419-2433.
- İmar ve İskân Bakanlığı. (1975). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete.
- İnel, M., Bilgin, H. & Özmen, H., (2007). Okul binalarının yeni deprem yönetmeliğine göre değerlendirilmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul, Türkiye.
- İnel, M., Bilgin, H., & Özmen, H. (2006). Mevcut kamu yapılarının performans değerlendirmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (444-445), 4-5.
- Karaca, H., Oral, M., & Erbil, M. (2020). Yapısal tasarım bağlamında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması, Niğde örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 898-903.  
<https://doi.org/10.28948/ngumuh.667365>
- Kaya, F., Keskin, N., & Çakıroğlu, M. A. (2014). Değişik geometri çelik lif ilaveli betonarme kirişlerin tahribatsız deney yöntemleri ile elde edilen basınç dayanımlarının ANFIS metoduyla tahmin edilmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(1), 44-56.
- Kaya, H. O., & Alakavuk, E. (2022). Mevcut bir kamu binasının deprem güvenliğinin incelenmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 4(1), 61-72.  
<https://doi.org/10.46464/tdad.995988>
- Kılıç, E., & Güllü, M. F. (2022). Görece narin betonarme perde duvarlarda mevcut beton malzeme modellerinin etkilerinin irdelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 799-818.  
<https://doi.org/10.35193/bseufbd.1076261>
- Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Alhagri, M. G., & Arslan, M. H. (2018). Deprem kuvvetine esas spektral ivme değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre karşılaştırılması. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 17(2), 43-58.

- Murtazaoglu, S., Yetilmezsoy, K., & Doran, B. (2015). CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonların basınç dayanımının çoklu regresyon modelleriyle tahmini. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 31(3), 172-178.
- Özmen, A., & Sayın, E. (2021). Deprem etkisinde çok katlı betonarme bir binanın TDY-2007 ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerine göre eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 124-133. <https://doi.org/10.47495/okufbed.797889>
- Özmen, H., İnel, M., & Bilgin, H. (2007). Sargılı beton davranışının betonarme eleman ve sistem davranışına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 375-383.
- Saltan, M., & Alaefary, F. (2018). ANFIS yönteminin esnek yol üstyapılarının yapısal analizinde kullanılabilirliği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 396-405. <https://doi.org/10.21923/jesd.313427>
- Saphioğlu, K., & Küçükdem, T. (2018). Su sertliğinin ANFIS ile tahmin edilmesi: köprüçay örneği. *Academic Perspective Procedia*, 1(1), 824-833. <https://doi.org/10.33793/acperpro.01.01.144>
- Saplioglu K., & Kucukerdem T.S., (2018). Estimation of Missing Streamflow Data Using Anfis Models and Determination of the Number of Datasets for Anfis: The Case of Yeşilirmak River. *Applied Ecology and Environmental Research*. 16(3), 3583-3594. [https://doi.org/10.15666/aeer/1603\\_3583594](https://doi.org/10.15666/aeer/1603_3583594)
- Sarıbıyık, A. (2016). Betonların güçlendirilmesinde FRP kompozitlerin hibrit olarak kullanımının etkisi. In *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*. Alanya/Antalya, Turkey.
- Sarıbıyık, A. (2018). Effect of using FRP composites as hybrid in the strengthening of concretes. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 383-391. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.343562>
- Sayın B, Yıldızlar B, & Özyazgan C. (2016). Fiber takviyeli polimer (FRP) uygulanan betonarme kirişlerde moment-eğrilik ilişkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 42-56.
- Sungur, A., Yazıcı, M. F., & Keskin, N. (2022). Prediction of the shear strength of glass fiber-reinforced clay soil by adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *El-Cezeri*, 9(4), 1255-1264. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1133184>
- Şahin U., & Bedirhanoglu İ. (2008). Lifli polimerler ile güçlendirilmiş betonun basınç dayanımının bulanık mantık ile tahmin edilmesi.
- Tekeli, H., Dilmaç, H., Türkmen, M., & Demir, F. (2015). Güçlendirilmiş betonarme binaların deprem güvenliği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 16-20.
- Tekin Özer, A., & Alacalı, S. (2021). Eksenel yük altındaki lifli polimer ile sargılı dairesel enkesitli kolonlarda dayanım azaltma katsayısının incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 23(69), 995-1004. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236925>
- Türk Standardları Enstitüsü. (2000). TS 500: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standardı.
- Ulutaş, H. (2019). DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinin kesit hasar sınırları açısından kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 351-359. <https://doi.org/10.31590/ejosat.620827>
- Ustabaş, İ., Gürbüz, A., Kurt, Z., & Deşik, F. (2020). Betonda CFRP sargı uygulamasının deneysel ve analitik olarak karşılaştırılması. *Mühendislik*

- Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 921-930.  
<https://doi.org/10.21923/jesd.777814>
- Uzbaş, B. (2014). Beton için geliştirilen gerilme-şekil değiştirme modellerinin karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 17(3), 115-126.
- Ünsal, İ., & Öncel, F. A. (2020). TDY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre yapı yüksekliğinin taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(4), 930-942.  
<https://doi.org/10.36306/konjes.752139>
- Yaman, Z., Öztürk, İ. Ş., & Emiroğlu, M. (2022). Donma/Çözülme ve sıcaklığın BFRP kompozitlerle güçlendirilmiş betonların davranışlarına etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 551-569.  
<https://doi.org/10.47495/okufbed.1005710>
- Yüksel, S. B., & Foroughi, S. (2019). Betonarme kolonların sargısız ve sargılı beton dayanımının analitik olarak araştırılması. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 612-631.  
<https://doi.org/10.36306/konjes.613880>

Research Article

## Application of Hierarchical Clustering Algorithm to Classify Docked Bike-Sharing System Stations

\*<sup>1</sup>Oruc ALTINTASI, <sup>2</sup>Dila GUZEL, <sup>3</sup>Sila OVGU KORKUT

<sup>1</sup> Izmir Katip Celebi University, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, İzmir, Türkiye, [oruc.altintasi@ikcu.edu.tr](mailto:oruc.altintasi@ikcu.edu.tr), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4217-1890>

<sup>2</sup> Izmir Katip Celebi University, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, İzmir, Türkiye, [dilaguze@gmail.com](mailto:dilaguze@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-1506-1787>

<sup>3</sup> Izmir Katip Celebi University, Department of Engineering Sciences, Faculty of Engineering and Architecture, İzmir, Türkiye, [silaovgu.korkut@ikcu.edu.tr](mailto:silaovgu.korkut@ikcu.edu.tr), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4784-2013>

Received: 12.10.2024;

Accepted: 20.11.2024

### Abstract

This study applied the hierarchical clustering algorithm to categorize bike-sharing system stations operating in İzmir, Türkiye, based on their temporal usage patterns. By distinguishing between transportation- and leisure-oriented trips, the research provides insights into the operational dynamics of the system. The findings highlighted spatial and temporal distinctions, with Konak İskele Station consistently emerging as a separate cluster for transportation-oriented trips, indicating its crucial role due to its central location and proximity to public transportation hubs. In the case of leisure-oriented trips, the analysis revealed three clusters on weekdays, with Konak İskele Station maintaining its prominence, particularly in the afternoon and late evening hours. However, weekend trips were characterized by the identification of two main clusters. These results emphasize the importance of tailored management strategies for bike-sharing systems, suggesting that transportation-oriented trips may benefit from more strategic station placements and enhanced connectivity to public transit.

**Keywords:** Bike-Sharing System, Hierarchical Clustering, Temporal Usage, Leisure Trips

\*<sup>1</sup>Corresponding author:

To cite this article

Altintasi, O., Guzel, D. & Ovgu Korkut, S. (2024). Application of Hierarchical Clustering Algorithm to Classify Docked Bike-Sharing System Stations. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(2), 131-142. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1565857>

# Bisiklet Paylaşım Sistemi İstasyonlarının Sınıflandırılmasında Hiyerarşik Kümeleme Algoritmasının Uygulanması

## Öz

Bu çalışmada, İzmir'de faaliyet gösteren bisiklet paylaşım sistemi istasyonları, zamansal kullanım sıklığına göre hiyerarşik kümeleme algoritması ile sınıflandırılmıştır. Araştırma, ulaşım ve eğlence amaçlı yolculuklar arasında bir ayırım yaparak sistemin operasyonel dinamikleri hakkında değerli bilgiler sunmaktadır. Bulgular, Konak İskele İstasyonu'nun ulaşım amaçlı yolculuklar için sürekli olarak ayrı bir küme oluşturduğunu ve bu istasyonun merkezi konumu ile toplu taşıma merkezlerine yakınlığının ona önemli bir rol kazandırdığını vurgulamaktadır. Eğlence amaçlı yolculuklar incelendiğinde, yapılan analiz hafta içi üç ayrı küme ortaya koymuştur. Konak İskele İstasyonu'nun özellikle öğleden sonra ve akşam geç saatlerde yoğun bir şekilde kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Öte yandan, hafta sonu yolculukları için istasyonlar iki ayrı küme halinde toplanmıştır. Bu sonuçlar, bisiklet paylaşım sistemleri için özel yönetim stratejilerinin önemini ön plana çıkarmakta ve ulaşım odaklı yolculukların daha stratejik istasyon yerleşimlerinden ve toplu taşımaya daha iyi bağlantılardan faydalanabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bisiklet Paylaşım Sistemi, Hiyerarşik Kümeleme, Zamansal Kullanım, Eğlence Yolculukları



## 1. Introduction

Bike-sharing systems (BSS) have become a key element of sustainable urban transportation, providing a flexible and eco-friendly alternative for short-distance travels (Bullock et al., 2017). By offering an alternative to car usage, BSS helps reduce traffic congestion and improve air quality and supporting cities' efforts towards sustainable mobility goals (Fishman, 2016). While numerous studies have examined the factors influencing BSS usage, recent research highlights the potential of using advanced data analytics, such as clustering algorithms, to better understand travel behavior patterns of bike-sharing system users (Zhou, 2015; Du et al., 2019; Liu and Lin, 2019; Ma et al., 2019; Chen et al., 2022; Zhu and Diao, 2020). These studies frequently employ clustering algorithms to classify stations based on temporal usage patterns over a day. For example, Ma et al. (2019) investigated the effects of spatiotemporal factors on travel behavior of BSS users, comparing three clustering methods and ultimately using the k-means algorithm to segment 477 BSS stations into seven distinct clusters. Likewise et al. (2019) conducted two clustering analyses based on the temporal station usage intensity and trip distances, using a Multinomial Logistic Regression model to explore relationships between BSS station usage and land use structure. Zhou (2015) analyzed the spatiotemporal characteristics of bike usage in Chicago during 2013 and 2014, applying a hierarchical clustering method to categorize bike stations into five clusters

according to usage intensity and time of day. This approach facilitated the analysis of weekday and weekend travel behavior across both years. Zhu and Diao (2020) adopted a fuzzy c-means clustering algorithm to classify BSS stations in Hangzhou, China, into five clusters based on temporal variations in daily usage. Collectively, these studies reveal that travel behavior patterns derived from clustering analyses are often correlated with demographic characteristics and land-use patterns. In a related study, Du et al. (2019) examined the spatiotemporal usage patterns of the BSS in Shanghai. By employing a hierarchical clustering analysis, they identified temporal usage characteristics of stations, grouping them into three clusters based on peak usage times: morning, evening, and both morning and evening. Additionally, the study employed a random forest algorithm to identify key factors influencing station usage frequency. Chen et al. (2022) investigated factors affecting BSS usage at rail stations in Nanjing, China, utilizing k-means clustering to divide 90 stations into five clusters based on peak bike rental and return times. Beck et al. (2023) found five different clusters via K-medoid analysis and associated the built environment and land use variables with each cluster.

In addition to the clustering algorithms-based studies, travel characteristics of bike-sharing trips and designing bike routes have been focused on many studies. For example, Pekdemir et al. (2024) examined the factors influencing the frequency of bike trips for different purposes using the one-year BSS trips

data for İzmir, Türkiye. The results showed that the presence of car parks and rail transit stations within a 600 m catchment area of BSS stations was associated with a higher frequency of bike trips for transportation purposes. In another study by Pekdemir et al. (2021) the variations in the frequency of bike trips were examined for different seasons for the same city. Li et al. (2021) reported similar results indicating that the proximity to metro station was positively associated with the bike usage. Saplıoğlu and Aydın (2018) proposed a GIS-based multicriteria decision support system to identify safe routes for connecting bike paths with public bus stops. Accident prone areas, bus lanes and car parks were identified as the most influential variables. On the other hand, Yemişcioğlu et al. (2024) found that slope was found the most important criteria for designing the bicycle routes. Another study by Saplıoğlu and Günay (2016) identified key parameters for designing bicycle routes on urban roads through survey-based research.

The existing literature suggests that clustering algorithms have primarily been applied to large-scale BSSs trips, where bicycles are predominantly used for transportation purposes. However, travel characteristics in BSSs designed for recreational use, such as the İzmir BSS system in Türkiye, have not been extensively explored. This gap in literature forms the primary focus of this research. This study examines the unique travel characteristics associated with a smaller-scale, predominantly leisure-oriented BSS. A distinctive

feature of this research is its focus on analyzing usage patterns through a temporal frequency perspective, which helps reveal the distinct dynamics of recreational BSS system. By separating travels for transportation and leisure, this study offers new insights into the operational dynamics of such systems. In this study, a hierarchical clustering algorithm was employed to analyze BSS trip data, categorizing BPS stations based on their daily temporal usage patterns. The BSS trip data covers trips recorded from 2021 to 2022 across 60 stations in İzmir, Türkiye, a period which captures post-pandemic shifts in recreational mobility. The findings clarify the travel patterns associated with BSS trips, providing insights into usage trends and behaviors. This study makes a strategic contribution to urban transportation planning by identifying distinct usage trends in leisure-oriented BSS.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Study area and Data Preprocessing

Data was obtained from İzmir Metropolitan Municipality for 60 BSS stations, covering a two-year period of BSS trip records from 2021 to 2022. The location of the BSS is illustrated in Figure 1. This dataset includes information for each trip, such as bicycle number, rental station, rental time, drop-off station, drop-off time, and trip duration. The initial step was to eliminate noisy trip data from the dataset (Pekdemir et al., 2024; Guzel et al., 2025). Noisy trips were characterized as those that returned to the starting station within three minutes

or had a duration of 150 minutes or more (Pekdemir, 2024; Guzel et al., 2025). Furthermore, official holidays within the designated period were identified, and trips occurring on these days were excluded from the analysis.



**Figure 1.** BSS stations in İzmir, Türkiye.

## 2.2 Implementation of Hierarchical Clustering Algorithm

Before applying the clustering algorithm, it is essential to categorize BSS trips based on their purpose. This necessity arises from preliminary analyses of bike trips that indicated an unbalanced relationship between travel times and trip distances, as highlighted in authors' previous studies (Pekdemir et al., 2024; Guzel et al., 2025). To prevent any conflicts of interest, the methodology for classifying BSS trips was not discussed in this research but detailed information can be found in Guzel et al. (2025). Following the classification of BSS trips into categories of cycling for transportation and cycling for leisure, a hierarchical clustering algorithm was applied to each trip purpose, separately.

The fundamental principle of the hierarchical model is grouping the object

into clusters based on their similarity. The hierarchical approach was chosen because it does not require a predefined number of clusters, labels or categories. The application of the hierarchical clustering algorithm started by the selection of choice of distance metric. A suitable distance metric was selected as Euclidean distance as similar in study (Du et al., 2019). We applied Ward's method, a hierarchical technique that reduces within-cluster variance. This approach progressively combines the two nearest clusters at each step, ensuring that the resulting clusters are as consistent and homogeneous as possible (Shalizi, 2009). More precisely,

$$d(X \cup Y, Z) = \sqrt{\frac{n_x + n_z}{n_x + n_y + n_z} \|X - Z\|^2 + \frac{n_y + n_z}{n_x + n_y + n_z} \|Y - Z\|^2 - \frac{n_z}{n_x + n_y + n_z} \|X - Y\|^2}$$

where  $X, Y$ , and  $Z$  denote the clusters and  $n_x, n_y$ , and  $n_z$  represent the number of elements within those clusters, respectively. Ward's method offers notable advantages. By aiming to minimize total variance within clusters, Ward's approach yields more balanced, well-defined, and homogeneous clusters. Additionally, applying Ward's method enhances the interpretability of trip patterns across various temporal and purpose-based categories. For further details on hierarchical clustering methods and their applications, we refer the interested reader to the works of Shalizi (2009) and Müllner (2011).

Based on the focus of the study, the hierarchical clustering algorithm was applied to stations exhibiting similar time-use patterns. To determine the optimal number of clusters, an experimental evaluation was performed using the Silhouette score, which measures the cohesion within clusters and separation between clusters. This score assesses how well each station fits within its assigned cluster compared to other clusters, with values ranging from -1 to 1. A score close to 1 indicates that the station is well-clustered and distinct from neighboring clusters, while a score near -1 suggests poor assignment, meaning the station may belong to a different cluster. The Silhouette score can be expressed as follows:

$$\max_k \left\{ \frac{1}{N_k} \sum_j \frac{b(j) - a(j)}{\max\{a(j), b(j)\}} \right\} \quad (1)$$

where  $N_k$  denotes the number of elements over the cluster  $k$ . Moreover,  $a(i)$  is the average distance of  $i^{th}$  element to other points in the same cluster whereas  $b(i)$  is the average distance to the nearest other cluster. The calculation of those values is as follows:

$$a(i) = \frac{1}{|K_i| - 1} \sum_{j \in K_i, i \neq j} d(i, j) \quad (2)$$

$$b(i) = \min_{m \neq i} \frac{1}{|K_m|} \sum_{j \in K_m} d(i, j) \quad (3)$$

where  $|K_i|$  stands for the number of points of cluster involving  $i$ .

