

Pomza ve Diatomitin Portland Çimentosunun Basınç Dayanımına Etkilerinin ANFIS ile Tahmini

Uğur GÜVENÇ¹, Burak KOÇAK^{2,*}

¹Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 81600, Düzce,
ORCID No: 0000-0002-5193-7990

²Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 81600, Düzce,
ORCID No: 0000-0002-8640-1758

Anahtar Kelimeler:

ANFIS,
Çimento,
Pomza,
Diatomit,
Basınç dayanımı.

Özet: Bu çalışmada, çimento harçlarının basınç dayanımını tahmin etmek için uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmada, Portland çimentosu (PÇ) ile içerisine pomza (%10-20), diatomit (%10-20) ve pomza + diatomit (%5+5-%10+10) ikame edilmiş olan toplam yedi farklı çimento ile elde edilen harçların 2, 7, 28, 90. hidratasyon günlerindeki basınç dayanımları standart çimento deneyleriyle belirlenmiştir. Deneyler sonucu elde edilen 168 veri eğitim için, bu deney sonuçlarının ortalamaları olan 28 veri de test için kullanılmıştır. ANFIS modelinde eğitim ve test aşamalarında hidratasyon günü, Portland çimento, pomza, diatomit ve su olarak 5 giriş parametresi ve çimento harçlarının basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen ve modelden elde edilen sonuçlarının kıyaslanmasında R², MAPE ve RMSE olmak üzere üç farklı istatistiksel yöntem kullanılmıştır. Elde edilen veriler, deney sonuçları ile ANFIS sonuçları arasında uyumun iyi olduğunu ve inşaat mühendisliğindeki uygulamalarda başarıyla uygulanabilirliğini göstermiştir.

Prediction the Effects of Pumice and Diatomite on the Compressive Strength of Portland Cement with ANFIS

Keywords:

ANFIS,
Cement,
Pumice,
Diatomite,
Compressive strength.

Abstract: In this study, a estimation model was developed using Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) to predict the compressive strength of cement mortars. In the study carried out for this purpose, a total of seven different cements in which Portland cement (PÇ) was substituted with pumice (10-20%), diatomite (10-20%) and pumice + diatomite (5+5%-10+10%). The compressive strengths obtained from the mortars at the 2nd, 7th, 28th and 90th days of hydration were determined by standard cement tests. 168 data obtained as a result of the experiments were used for training, and 28 data, which are the averages of these experimental results, were used for testing. For the training and testing stages of the ANFIS model, 5 input parameters, namely hydration day, Portland cement, diatomite, pumice and water, and 1 output parameter, namely the compressive strength of cement mortars, were used. In the comparison of the experimental results and the results obtained from the model; three different statistical methods, namely R², MAPE and RMSE, were used. The obtained data showed that there is a good agreement between the test results and the ANFIS results and that it can be successfully applied in civil engineering applications.

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok alanda olduğu gibi inşaat mühendisliği uygulamalarında çeşitli problemleri çözmek için, bulanık mantık, yapay sinir ağları, makine öğrenmesi gibi yapay zeka tabanlı uygulamalar yaygın ve etkin olarak kullanılmaktadır [1-11]. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) de bu uygulamalardan

biri olarak oldukça güvenilir bir yöntem olarak ifade edilmekte ve bir çok araştırmacı tarafından oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmalardan birinde Sakthivel vd. (2016), hibrit örgü ve elyaf takviyeli çimento esaslı kompozit döşeme elemanlarının eğilme mukavemetlerinin yapay sinir ağı kullanarak modellenmesi ve tahmini için yaptıkları

çalışmada, üç model geliştirilmiş ve çeşitli denemelere dayalı olarak gizli katmanlar için nöron sayısı belirlenmiştir. Elde etmiş oldukları sonuçlara göre her üç modelin de en yüksek korelasyon katsayısına (R^2) dayalı olarak %93,3, %99,8 ve %98,8 değerleri ile başarılı modeller olduğunu ve böylece YSA'nın, önceki deneysel çalışmalardan veya ampirik veya teorik verilerden elde edilen değerleri tahmin etmede etkili bir teknik olabileceğini ve yeni deneylerin yürütülmesinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabileceği sonucuna ulaşmışlardır [12].

Diğer bir çalışmada Mansouri ve Kisi (2015), güçlendirilmiş duvar elemanlarının bağlanma mukavemetini tahmin etmek için ANFIS ve YSA modelleri geliştirmiş ve bu modelleri çoklu doğrusal olmayan regresyon, çoklu doğrusal regresyon ve mevcut bağ gücü modelleri ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre YSA ve ANFIS modellerinin diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiğini ve sonradan donatılan kagir elemanların bağlanma mukavemetinin tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir [13].

Bir başka çalışmada Koçak ve Gülbandır (2016), zeolit ve diatomit ikameli betonların $MgSO_4$ etkisindeki davranışlarını ANFIS tahmin modeli ile 7 farklı karışımdan elde edilen 63 örneğin 28., 56. ve 90. hidrasyon günlerindeki basınç dayanımlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak deneysel sonuçlar ile tahmin edilen basınç dayanım sonuçlarını kıyaslamışlar ve neredeyse deney sonuçları ile aynı sonuçları tahmin ederek bu modelin faydalı ve güçlü bir model olduğunu belirtmişlerdir [14].

