Reaktif Pudra Betonlarının Basınç Dayanımının ANFIS ile Tahmini

Araştırma Makalesi / Research Article

İlker Bekir TOPÇU[1*], Eyyüp GÜLBANDILAR[2], Ahmet Burak KOCA[3]

[1]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye
[2]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Eskişehir, Türkiye
[3]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

(Geliş/Received : 30.01.2017 ; Kabul/Accepted : 28.04.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, Reaktif Pudra Betonlarının (RPB) deneysel sonuçları incelenerek Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile basınç dayanımını tahmin için bir modelin tasarımı araştırılmıştır. Bu modeli inşa etmek için 42 numunenin 7. ve 28. gün basınç dayanımları, ANFIS modelinin eğitim aşamaları için alınan deneylerden elde edilmiştir. Bu verilerden, hidratasyon günü, Portland Çimento (PÇ), silis dumanı, kuvars kumu, kum, su, süper akışkanlaştırıcı ve çelik lif olmak üzere 8 giriş parametresi ve betonun basınç dayanım çıkış parametresi olarak ANFIS modelinde kullanılmıştır. ANFIS modelinin 0,015 hata ile eğitim performansına sahip olduğu bulunmuştur. ANFIS test sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, sırasıyla R^2, RMS ve MAPE için 0,9909, 0,0277 ve 0,0004 istatistiksel olarak doğruluk olduğu gözlemlenmiş. Bu sonuçlar, ANFIS modelinin RPB'nin 7. ve 28. gün basınç dayanımlarının tahmini için yararlı bir model olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Reaktif pudra betonu, basınç dayanımı, ANFIS.

Predicting the Compressive Strength of Reactive Powder Concretes by ANFIS

ABSTRACT

This study is designed to investigate the experimental results of Reactive Powder Concretes (RPC) with the adaptive neural fuzzy inference systems (ANFIS) prediction model. In order to construct this model, the compressive strengths of 42 samples on the 7th and 28th days were obtained from the experiments for the training stages of the ANFIS model. This data was used on ANFIS model as hydration day, 8 input parameters including Portland cement, silica smoke, quartz sand, sand, water, super plasticizer and steel fiber and compressive strength of concrete as output parameter. The ANFIS model presented training performance with 0.015 error. When ANFIS test results compared with experimental results, it found that R^2, RMS and MAPE were statistically accurate to 0.9909, 0.027 and 0.0004, respectively. The test results show that ANFIS model is a convenient to use and simple model for estimating the compressive strengths of 7th and 28th days of RPC

Keywords: Reactive powder concrete, pressure resistance, ANFIS

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton, Dünya'da en çok tercih edilen ve her geçen gün teknolojinin gelişmesiyle özellikleri iyileştirilen bir yapı malzemesi olarak yerini almaktadır. Reaktif pudra betonu (RPB) ise basınç dayanımı 150 ile 800 MPa arasında, çekme dayanımı 25 ile 150 MPa arasında, kırılma enerjisi yaklaşık 30000 J/m2, elastisite modülü 50000 ile 75000 MPa arasında ve birim ağırlığı 2500-3000 kg/m3 değerleri arasında olan bir beton türüdür. Bu özellikleri ile RPB'ler üstün mekanik ve fiziksel özeliklere, mükemmel sünekliğe ve çok düşük geçirimliliğe sahip ultra yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozit olmuştur [1,2].

RPB, normal betondan farklı olarak, homojenliğin arttırılması için mikro boyuttaki tanelerin kullanımı, tane dağılımın betonda en az boşluk oluşturacak şekilde düzenlenmesi, puzolanik aktivitenin en üst düzeyde gerçekleşmesi için SD kullanılması ve sıcak kür uygulanmasıyla üretilmiştir [1]. Çimento ile üretilen kompozitlerin yüksek mekanik özeliklere erişebilmesi konusunda son yıllarda birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 1930'larda Freyssinet taze betona priz sırasında uygulanacak basıncın betonun basınç dayanımını artırmada olumlu etkisi olduğunu söylemiştir. 1960'larda ise yüksek sıcaklıkla artan basınç kürü uygulanarak beton basınç dayanımı 650 MPa'ya ulaşmıştır [3].

