

## 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*



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

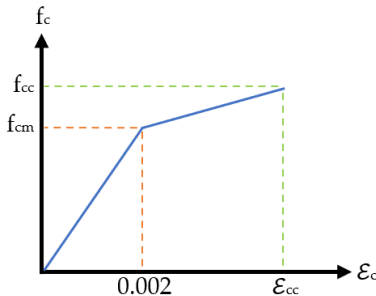
### 2.1. Lifli polimer ile sargılama

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

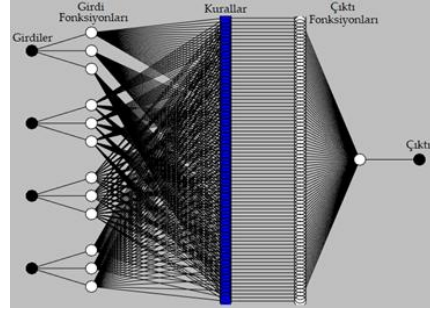
değişken üzerindeki etkisini inceleyen istatistiksel bir analiz yöntemidir. Genel formülü Denklem 7'de verilmiştir.

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

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

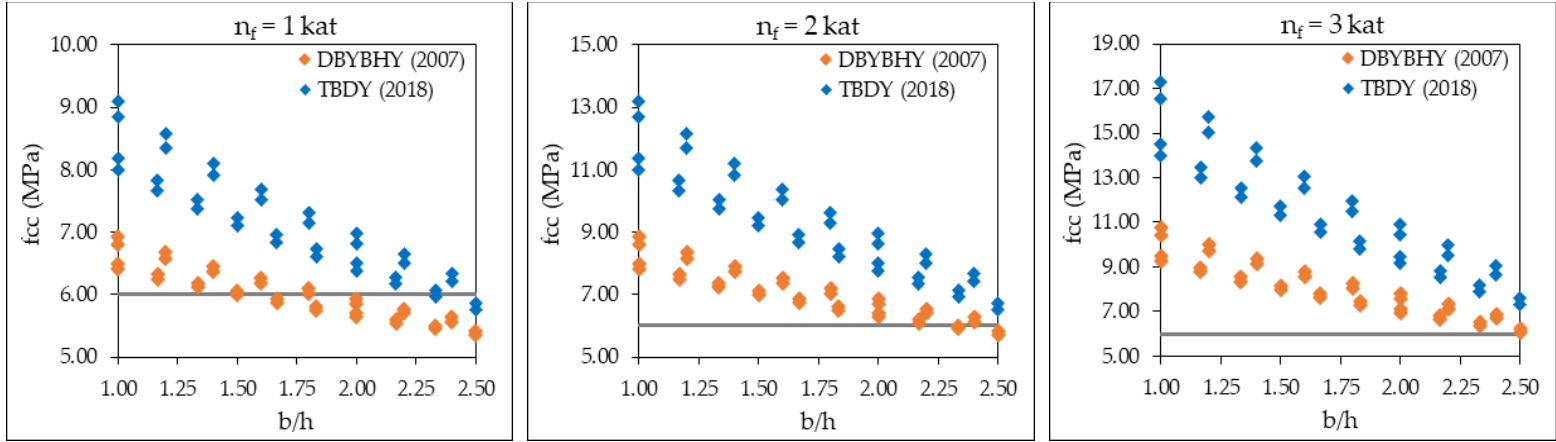
### 3.1. Sargılı beton basınç dayanımları ve birim şekil değiştirmeler

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.