Armaghani ve Asteris (2021) bir başka çalışmada metakaolin katkılı çimento esaslı harç malzemelerinin basınç dayanımının tahmini için literatürde mevcut deneysel veriler kullanılarak YSA ve ANFIS modelleri oluşturmuş ve bu yöntemleri karşılaştırmışlardır. Bu amaçla modelleri oluşturmak için hidrasyon yaşı (gün), maksimum agrega çapı (mm), metakaolin/bağlayıcı oranı (%), su/bağlayıcı oranı, super akışkanlaştırıcı, bağlayıcı/kum oranı olarak altı giriş, basınç dayanımı olarak bir çıkış parametresini kullanmışlardır. Daha sonra performans indeksleri olarak R^2 , VAF, RMSE, MAE ve $a10$ indeksi kullanılarak en iyi YSA modeli ve en iyi ANFIS modelini karşılaştırmışlardır. Tüm performans indeksleri açısından, geliştirilen hem YSA hem de ANFIS modelinin iyi sonuç verdiği ancak önerilen modelin YSA modeli olduğu belirtilmiştir [15].

Amin vd. (2021) bir diğer çalışmada doğal volkanik kül harcının (VAM) basınç dayanımını modellemek için bir YSA ve ANFIS modeli kullanmışlardır. Çalışmada öngörülen modelleri eğitmek ve test etmek için literatürden 150'den fazla veri toplanmıştır. Bunun yanı sıra laboratuvarında değişen oranlarda volkanik kül içeren harç numuneleri hazırlayarak test etmişler ve sonuçları modellerin doğrulanması için kullanmışlardır. Geliştirilen modellerin performansı çok sayıda istatistiksel ölçüm kullanılarak değerlendirilmiş, elde edilen verilere göre hem YSA hem de ANFIS modellerinin, R^2 değerlerinin

0.9'un üzerinde ve daha düşük hata istatistikleriyle basınç dayanımını doğru bir şekilde tahmin ettiğini ifade etmişlerdir [16].

Bu çalışmalar ışığında yapılan bu çalışmayla Portland çimentosunun basınç dayanımına pomza ve diatomitin etkisi, bir ANFIS modeli geliştirilerek tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Portland çimentosu (PÇ) ile içerisine pomza (%10-20), diatomit (%10-20) ve pomza+diatomit (%5+5-%10+10) ikame edilmiş olan 7 farklı çimento hazırlanmış, bu çimentolarla da 7 grup çimento harcı üretilmiş, her tip çimento harcı için de 6 örnek hazırlanmıştır. Daha sonra bu örnekler, 2, 7, 28 ve 90. hidrasyon günlerinde basınç dayanımına tabi tutulmuşlardır. ANFIS tahmin modelinin eğitim ve test aşamaları hidrasyon günü, Portland çimento, pomza, diatomit ve su olmak üzere 5 giriş parametresi ve çimento harçlarının basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresinden oluşmaktadır. Modelin eğitimi için çimento harç basınç dayanımı deneylerinden elde edilen 168 veri, test edilmesi için de her bir deney için standartlarda belirtilen esaslar çerçevesinde alınması gereken bu deney sonuçlarının ortalamaları olan 28 adet veri kullanılmıştır. Daha sonra çimento harçlarının basınç dayanımları ile modelden elde edilen veriler kıyaslanmış ve çalışmanın ilgili bölümlerde ayrıntısı ile verilmiştir.

2. DENEYSEL TASARIM

2.1. Malzemeler

Çimento harçlarının hazırlanmasında malzeme olarak Portland çimentosu, diatomit, pomza, standart kum ve su kullanılmıştır. Kullanılan çimento, Eskişehir ÇİMSA çimento tesislerinde TS EN 197-1 standardına göre üretilmiş CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosudur [17]. Pomza Ispartada bulunan Betaş AŞ'den, Diatomit ise EP Mineral adlı bir ticari firmadan temin edilmiştir. Harç numunelerinin üretilmesinde standart kum ve Eskişehir iline ait şebeke suyu kullanılmıştır. PÇ, pomza ve diatomitin kimyasal ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Malzemelerin kimyasal özellikleri

| Kimyasal özellikler | Çimento, % | Pomza, % | Diatomit, % |
|--------------------------------|------------|----------|-------------|
| SiO ₂ | 20,36 | 56,32 | 85,69 |
| Al ₂ O ₃ | 4,6 | 16,51 | 2,1 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,56 | 3,93 | 0,96 |
| CaO | 62,57 | 4,84 | 0,54 |
| MgO | 1,53 | 1,87 | 0,32 |
| SO ₃ | 3,32 | 0,23 | 0,03 |
| Na ₂ O | 0,26 | 5,18 | 0,25 |
| K ₂ O | 0,66 | 5,09 | 0,18 |
| Cl ⁻ | 0,018 | 0,01 | 0,013 |
| Kızdırma kaybı | 2,38 | 2,65 | 9,97 |
| Serbest CaO | 1,78 | - | - |

Tablo 2. Malzemelerin fiziksel özellikleri

| Malzemeler | Blaine (Özgül yüze), cm ² /g | Özgül ağırlık, g/cm ³ | Tane boyutu (elek üstü), % | |
|------------|--|--|----------------------------------|-----------|
| | | | >90 µm | >45 µm |
| Çimento | 3822 | 3,18 | 3,2 | 0,0 |
| Pomza | 2645 | 2,70 | 7,8 | 40,5 |
| Diatomit | 6112 | 2,58 | 0,1 | 0,0 |