Reaktif pudra betonu liflerle güçlendirilmiş, çok düşük su-çimento oranında PÇ ve SD karışımının süper akışkanlaştırıcı kullanılarak ince öğütülmüş kuvars unuyla karıştırılması sonucu elde edilen yüksek dayanımlı kompozit olarak bir cümle ile tanımlanabilir. Karışımda çok ince agrega kullanılması sayesinde yapıdaki mikro boşluklar azaltılarak eğilme ve basınç dayanımında artış sağlanabilmiştir. Normal betonlarda kullanılan rijit agrega tanelerinin birbirine teması sonucu matris boyunca oluşan ara yüzdeki boşluklar tane çapının

azaltılması ile ortadan kaldırılmaktadır. Karışımda gerçekleştirilen bu düzenleme ile betonun boşluk oranı azaltılmakta donma-çözülme gibi çevresel etkilerine karşı direnci ise artmaktadır. Normal çimento içerikli kompozitler ile karşılaştırıldığında RPB'nin en belirgin özelliği homojen yapısı, düşük boşluk oranı ve güçlendirilmiş çimento matrisidir. Karışımda ince taneli agreganın ultra ince bir malzeme olan silis dumanı ile birlikte kullanılması agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyini artırarak mekanik özeliklerin iyileşmesine olanak vermektedir. Boşlukların azaltılarak sıkılığın artırılmasının bir diğer yararı da karışım suyunun azaltılmasına olanak vermesidir [4].

2. REAKTİF PUDRA BETONUNUN MEKANİK ÖZELİKLERİ (MECHANICAL PROPERTIES OF REACTIVE POWDER CONCRETE)

Mekanik özelikler açısından RPB'ninde oluşan C-S-H jel yapısının kuvvetlenmesiyle kompozitin yoğun matris yapısı basınç dayanımı en üst değere taşımaktadır. Bu yüksek dayanım RPB'nin yapılarda çelik donatı olmaksızın kullanılmasını sağlamıştır. Kırılma enerjisi açısından bakıldığında ise RPB'nin normal harç numunelere oranla 240 kat daha fazla bir enerjiyi karşıladığı görülmüştür. Buda özellikle deprem etkileri altında enerji yutma kapasitesi düşük olan gevrek beton malzemenin tokluğunun artması demektir. Böylece RPB kullanılan yapılarda sünekliği artan yapısal elemanlar depreme karşı daha dayanıklı bir davranış gösterebilmektedir. Normal (NDB), yüksek dayanımlı (YDB) ve RPB'lere ait bir karşılaştırma Çizelge 1'de yapılmaktadır [5,6].

Çizelge 1. NDB, YDB ve RPB karşılaştırılması (Comparison of NSC, HSC and RPC)

Mekanik Özelikler	NDB	YDB	RPB
Basınç Dayanımı, MPa	20 - 60	60 - 115	200 - 800
Eğilme Dayanımı, MPa	4 - 8	6 - 10	50140
Kırılma Enerjisi, J/m^2	100 - 120	100 - 130	10000 - 40000
Elastisite Modülü, GPa	20 - 30	35 - 40	60 - 75

RPB'lar Yüksek Performanslı Betonlara iyi bir alternatiftir ve yapısal olarak çelikle yarışacak bir potansiyele sahiptir. Üstün dayanımı yüksek kesme kapasitesiyle birleşerek önemli ölçüde ölü yük azalmasına ve limitsiz yapısal eleman şekline olanak verirler. Sünek yapısıyla doğrudan gelen bütün çekme kuvvetlerine karşı koyabilirler. Daha hafif elemanlarla atalet yüklerini azaltarak, azalan kesit alanlarıyla daha büyük sehime izin vererek ve daha yüksek enerji yutmayı sağlayarak sismik performansta gelişim sağlarlar. Düşük ve birbirine bağlı olmayan boşluk oranı önemli dayanıklılık ve taşıma özelikleri sağlar ve nükleer malzemelerin depolanması için en uygun malzemedirler [7]. Yüksek dayanımlı betonlarla (YDB) karşılaştırıldıklarında RPB'lerin fiziksel özeliklerinin çok daha üstün olduğu Çizelge 2'de görülmektedir [6].

Çizelge 2. RPB ile YDB karşılaştırılması (Comparison of RPC and HSC) [7]

Aşınma Kapasitesi	2.5 kat az
Su Emmesi	7 kat az
Korozyon Hızı	8 kat az
Klorür İyonu Difüzyonu	25 kat az

3.DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1 Malzeme (Materials)

3.1.1 Portland Çimentosu (Portland Cement)

Bağlayıcı olarak CEM I 52,5 R tipi PÇ kullanılmıştır. PÇ'nin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Temel fiziksel ve kimyasal özellikleri (Basic physical and chemical properties)

Görünüm	Gri veya beyaz granül toz	**Bağıl Yoğunluk (g/cm^3)**	2,75 - 3,2
Koku	Yok	**Görünür Yoğunluk (g/cm^3)**	0,9 - 1,5
pH (Suda) 20 °C	9 - 14	**Viskozite cPs 25 °C**	Uygulaması yok.
Kaynama Noktası (°C) 760 mmHg	Uygulanması yok.	**Buhar Basıncı hPa 20°C**	Uygulaması yok.
Erime Noktası (°C)	>1200 °C	**Patlama Tehlikesi**	Ürünün patlama tehlikesi yoktur.
Parlama Noktası (°C) 760 m	Uygulanması yok.	**Oksidasyon Özellikleri**	Uygulaması yok.
Kendiliğinden Alevlenme Sıcaklığı (°C)	Uygulanması yok.	**Ortalama Tane İriliği (Mikron)**	1 -30
Ayrışma Sıcaklığı (°C)	Uygulanması yok.	**Suda Çözünebilirlik (%)**	0,1 - 1,5
Ayrılma Katsayısı	Uygulanması yok.	**Buhar Yoğunluğu**	Uygulaması yok.