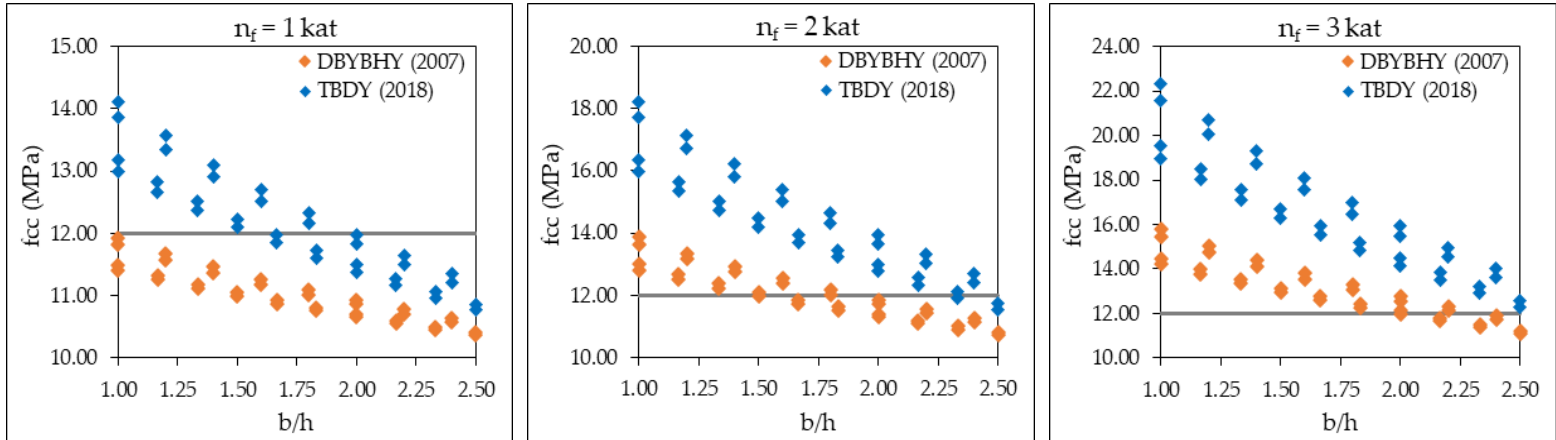
**Tablo 4.** Beton basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme değerlerinin artış oranı.