2.2. Çimento Harçlarının Hazırlanması

Deney numunelerinin hazırlanması için Portland çimentosu (PÇ) ile içerisine pomza (%10-20), diatomit (%10-20) ve pomza+diatomit (%5+5-%10+10) ikame edilmiş olan toplam yedi çimento üretilmiştir. Bu çimentoların kodları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çimento kodları

| Çimento | Çimento tipi | Kodu |
|---------|---|--------|
| 1 | PÇ | R |
| 2 | Diatomit ikameli çimento, %10 | 10D |
| 3 | Diatomit ikameli çimento, %20 | 20D |
| 4 | Pomza ikameli çimento, %10 | 10P |
| 5 | Pomza ikameli çimento, %20 | 20P |
| 6 | Pomza ve Diatomit ikameli çimento, %5+5 | 5P5D |
| 7 | Pomza ve Diatomit ikameli çimento, %10+10 | 10P10D |

Basınç dayanımlarının belirlenmesi için 450 g çimento, 1350 g kum ve 225 g su kullanılarak TS EN 196-1'deki esaslara göre üretilen çimento harçları 4x4x16 cm boyutlarında üç gözlü kalıplara döküldükten sonra her kalıp sarsma cihazına yerleştirilerek standartta belirtilen esaslara göre sarsılmıştır. Daha sonra harç örnekleri 24 saat laboratuvarda bekletilmesinin ardından kalıplardan çıkarılarak 20 °C sıcaklıktaki kür havuzlarına yerleştirilmiştir. Numuneler 2, 7, 28 ve 90. hidrasyon günlerinde havuzlardan alınıp kurularak uygun bir şekilde ortalarından kırılmış ve yarım prizma şeklindeki bu numunelerin TS EN 196-1 standardındaki esaslar çerçevesinde basınç dayanımları elde edilmiştir [18].

3. ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ

Adaptif ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), sinir ağlarını ve bulanık çıkarım sistemlerini içeren karma bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Sinirsel ağ uyarlanabilirliği irdelerken, bulanık çıkarım ise belirsizlik ve kararsızlık durumlarını irdelemektedir. Karma sistemler genellikle Sugeno bulanık model olarak adlandırılmaktadır.

Bulanık kural formatı tipik olarak aşağıda olduğu gibi gösterilmektedir.

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x,y)$$

Burada yer alan $z=f(x,y)$ çıkarımdaki ham fonksiyonu, A ve B ise bulanık önerme kümelerini belirtmektedir. Genellikle $f(x,y)$, x ve y giriş değişkenlerini ifade eden

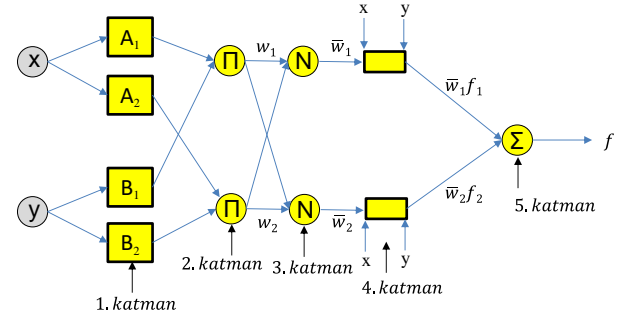
polinom fonksiyondur. Eğer $f(x,y)$ birinci dereceden ise, bu modele birinci derece Sugeno bulanık model tanımlaması yapılmaktadır. Burada f sabit ise bu durumda da sıfırıncı derece Sugeno bulanık model tanımlaması yapılmaktadır. Birinci dereceden Sugeno bulanık çıkarım sisteminde iki bulanık çıkarım *if-then* kuralları Denklem 1 ve 2'de örneklendirilmiştir.

$$\text{Kural 1: if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1, \text{ then } f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1 \quad (1)$$

$$\text{Kural 2: if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2, \text{ then } f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2 \quad (2)$$

Bu çıkarım sistemindeki her bir kuralın çıkışı, sabit terimin eklenmesi ile giriş değişkenlerinin doğrusal bir kombinasyonu, son çıkış ise her bir kuralın çıkışının ağırlık ortalaması olarak ifade edilmektedir (\bar{w}_i) [5, 19-21].

Bir ANFIS mimarisinin temel yapısı Şekil 1'deki gibi örneklenebilir.

**Şekil 1.** İki girişli ve iki kurallı ANFIS mimarisi [20]

Aşağıda bu katmandaki düğüm fonksiyonunun davranışları ayrıntılı olarak ifade edilmektedir.