After categorizing the BSS trips by purpose, clustering analyses were carried out based on the temporal usage

patterns of the stations. These analyses were conducted separately for weekday and weekend trips, resulting in a total of four distinct clustering analyses.

### 3. Results

The hierarchical structure of clusters for transportation-oriented trips is shown in Figures 2 and 3, representing weekdays and weekends, respectively. In these figures, each horizontal line corresponds to a cluster, with the length of the line indicating the distance between clusters. The dendrogram demonstrates that BSS stations can be grouped into several clusters based on varying levels of similarity. Accordingly, the Silhouette analysis assesses the quality of the clustering, where higher silhouette scores reflect better cluster solutions. The plot suggests that the optimal number of clusters falls between 2 and 3, as the silhouette coefficient reaches its peak within this range. This indicates the presence of two primary groups of BSS stations, with distinct usage patterns. The heatmap or hierarchical clustering dendrogram results for the BSS stations are depicted in Figure 4. It can be observed that Konak İskele Station forms its own cluster, while the remaining 59 BSS stations fall into a separate cluster. Additionally, Figure 4 highlights that Konak İskele Station was selected significantly more often than the other stations. The clustering results suggest a clear spatial and temporal distinction between Konak İskele Station and the other stations, possibly reflecting its central location, proximity to the central business district, and ease of access to public transportation

facilities. In other words, the fact that Konak consistently forms a distinct cluster suggests a strong station-specific pattern that requires further investigation.

Regarding the clustering results for leisure-oriented trips, Figures 5 and 6 display the hierarchical clustering dendrograms for weekday and weekend

trips, respectively. Unlike transportation-oriented cycling, three distinct clusters were identified for weekdays based on the silhouette score. Once again, Konak İskele Station formed its own cluster, 20 BSS stations grouped into a second cluster, and the remaining 39 stations comprised the third cluster.

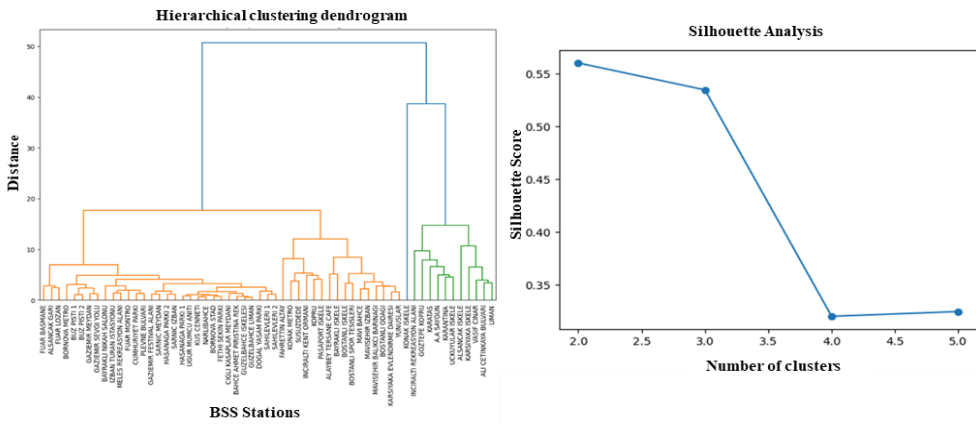


Figure 2. Clustering analysis results for transportation trips for weekdays.

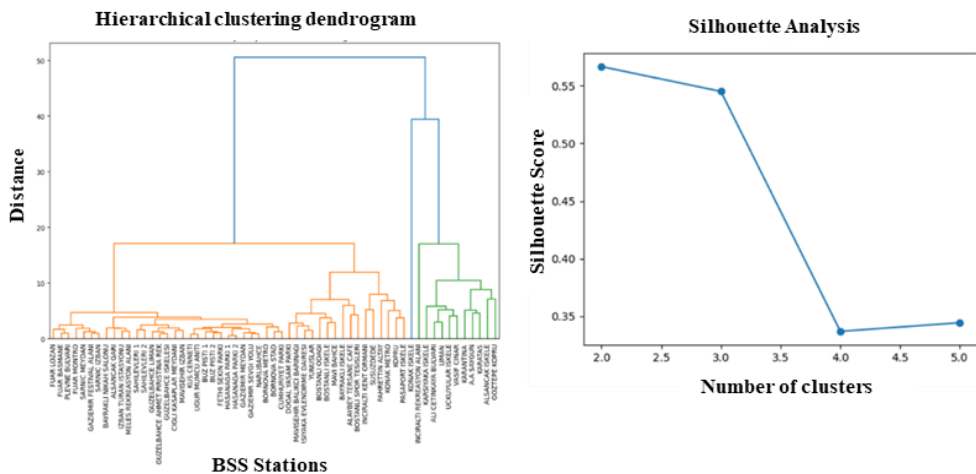


Figure 3. Clustering analysis results for transportation trips for weekends.

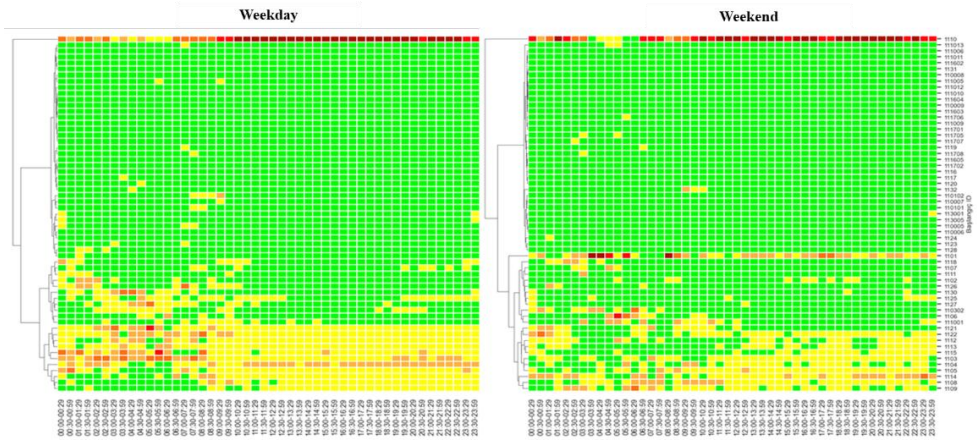


Figure 4. Hierarchical clustering dendrogram results for transportation trips.

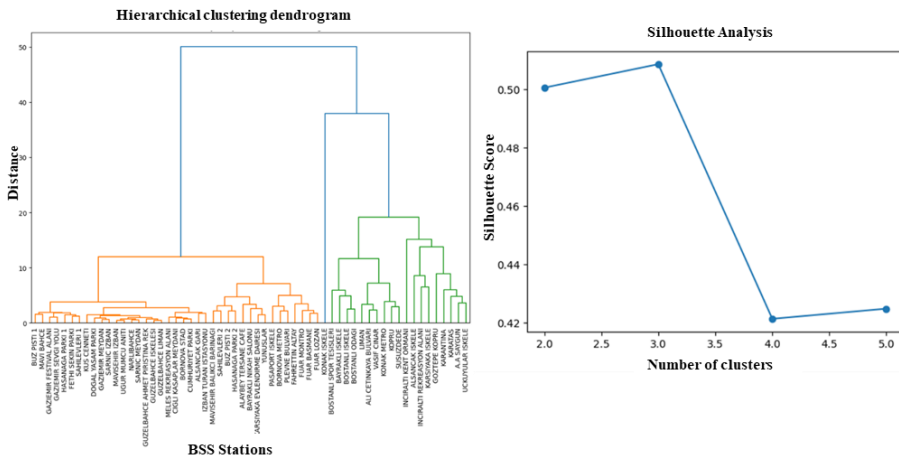


Figure 5. Clustering analysis results for cycling for leisure trips for weekdays.

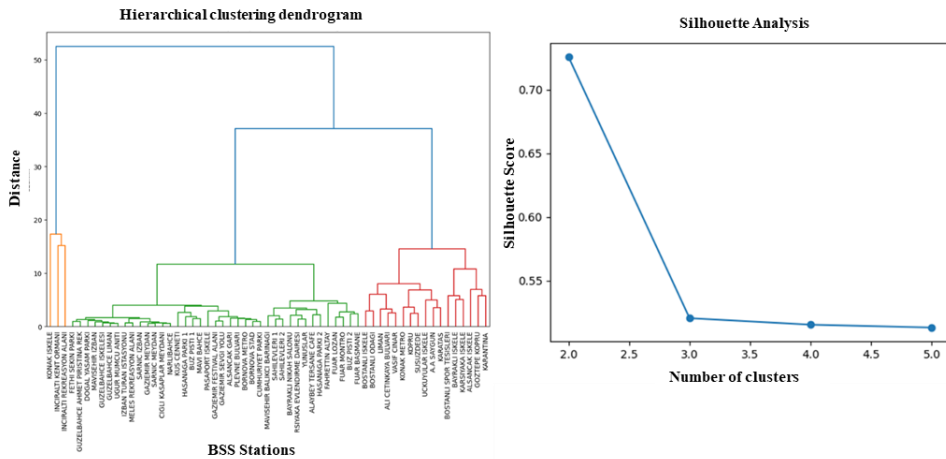
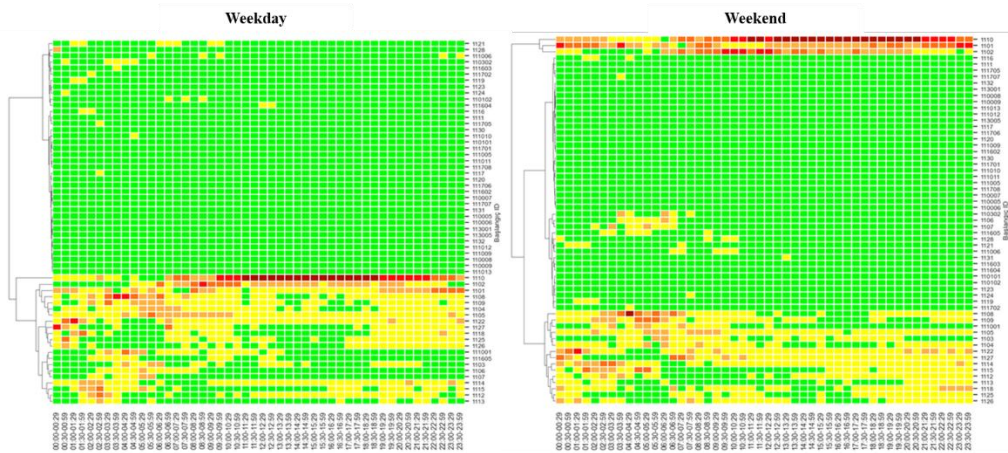


Figure 6. Clustering analysis results for cycling for leisure trips for weekends.



**Figure 7.** Hierarchical clustering dendrogram results of BSS stations for leisure trips.

For leisure-oriented trips, Konak İskele Station is primarily used in the afternoon and continues into the late evening (Figure 7). Analysis of Cluster 2 (Figure 7) reveals that several stations are preferred during morning peak hours but also experience frequent usage throughout the day. Cluster 3, highlighted in green on the heatmap, comprises stations that are less popular and used infrequently during the day. The temporal and spatial usage patterns of these clusters suggest varying levels of demand for leisure cycling, potentially influenced by factors such as closeness to recreational areas or access to public facilities. In contrast, station usage on weekends follows a different pattern, as shown in Figure 7. The Silhouette analysis indicated the presence of two distinct clusters. The hierarchical clustering dendrogram (Figure 7) revealed that three stations formed one cluster, while the remaining stations were grouped into a separate cluster. The stations in the first cluster (a total of three) are primarily located in recreational areas of Izmir, reflecting the

leisure-oriented nature of their usage. This distinct clustering on weekends highlights a preference for certain stations in leisure-oriented locations, underscoring the impact of station location on trip behavior. It can be inferred that the distinctions between the usage frequencies of stations on weekdays and weekends were more observable, particularly for leisure trips (see Figure 7). This may be because leisure trips are more likely to be affected by factors such as recreational preferences, seasonal activities, and free time availability, which vary between weekdays and weekends. Leisure trips tend to increase on weekends, leading to a concentration on trips at stations near parks, or main attractions. On the other hand, the number of clustered stations for transportation-related cycling trips remains consistent on both weekdays and weekends. This likely reflects the regularity and routine nature of transportation-oriented trips. Consequently, station usage for transportation trips is less affected by the day of the week, as users often rely on

predictable stations close to residential or work areas, creating stable clustering patterns across both weekdays and weekends.

#### 4. Discussion and Conclusions

This study provides a comprehensive analysis of the travel behavior patterns associated with the İzmir Bike-Sharing System (BSS) by employing a hierarchical clustering algorithm to categorize stations according to their temporal usage patterns. The results yield valuable insights into the dynamics of the system, particularly in distinguishing between transportation- and leisure-oriented trips. The clustering analysis for transportation-oriented trips revealed a distinct spatial and temporal separation, with Konak İskele Station consistently emerging as a separate cluster. This distinct segregation highlights Konak İskele Station's strategic role within the system, which may be attributed to its central location, accessibility, and integration with the city's public transportation network. This finding underscores the station's importance, likely attributable to its central location, proximity to the central business district, and integration with public transportation. On the other hand, the remaining stations were gathered into one cluster, exhibiting similar temporal usage characteristics. This may be due to their locations in residential or mixed-use areas with less direct access to major transit hubs.

In contrast, the investigation into leisure-oriented trips uncovered different clustering patterns, especially on

weekdays where three unique clusters were identified. Again, Konak İskele Station formed a unique cluster, indicating its central role in leisure trips, especially during the afternoon and late evening. Other stations in Cluster 2 demonstrated frequent use throughout the day, while those in Cluster 3, were less frequently used. The analysis of weekend trips, however, indicated only two main clusters, with three stations forming a separate group. This separation on weekends may indicate that these stations are situated near popular leisure destinations. These findings underscore the need for a strategic approach in managing bike-sharing systems by aligning station placement and service availability with observed demand patterns based on trip purposes and temporal variations. For instance, while transportation-oriented trips may benefit from more strategic placement of stations and improved connectivity with public transit, leisure-oriented stations might require enhancements in availability during peak leisure times, particularly on weekends. Future research should investigate the demographic and land-use factors influencing the observed clustering patterns.

Future research could explore the application of alternative clustering algorithms, such as k-means or C-fuzzy clustering, to compare their effectiveness in grouping trips based on purpose. While this study focused on hierarchical clustering with Ward's method, investigating how these other algorithms perform in terms of cluster homogeneity and interpretability could



provide valuable insights. Additionally, incorporating a broader range of external factors, such as seasonal variations, might further refine the clustering process and offer a more comprehensive understanding of trip behaviors within bike-sharing systems, which is the focus of the future research.

#### Declaration of Ethical Standards

The authors declare that they comply with all ethical standards.

#### Credit Authorship Contribution Statement

Author 1: Resources, Research, Writing – original draft, Conceptualization, Methodology / Study design, Writing – review and editing, Supervision, Validation, Data curation,

Author 2: Methodology / Study design, Validation, Visualization, Writing – original draft, Data curation, Writing – review and editing

Author 3: Resources, Research, Writing – original draft, Conceptualization, Methodology / Study design, Writing – review and editing, Supervision, Data curation

#### Declaration of Competing Interest

The authors have no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

#### Data Availability

All data generated or analyzed during this study can be shared upon request.

#### Acknowledgement

This research has been supported by the National Research Project of Izmir Katip Celebi University, grant number of 2023-ARC-MÜMF-0002. The authors also express their thanks to Izmir Metropolitan Municipality for sharing bike-sharing trip data.

## 5. References

- Beck, B., Winters, M., Nelson, T., Pettit, C., Leao, S. Z., Saberi, M., ... & Stevenson, M. (2023). Developing urban biking typologies: Quantifying the complex interactions of bicycle ridership, bicycle network and built environment characteristics. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(1), 7-23.
- Bullock, C., Brereton, F., Bailey, S. (2017). The economic contribution of public bike-share to the sustainability and efficient functioning of cities. *Sustainable Cities and Society* 28, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.024>.
- Chen, W., Chen, X., Chen, J., Cheng, L. (2022). What factors influence ridership of station-based bike sharing and free-floating bike sharing at rail transit stations? *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(4), 357-373. <https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1872121>.
- Du, Y., Deng, F., Liao, F. (2019). A model framework for discovering the spatio-temporal usage patterns of public free-floating bike-sharing system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103, 39-55. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.04.006>
- Fishman, E. (2016). Bikeshare: a review of recent literature. *Transp. Rev.* 36, 92–113. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1033036>.
- Guzel, D., Altintasi, O., Korkut, S.O. (2025). Assessment of weather-driven travel behavior on a small-scale docked bike-sharing system usage. *Travel Behaviour and Society*. 38 <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100927>.
- Li, W., Chen, S., Dong, J., & Wu, J. (2021). Exploring the spatial variations of transfer distances between dockless bike-sharing systems and metros. *J Transp Geogr.*, 92, 103032.