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

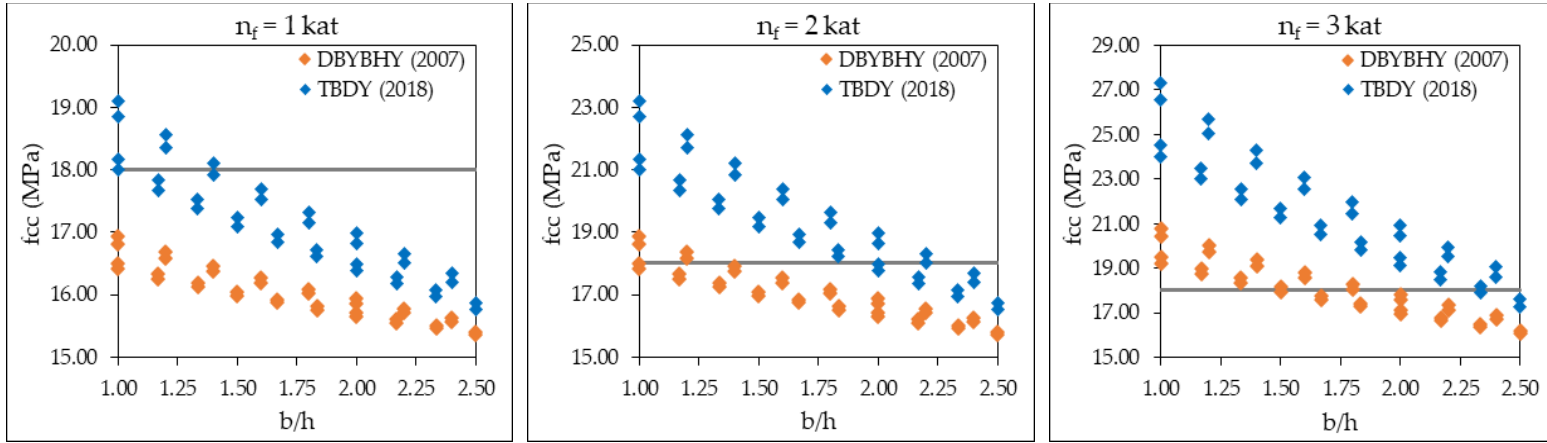




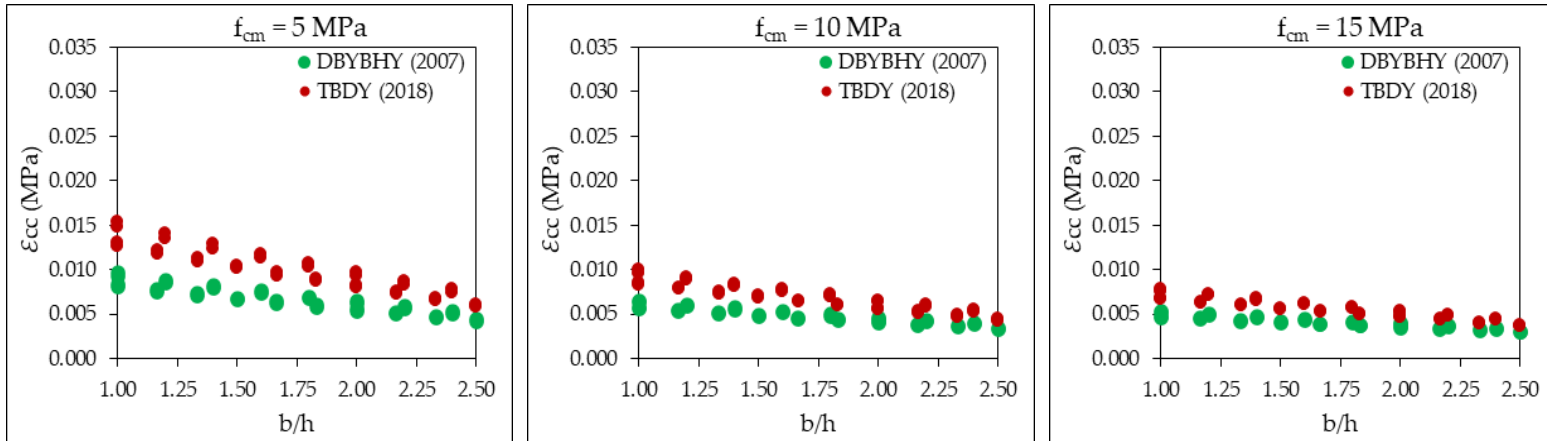
Şekil 4. 5 MPa beton dayanımına sahip kesitlerin lifli polimerle sargılama sonucu beton basınç dayanımları.



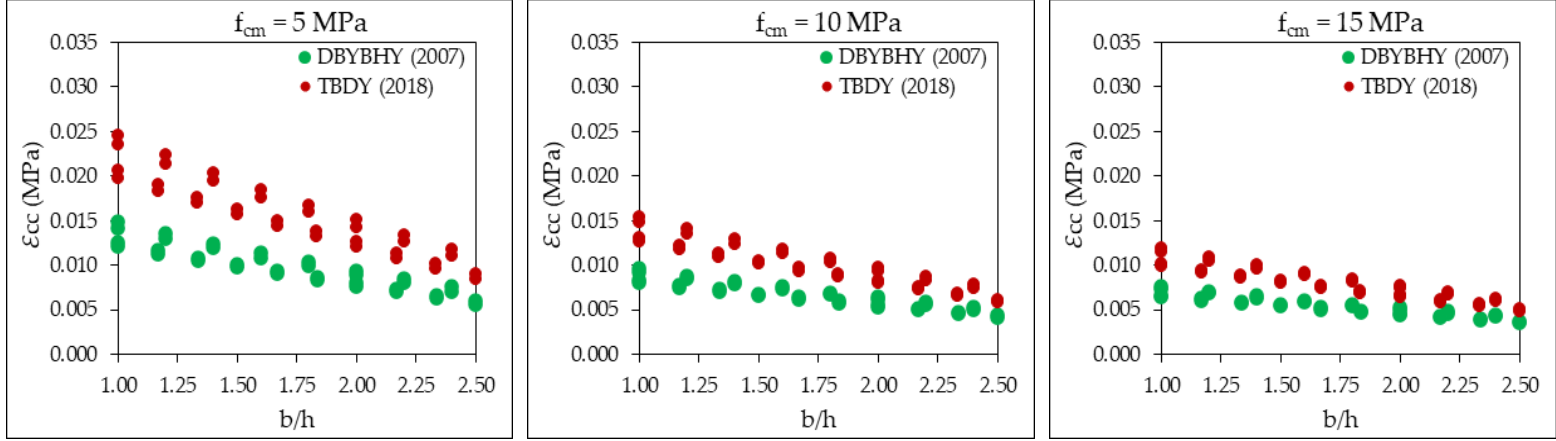
Şekil 5. 10 MPa beton dayanımına sahip kesitlerin lifli polimerle sargılama sonucu beton basınç dayanımları.