1. Katman: Birinci katmandaki her *i* düğüm, düğüm fonksiyonuyla uyumlu davranış göstermekte ve çıkışı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$o_{i,1} = \mu A_{(i)}(x), \quad \text{için } i = 1, 2, \text{ veya}$$

$$o_{i,1} = \mu B_{(i-2)}(y), \quad \text{için } i = 3, 4$$

Burada *x* veya *y*, *i*-inci düğüm için girişleri, *A_i* veya *B_{i-2}* kısa, uzun gibi dilsel ifadeleri, yani *o_{i,1}*, A veya B bulanık kümelerinin üyelik derecelerini belirtmekte olup Denklem 3'teki gibi gösterilmektedir.

$$o_{i,1} = \mu A_i(x) = \frac{1}{1 + [(x-c_i)/a_i]^{2b_i}} \quad (3)$$

Burada *a_i*, *b_i*, *c_i* küme parametrelerini belirtmektedir. Bu parametrelerin değerleri genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu için *A_i* dilsel etiketin üyelik derecesini belirtmektedir. Üyelik fonksiyonu tipine göre bu üyelik derecesi fonksiyonları değişik tiplerde bulunmakta ve Denklem 3'teki gibi değişiklik göstermektedir. Bu katmandaki parametreler öncül parametreler olarak tanımlanmakta olup bu katmanın çıkışı, öncül kısmın üyelik derecesinin değeri olarak ifade edilmektedir.

2. Katman: İkinci katmandaki her bir düğüm, bir kuralın bulanık çıkarımı ve cebirsel çarpma operatörü yardımıyla Denklem 4'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$o_{l,2} = w_i = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y) \text{ için } i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

3. Katman: Üçüncü katmandaki i -inci düğüm, bulanık çıkarımların, bütün düğümlerin bulanık çıkarımlarının toplamına oranlanmasıyla Denklem 5'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$o_{l,3} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \text{ için } i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Bu katmanın çıkışları normalize edilmiş olarak adlandırılır.

4. Katman: Dördüncü katmandaki i -inci düğüm, düğüm fonksiyonu ve normalize çıkışın çarpılmasıyla Denklem 6'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$o_{l,4} = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i \cdot x + q_i \cdot x + r_i) \text{ için } i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Bu katmandaki parametreler, ardıl parametreler olarak tanımlanmakta olup \bar{w}_i , 3-üncü katmanın i -inci düğümün çıkışını, p_i , q_i , r_i parametre kümesini belirtmektedir.

5. Katman: Beşinci katmanın tek sabit düğümündeki Σ etiketi, son çıkış olarak bütün gelen işaretlerin toplamı olarak Denklem 7'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$o_{l,5} = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i \cdot f_i}{\sum_i w_i} \text{ için } i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

ANFIS modelinin genel işlev düzeninin açıklandığı bu yapı sabit değildir ve istenildiği gibi değiştirilebilmektedir [5, 19-22].

4. ANFIS MODEL PARAMETRELERİ

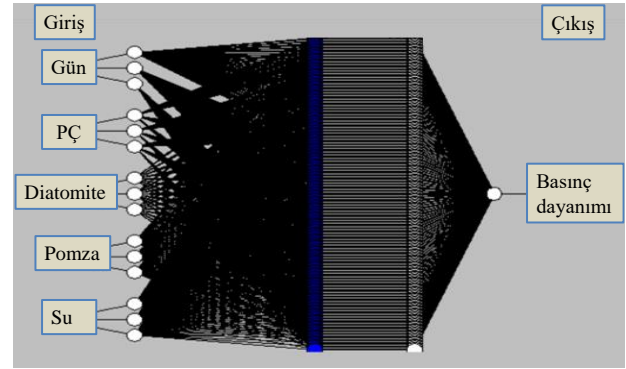
ANFIS model eğitimi için hazırlanan çimento harç numunelerinin basınç dayanımı deneylerinden elde edilen 168 veri eğitim için, her bir deney için standartlarda belirtilen esaslar çerçevesinde alınması gereken bu deney sonuçlarının ortalamaları olan 28 adet veri ise test için kullanılmıştır. ANFIS modelinin eğitim ve test aşamaları, hidrasyon günü, Portland çimento, pomza, diatomit ve su olmak üzere 5 giriş parametresi ve çimento harçlarının basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresinden oluşmaktadır. ANFIS modeline ait giriş ve çıkış parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. ANFIS Modelinin giriş ve çıkış parametreleri

| | | Eğitim ve test verileri | |
|---------------------|----------------------|-------------------------|------|
| | | Min. | Max. |
| Giriş parametreleri | Gün | 2 | 90 |
| | PÇ, g | 360 | 450 |
| | Diatomit, g | 0 | 90 |
| | Pomza, g | 0 | 90 |
| | Su, g | 225 | 270 |
| Çıkış parametreleri | Basınç dayanımı, MPa | 17,4 | 62,7 |

ANFIS modellerinin geliştirilmesi için MATLAB programındaki bulanık mantık araç kutusunda bulunan

ANFIS editöründen faydalanılmıştır. Bulanıklaştırma aşamasında kullanılacak üyelik fonksiyonlarının şekli, yatay eksenindeki konumuna ve alt küme sayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Modellemede üyelik fonksiyonlarındaki bu özelliklerin belirlenebilmesi, modelin başarısı açısından çok önemlidir. Bu özelliklerin en iyi şekilde belirlenebilmesi için bulanıklaştırma işleminden önce kaynak araştırması yapılarak çalışmamıza benzer konularda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda bu çalışma için Gauss2 üyelik fonksiyonu seçilmiş, farklı epochlarla farklı öğrenme algoritmaları denenmiştir. Seçilen ANFIS modellerinin genel yapısı Şekil 2'de, toplam parametre değerleri Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 2. ANFIS modelin blok şeması