- Liu, H. C., Lin, J. J. (2019). Associations of built environments with spatiotemporal patterns of public bicycle use. *Journal of Transport Geography*, 74, 299-312. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.12.010>.
- Ma, X., Cao, R., Jin, Y. (2019). Spatiotemporal clustering analysis of bicycle sharing system with data mining approach. *Information (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/info10050163>.
- Müllner, D. (2011). Modern hierarchical, agglomerative clustering algorithms. *arXiv preprint arXiv:1109.2378*.
- Pekdemir, M. İ., Altıntasi O., & Özen, M. (2021). Bisiklet Paylaşım Sistemi Kullanıcıların Mevsimsel Farklılıklarının İncelenmesi: Bisim İzmir Örneği. 2<sup>nd</sup> *International Conference on Intelligent Transportation Systems, BANU-ITSC'21* October 22-24, 2021 Bandırma, Turkey.
- Pekdemir, M.I., Altıntasi, O., Ozen, M. (2024). Assessing the impact of public transportation, bicycle infrastructure, and land use parameters on a small-scale bikesharing system: a case study of Izmir, Türkiye. *Sustain. Cities Soc.* 101. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105085>
- Saplıoğlu, M., & Aydın, M. M. (2018). Choosing safe and suitable bicycle routes to integrate cycling and public transport systems. *Journal of Transport & Health*, 10, 236-252.
- Saplıoğlu, M., & Günay, E. Y. (2016). Investigating the effective parameters of safe bicycle route by using a survey study. *Sigma*, 7(1), 89-96.
- Shalizi, C. (2009). *Distances between clustering, hierarchical clustering*. Retrieved November 20, 2024, from <https://www.stat.cmu.edu/~cshalizi/350/lectures/08/lecture-08.pdf>
- Yemişcioğlu, Ş., Çivici, T., & Yıldız, Y. (2024). Analiz araçları yardımıyla sürdürülebilir bisiklet yolları seçimi üzerine bir çalışma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(4), 2011-2022.
- Zhou, X. (2015). Understanding spatiotemporal patterns of biking behavior by analyzing massive bike sharing data in Chicago *PLoS ONE*, 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137922>.
- Zhu, Y., Diao, M. (2020). Understanding the spatiotemporal patterns of public bicycle usage: A case study of Hangzhou, China. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(3), 163-176. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1538400>

## Araştırma Makalesi

# Yeşil Binalar için İmar Planı Tasarımlarında Güneş Enerji Verimliliğinin İncelenmesi; Samsun Örneği

\*<sup>1</sup>Mustafa YALÇIN, <sup>2</sup>Ahmet DENİZ, <sup>3</sup>Murat Ersin KORKMAZ

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Afyonkarahisar, Türkiye, [mustafayalcin@aku.edu.tr](mailto:mustafayalcin@aku.edu.tr), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6402-5651>

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çay Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, [ahmetdeniz@aku.edu.tr](mailto:ahmetdeniz@aku.edu.tr), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0326-3733>

<sup>3</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye, [korkmazmuratersin@gmail.com](mailto:korkmazmuratersin@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3850-5138>

Geliş: 15.10.2024;

Kabul: 20.11.2024

## Öz

Sürdürülebilir bir çevre için yeşil binalar, enerji verimliliği ve sıfır karbon emisyonu hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji sistemlerinin etkin kullanımı açısından önemlidir. Geniş ölçekte bakıldığında, yeşil binaların yerleşim planı, güneş enerjisinden maksimum yararlanmayı sağlayacak şekilde tasarlandığında, bina ölçeğinde enerji verimliliğini artırır. Bu sebeple binaların oluşturduğu bir imar adasının veya bölgenin ana planlaması, binaların güneş enerjisi kazanımı sağlamak için ideal bir fırsat olacak ve enerji bakımından daha sürdürülebilir bir ortam sağlayacaktır. Bu çalışmada, Samsun ilinde, SEBE (Solar Energy on Building Structures) algoritması kullanılarak, binalardaki güneş enerjisinden en fazla verimin alınabilmesi için binaların yerleşimini etkileyen imar adalarının yönelimleri üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada iki farklı imar adasında, imar adalarının farklı yönelimlerinde, duvarlarda biriken toplam güneş enerji miktarı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, yıllık olarak duvarlarda biriken toplam güneş enerji miktarının, 7288 numaralı imar adasında, imar adasının mevcut rotasyonu ile en yüksek potansiyelde olduğu, 12508 numaralı imar adasında ise 330°'lik rotasyon yani 30°'lik saat yönünün tersine döndürülmesiyle güneşten maksimum verim alabileceği hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yeşil Binalar, Güneş Enerji Verimliliği, İmar Planları

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Yalçın, M., Deniz, A. & Korkmaz, M.E. (2024). Yeşil Binalar için İmar Planı Tasarımlarında Güneş Enerji Verimliliğinin İncelenmesi; Samsun Örneği. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(2), 143-157. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1567881>

## **Examining Solar Energy Efficiency in Development Plan Designs for Green Buildings; Samsun Example**

### **Abstract**

Green buildings are important for a sustainable environment as they support energy efficiency and zero carbon emission goals through the effective use of renewable energy systems. On a larger scale, when the layout of green buildings is designed to maximize solar energy utilization, it enhances energy efficiency at the building level. For this reason, master planning of an area or region formed by buildings will be an ideal opportunity to provide solar energy gain from buildings and will provide a more sustainable environment in terms of energy. In this study, the SEBE (Solar Energy on Building Structures) algorithm was used to investigate in Samsun province for the orientations of zoning blocks that affect the layout of buildings in order to get the most efficiency from solar energy in buildings. In this study, an examination was made on the orientations of zoning islands that affect the layout of buildings in order to get the most efficiency from solar energy in buildings. In order to obtain maximum solar efficiency from the Digital Surface Model (DSM) taken in Samsun province the island orientations in the development plans. The total amount of solar energy accumulated on the walls in two different building blocks was calculated for different orientations of the blocks. As a result, it was calculated that the total amount of solar energy accumulated on the walls annually is at its highest potential in the current rotation block numbered 7288, and that the zoning block numbered 12508 can obtain maximum efficiency from the sun with a 330° rotation, i.e. a 30° counterclockwise rotation.

**Keywords:** *Green Buildings, Solar Energy Efficiency, Development Plans*

## 1. Giriş

Günümüzde iklim ve çevre şartlarında yaşanan olumsuzlukların sebeplerinin başında, enerji üretiminde kullanılan yenilenemeyen enerji Kaynak Ari yer almaktadır. Bu kaynaklardan enerji üretimi sırasında ortaya çıkan Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), Metan (CH<sub>4</sub>) ve Nitröz oksit (N<sub>2</sub>O) gazlarının oluşturduğu Sera Gazı Salınımı (SGS) her geçen sene artmakta Crippa vd. (2023) ve atmosferdeki ısı tutulumu ile yeryüzü sıcaklığı ise her sene hissedilir seviyede yükselmektedir (IPCC, 2023). Bu yüzden dünyada yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımına büyük ilgi bulunmaktadır (Yalcin ve Kilic, 2017; Yalcin vd., 2023). Bununla birlikte enerji tüketimine bakıldığında; Türkiye’de mesken ve hizmet sektörünün toplam enerji tüketimine oranı yüzde 36 civarındadır (Tıkansak, 2014). Bu oranın büyüklüğüne istinaden konutlarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılıp, enerji verimliliği göz önünde bulundurularak yeşil binaların yoğun olduğu ortamlar gerçekleştirilmelidir. Bunun gerçekleştirilmesi için ise bina bazında yapılan enerji verimliliği çalışmalarının yanında bu binaların oluşturduğu bölgenin şartları incelenerek yeşil binalara uygun hale getirmek gerekmektedir.

Bina ölçeğinde enerji verimli binalar incelendiğinde; ısıtma, soğutma, aydınlatma amacıyla binaların yapılanma koşulları ve yönelimleri önemli bir kriter iken, geniş ölçekte bakılacak olursa, binalarda güneş enerjisinin depolanma miktarını

etkileyen etkenler; dış çevresel parametreler ve bina ölçeğindeki parametreler olmak üzere iki başlık altında sıralanabilir. Dış çevresel parametreler arasında; bölgenin konumu (iklimi), meteorolojik veriler, güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri, bölgenin topoğrafyası yer alırken; bina ölçeğindeki parametreler arasında bina aralıkları, bina yönlenmesi ve bina formu gibi kentsel tasarımlar yer almaktadır.

Kentsel tasarımlarda enerji verimliliği ile ilgili çalışma yapan Sınmaz (2015), incelediği Lapseki kenti için uydu görüntülerinde, enerji tedarigi ve tüketimi olan noktaları belirlemiş, enerji verimli yerleşme değerlendirme modeli önerisinde bulunmuştur. Özellikle kentlerde yerleşme formunun enerji bakımından kendine yeterlilik potansiyelinin belirlenmesi konusu üzerinde durmuştur.

Demircan vd. (2017) çalışmalarında, binalarda pasif ve aktif güneş sistemlerinin incelemesini yaparak, enerji etkin bina tasarımı yapmışlardır. Çevre binaların etkilerini de göz önünde bulundurarak bir binanın güneşten en fazla verim alacak şekilde; binanın konumuna, formuna, bina kabuğuna, havalandırma durumuna dikkat etmişlerdir.

İnce ve Erdem (2020) Trakya Bölgesi için yaptıkları çalışmada imar adalarındaki binaların oluşturdukları gölgeleri, binaların buldukları konumları bakımından incelemesini yapmışlardır. Güneş açılarını dikkate alarak yılın farklı vakitlerinde gölge yüksekliklerini

hesaplamışlardır. Bu şekilde imar adaları içinde binaların yönelimlerini değerlendirmişlerdir.

Yalçın vd. (2019), İzmir Bergama ilçesinde yapmış oldukları çalışmada Coğrafik Bilgi Sistemi (CBS) ortamında güneş potansiyelini incelemiş SEBE (Solar Energy on Building Structures) algoritmasını kullanarak çatılarda biriken enerji miktarlarını belirlemiştir.

Evren (2021), İstanbul Bahçelievler İlçe'sinde bulunan şirinevler mahallesinde bulunan yapı adalarının güneş ışığı açısından değerlendirmesini yapmıştır. Binaların aydınlatılması ve ısıtılması için güneş erişimi sürelerini güneş açılarına göre belirlemiştir. Bunu yaparken yapı adalarında binaların yerleşimi ve farklı yapı adaların yönelimleri dikkate alınmıştır.

Akıllı şehir uygulamalarında enerji verimliliğinin önemi vurgulanarak, binaların yerleşim düzenlerinin optimize edilmesinin şehir genelinde enerji tasarrufuna katkıda bulunduğu gösterilmiştir (Dirik, 2023). Farzaneh vd. (2021), akıllı binaların enerji verimliliğine yönelik yapay zekâ uygulamalarını incelemiş ve buna ait çeşitli yaklaşımlar geliştirmişlerdir.

Yapılan çalışmalar, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için yeşil binaların yaygınlaşmasının önemini ortaya koymaktadır. Esfandi vd. (2024), enerji verimliliği projelerinde, yeşil binaların tasarımlarında enerji kazanımı üzerine belirleyici etkenleri analiz eden

çalışmaların derleme çalışmasını yapmışlardır.

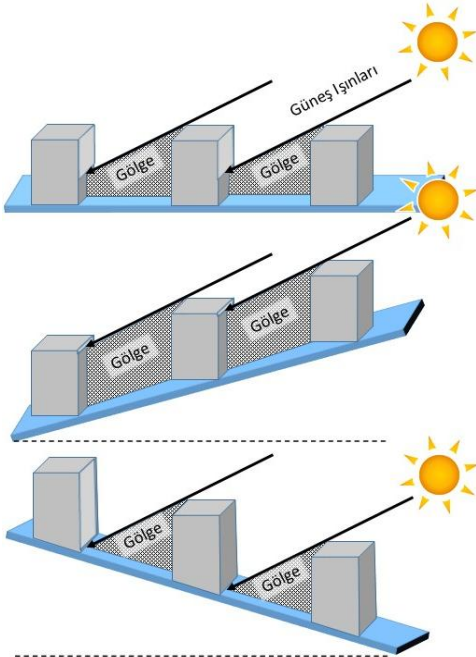
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, imar planlarında bulunan imar adası yönelimlerinin yıl içerisinde, mevsimlerin güneş hareketine göre bina duvarlarında biriken güneş enerji miktarının hesaplandığı ve enerji korunumuna yönelik bir öneri sunulduğu bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Samsun ili İlkadım ilçesindeki mevcut iki imar adasının imar adalarının hali hazırdaki yönelimleri ve farklı yönelimleri için bina duvarlarında biriken güneş enerji miktarları karşılaştırılarak, imar adalarının güneşten en fazla verim almak için imar ada yönelimlerini değerlendirmektir.

## 2. Yeşil Binalar için İmar Planı Tasarımlarında Güneş Enerji Kazanımı

Yeşil bina tasarımlarında enerji verimliliği için dikkat edilmesi gereken etkenlerin başında iklim gelmektedir (Spagnolo ve Dear, 2003). Bu nedenle, binaların konumu ve yerleşimi de, bölgenin iklim şartlarına ve gereksinimlerine göre belirlenmelidir. Binaların ısıtmaya ihtiyaç olduğu zamanlar güneş ışınım kazanımının en fazla olduğu, ısıtmaya ihtiyaç olmadığı zamanlarda da güneş ışınım kazanımının en az olduğu yön ve eğime göre yerleştirilmelidir. Türkiye'nin bulunduğu iklim kuşağında, binaların doğu-batı ekseninde yerleşimi ile kazanım bir miktar daha arttırılmış olur. Yapı kabuğu ne kadar yüksek seviyede ısı yalıtımı yapılırsa, yapı içi hacimlerde

ısı kazancı o kadar artacaktır (Berköz vd., 1995).

Binaların bulunduğu bölgenin topografik karakteri ise eğim, yön, yansıtıcılık performansına bağlı olarak yerleşim konumunun belirlenmesine etken olmakta ve yerleşimin güneşlenme potansiyelini oluşturmaktadır (Şekil 1).



**Şekil 1.** Topografik karakterin güneşlenme potansiyeline etkisi.

Uygun eğim ve yönelim ile güneşlenme potansiyeli artırılarak, ısıtma ve iklimlendirme için harcanan enerji en aza indirgenir ve daha sürdürülebilir bir yapı çevre oluşturulmuş olacaktır (Evren, 2021).

Kentsel tasarımlarda; yüksek binalar yakınlarındaki binaları gölgelemektedir. Bu durum, serin alanların istenildiği durumlar için bir avantaj olmasına karşın, güneş erişimi istenilen alanlar

için bir sorun olabilir. İmar yönetmelikleri, bina yerleşimini düzenlemek için gün ışığı veya güneş erişimini gerekli kılar. Bunun için zamansal yönelim ve güneş açıları dikkate alınmalıdır.

Binalar; yükseklikleri, konumları ve aralarındaki mesafe nedeniyle, birbirlerine güneş ışınımı ve rüzgâra karşı bir engel görevi görebilirler. Güneş ışınının ısıtma etkisinin kullanımı veya korunması, aynı zamanda binalar arasındaki mesafe ve boyutlarıyla da ilgilidir. Bu nedenle, bina yönelimleri tasarlanırken rüzgârın faydalı etkilerini yok etmeyecek ve güneşten yararlanmak üzerine çalışılmalıdır (Gültekin ve Demircan, 2017).

Bina ve bina toplulukları tasarlanırken, binaların güneş ışığı ve rüzgâr yönünden olumsuz etkilenmemesi için aralarındaki mesafeler dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır. Bu sebeple, en küçük bina alanı, komşu binaların oluşturduğu en uzun gölge derinliğine eşit ya da daha büyük olmalıdır (Koca, 2006). Böylelikle, özellikle ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin en yüksek olduğu dönemlerde güneşten verimli bir şekilde faydalanmak mümkün olur (Yasan, 2011; Tunali, 2012). Günümüzde, güneş ışınımı ve rüzgâr açısından en uygun bina aralıkları simülasyon yazılımlarıyla belirlenmekte ve en ideal çözümler geliştirilmektedir.

Binanın yönü, iç mekanlarda doğal havalandırma sağlamak, ışığı düzenlemek ve gereksiz ısı kayıplarını önlemek için kritik bir tasarım unsuru

olarak değerlendirilebilir. Bu yüzden, binanın yer aldığı iklim bölgesinin gereksinimlerine göre binalar, hem güneşten ve rüzgârdan faydalanacak hem de gerektiğinde korunabilecek şekilde planlanmalıdır. Dış iklim faktörleri, özellikle güneş ışınımı ve rüzgâr, binanın yönüne göre farklılık gösterir. Güneşin ısıtıcı etkisi ve rüzgârın soğutucu etkisi, binanın yönü doğrultusunda değişir. Bir bina tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken kurallardan birisi kış aylarında güneş kazancını en üst düzeye çıkarmaktır. Yaz aylarındaki dik güneş ışınları ve kuzey yarımkürede kış güneşinin daha yatay açılarla gelmesi, güneye bakan cephelerin kışın daha fazla güneş ışığını almasını sağlarken, yazın bu cepheler saçak ya da güneşliklerle kolayca korunabilir. Bu yüzden enerji verimli binaların tasarımında güneye bakan cepheler büyük bir öneme sahiptir (Demircan ve Gültekin, 2017).