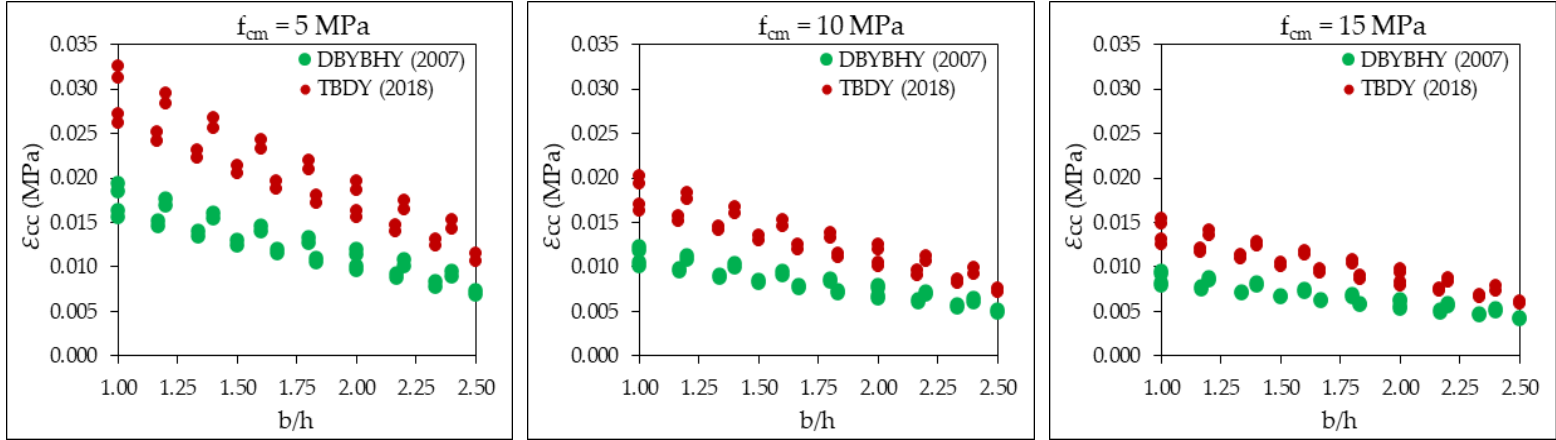
Şekil 6. 15 MPa beton dayanımına sahip kesitlerin lifli polimerle sargılama sonucu beton basınç dayanımları.



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



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



Şekil 9. 3 kat lifli polimerle sargılanan kesitlerin birim şekil değiştirme 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.

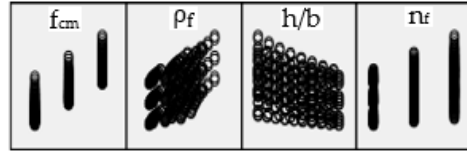
Girdi Modelleri	$R^2$	Adjusted $R^2$
$\rho_f$	0.467	0.466
$\rho_f - f_{cm}$	0.794	0.793
$\rho_f - f_{cm} - n_f$	0.868	0.867
$\rho_f - f_{cm} - h$	0.891	0.890
$\rho_f - f_{cm} - h/b$	0.893	0.892
$\rho_f - f_{cm} - h/b - n_f$	0.899	0.898

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

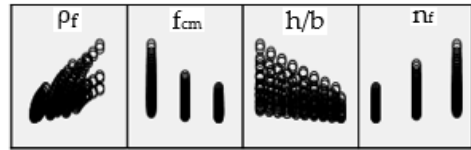
Denklem 8'de verilen N, toplam örnek sayısını; p ise bağımsız değişken sayısını temsil etmektedir.

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.