Tablo 5. ANFIS Modelinin parametre değerleri

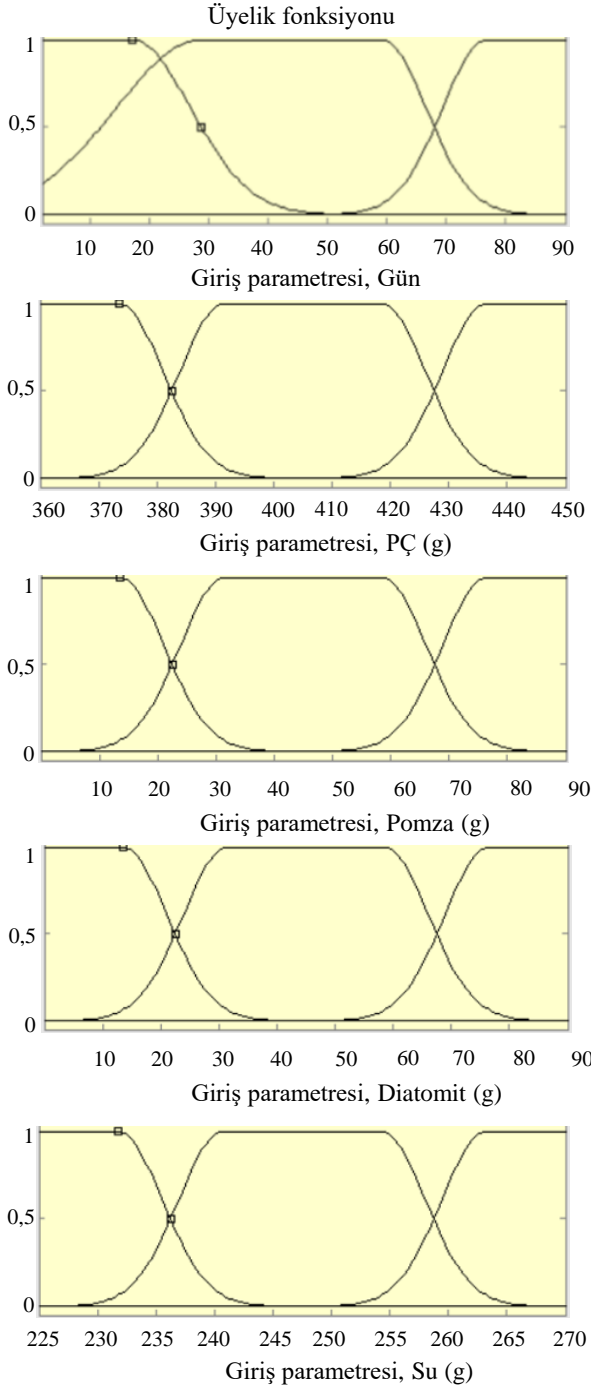
| Parametre bilgisi | ANFIS |
|-----------------------------------|-------|
| Giriş sayısı | 5 |
| Çıkış sayısı | 1 |
| Düğüm sayısı | 524 |
| Doğrusal parametre sayısı | 243 |
| Doğrusal olmayan parametre sayısı | 60 |
| Toplam parametre sayısı | 303 |
| Eğitim veri çifti sayısı | 168 |
| Toplam bulanık kural sayısı | 243 |
| İterasyon (Epoch sayısı) | 2 |

Çalışmada tercih edilen modelden elde edilen giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 3'te verilmiştir.

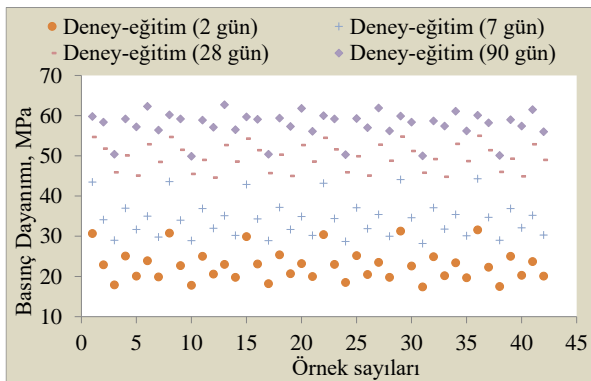
5. BULGULAR

ANFIS modelinde kullanılan deneylerden elde edilip eğitiminde kullanılan 168 ve test için kullanılan numunelere ait 28 basınç dayanımı değeri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

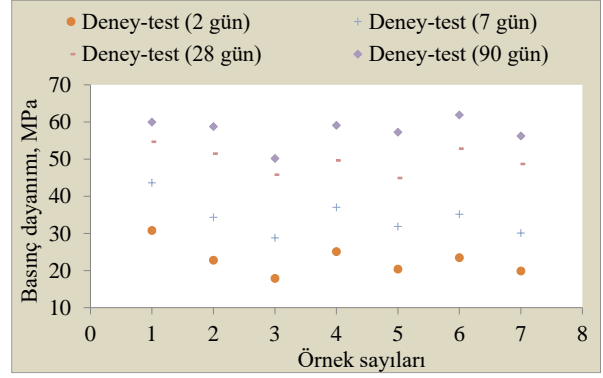
ANFIS modelinde eğitim için kullanılan numunelerin basınç dayanımları 2 günlük numune için 17,4 ile 31,6 MPa arasında, 7 günlük numune için 28,2 ile 44,3 MPa arasında, 28 günlük numune için 44,6 ile 55 MPa arasında, 90 günlük numune için 49,9 ile 62,7 MPa arasında farklı değerler almıştır.