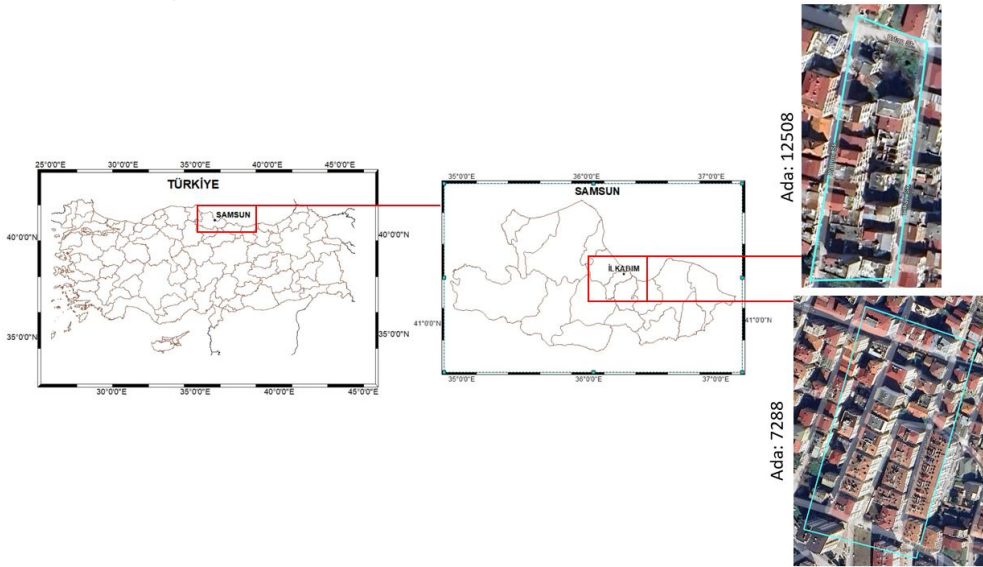
Bina formu, binanın geometrik özellikleri, şekil faktörü (binanın uzunluk-derinlik oranı), yükseklik, çatı tipi, çatı eğimi ve cephe eğimi gibi unsurlarla tanımlanır. Bir yapının dış çevreden ayrılmasını sağlayan farklılıklar aşağıda verilmektedir (Berköz vd., 1995):

- Binanın toplam yüzey alanı,
- Farklı yönlere bakan ve eğimleri farklı olan cephe yüzeyleri,
- Farklı yönlere bakan ve eğimleri değişen çatı yüzeyleri,
- Cephe ve çatı yüzeyleri arasındaki oranlar.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı Samsun İlkadım İlçesi'nde F36-b-17-d-3-c pafta numaralı 12508 ve 7288 numaralı yapı adalarıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı.



Bu alanda fotogrametrik nokta bulutu elde edilmiştir. Çalışmada, kentsel imar adasında ve binalarda; oluşan güneş enerjisinden en yüksek seviyede faydalanmak için fotogrametrik nokta bulutundan türetilmiş Sayısal Yüzey Modeli (YM) kullanılmıştır.

12508 yapı adası, bitişik nizam 4 kat ve 31 adet parselden oluşmaktadır. 7288 yapı adası ise, blok nizam 5 ve 6 kat olmak üzere 25 adet parselden oluşmaktadır. Çalışma alanının imar planı ve parsel durumu Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı imar planı ve parsel durumları; a) 12508 numaralı imar adası, b) 7288 numaralı imar adası.

## 2.2 Materyal

Bina duvarlarına gelen yıllık toplam enerji miktarının belirlenmesi için meteorolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle F36-b-17-d-3-c pafta numarasına ait meteorolojik veriler Avrupa Birliği destekli Copernicus İklim Değişikliği Servisi (C3S) tarafından sağlanan ERA5 Yeniden Analiz Veri tabanından temin edilmiştir. Bu çalışma 2023 yılı verilerin tüm yıl için mevcudiyetinden dolayı, 2023 yılının tamamı için saatlik kaydedilen bağıl nem (RH), hava sıcaklığı ( $T_{air}$ ), yüzeye ulaşan toplam güneş radyasyonu ( $k_{down}$ ), yüzeye gelen

net termal radyasyonu ( $I_{down}$ ), yüzeye yayılan güneş radyasyonu ( $k_{diff}$ ), yüzeye doğrudan gelen güneş radyasyonu ( $k_{dir}$ ) ve rüzgâr yönü ( $w_{dir}$ ) değerleri kullanılmıştır.

Bağıl nem değeri, "2 metre sıcaklık değeri"( $^{\circ}C$ ) ve "2 metre çiy noktası sıcaklık değeri"( $^{\circ}C$ ) değişkenleri kullanarak hesaplanmıştır. Rüzgâr yönü ( $w_{dir}$ ) hesaplamak için "10 metre yükseklikteki rüzgârın U-bileşeni (doğuya doğru olan bileşen)" ve "10 metre yükseklikteki rüzgârın V-bileşeni (kuzeye doğru olan bileşen)" değişkenlerini kullanarak hesaplanmıştır. Yüzeye yayılan güneş

radyasyonu ( $k_{diff}$ ), yüzeye ulaşan toplam güneş radyasyonu ( $k_{down}$ ) ile doğrudan radyasyon ( $k_{dir}$ ) arasındaki fark olarak

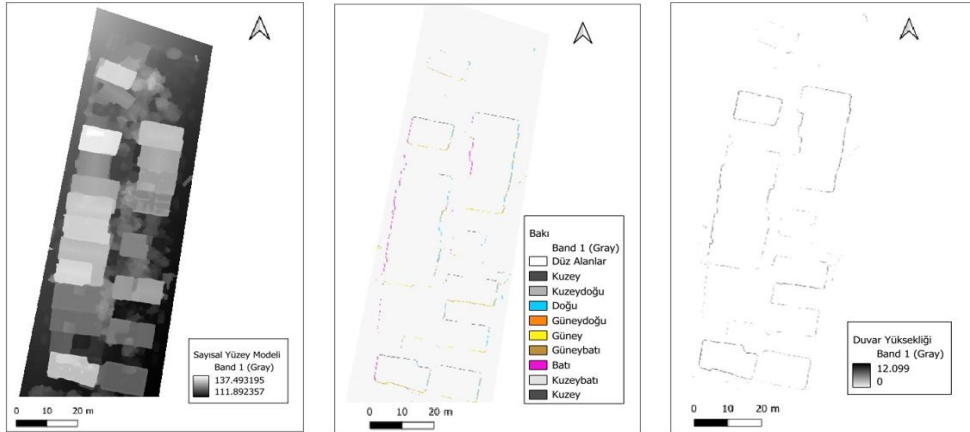
hesaplanmıştır. Elde edilen meteorolojik verilerin örnek bir zaman dilimindeki kısmı Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Meteorolojik verilerin bir kısmı.

Yıl (iy)	Gün (ia)	Saat (it)	Bağıl Nem (RH)	Sıcak lık ( $T_{air}$ )	Yüzeğe Ulaşan Toplam Güneş Radyas yonu ( $k_{down}$ )	Yüzeğe Gelen Net Termal Radyas yonu ( $I_{down}$ )	Yüzeğe Yayılan Güneş Radyasyonu ( $k_{diff}$ )	Yüzeğe Doğrudan Gelen Güneş Radyasyonu ( $k_{dir}$ )	Rüzgar Yönü ( $w_{dir}$ )
2023	1	6	87	5	35.89	904563	35.89	21.95	223
		7	81	7	149.74	907029	149.74	114.95	220
		8	76	9	263.25	915715	263.25	222.97	219
		9	62	11	343.18	926779	343.18	301.55	219

Çalışma alanı olarak seçilen adada bulunan bina duvarlarına gelen yıllık toplam enerji miktarındaki değişimlerin belirlenebilmesi için fotogrametrik nokta bulutundan türetilmiş YM’leri bina duvarlarına gelen yıllık toplam enerji miktarındaki değişimlerin

belirlenebilmesi için farklı açılarda döndürülmüştür. Açıların belirlenmesinde adaların uzun kenarlarının doğuya bakması esas alınmış, en uygun ada açısı tespit edilmiştir. Elde edilen YM’leri Şekil 4’te sunulmuştur.



**Şekil 4.** Çalışma alanı sayısal yüzey modeli, duvar bakı ve duvar yükseklikleri.

### 2.3 Metot

Güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için birçok algoritma vardır. SEBE,

dünyada yaygın olarak kullanılan 2 boyutlu güneş radyasyonu modelidir. SEBE 2,5 boyutlu bir modeldir ve güneş radyasyonunu hesaplamak için YM

kullanır. Kentsel alanlarda güneş radyasyonunun tahmini, model alanındaki zemin topografyasının yanı sıra bina ve bitki örtüsünden doğru gölge desenleri üretmekle ilgili olduğu için hayati bir konudur. Gölgelerin tespiti için güneşin yüksekliği ve azimutu kullanılır. SEBE modelinde ilk olarak, duvar pikselleri üretmek için YM üzerinde bir kenar algılama filtresi kullanılır. Her duvar pikseli daha sonra duvar yüksekliğine bağlı olarak 1 m'lik segmentlere ayrılır (Lindberg vd., 2015). Ardından, gölgeleri hesaplamak için duvarların yükseklik, eğim ve bakı katmanları oluşturulur.

### 2.3.1 Duvar Yüksekliği

Duvar yüksekliği, Lindberg ve diğerleri (2015a) tarafından sunulan bir filtre kullanılarak YM'den duvar piksellerini ve yüksekliklerini tanımlamak için kullanılır. Bu model, dört kardinal noktanın incelendiği 3 x 3 piksel çekirdek minimum filtresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Binaların üzerindeki pikseller belirlenir ve bina kenarları

olduklarını belirtmek için değerler atanır (UMEP, 2019).

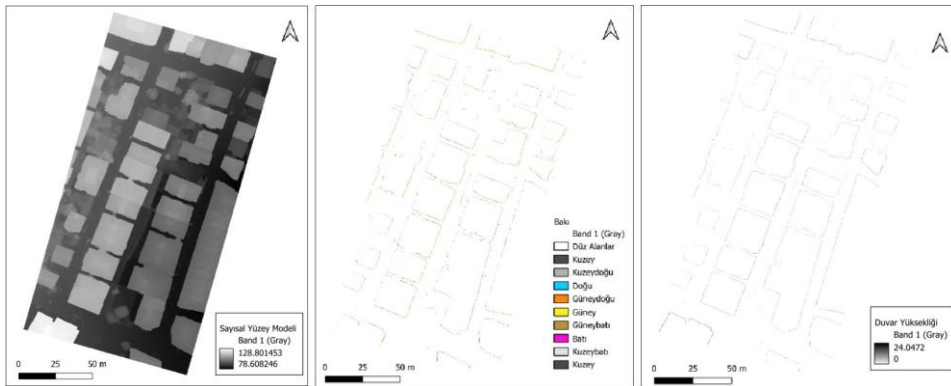
### 2.3.2 Bakı

Bakı değeri, duvar-yüzey yönüdür ve değerler o konumdaki yüzey yüzlerinin pusula yönünü gösterir (Yalçın, 2019). YM'den türetilmiştir ve kuzey, güney, doğu, batı, kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güneybatı olarak ayrılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Bakı değerleri.

Bakı Değeri °	Yön
0.0° - 22.5°	Kuzey
22.5° - 67.5°	Kuzeydoğu
67.5° - 112.5°	Doğu
112.5° - 157.5°	Güneydoğu
157.5° - 202.5°	Güney
202.5° - 247.5°	Güneybatı
247.5° - 292.5°	Batı
292.5° - 337.5°	Kuzeybatı
337.5° - 360.0°	Kuzey

YM ve YM'den elde edilen bina duvar yükseklikleri ve bakı değerleri Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. Kontrol alanı sayısal yüzey modeli, duvar bakı ve duvar yükseklikleri.

### 2.3.3 SEBE ile güneş enerjisi potansiyelinin hesaplanması

SEBE doğrudan radyasyon ve Güneş'e dik (I), dağınık (D) ve küresel (G) değerleri kullanır. Bu değerler yaygın olarak doğrudan bulunamadığından, gözlem istasyonlarından elde edilen saatlik meteorolojik veriler kullanılarak hesaplanır. I, Denklem 1 kullanılarak tahmin edilir (Lindberg vd., 2015): burada  $\eta$  Güneş'in ufuk üzerindeki yükseklik açısıdır. DSM üzerindeki bir çatı pikselinin (R) toplam radyasyonu denklem 4'teki gibi hesaplanır (Lindberg vd., 2015): burada p yarımküredeki yama sayısıdır. I doğrudan gelen radyasyon, D dağınık radyasyon ve G küresel radyasyon,  $\alpha$  yüzey albedosu ve  $\omega$  Güneş'in geliş açısıdır.

$$\text{Eğim}(\text{°}) = \tan \theta = \frac{\text{düşey mesafe}}{\text{yatay mesafe}} \quad (1)$$

$$\text{Eğim}(\%) = \frac{\text{düşey mesafe}}{\text{yatay mesafe}} \times 100 \quad (2)$$

$$I = \frac{G-D}{\sin \eta} \quad (3)$$

$$R = \sum_{i=1}^p [I\omega S + DS + G(1 - S)\alpha]_i \quad (4)$$

Denklem 4 ve 5'te S, her piksel için hesaplanan gölgedir (Lindberg vd., 2015). Burada Sb ve Sv sırasıyla bir Boolean değeri (var = 0 veya yok = 1) ile temsil edilen binalardan ve bitki örtüsünden gelen gölgelerdir.

$$S = S_b - (1 - S_v)(1 - \tau) \quad (5)$$

$$Y_{\text{yansırma}} = (G \cdot \alpha)/2 \quad (6)$$

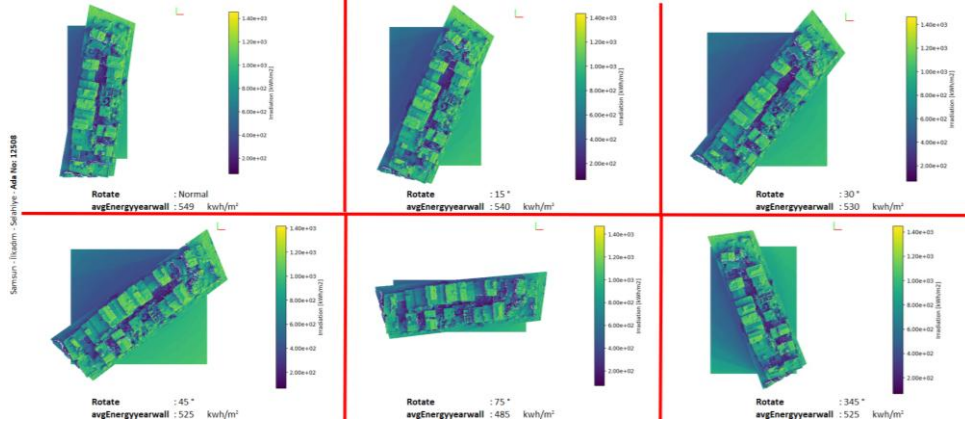
$$A_A = \frac{A_P}{\cos(S_i)} \quad (7)$$

Yansırma terimi, yarım kürenin yalnızca yarısı için, yani bir duvar pikseli için görünür kısım için dikkate alınır (Lindberg vd., 2015).

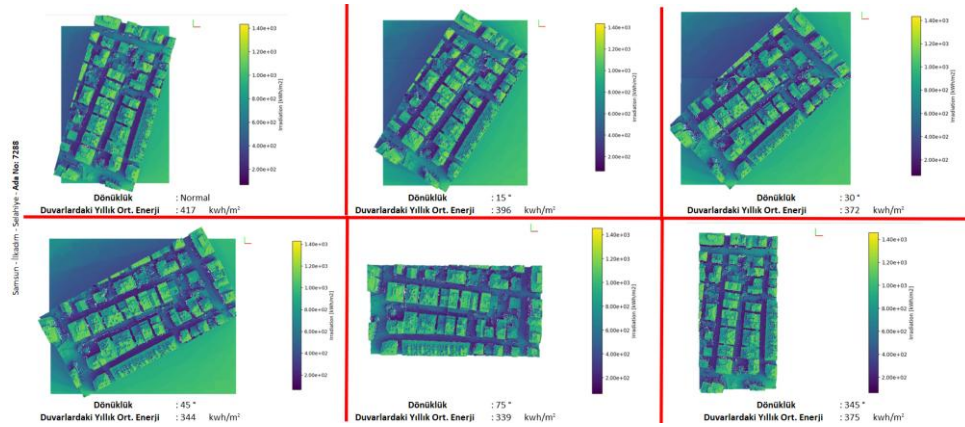
Belirli alanlardaki güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için gerçek alan dikkate alınır ve her bir pikselin alanı ( $A_P$ ) belirlenir. Gerçek alan ( $A_A$ ), raster pikselin eğimi ( $S_i$ ) olmak üzere şu şekilde hesaplanabilir (UMEP, 2019).

### 3. Bulgular

Bu çalışmada, YM'den türetilen veriler ve meteorolojik veriler kullanılarak bina duvarlarına gelen yıllık toplam enerji miktarını hesaplamak için SEBE modeli kullanılmıştır. Duvarlarda biriken enerji miktarları, adaların mevcut durumları ve farklı yönelimleriyle birlikte Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu şekillerde, enerji aralıklarına göre renk skalaları verilmiştir. Her iki adada da metrekareye düşen enerji miktarı olarak, 200 ile 1400 kWh/m<sup>2</sup> arasında değer elde edilmiştir.



Şekil 6. Çalışma alanı döndürülmüş ada duvarlarındaki yıllık toplam enerji miktarları.



Şekil 7. Kontrol alanı döndürülmüş ada duvarlarındaki yıllık toplam enerji miktarları.

Bina duvarlarına gelen yıllık toplam enerji miktarlarının farklı yönelimlerine göre değişimlerinin belirlenebilmesi için adaların uzun kenarlarının doğuya bakması esas alınıp adalar saat yönünde 15, 30, 45, 75, 330, 345 derece döndürülmüştür.