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

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

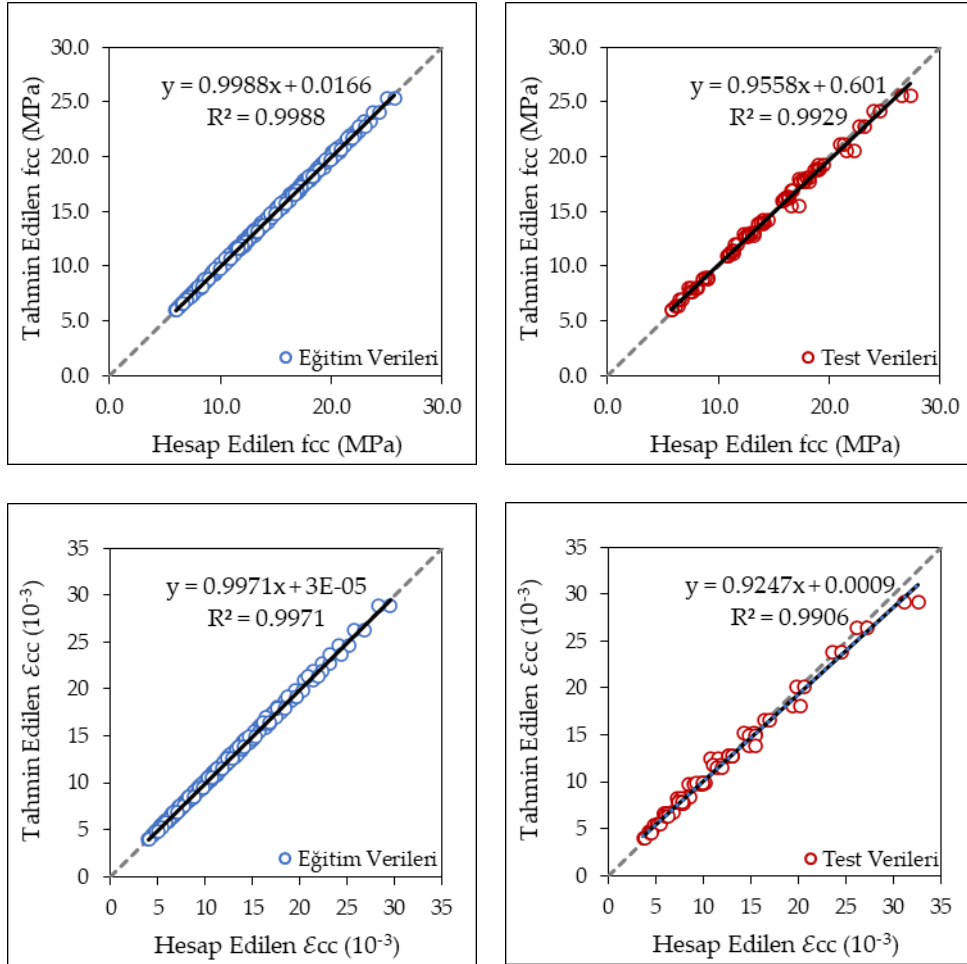
Anfis için 252 adet veri eğitime, 72 adet veri ise teste ayrılarak üç ve dört girdili modeller oluşturulmuştur. Modellerde  $f_{cm}$  ve  $n_f$  parametrelerinin değer aralığı üç adet olduğu için alt küme sayıları tüm modellerde sabit tutulmuş,  $h/b$  ve  $\rho_f$  parametrelerinin alt küme sayısı ise 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		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	$h/b - f_{cm} - n_t - \rho_f$	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		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	$h/b - f_{cm} - \rho_f$	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		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	$h/b - n_t - \rho_f$	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		0.982	0.628	0.967	1.091	0.958	1.026	0.955	1.688
4-3-3	$h/b - f_{cm} - n_t$	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		0.986	0.558	0.967	1.033	0.964	0.946	0.944	1.712
3-3-4	$f_{cm} - n_t - \rho_f$	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 şekil değiştirme 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 değiştirme değerleri DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) için elde edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Sargılı beton basınç

dayanımında ve birim şekil değiştirme değerinde 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.531111>
- Alfaqeeh, A., Sarıbiyık, 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., & Küçükerdem, 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>