Şekil 3. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları



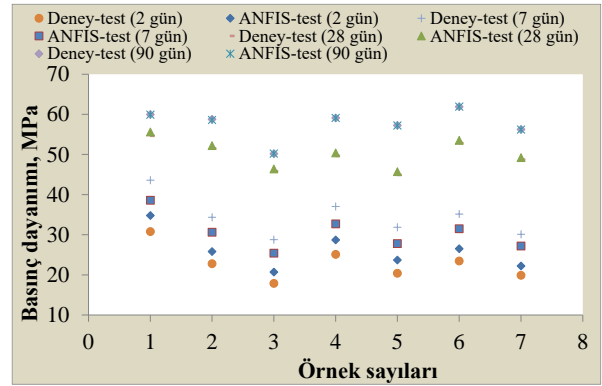
Şekil 4. Eğitim için kullanılan numunelerin basınç dayanımları



Şekil 5. Test için kullanılan numunelerin basınç dayanımları

ANFIS modelinde test için kullanılan numunelerin basınç dayanımları 2 günlük numune için 17,9 ile 30,8 MPa arasında, 7 günlük numune için 28,8 ile 43,6 MPa arasında, 28 günlük numune için 44,9 ile 54,7 MPa arasında, 90 günlük numune için 50,2 ile 61,9 MPa arasında farklı değerler almıştır.

Test aşamasındaki ANFIS modelinden elde edilen tahmin değerleri ile deney sonuçlarından elde edilen veriler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Test aşamasındaki deney ve modelden elde edilen basınç dayanımları

Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçları; regresyon analiz (R^2), ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) ve hata kareleri ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) olmak üzere üç farklı istatistiksel yöntem ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin formülleri Denklem (8), (9) ve (10)'da verilmiştir.

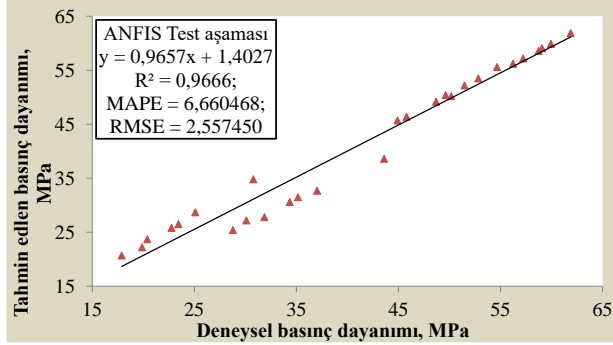
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - r_i)^2} \quad (8)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^N \left| \frac{r_i - y_i}{r_i} \right| \quad (9)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - r_i)^2}{\sum_{i=1}^N (r_i - y_m)^2} \quad (10)$$

Burada N kullanılan veri kümesi sayısını, y_i tahmin edilen değeri, r_i gerçek değeri y_m ise gerçek değerlerin ortalamasını ifade etmektedir [12, 19].

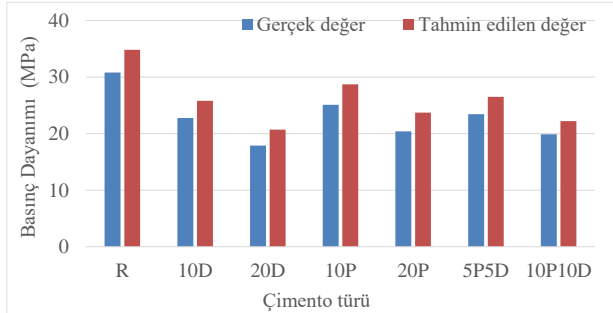
ANFIS modelinden elde edilen tahmin değerleri ve 2, 7, 28 ve 90. hidrasyon günlerindeki basınç dayanımları ile hesaplanan R^2 , RMS ve MAPE gibi istatistiksel veriler Şekil 7’de verilmiştir.



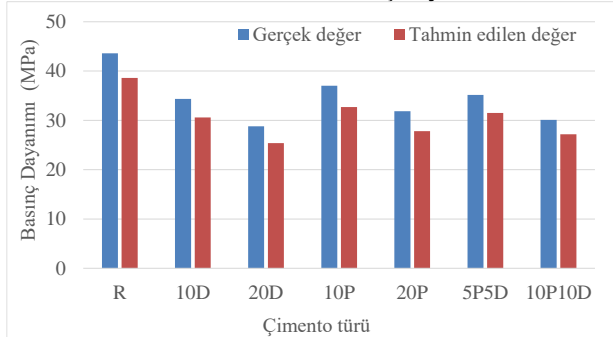
Şekil 7. Test aşamasındaki deney ve modelden elde edilen verilerin istatistiksel özellikleri

Elde edilen test aşamasındaki sonuçlara göre ANFIS modelinin R^2 değerinin 0,9666, MAPE değerinin 6,660468 ve RMSE değerinin ise 2,557450 olarak hesaplandığı belirlenmiştir. İstatistiksel veriler dikkate alındığında tüm ANFIS modelleri için R^2 değerlerinin %96’nın üzerinde elde edildiği, dolayısı ile iyi bir topolojiye sahip olduğu ifade edilebilir.