Elde edilen yıllık toplam enerji miktarları yönelim açılarına göre Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yıllık toplam enerji miktarları.

Dönüklük (°)	Yıllık Toplam Enerji Miktarı (kWh/m <sup>2</sup> )	
	Ada 12508	Ada 7288
Mevcut Konum	549	417
15	540	396
30	530	372
45	525	344
75	485	339
330	553	375

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yeşil binaların güneş ışınımından elde edeceği enerji miktarlarına bina tasarımının etkilerinin yanısıra, binaların oluşturduğu imar adalarının yönelimlerinin de etkili olduğu incelenmiştir. Samsun İlkadım ilçesi, 12508 ve 7288 adaları incelemeye tabi tutulmuştur. Gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edebilmek için bölgenin yıllık meteoroloji verileri hesaplara katılmıştır. Hali hazırda mevcut imar adalarında bulunan binaların görmüş oldukları yıllık toplam güneş enerjisi miktarları farklı açılarda olması durumlarında da hesaplanmıştır. Tablo 3'te verilen bu enerji değerlerinde; Ada 12508 için saat yönünde 330°'de en fazla değerini, Ada 7288 içinse mevcut durumunda en fazla değerini görmüştür.

Çalışmamızda uygulanan yöntem, yeni imar planı yapılacak bölgelerin yönelimlerinde kullanılabilmesi gibi yeniden kentleşme yapılacak bölgelerde de bina yönelimleri için kullanılabilir. Bu şekilde güneşten en fazla verim alınabilecek bir çevre sağlanacak, yenilenebilir enerji sistemleri için de önceden hazırlanmış bir ortam sağlanmış olacaktır. Bu bulgular, özellikle enerji verimliliği çalışmalarıyla ilgili literatürdeki diğer araştırmalarla karşılaştırıldığında, imar planlamalarının sürdürülebilir enerji kullanımına olan etkisini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Benzer çalışmalar incelendiğinde, Demircan ve Gültekin (2017) tarafından yapılan araştırmada binaların pasif ve aktif güneş sistemleriyle nasıl daha verimli hale getirilebileceği vurgulanmıştır. Onların çalışmasında bina konumu ve formunun güneş enerjisi verimliliğini artırmada önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada da benzer şekilde, binaların yerleşim yönleriyle güneşten alınan enerjinin optimize edilebileceği gösterilmiştir. Ancak bu çalışmada, yalnızca bina düzeyinde değil, imar adası düzeyinde yapılan analizler farklı yönelimlerin toplam enerji kazanımını nasıl etkileyebileceğini daha geniş bir perspektiften ele almıştır.

Evren (2021) İstanbul'daki yapı adalarında güneş enerjisi kazanımını değerlendirdiği çalışmada, binaların yönelimlerinin güneş ışığına erişim açısından ne kadar önemli olduğu belirtilmiştir. Evren'in çalışması, bu çalışmadaki gibi yapı adalarının yönelimiyle güneş enerjisi kazanımı arasındaki ilişkiye odaklanmış, ancak daha çok gölgelenme ve binaların ışık erişimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışma ise, güneş enerjisinden maksimum faydalanma üzerine odaklanarak, sadece ışık erişimi değil, enerji üretimi açısından da değerlendirme yapmıştır. Bu anlamda, bulgular her iki çalışmanın da benzer sonuçlara ulaştığını göstermekte, ancak bu çalışmanın özellikle SEBE algoritması kullanılarak yapılan enerji hesaplamalarıyla daha teknik bir yaklaşım sunduğu söylenebilir.

İnce ve Erdem (2020) tarafından Trakya Bölgesi'nde yapılan çalışmada, imar adalarının gölgelenme etkileri ve güneş açılarına göre binaların yönelimlerinin nasıl şekillendirilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. Bu çalışma, benzer şekilde, imar adalarının yönelimlerinin güneşten maksimum verimi almak adına nasıl optimize edilebileceğini göstermektedir. Ancak İnce ve Erdem'in çalışması daha çok gölge analizlerine odaklanırken, bu çalışma binaların güneş ışınımından doğrudan elde ettiği enerji miktarına odaklanmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, enerji verimliliği açısından yönelimlerin nasıl optimize edilebileceğini daha somut bir şekilde ortaya koymaktadır.

Yalçın vd. (2019) tarafından İzmir Bergama'da yapılan çalışmada ise, SEBE algoritması kullanılarak binaların çatı yüzeylerinde biriken güneş enerjisi hesaplanmıştır. Bu çalışma da SEBE algoritmasının kullanımını içermekte olup, çatı düzeyindeki enerji birikimlerine odaklanmıştır. Ancak bu çalışmanın yenilikçi yönü, imar adası düzeyinde ve binaların yönelimlerine göre enerji verimliliğinin nasıl değiştiğini göstermesidir. Bu çalışmadan farklı olarak, bu araştırma bina duvarlarındaki enerji birikimine de odaklanmış ve yapı adalarının yönelimlerinin optimize edilmesiyle daha fazla enerji kazanımı sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, bu çalışma diğer literatürdeki çalışmalarla uyumlu olup, imar planlarında yapı adalarının güneş enerjisi verimliliğini artırmaya yönelik yönelimlerinin nasıl optimize

edilebileceğini daha geniş bir ölçekte ele almaktadır. Bu bakımdan diğer çalışmalardan farklı ve bir imar adasının planlanırken yöneliminin hangi açıda olabileceği konusunda deterministik olarak fikir vermektedir. Bu bulgular, özellikle yeni imar planları yapılırken veya mevcut yapıların yeniden düzenlenmesi süreçlerinde güneş enerjisinden en yüksek verimin alınabilmesi için dikkate alınabilir. Güneş enerjisi verimliliği açısından daha verimli bir kentsel yapılaşma stratejisi hem enerji tasarrufunu hem de sürdürülebilir çevre hedeflerini destekleyecektir.

#### **Etik Standartlar Bildirgesi**

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### **Yazarlık Katkı Beyanı**

Yazar 1: Fikir Sahibi, Deney tasarımı, Proje Yöneticisi, Kaynaklar, Metodoloji, Yazma – orijinal taslak Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Biçimsel analiz, Doğrulama, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak,

Yazar 3: Deney, Araştırma, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### **Verilerin Kullanılabilirliği**

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### **5. Kaynaklar**

Berköz, E., Küçükdoğu, M., Yılmaz, Z., Kocaaslan, G., & Ak, F. (1995). Enerji

- etkin konut ve yerleşme tasarımı. *Tübitak Proje No: İntag, 201*, İstanbul, Turkey
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., ... & Hauser, M. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. (No Title). <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647>
- Crippa, M., Guizzardi, D., Banja, M., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E., ... & Vignati, E. (2022). CO2 emissions of all world countries. *JRC Science for Policy Report, European Commission, EUR, 31182*.
- Demircan, R. K., & Gültekin, A. B. (2017). Binalarda pasif ve aktif güneş sistemlerinin incelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi, 10(1)*, 36-51.
- Dirik, M. (2023). The Importance of Clean Energy and Technology in the Development of Smart Cities. *Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence, 4(2)*, 72-79. <https://doi.org/10.55195/jscai.1404604>
- Esfandi, S., Tayebi, S., Byrne, J., Tamini, J., Giyahchi, G., & Alavi, S. A. (2024). Smart cities and urban energy planning: an advanced review of promises and challenges. *Smart Cities, 7(1)*, 414-444. <https://doi.org/10.3390/smartcities7010016>
- Evren, M. B. (2022). Doğrultulu Güneşli Bağlamında Yapı Adasında Morfolojik Değerlendirme: Şirinevler Mahallesi. *Türkiye Kentsel Morfoloji Ağı, 649-665*.
- Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial intelligence evolution in smart buildings for energy efficiency. *Applied Sciences, 11(2)*, 763. <https://doi.org/10.3390/app11020763>
- İnce, H., & Erdem, N. (2020). Bir imar adasındaki binaların oluşturduğu gölgelerin konum bakımından incelenmesi: Trakya Bölgesi örneği. *Geomatik, 5(1)*, 58-71. <https://doi.org/10.29128/geomatik.569278>
- Koca, Ö. (2006). *Sıcak kuru ve sıcak nemli iklim bölgelerinde enerji etkin yerleşme ve bina tasarım ilkelerinin belirlenmesine yönelik yaklaşım* Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Lindberg, F., Jonsson, P., Honjo, T., & Wästberg, D. (2015). Solar energy on building envelopes–3D modelling in a 2D environment. *Solar Energy, 115*, 369-378. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.001>
- Sırmaz, S., (2015), Enerji verimliliği Temasının Türkiye Şehir Planlama Sistemine Entegrasyonu: Lapseki Kenti için Bir Yaklaşım, *Planlama, 15(2)*, 195-204, <https://dx.doi.org/10.5505/planlama.2015.08370>
- Spagnolo, J., & De Dear, R. (2003). A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and environment, 38(5)*, 721-738. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00209-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00209-3)
- Tıkansak, T. E. (2014). Konutlarda Enerji Etkinliği. *Iconarp International Journal of Architecture and Planning, 1(2)*, 189-200.
- Tunalı, S. (2012). *Enerji simülasyon metodlarının bina tasarım sürecinde destek sistemi olarak kullanılması*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- UMEP (2019). Solar Energy - Introduction to SEBE <https://umep-docs.readthedocs.io/projects/tutorial/en/latest/Tutorials/SEBE.html> Access Date: 03.03.2024.
- Yalcin, M., & Gul, F. K. (2017). A GIS-based multi criteria decision analysis approach for exploring geothermal resources: Akarcay basin (Afyonkarahisar). *Geothermics, 67*, 18-28.



- <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.01.002>
- Yalcin, M., Dereli, M. A., Ugur, M. A., Polat, N., Narin, Ö. G., & Capadis, A. (2019). Modeling of solar energy potential with geographical information system and remote sensing integration: A case study for Bergama, Turkey. In *International Symposium on Applied Geoinformatics (ISAG-2019)* (pp. 136-164).
- Yalcin, M., Sari, F., & Yildiz, A. (2023). Exploration of potential geothermal fields using MAXENT and AHP: A case study of the Büyük Menderes Graben. *Geothermics*, 114, 102792.
- Yasan, A. S. (2011). *Bina tasarım parametrelerinin enerji harcamalarına etkilerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.



## Araştırma Makalesi

# Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Başlık Levhalı Kutu Kesitlerin İncelenmesi

\*<sup>1</sup>İlyas Devran ÇELİK, <sup>2</sup>Mustafa Bedirhan AY, <sup>3</sup>Gülsüm Beyza YAVUZ, <sup>4</sup>Kılıç Yasin ARSLAN

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye, [devrancelik@sdu.edu.tr](mailto:devrancelik@sdu.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9011-4041>

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye, [mustafabedirhanay@gmail.com](mailto:mustafabedirhanay@gmail.com), ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-7478-3322>

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye, [beyzayavuz1@gmail.com](mailto:beyzayavuz1@gmail.com), ORCID ID <http://orcid.org/0009-0002-3828-905X>

<sup>4</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye, [kyarlan92@gmail.com](mailto:kyarlan92@gmail.com), ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-4433-9204>

Geliş : 10.06.2024;

Kabul: 16.12.2024

## Öz

Yapı sistemi üzerinde birleşim tasarımından genel yapı tasarımına dek, süneklik özelliklerinin sağlanması gerekir. Ülkemizde yaygın olarak tercih edilen kutu kesitli profillerin iç kuvvetler tesiri altında oluşan ani kapasitelerin kayıplarına ve gevrek kırılmalarına yol açarak telafi edilemez hasarlara neden olabilir. Bu nedenle yapı elemanlarının tasarımlarında gerçekleşebilecek burkulma durumunun dikkate alınarak tasarımları yapılmalıdır. Yapılan bu çalışmada, kutu profillerin lokal burkulmalarının önlenmesi amacıyla başlık levhalarıyla güçlendirilmiştir. Bu güçlendirmenin eksenel kuvvet etkisi altındaki kutu kesitli profillerde kaynaklı birleşim lokal burkulmaları ve taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analizler, tersinir statik artımsal yükler etkisinde sayısal olarak yapılmıştır. Kaynak dikişinde meydana gelmesi olası yırtılmalar önleğinde başlık levhasıyla güçlendirme tekniğinin etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Kutu Kesitli Kiriş-Kolonlar, Alın Levhalı Birleşim, Kaynaklı Moment Aktaran Birleşim, Moment Aktaran Çerçeve Sistemler

\*<sup>1</sup>Sorumlu yazar

Bu makaleye atıf yapmak için

Çelik, İ.D., Ay, M.B., Yavuz, G.B. & Arslan, K.Y. (2024). Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Başlık Levhalı Kutu Kesitlerin İncelenmesi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 6(2), 159-177. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1497584>

## Investigation of Box Sections with Heading Plates Under the Effect of Flexural and Axial Force

### Abstract

---

Ductility needs to be ensured in the building system, from connection design to overall structure design. For the RHS profiles that are commonly used in general, the sudden loss of capacity and brittle fractures that occur under the influence of internal forces may cause irreversible damage. For this reason, the design of structural elements should be made with the consideration of the possible buckling conditions. In this study, RHS profiles are strengthened with endplates in order to prevent local buckling. The effects of this reinforcement on local buckling and carrying capacity of welded joints in RHS profiles under the influence of axial force are examined. Analyzes are made numerically under the influence of cyclic static incremental loads. It has been observed that the strengthening technique with the endplate gives effective results when possible fractures in the weld seam are prevented.

*Keywords:* RHS Beams-Columns, End Plate Connections, Welded Moment Resisting Connections, Moment Resisting Frame Systems

## 1. Giriş

Çelik yapı malzemesi sönüm kabiliyeti, yüksek sünekliği açısından depreme dayanıklı yapı tasarımındaki önemli yapısal malzemedendir (Jian & Guang, 2022). Fakat çelik malzemenin mekaniğindeki özelliklerin avantajlarını tam anlamıyla kullanabilmek için sistemde birleşim tasarım aşamasından başlayarak, bütün çelik yapısına sahip malzemenin, tasarımındaki özelliklerin, sünekliğe uygun tasarım yapılmalıdır. Kesit özelliği ve bütün sistem olarak davranışın yapısal bütünlüğe etkisi detaylı bir şekilde dikkate alınmalıdır (Zhao et al., 2024). Çelik yapısal sistemin sismik etkiler altındaki davranışı malzeme özelliğine, kesit geometrisine ve birleşim detayına bağlıdır (Mahim et al., 2002). Yapı birleşim detayları açısından, perçinli, kaynaklı ve bulonlu bağlantı vb. birleşim türleri, birleşim şekil ve detayları yapımı ve malzemedeki kalite çelik yapıların sünekliğini çok fazla etkileyen temel etkenlerdendir. Çelik bir yapının tasarımındaki temel kavramlar dayanımı, rijitliği ve sünekliğidir. Süneklik özelliği, yapıdaki oluşabilecek plastik deformasyon durumlarında tüketilen döngüsel enerjiyi tanımlar (Diciceli & Mehta, 2007; Gioncu & Mazzolani, 2002). Kiriş-kolon birleşim detaylarında gevrek kırılma durumunun olmaması olasılığı yerine, buradaki bağlantı noktasının sistemin sünekliğine uygun bir davranış sergilemesi beklenir. Tam aksi bir durumda ise, çelik yapılardaki eleman birleşim bölgesinden gevrek kırılmakta ve bu durum çelik yapıda bölgesel ya da bütün yapı elemanı kullanılmaz duruma

gelmesi beklenmekte veya göçmesi beklenmektedir (Gioncu, 2000). Gevrek kırılma durumları beraberindeki bir sürü yapısal sorunu meydana getirdiğinden dolayı, bu durumun engellenmesi can güvenliği, yapısal sistemin fonksiyonun devamını sürdürme durumu büyük önem taşımaktadır (Chopra & Goel, 1999). Deprem enerjisinin yapıya etkimesi durumu esnasında malzeme özellikleri süneklik düzeyi yüksek çelik yapısının bu türdeki özelliğın sistemdeki davranışa yansıtılması ve uygun çelik birleşim detayının belirlenmesi amacı güdülerek bu alanda birçok deney ve sayısal analiz çalışmaları yapılmıştır.

Çelik yapısına sahip elemanlarının sünekliğini etkileyen temel faktörlerin başında, yerel burkulma tipi, elemanın kesitsel özellikleri, malzeme özellikleri, geometrisindeki kusurlar çoklu burulma modu etkileşimi, moment diyagramı değişimi, düğüm noktalarının etkisi gibi faktörler etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı, çelik yapı elemanlarının sahip oldukları özelliklerle, yapılarındaki geometri ve ağırlık yüklerinin deprem etkisi altındaki yapının davranış olasılıklarını etkileyen faktörler olarak karşı karşıya kalmaktayız (Mashiri & Zhao, 2004). Çelik yapı sisteminin deprem enerjisinden etkilendiği anda şayet yapının sönümleme enerjisi, depremin yapıya kazandırmış olduğu enerjisinden büyük durumda ise, bu enerji sönümleme enerjisi ile denge durumuna gelir (Mashiri & Zhao, 2010). Sönüm enerjisi, depremin etki enerjisinden küçükse, sönümleme enerjisi ile deprem etki enerjinin aralarındaki fark, döngüsel enerjisi ile

denge haline gelir. Buradaki ele aldığımız fark yapının süneklik özelliğinin doğru tanımlanmasıyla mümkündür. Bu nedenle, süneklik, plastik deformasyon özellikleri vasıtasıyla tüketilen enerji miktarını tanımlayan bir özellik olarak kabul edilir. Bu özellik, bir yapının deprem etkilerine karşı direncini değerlendirmek amacıyla rijitlik ve dayanım kavramlarıyla birlikte kullanılarak performansını belirlemede önemli bir rol oynar (Zhao, 2000).