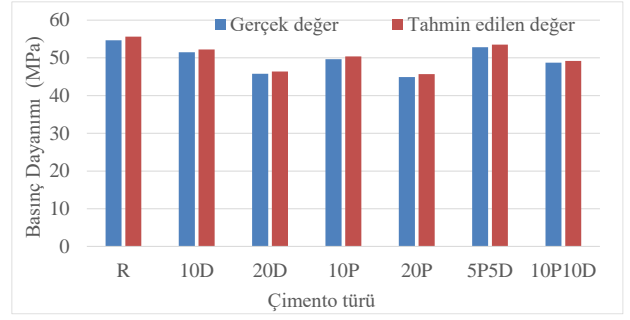
Bunun yanı sıra test aşamasındaki gerçek değerlerle modelden elde edilen basınç dayanımlarının kıyaslanması için 2, 7, 28 ve 90. hidrasyon günündeki veriler sırasıyla Şekil 8, 9, 10 ve 11’de verilmiştir.



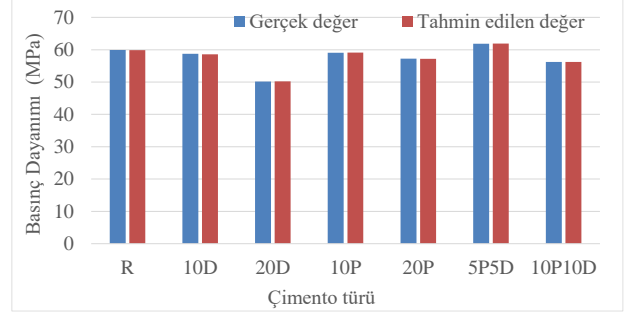
Şekil 8. 2. Hidrasyon günündeki gerçek değerler ile modelden elde edilen basınç dayanımları



Şekil 9. 7. Hidrasyon günündeki gerçek değerler ile modelden elde edilen basınç dayanımları



Şekil 10. 28. Hidrasyon günündeki gerçek değerler ile modelden elde edilen basınç dayanımları



Şekil 11. 90. Hidrasyon günündeki gerçek değerler ile modelden elde edilen basınç dayanımları

2. hidrasyon günündeki basınç dayanımları dikkate alındığında en fazla değişimin -3,30 MPa farkla %16,18 hata oranıyla (Şekil 1), 7. hidrasyon gününde en fazla değişimin 4,07 MPa farkla %12,76 hata oranıyla (Şekil 2), 28. idrasyon gününde en fazla değişimin -0,78 MPa farkla %1,74 hata oranıyla (Şekil 3) %20 pomza ikemeli çimento harçlarında olduğu belirlenmektedir. 90. hidrasyon gününde ise en fazla değişimin 0,15 MPa farkla %0,26 hata oranıyla %10 diatomit ikemeli çimento harçlarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Modelden elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde 2 ve 7. hidrasyon günlerinde kabul edilebilir hata oranıyla basınç dayanımı değerlerine ulaşılırken 28 ve 90. hidrasyon günlerinde ise neredeyse gerçek değerlere yakın tahmin değerlerinin elde edilebildiği görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre;

- Test aşamasındaki deneysel sonuçlar ile ANFIS modelinden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılmasında R^2 , MAPE ve RMS gibi istatistiksel verilerin sırasıyla 0,9666, 6,660468 ve 2,557450 olduğu ve bu verilerin oldukça iyi olduğu,
- 2. hidrasyon günündeki basınç dayanımlarındaki en fazla değişimin %16,18 hata oranıyla %20 pomza ikemeli çimento harçların basınç dayanımlarında olduğu,
- 7. hidrasyon gününde en fazla değişimin %12,76 hata oranıyla %20 pomza ikemeli çimento harçların basınç dayanımlarında olduğu,
- 28. idrasyon gününde en fazla değişimin %1,74 hata oranıyla %20 pomza ikemeli çimento harçların basınç dayanımlarında olduğu,

- 90. hidrasyon gününde en fazla değişimin %0,26 hata oranıyla %10 diatomit ikameli çimento harçlarında olduğu,
- Modelden elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde 2 ve 7. hidrasyon günlerinde kabul edilebilir hata oranıyla basınç dayanımı değerlerine ulaşılırken 28 ve 90. hidrasyon günlerinde ise neredeyse gerçek değerlere yakın tahmin değerlerinin elde edilebildiği dolayısıyla giriş ve çıkış değişkenleri arasında bir uyumun olduğu,
- Bu veriler ışığında geliştirilen bu modelin faydalı ve güçlü bir model olduğu, dolayısı ile bu ANFIS modeliyle oldukça iyi basınç dayanımı tahminlerinin elde edilebildiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak geliştirilen bu ANFIS modeliyle pomza ve diatomit ikamesi ile hazırlanmış çimento harçlarının basınç dayanımlarının çok küçük hata ve kısa bir sürede tahmininin yapılabileceği ifade edilebilir. Ayrıca bu metodun yanında farklı yapay zeka tabanlı uygulamalar ve modellerle tahmin edilmesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Çıkar çatışması

Çalışma ile ilgili olarak, herhangi bir kişi veya kurumla çıkar çatışmasının bulunmadığını Yazarlar olarak onaylıyoruz.