Çelik sistemindeki elemanların gevrek tarzda kırılması, yerel burkulma durumu ve eğilmeli-burulma nedenlerinden dolayı yüksek ölçüdeki plastik dönme sonuçlarına ulaşmak mümkün değildir. Bu sebepten yapı tasarımındaki kesit özellikleri, plastik dönmelerdeki kabiliyetlerine göre sınıflandırılırlar (Chao & Goel, 2006). Berman & Bruneau (2007), yaptıkları deneysel çalışmada, çevrimsel yüklemeye yapıldığında çelik yapısına sahip moment çerçevenin mafsallaşması ve hasar tespiti hakkında bilgi alabilmek amacıyla araştırma yapılmıştır. 3 katlı tam ölçek özelliğine sahip çelik moment çerçeve sisteminde deneysel araştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen veri sonuçlarında kiriş elemanları, kolon ve panel bölgelerinin tabanlarında dengeli bir şekilde deformasyon oluştuğu gözlemlenmiştir.

Nakashima et al. (2004), çatı elemanındaki deplasman kontrolleri statiksel pushover analiz sonuçlarına bakıldığında, detaylı modellemelerin sonucunda artan kapasite durumundan

faydalanması, 9 ve 20 katlı binaların deneyleri yapıp, sonuçları değerlendirilmiştir. Deneysel modellere farklı yer hareketleri uygulanarak analiz yapılmış, kapasite durumunda artış gözlemlenmiştir. Başından sonuna kadar, panel bölgesinde ve döşemede kompozit etkisinin oluşmaması bir eşdeğer düşey açıklığın, kirişte ve kolonlarda aradaki açık uzunluğun ölçüsünü içeren modelin en uygun modelin olacağı tespit edilmiştir (Foutch & Yun, 2001). Deprem kuvveti etkisi altında moment aktarabilen çelik çerçeve yapıların, eski teknolojilerdeki moment aktarmadığı kabulü yapılarak birleşim tasarımı yapılan binalardan daha iyi performans sağladıkları sonucuna varılmıştır (Yun et al., 2002).

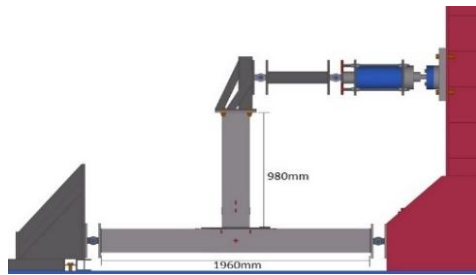
Çalışmadaki kutu kesitleri ele aldığımızda, değişik gövde ve başlığa sahip sistemin, akma dayanım sınır durumu ve kalınlık parametrelerine sahip kutu kesitli profillerin plastik kesme durumu ve momentlerin dayanım verileri bulunmuştur. Çalışmadaki denklemlerin, başlıkta ve gövdede burkulmalarını engel olabilmek için minimumda gövdedeki rijitleştirme mesafeleri ve maksimum başlık kalınlığındaki davranışı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu araştırma, sayısal analizlerle gerçekleştirilmiştir ve incelenen modeller, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Çelik Yapılar Laboratuvarı'nda (Fincanoğlu, 2015) yapılan "Eğilme Etkisi Altında C

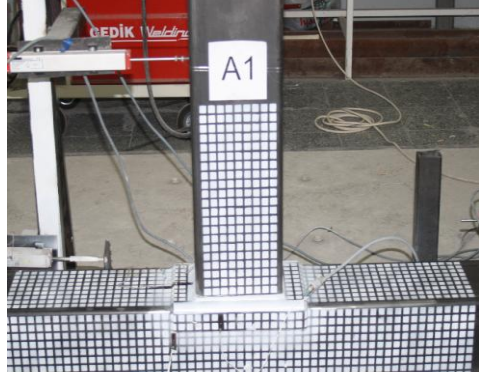
Tipi Başlık Levhali Kutu Kesitli Birleşimlerin Dönme Kapasitesinin İncelenmesi" adlı doktora tezindeki deneysel verileri temel alınarak geliştirilmiştir. Kutu kesitli profillerin T tipi kaynaklı birleşimlerinin incelendiği bu çalışmada, sistem statik artımsal olarak etkitilen yük ile detaylı bir analize tabi tutulmuştur. Başlık levhasıyla güçlendirilen birleşimin lokal burkulma etkileri de araştırmada ele alınmıştır. Doktora tezindeki statik artımsal yük uygulamasına ek olarak, kiriş üzerine artımsal eksenel yük etkitilmiştir.

Kolonun kesiti,  $200 \times 200 \times 5$  mm ölçülerinde kare kesitli kutu profillerdir, kirişin kesiti  $150 \times 200 \times 4$  mm boyutlarında dikdörtgen kesitli kutu profillerdir. Tasarımı yapılan birleşimin elemanlarında, kirişin düşey doğrultudaki uzunluğu 980 mm ve kolonun yatay doğrultudaki uzunluğu 1960 mm olmak üzere belirlenen boyutlar hep aynı ölçülerde kullanılmıştır. Şekil 1'de deneydeki numunenin boyutları gösterilmiştir.



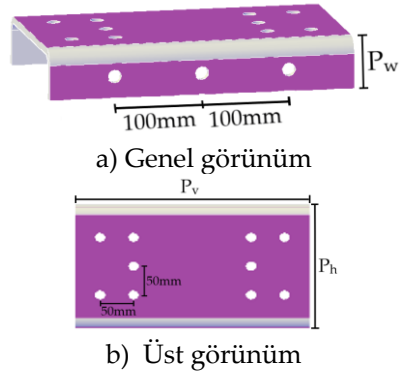
Şekil 1. Deney numunesi boyutları.

Şekil 2'de deneysel çalışmada kullanılan numune örneği verilmiştir.



Şekil 2. Deney numunesi örneği.

Bu çalışmadaki, söz konusu birleşim tipinde oluşabilecek lokal burkulma etkilerini en aza indirmek amacıyla geliştirilen başlık levhasının yerleşim görünümü Şekil 3'te detaylı bir şekilde sunulmaktadır.



Şekil 3. Alın levhali kiriş kolon birleşim detayları. Birleşime ait perspektif ve kesit görüntüleri.

Bu deney çalışmasında, adlandırma yaparken temel alınan parametreler başlık levhalarının boyutları ve dikkate alınan eksenel kuvvet büyüklüğü ölçütüne göre yapılmıştır.  $P_v$  terimi, levhanın boyuna uzunluğunu temsil etmektedir. Uzunluğun kolonun üst başlığında etkinin alanını büyütebilmek

amacıyla boyutta değişimler yapılmıştır.  $P_h$  terimi, levha elemanının yataydaki uzunluğunu ifade etmektedir. Kolon bir yüzünü tamamen sardığı için bu değer sabit olarak belirlenmiştir.  $P_w$  terimi birleşimde kolon yapı elemanı gövdesi boyunca uzanan uzunluğu temsil etmektedir. Gövdede olası burkulma etkilerinin  $P_w$  uzunluğunun ilişkisini değerlendirmek için üç farklı boyda boyutlandırma yapılmıştır. Kolonun üst kısmıyla başlık levhasının birleşimi açılmış olan deliklere kaynaklı olarak

yapılmıştır. Levhaya açılmış olan kaynak deliklerin boyutu 10mm çapına sahiptir. Kaynak deliklerini yerleştirme bölgesi levhanın üst kısmında 50mm, kenar kısmında 100mm aralıklar kullanılarak yerleştirilmiştir. Tasarlanan sayısal modellerin geometrik özellikleri dışında, tüm modellerin değişik eksenel yükleme etkisi altında analizi yapılmıştır. Analizde kullanılan boyutsal parametreler ve yükler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Modellerde kullanılan boyutsal parametreler ve eksenel yükler.

Sayısal No	Model No	Kolon (mm)	Kiriş (mm)	$P_w$ (mm)	$P_v$ (mm)	Eksenel Yük (kN)
1	M8/1					8kN
2	M12/1	200x200x5	150x200x4	50	300	12kN
3	M16/1					16kN
4	M8/2					8kN
5	M12/2	200x200x5	150x200x4	75	300	12kN
6	M16/2					16kN
7	M8/3					8kN
8	M12/3	200x200x5	150x200x4	100	300	12kN
9	M16/3					16kN
10	M8/4					8kN
11	M12/4	200x200x5	150x200x4	50	400	12kN
12	M16/4					16kN
13	M8/5					8kN
14	M12/5	200x200x5	150x200x4	75	400	12kN
15	M16/5					16kN
16	M8/6					8kN
17	M12/6	200x200x5	150x200x4	100	400	12kN
18	M16/6					16kN

Yapılan sayısal analizler, ANSYS WorkBench sonlu elemanlar programıyla yapılmıştır. Kolonlara, başlık levhaları kaynak yöntemi

kullanılarak rijit bir birleşim sağlanmıştır. Birleşimlerde, kullanılan kaynak dikişi kalınlığının hesaplanmasında, alışılmışın dışında bir



yaklaşım benimsenmiştir. Kaynak dikişi kalınlığı, birleşimdeki minimum levha kalınlığı değil birleşimdeki minimum kesit alanındaki eleman dikkate alınarak seçilmiştir.

Bu sebepten dolayı birleşimde kullanılan kaynak dikişi kalınlığı maksimum 7mm olarak belirlenmiştir. Birleşimi oluşturan elemanların et kalınlıkları göz önünde bulundurularak kaynak dikişi kalınlığı 6mm olarak seçilmiştir.

Kaynak dikişlerinin mekanik özellikleri; Akma gerilmesi 450N/mm<sup>2</sup>, Kopma gerilmesi 59kg/mm<sup>2</sup>, uzaması %28 ve elastisite modülü 21000kg/mm<sup>2</sup>'dir. Sayısal analizlerde kaynak dikişleri için bu değerler kullanılmıştır.

Modelin rijit bir davranış sergilemesi amacıyla, kolon ve kolon başlık levhası arasındaki iki yüzeyin bağlantısı "bonded" komutu kullanılarak sağlanmıştır.

Sayısal modellerdeki doğrusal olmayan burkulma analizleri için algoritma ilk olarak doğrusal burkulma analizi yapılarak burkulma modu bulunmuştur. Sonrasında Şekil değiştirmiş durumdan doğrusal olmayan malzeme dikkate alınıp doğrusal olmayan sayısal analizi de yapılmıştır.

Düğüm noktası eğilme etkisiyle karşılaştığında, sistemin yapı elemanları olan kolonlar, kirişler ve çaprazlarda lokal yer değiştirmeler oluşmaktadır. Sistemin yapı elemanlarındaki yer değiştirmeler, birleşim bölgesinin

çalışma prensibini yani rijit veya yarı rijit bir davranış sergilemesinde etkili olmaktadır. Literatür çalışmalarında özellikle kolonlardaki yerel burkulma etkilerinin, birleşim bölgesindeki davranışını etkilediğinin önemli olduğunun üzerinde durulmuştur. Bu konuya, Committee for International Development and Education on Construction of Tubular Structures (CIDECT) ve Eurocode-3 bölüm 8'de detaylı bir şekilde yer verilmiştir. CIDECT ve Eurocode-3 yönetmeliklerinde bu tür birleşimlerin tanımını yaparken belirli kriterleri belirlemişlerdir.

Yönetmeliklerde belirtilen katsayılar, kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranını ifade eden  $\beta$  ve kolon et kalınlığının kolon derinliğine oranını ifade eden  $\gamma$  olarak adlandırılan orantısal katsayılardır. Kullanılan katsayıları temel alarak, birleşimin rijitlik tanımlaması yapılmıştır. Rijitlik kriterinin oluşmasındaki en temel etken kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranına bağımlı olarak, kolonumuzda meydana gelen şekilsel değişimlerin baş kısmında ya da gövdede oluşması veya her iki durumun da aynı anda oluşmasıdır. Bu durumu genel olarak ifade etmek gerekirse;  $\beta=1.0$  olduğunda, kolon yapı elemanının başlıkta da gövde kısmında da şekilsel değişime uğrarken, birleşim bölgesinin rijit davrandığı tespit edilmektedir.  $\beta<0.9$  iken ise kolonun başlık kısmının şekil değiştirdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, CIDECT tarafından belirlenen  $\beta$  değeri temel alınarak, kolon ve kirişin ( $\beta=0.75$ ) yarı rijit kabul edildiği

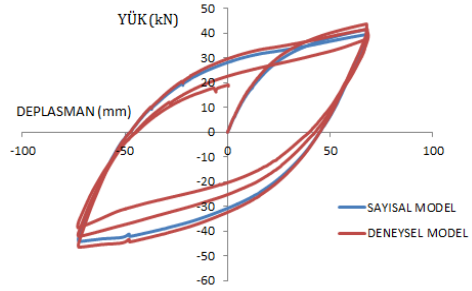
birleşim noktasının, rijit bir davranış sergilemesi amacıyla rijitleştirme levhalarının eklenme durumu tasarlanmıştır. Bu bağlamda, birleşim noktasına başlık levhası eklemesi yapılmıştır. Başlık levhalarının farklılık gösteren boyutsal parametreleri kullanarak tasarlanmış olup,  $\beta$  katsayısının hesaplanmasında kirişin genişliği ile kolonun genişliği oranının yerine, alın levhasının genişliğinin ( $P_h$ ) kolonun genişliğine oranı alınmıştır ve bu oran  $\beta$  simgesi ile adlandırılmıştır.  $\gamma$  katsayısı hesaplanmasında, alın levhasının cidar kalınlığını ve kolonun cidarının kalınlığını toplamının karşılığı ile kolon derinliğinin oranı hesaplanmıştır. Bu oran  $\gamma$  olarak adlandırılmıştır. Elde edilen deneysel ve sayısal model sonuçları, CIDECT'te tanımlanan ampirik formüllerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki modellerdeki başlıktaki levhanın genişliğinin ve cidardaki kalınlığın aynı tutulup  $\beta=1.0$  olarak baz alınmıştır.  $\gamma$  değeri için ise sabit cidar kalınlığı 18.18mm olarak dikkate alınmıştır.

### 3. Bulgular

Buradaki araştırmada, doktora tezi kapsamında elde edilen deneysel sonuçların analizi temel alınmıştır. Çalışmadaki modellerin üzerine eklenen eksenel yüke bağlı olarak, lokal burkulma ve kapasite üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Şekil 4'te, çalışma kapsamında yapılan analizlere ait yük-deplasman eğrileri verilmiştir. Bu karşılaştırma, sayısal

modelin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.



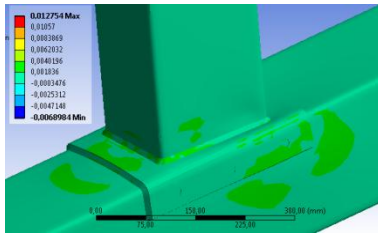
Şekil 4. Deneysel ve sayısal model yük deplasman eğrileri.

Başlık levhalarındaki eksenel kuvvetin etkisi altında davranış, kapasite, şekil değiştirmeler ve gerilme dağılım faktörleri açısından ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Bu değerlendirme sürecinde, başlık levhalarının lokal burkulmayı engelleme amacıyla kullanılmasının, eksenel yük altındaki davranışının optimizasyonu, kapasite artışı, Şekil değiştirme ve gerilme dağılımı açısından nasıl etkili olduğuna dair çeşitli yorumlar sunulmuştur. Bu şekilde, başlık levhalarının boyutsal değişimlerinin eksenel yük altındaki optimizasyonu detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

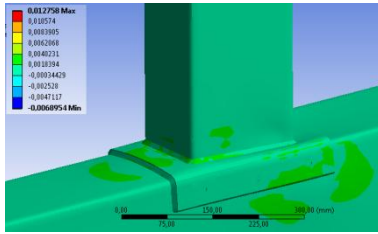
Çalışma kapsamında ilk olarak M01 numaralı modellere etkitilen eksenel yük durumları için oluşturulan modeller belirlenmiştir (M8/1, M12/1 ve M16/1).  $P_v=300$ ,  $P_w=50$ mm değerlerine sahip numuneler test edilmiştir. Tercih edilen başlık levhasının kullanılmasıyla kolon üzerindeki yerel burkulma etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir. Baş kısma yerleştirilen levha elemanının etki alanı içinde, kirişten kolona iletilen gerilmelerin sistemsel olarak başlıkta ve

gövde kısmında bütünsel bir halde karşılanmıştır. Kolondaki şekil değiştirmenin, lineer elastik sınırları içinde kalması sağlanmıştır.

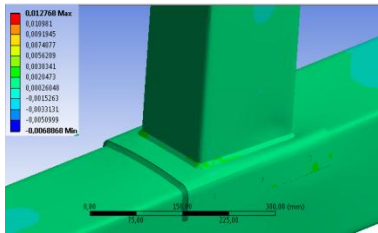
Şekil 5'te M01 numunesinin, üç farklı eksenel yük durumunda deformasyona uğramış halleri verilmiştir. Deformasyon görüntüleri, tersinir statiksel olarak artımsal yüklemdeki durumda 1. döngü sonucu elde edilmiştir. Sistem üzerindeki eksenel kuvvetin etkisinin, deneysel numuneye kıyasla kolon ve başlık levhasındaki deformasyonların arttığı ve kullanılan başlık levhasının yeterli düzeyde rijitlik elde edemediği gözlemlenmiştir.