Teşekkür

Yazarlar, bu modelde kullanılmak üzere doktora çalışmasına ait olan deneysel verilerini paylaşan Yılmaz Koçak ve İbrahim Pınarcıya teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- [1] Mohamed, M., & Tran, D. Q. (2021). Risk-based inspection for concrete pavement construction using fuzzy sets and bayesian networks. *Automation in Construction*, 128, 103761.
- [2] Güvenç, U., Koçak, B., & Koçak, Y. (2021). Portland Kompoze Çimentosunun Priz Süresine Metakaolin Etkisinin Bulanık Mantıkla Tahmini. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, 2(2), 29-34.
- [3] Gutierrez-Garcia, F. J., Alayon-Miranda, S., Gonzalez-Diaz, E., & Perez-Diaz, P. (2017). Fuzzy model for calculating of cement mortar ratios. *DYNA*, 92(6), 688-695.
- [4] Koçak, B., Koçak, Y., & Yücedağ, İ. (2020). Prediction of Flexural Strength of Portland-Composite Cement Mortars Substituting Metakaolin Using Fuzzy Logic. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(4), 2377-2387.
- [5] Ozcan, G., Kocak, Y., & Gulbandilar, E. (2018). Compressive strength estimation of concrete containing zeolite and diatomite: an expert system implementation. *Computers and Concrete*, 21(1), 21-30.
- [6] Sevim, U. K., Bilgic, H. H., Cansiz, O. F., Ozturk, M., & Atis, C. D. (2021). Compressive strength prediction models for cementitious composites with fly ash using machine learning techniques. *Construction and Building Materials*, 271, 121584.
- [7] Ozcan, G., Kocak, Y., & Gulbandilar, E. (2017). Estimation of compressive strength of BFS and WTRP blended cement mortars with machine learning models. *Computers and Concrete*, 19(3), 275-282.
- [8] Shariati, M., Mafipour, M. S., Mehrabi, P., Bahadori, A., Zandi, Y., Salih, M. N., ... & Poinngian, S. (2019). Application of a hybrid artificial neural network-particle swarm optimization (ANN-PSO) model in behavior prediction of channel shear connectors embedded in normal and high-strength concrete. *Applied Sciences*, 9(24), 5534.
- [9] McElroy, P. D., Bibang, H., Emadi, H., Kocoglu, Y., Hussain, A., & Watson, M. C. (2021). Artificial neural network (ANN) approach to predict unconfined compressive strength (UCS) of oil and gas well cement reinforced with nanoparticles. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 88, 103816.
- [10] Adesanya, E., Aladejare, A., Adediran, A., Lawal, A., & Illikainen, M. (2021). Predicting shrinkage of alkali-activated blast furnace-fly ash mortars using artificial neural network (ANN). *Cement and Concrete Composites*, 124, 104265.
- [11] Maqsoom, A., Aslam, B., Gul, M. E., Ullah, F., Kouzani, A. Z., Mahmud, M. A., & Nawaz, A. (2021). Using Multivariate Regression and ANN Models to Predict Properties of Concrete Cured under Hot Weather. *Sustainability*, 13(18), 10164.
- [12] Sakthivel, P. B., Ravichandran, A., & Alagumurthi, N. (2016). Modelling and prediction of flexural strength of hybrid mesh and fiber reinforced cement-based composites using Artificial Neural Network (YSA). *Int J GEOMATE Geotech Const Mat Env*, 10, 1623-1635.
- [13] Mansouri, I., & Kisi, O. (2015). Prediction of debonding strength for masonry elements retrofitted with FRP composites using neuro fuzzy and neural network approaches. *Composites Part B: Engineering*, 70, 247-255.
- [14] Koçak, Y., & Gülbandılar, E. (2016). MgSO₄ Etkisindeki Betonların Basınç Dayanımının ANFIS ile Tahmini. 8. International Aggregates Symposium, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Turkey, 251-262.
- [15] Armaghani, D. J., & Asteris, P. G. (2021). A comparative study of YSA and ANFIS models for the prediction of cement-based mortar materials compressive strength. *Neural Computing and Applications*, 33(9), 4501-4532.
- [16] Amin, M. N., Javed, M. F., Khan, K., Shalabi, F. I., & Qadir, M. G. (2021). Modeling Compressive Strength of Eco-Friendly Volcanic Ash Mortar using Artificial Neural Networking. *Symmetry*, 13(11), 2009.
- [17] TS EN 197-1. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları, Ankara, 2012.
- [18] TS EN-196-1. Çimento deney metodları-Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları, Ankara, 2016.

- [19] Temel R. (2017). Uçak Kara Kutusundan Alınan Veriler Kullanılarak Hücüm Açısı Ve Mach Sayısının YSA ve ANFIS ile Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [20] Aali, K. A., Parsinejad, M., & Rahmani, B. (2009). Estimation of Saturation Percentage of Soil Using Multiple Regression, YSA, and ANFIS Techniques. *Comput. Inf. Sci.*, 2(3), 127-136.
- [21] Jang, J. S. (1996, September). Input selection for ANFIS learning. In *Proceedings of IEEE 5th International Fuzzy Systems (Vol. 2, pp. 1493-1499)*. IEEE.
- [22] Bhavani Chowdary, T., & Ranga Rao, V. (2021). Design and Analysis of Lightweight Alkali-Activated Slag and Fly Ash Geopolymer Mortars using ANFIS-SSO. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-14.