M8/1



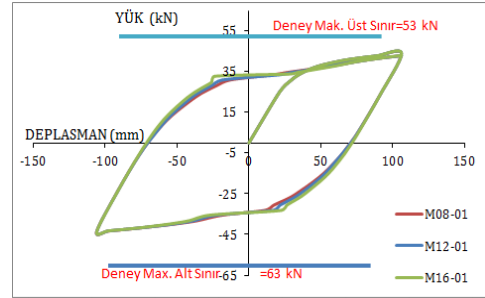
M12/1



M16/1

Şekil 5. M01 modelleri deforme olmuş halleri.

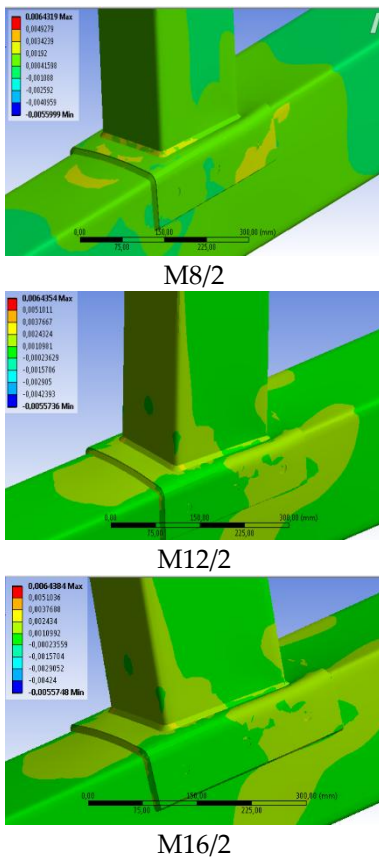
Mevcut verileri kıyasladığımızda, deneysel araştırma numunedeki sonuçtan farklı olarak eğilme kuvveti etkisinin dışında ilave olarak etkitilen eksenel yük durumu için başlık kısmına ek olarak eklenen levha rijitlik kazancı sağlayamamıştır. Bu durum, Şekil 6'da sunulan kapasite karşılaştırmalarında gözlemlenmektedir. Grafikler incelendiğinde, eksenel yük altındaki kapasite kayıplarının, alt modellerde kendi içerisindeki davranış durumunu ve yük-deplasman döngüsünü değiştirmemiş olduğu görülmektedir.



Şekil 6. M01 modellerinin yük deplasman eğrileri.

Çalışma kapsamında ikinci olarak M02 numaralı modellerde, başlık levhasının boyutsal parametre değerleri  $P_v=300$ ,  $P_w=75$ mm olarak belirlenmiştir. M02 numunesi için, tersinir statik artımsal yüklem durumunda kullanılan başlık levhası sayesinde kolonda meydana gelebilecek olan muhtemel lokal burkulmalar engellenmiştir ve bu numunedeki deformasyonlar lineer-elastik sınırlar çerçevesi içerisinde yer almıştır. Tasarımda tercih edilen başlık levhası gövdedeki kısım boyunca boyut faktörlerindeki artış, önceki numune sonuçlarına göre çok daha iyi bir sonuç vermiştir.

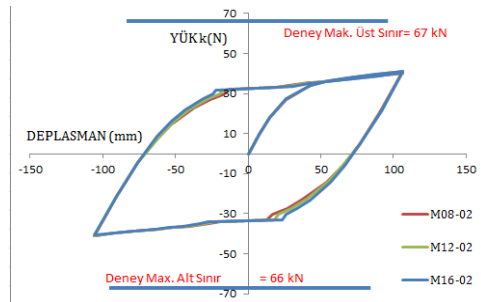
Şekil 7'de M02 numunesinin üç farklı eksenel yükleme durumu dolayısıyla oluşmuş olan modellerin deforme olmuş durumlarını gösteren görsel sunulmuştur. 1. Sistem üzerinde etkili olan eksenel kuvvetindeki, kolonda ve başlıktaki levha üzerindeki deformasyonları bir önceki modele benzer şekilde deneysel numuneye kıyasla artırdığını ortaya koymaktadır. Ancak, bu artışın, eksenel kuvvetin modeller arasındaki artışına paralel olmadığı gözlenmektedir.



Şekil 7. M02 modelleri deforme olmuş halleri.

M02'nin alt modellerinde elde edilen kapasite dağılımları incelendiğinde

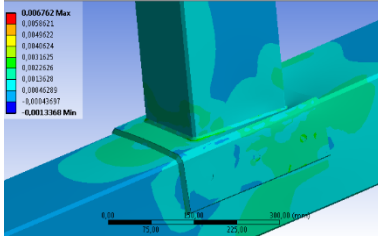
eksenel yük-kapasite ilişkisi görülmektedir. Artan eksenel kuvvetlerin rijitlik talebi başlık levhasınca karşılanamamıştır. Şekil 8'de sunulan kapasite karşılaştırmalarında da bu durum net bir şekilde görülmektedir. Ancak, önceki durumlardakinin benzeri şekilde, eksenel kuvvet artışı, modellerin içsel davranışında ve yük-deplasman döngüsünde farklı bir değişikliğe sebep olmamıştır.



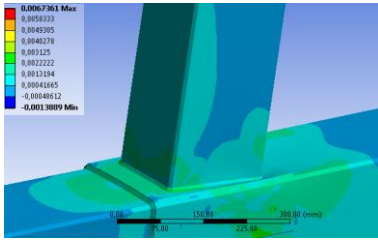
Şekil 8. M02 modellerinin yük deplasman eğrileri.

Çalışma kapsamındaki üçüncü olarak M03 numarasına sahip olan modellerde, başlık levhasının boyutları  $P_v=300$ ,  $P_w=100$ mm olarak belirlenmiştir. Bu gruptaki diğer modellerden farklılığı boyutsal açıdan en büyük modeldir. Kolon yapı elemanının üzerinde meydana gelen lokal burkulmaların ve deforme durumunun tümünün önlendiği gözlemlenmiştir. Levhadaki etki alanı artışı, kolonda sargı etkisinin artmasına neden olmuştur. Deformasyonlar kabul edilebilir seviyelerde kalmıştır. Bu durum, kolon üzerindeki şekil değişimlerinin lineer-elastik sınırlar içinde kaldığını ortaya koymaktadır.

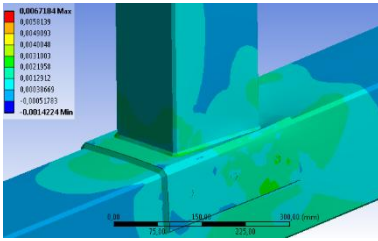
Şekil 9'da, M03 numunesinin üç farklı eksenel yükleme durumları için oluşan, alt modellerin deformasyona uğramış durumlarını gösteren görüntüler sunulmaktadır. Sayısal analiz sonuçlarından elde edilen deformasyon durumu, deneysel verilere uygun olarak 1. yük döngüsü için gösterilmiştir.



M8/3



M12/3

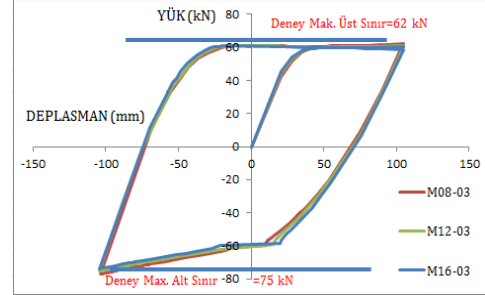


M16/3

Şekil 9. M03 modelleri deforme olmuş halleri.

Model M03'ün eksenel yükleme parametrelerinde türetilmiş alt modellerin yük deplasman değerleri, Şekil 10'da sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, tasarımda eklenen başlık levhası ve kolon deformasyon etkisi, kapasiteye etkisi görülmektedir. M03 modellerinde gövdedeki

deformasyon engellenmiştir. Bu durumdan dolayı numunenin eksenel yüksüz analizi deneysel numuneyle birebir aynı sonuçları vermiştir.

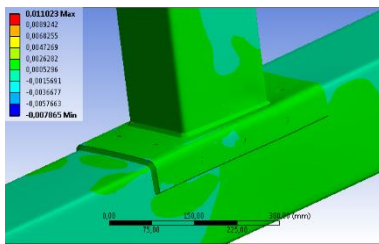


Şekil 10. M03 modellerinin yük deplasman eğrileri.

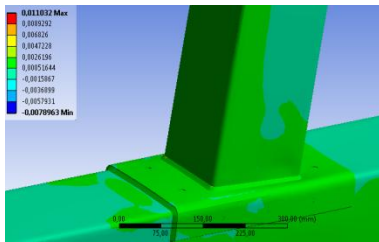
Çalışma kapsamında dördüncü olarak M04 modeli incelenmiştir. M04 modellerinde başlık levhasının kullanılması düğüm noktasındaki rijitliğini arttırmıştır.

Deneysel numunelerde kolon gövdesini saracak şekilde yerleştirilen levhali birleşimde, boyutsal artışın en kısa olduğu doğrultuda, yük taşıma kapasitesi üzerinde diğer başlık levhalarına göre belirgin bir etki sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Ancak, levha elemanının kolonun üzerindeki alanının artması, başlık levhasının deformasyonunu kolaylaştırmıştır. Buradaki durum birleşim bölgesindeki istenilen rijitlik oluşmasını engellemiştir. Eksenel yükleme durumuyla belirlenen farklı alt modellerdeki şekil değişimine uğramış durumların görünümleri Şekil 11'de verilmiştir. Bu görselden anlaşılacağı üzere, bu numunede tercih edilen başlık kısmına yerleştirilen levhanın boyut özellikleri, gerilmelerin daha geniş bir alanda etkili bir biçimde absorbe edildiğini göstermektedir. Levhayı cidar kalınlığı

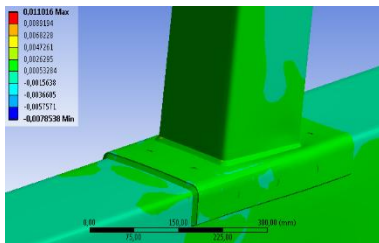
oranıyla ilişkilendirirsek deformasyon hasarındaki istenilen kontrol sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Eksenel kuvvetle birlikte değerlendirilen sayısal model analizinde, kolonun gövdesinde ve başlıkta oluşan yerel deplasmanların artmış olduğu tespit edilmiştir. Fakat, farklı alt model çalışmalarının içsel görece deforme hasarlarının, buradaki model çalışmasında birbiriyle uyumlu bir şekilde olduğu görülmüştür.



M8/4



M12/4

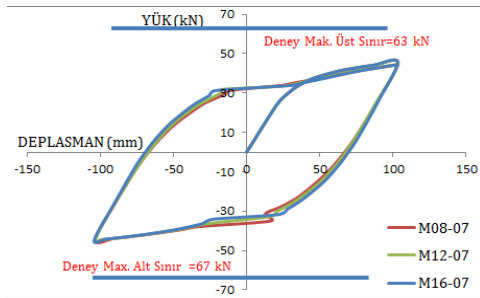


M16/4

Şekil 11. M04 modelleri deforme olmuş halleri.

Sayısal modellerinin alt model verileri için elde edilen kapasite dağılımları incelendiğinde, deformasyon durumlarını gösteren şekillerle paralel sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 12’de

kapasite grafikleri deneysel veri sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Şekil 12’de sunulan kapasite karşılaştırmaları incelendiğinde, eğilme etkisiyle birlikte etki eden eksenel yük durumunun daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, başlık levhasının sağladığı rijitlik avantajını aşarak, levhanın kapasiteye olan olumlu katkısını önemli ölçüde kısıtlamıştır. Bununla birlikte, eksenel kuvvetin etkisi altındaki kapasite kaybının, oluşturulan farklı alt model verilerinin davranışını ve yük-deplasman döngü durumunu değiştirmedeği gözlemlenmektedir.

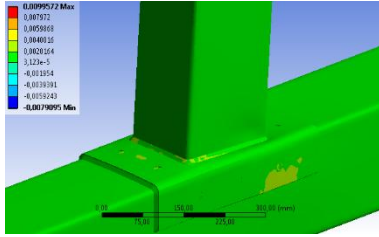


Şekil 12. M04 modellerinin yük deplasman eğrileri.

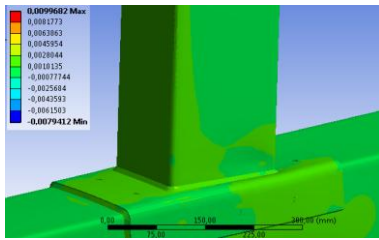
Çalışma kapsamında beşinci olarak M05 modelinde, başlık kısmında kullanılan, kolonun gövde kısmına paralel yöndeki kısmı 75mm’ye çıkarılmıştır. Başlıktaki levha elemanındaki uzunluk ve cidar kalınlığı ölçüleri sabit kalmıştır.

Modelin eksenel kuvvetlerin değişim etkisine bağlı olarak sayısal analizden kaynaklanan deformasyonları Şekil 13’te verilmiştir. Birleşimde yeterli rijit davranış elde edilemediğinden eksenel kuvvet durumuyla birleştiğinde kolon yapı elemanındaki deformasyon hasar durumu sınırlanamamıştır. Bu sebeple,

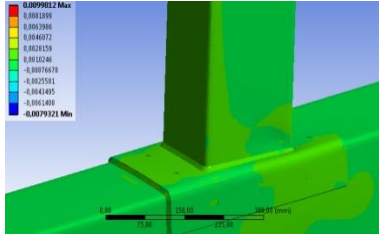
sayısal analizlerin sonuçlarına bakıldığı zaman deformasyon hasarları, deneysel verilerin sonucundaki sınır koşul durumlarını aşmaktadır.



M8/5



M12/5

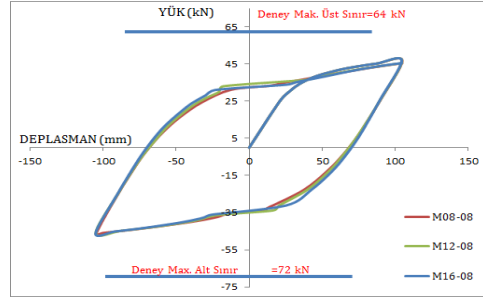


M16/5

Şekil 13. M05 modelleri deforme olmuş halleri.

Model 05'e dayalı farklı diğer alt modellerin kapasite sonuçları değerlendirildiğinde benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Deney numunesindeki farklılık, eğilmedeki etki durumuna ek olarak sistemde rol oynayan eksenel yük durumu, birleşim bölgesindeki kapasite faktöründe azalmaya sebep olmuştur. Şekil 14'te sunulan kapasitesindeki karşılaştırmaları da bu durumu net bir şekilde göstermektedir. Eksenel kuvvetin etkisi altındaki kapasite

kaybında ve yük-deplasman döngüsünde diğer modellere paralel sonuçlarla karşılaşılmıştır.

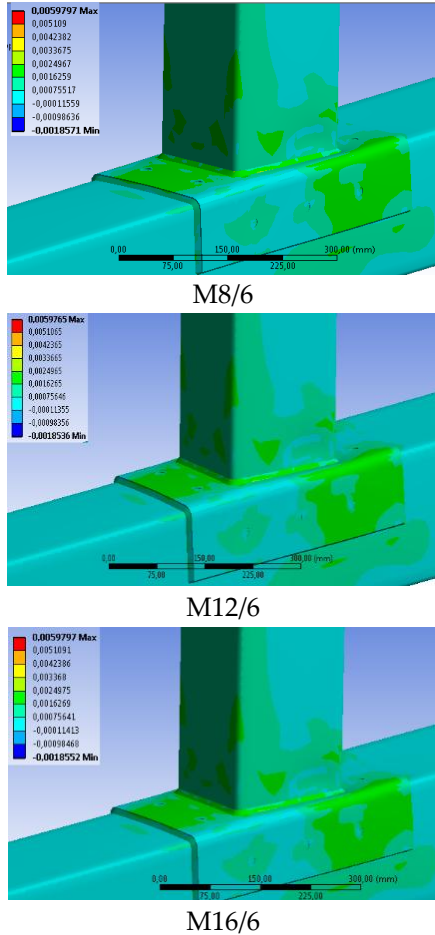


Şekil 14. M05 modellerinin yük deplasman eğrileri.

Çalışma kapsamında son olarak M06 numaralı numunede, başlık levhasının boyutları, kolon boyunca 400mm ve gövde boyunca 100mm olarak seçilmiştir. Bu boyutlar, başlık levhasının etkin bir şekilde sargı etkisini sağlaması için seçilmiştir. Başlık levhasının kolonda oluşacak olan kalıcı hasarları veya deformasyonları engellediği gözlemlenmiştir. Fakat, kirişte oluşacak olan hasarın yani yırtılmanın engellenemediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, meydana gelen deplasman durumu, lineer-elastik sınır koşulları içerisinde kalmayı başarmıştır. Bu durum tercih edilen levha elemanının, özellikle kolonun yerleşim şekline göre paralel yöndeki boyut ölçüsünün artışının gerilme dağılımının daha genişletilmiş bir alanda sönmülenererek plastik davranışın önlenmesine katkı sağlamıştır.

Başlıktaki levhanın boyutsal parametrelerin artması, eğilme etkisine maruz kalan birleşimde, kirişin tam olarak istenen plastik davranışı sağlayacak kadar düğüm noktasını tam

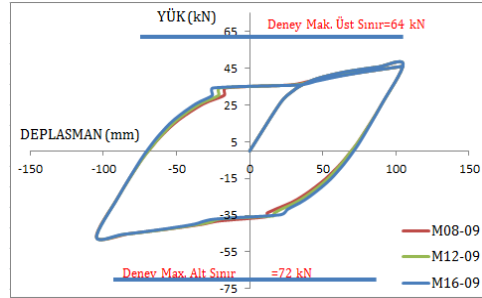
anlamıyla rijitlik sağlanamamasına rağmen, kirişteki yırtılmanın gecikmesiyle birlikte kapasite kayıplarını minimize etmiştir. Şekil 15'te, M06'ya ait deformasyon hasar görselleri verilmiştir.



Şekil 15. M09 modelleri deforme olmuş halleri.

Model M-06'nın alt numunelerinin kapasite durumlarının sonuçları incelendiğinde, deformasyona uğramış durumu yansıtan şekillerle uyumlu

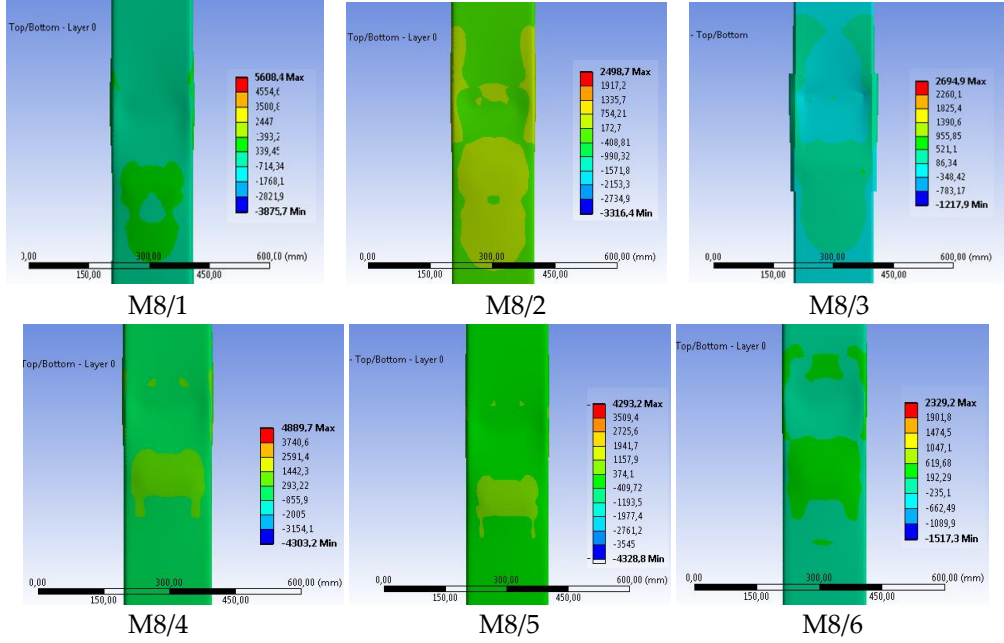
sonuçlar oluşmuştur. Şekil 16'da modele kapasite eğrilerinin karşılaştırması verilmiştir. Başlıkta tercih edilen levhanın, aksenal kuvvet etkisinin kolon yapı elemanında deformasyon artışı nedeniyle kapasitedeki kayıp, modelin yük-deplasman grafiklerine etki etmiştir.



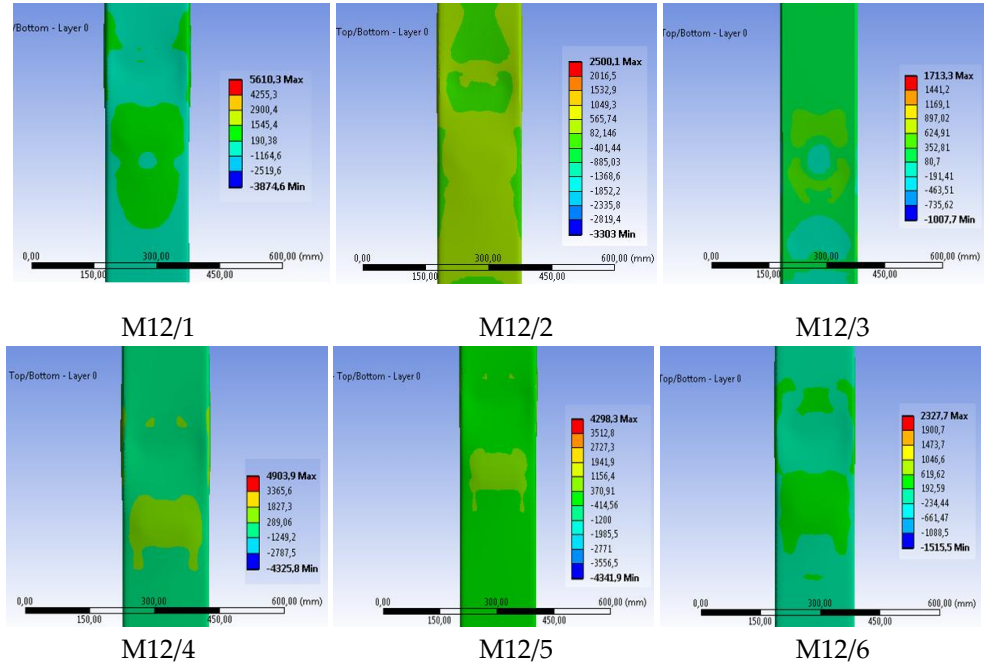
Şekil 16. M06 modellerinin yük deplasman eğrileri.

Eksenel yük etkisinde yapılan sayısal analizlerden elde edilen 8 kN yük için kolonlarda oluşan gerilme dağılımı Şekil 17'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde gerilme dağılımı sonuçlarının şekil-değişim ve yük-deplasman dağılımlarına karşılık gelen şekillerle benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir. Modellerdeki tercih edilen başlık levha elemanının, kolonun üst başlık kısmındaki gerilmelerin sönümlendiğini tespit etmiştir. Bu durumun sonucunda başlık levhasının etkin davranış sergilediği görülmüştür. Eksenel yük etkisinde yapılan sayısal analizlerden elde edilen 12 kN yük için kolonlarda oluşan gerilme dağılımı Şekil 18'de sunulmuştur.





Şekil 17. 8 kN eksenel yük ve eğilme etkisi altındaki kolon üst başlığı gerilme dağılımı.

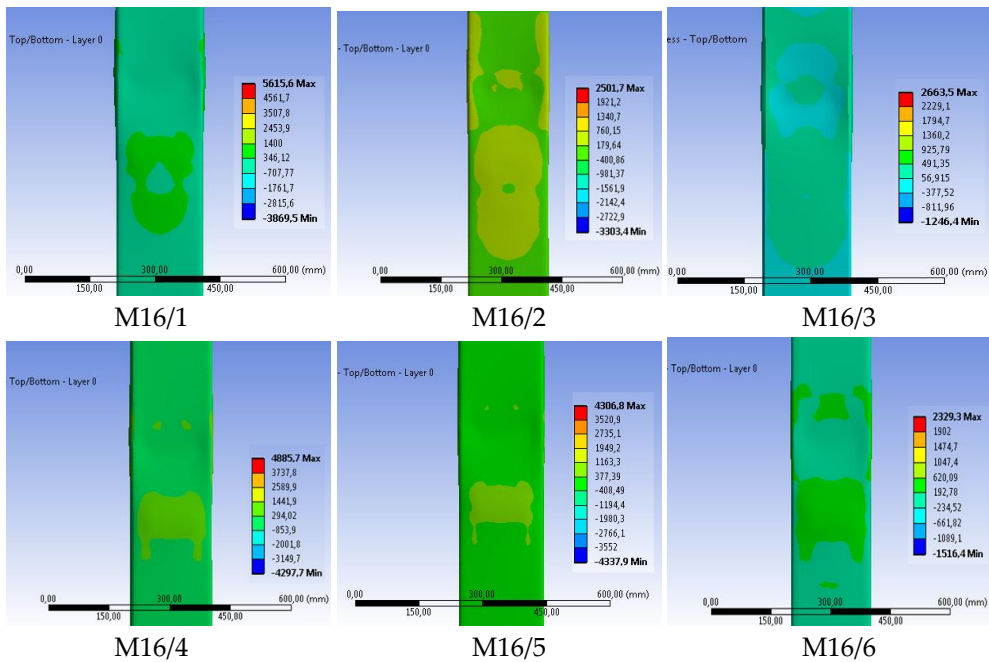


Şekil 18. 12 kN eksenel yük ve eğilme etkisi altındaki kolon üst başlığı gerilme dağılımı.

Şekil incelendiğinde önceki yükleme durumuyla benzer nitelikte sonuçlar görülmüştür. Kolonun üst başlık kısmındaki gerilme durumları, başlık levhasının analize dahil olduğu modellerde minimize edilebilmiştir. Fakat bu elde edilen avantaj birleştirme kapasite durumuna yansıtılmamıştır. Bahsi geçen durumda eğilme etki etmesi, birleşimlerde levha elemanının kolonun üst yüzeyinden ayrı bir şekilde deformasyona sebep olan bir davranışı tetikleyen durum sergilemektedir.

Bundan dolayı, eksenel kuvvet etkisinde olan modelin kapasitedeki kaybı engellenememiştir.

Çalışma kapsamında en büyük eksenel kuvvetin sisteme etkimesi ve sonucundaki gerilmelerin dağılımı Şekil 19'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde diğer eksenel kuvvetlere sahip modellerle benzer nitelikte gerilme dağılımı oluşmuştur. Şekil değiştirme ve kapasite grafikleri açısından sonuçlar diğer modellerle paraleldir.



Şekil 19. 16 kN eksenel yük ve eğilme etkisi altındaki kolon üst başlığı gerilme dağılımı.

#### 4. Sonuçlar

Kutu kesitli yapısal profiller için tasarlanan birleşimlerinde, kesitteki atalet verilerinin hesabındaki yapılan kapasite analizleri, gerçek durumlardan önemli ölçüde farklılıklar gösterebilir. Kutu kesitli profillerin uygulanmasında

ekstra eklenecek olan levhaların birleşiminde özel imalatlar ve detaylar gerekebilmektedir. Bu durum projelendirme, imalat ve montaj süreçlerini zorlaştırarak maliyetleri arttırmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, kesitlerin güçlendirilmesi yoluyla lokal

burkulmaların önlenmesi ve kapasite artışının elde edilebilmesi hedeflenmiştir. Analizler, tersinir statik artımsal yatay yöndeki yükler etkisinde incelenen kaynaklı kutu kesitli birleşimlerin bağlı deneysel veriler kullanılarak sayısal olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, deneyde seçilen başlık levhaları aracılığıyla kolonlardaki deformasyon hasarının engellendiği ve deformasyonun meydana geldiği durumlarda dahi lineer-elastik sınırlar içinde kaldığı gözlenmiştir. Deneysel veriler incelendiğinde, başlık levhasındaki deformasyon ve düğüm noktasındaki etkinin, levhanın kolon yapı elemanından bağımsız bir şekilde hareket edebilme kabiliyetini sınırlandırılmasıyla ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Araştırmada, kolonun ve kullanılan başlıktaki levhanın beraber çalışabilmesi için tercih edilen ek kaynak deliklerinin kullanılmasına rağmen, ek kaynak levhasının kolon yapı elemanı boyunca uzanan  $P_v$  değerine uzama davranış üzerindeki olumsuz bir etkiye sahip olduğu, ayrıca kullanılan ek kaynak dikişlerinin yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, eksenel kuvveti dikkate almadan analize sokulan numunelerdeki; başlık levhasının döngüsel yük yükleme durumu incelendiğinde etkili bir davranış gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, kiriş yapı elemanındaki kaynak dikişinin uygulama durumunda oluşan ısıl etki nedeniyle ortaya çıkan gevrek yırtılma durumunu önlemenin mümkün olduğu durumlarda, yeterli rijitlik

seviyesine ulaşabilecek ve rijit yapı davranışı elde edilebileceği sonucunun oluşacağına ulaşılmıştır. Bu bağlamda, kirişlerdeki meydana gelen yırtılma durumunu engellemek için kolonun boyuna paralel yönde bulunan kiriş gövdelerinin ek levhalarıyla destekleyerek gerilmelerinin kaynak dikişinin sınırından, levha eksenine kaymasının sağlanmasıyla kapasitede kazanım sağlanabilir beraberinde döngüsel etkinin altında da enerjinin kaybı engellenebilir.

Başlık levhalarının eksenel kuvvet kullanılarak alt modellere ayrıştırılan sayısal analizlerinde, bazı özel durumlar dışında eksenel kuvvet sebebiyle kolon üzerinde oluşan deformasyonlar arttığı için deneysel sonuçların altında kalan kapasite değerleri oluşmuştur. Yük-deplasman grafikleri incelendiğinde, eksenel kuvvetin artmasına rağmen kapasite kaybı neredeyse sabit kalmıştır. Bu durum deformasyon, gerilme-şekil değiştirme grafiklerinde açıkça görülmektedir.

Şekil değiştirme ve gerilme dağılımları incelendiğinde, belirlenen boyut parametrelerinin, başlık levhalarının iyi optimum sonuçlarını sağladığı görülmüştür. Buradaki yapı elemanının cidar kalınlığının ve boyutlarındaki ek başlık levhalarının eğilme etkisinin altında kolon yapı elemanı ile etkili çalışabilmesi sağlanmıştır.

Başlık kısmındaki levhanın, kolonun gövdesi boyunca etkili bir sonuç verebilmesi için  $P_w$  uzunluğu buradaki birleşimde 75-100mm aralığında optimum sonuç verdiği belirlenmiştir.

Başlık levhasında  $P_w$  değerinin, kapladığı kolon yüksekliğinin yarısı kadar uzatılması önerilmektedir. Ayrıca kaynak dikişinin sınırında meydana gelmesi olası yırtılmalar önleğinde başlık levhasıyla güçlendirme tekniği etkili sonuçlar vermiştir.

#### Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### Yazarlık Katkı Beyanı

- Yazar 1: Deneş, Yazma, Analiz ve yorumlama, Fikir sahibi.  
 Yazar 2: Araştırma, Analiz ve yorumlama, Görselleştirme, Kaynaklar, Yazma.  
 Yazar 3: Kaynaklar, Araştırma, Yazma.  
 Yazar 4: Kaynaklar, Araştırma, Yazma.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### 5. Kaynaklar

- Berman, W.J., Bruneau, M. (2007). Experimental and analytical investigation of tubular links for eccentrically braced frames, *Engineering Structures*, 29(8), 1929-1938.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.10.012>
- Chao, S-H., Goel, S.C. (2006). Performance-based design of eccentrically braced frames using target drift and yield mechanism as performance criteria, *Engineering Journal*, 43(4), 173-199.  
<https://doi.org/10.62913/engi.v43i4.893>

- Chopra, A.K., Goel R.K. (1999). Capacity-Demand-Diagram methods for estimating seismic deformation of inelastic structures, *Earthquake Spectra*, 15(4), 637-656.  
<https://doi.org/10.1193/1.1586065>
- Dicleli, M., Mehta, A. (2007). Simulation of inelastic cyclic buckling behavior of steel box sections, *Computers & Structures*, 85(7-8), 446-457.  
<https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2006.09.010>
- Foutch, D.A., Yun, S.Y. (2002). Modeling of steel moment frames for seismic loads, *Journal of Constructional Steel Research*, 58(5-8), 529-564.  
[https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00078-5](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00078-5)
- Gioncu, V. (2000). Framed structures. ductility and seismic response general report, *Journal of Constructional Steel Research*, 55(1-3), 125-154.  
[https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(99\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(99)00081-4)
- Gioncu, V., Mazzolani, F. (2002). Ductility of seismic resistant steel structures, Spon press, Biddles Ltd., 694s. USA and Canada.
- Jian, W., Guang, T.W. (2022). Experimental seismic behavior of RHS column-to-I beam connection with additional plates, *Iranian Journal of Science and Technology*, 46(3), 2053-2065.  
<https://doi.org/10.1007/s40996-021-00770-0>
- Mahin, S., Malley, J., Hamburger, R., (2002). Overview of the Fema/Sac program for reduction of earthquake hazards in steel moment frame structures, *Journal of Constructional Steel Research*, 58(5-8), 511-528.  
[https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00088-8](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00088-8)
- Mashiri, F.R., Zhao, X.L. (2004). Plastic mechanism analysis of welded thin-walled T-joints made up of circular braces and square chords under in-plane bending, *Thin-Walled Structures*, 42(5),

- 759–783.  
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2003.12.010>
- Mashiri, F.R., Zhao, X.L. (2010). Square hollow section (SHS) T-joints with concrete-filled chords subjected to in-plane fatigue loading in the brace, *Thin-Walled Structures*, 48(2), 150–158.  
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2009.07.010>
- Nakashima, M., Matsumiya, T., Liu, D., Suita, K., Liu, D. (2005). Test on full-scale three-storey steel moment frame and assessment of ability of numerical simulation to trace cyclic inelastic behaviour, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 35(1), 3–19.  
<https://doi.org/10.1002/eqe.528>
- Yun, S.-Y., Hamburger, R.O., Cornell, C.A., Foutch, D.A., (2002). Seismic performance evaluation for steel moment frames, *Journal of Structural Engineering*, 128(4), 534–54.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:4\(534\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:4(534))
- Zhao, B., Liu, C., Lin, S. (2024). Comparison of in-plane flexural seismic behavior between traditional RHS X-joints and eccentric RHS X-joints. *In Structures* 60, 105835.  
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105835>
- Zhao, X.L. (2000). Deformation limit and ultimate strength of welded T-joints in cold-formed rhs sections, *Journal of Constructional Steel Research*, 53(2). 149–165. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(99\)00063-2](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(99)00063-2)