3.1.2 Silis Dumanı (Silica Fume)

Silis dumanı silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur [7].

Bu malzemenin başlıca özelikleri; %85'ten %98'e kadar SiO_2 içeriği, 0.1-0.2 mikron tane büyüklüğü, küresel tane şekli ve amorf yapısıdır [10].

Yapılan araştırmalar SD'li üretimlerde en iyi sonuçların zirkonyum endüstrisinden sağlanan silis dumanlarının kullanımı ile elde edildiğini göstermektedir. Bunun nedeni bu malzemelerin bütün kirlilik ve tortulaşmadan arınmış olmasıdır [1].

3.1.3 Kuvars Unu (Quartz Sand)
Ortalama tane boyutu 4 μm veya 300-1180 μm aralığında olan kuvars kumu kullanımı hemen hemen aynı basınç ve çekme dayanımlarını vermektedir.

3.1.4 Çelik Lif (Steel Fiber)
Bu çalışmada düz şekilli kısa kesilmiş çelik lifler kullanıldı, üstü pirinç kaplı ve sarı renkte olup, özelikleri Çizelge 4'de verilmektedir.

Çizelge 4. Çelik Lifin teknik özellikleri (Mechanical properties of steel fiber) [11].

Boy (mm)	6
Çap (mm)	0,15
Narinlik	37,5
Özgül Ağırlık (kg/dm^3)	7,85
Çekme Dayanımı (MPa)	2250

3.1.5 Su-Çimento Oranı (Water-Cement Ratio)
Reaktif pudra betonlarında su/çimento oranı çok düşük olup, 0,15 civarlarındadır. Su/çimento oranının düşük olması, tüm çimento tanelerinin hidrate olmasını engeller. Hidrate olmayan çimento taneleri, RPB'de kullanılan agrega boyutuna yakın olduğundan beton dayanımına katkıda bulunurlar. Su/çimento oranının azalması ile çimento hamurundaki ortalama boşluk çapı küçülür, toplam boşluk miktarı azalır [3].

4. UYARLAMALI SİNİRSEL BULANIK ÇIKARIM SİSTEMLERİ (ADAPTIVE NEURAL FUZZY INFERENCE SYSTEMS)

Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems: ANFIS) hem sinir ağlarını hem de bulanık çıkarım sistemlerini içeren bir karma sistem olarak ifade edilmektedir. Bu karma sistemlerde; bulanık çıkarım, belirsizlik ve karasızlık durumlarını irdelerken, sinirsel ağ uyarlanabilirliği irdelemektedir. Karma sistemler genellikle Sugeno bulanık model olarak adlandırılmaktadır. Takagi, Sugeno ve Kang, giriş-çıkış veri kümelerinden bulanık kurallar üretebilen bu modeli önermişlerdir. Tipik bir bulanık kural formatı Denklem (1)'deki gibidir.

If x is A and y is B then z = f(x,y) (1)

Burada A ve B bulanık önerme kümelerini, z=f (x,y) ise çıkarımdaki ham fonksiyonunu göstermektedir. Genellikle f(x,y), x ve y giriş değişkenlerini göstermek üzere bir polinom fonksiyonudur. Eğer f(x,y) birinci dereceden bir polinom ise bu model, birinci derece Sugeno bulanık model olarak tanımlanır. Eğer f sabit ise, sıfırıncı derece Sugeno bulanık model denir. Birinci derece Sugeno bulanık çıkarım sistemi için aşağıdaki gibi iki bulanık çıkarım If-then kuralları Denklem (2) ve (3) ile örneklenebilir.

If x is A_1 and y is B_1 , then $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$ (2)
If x is A_2 and y is B_2 , then $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$ (3)

Bu çıkarım sisteminde her bir kuaralın çıkışı, sabit termin eklenmesi ile giriş değişkenlerinin doğrusal bir kombinasyonudur. Son çıkış, her bir kuralın çıkışının ağırlık ortalamasıdır ($\overline{w_i}$) [8]. Projede elde edilen ANFIS mimarisinin yapısı Şekil 1'de görülmektedir.

Aşağıda aynı katmandaki düğüm fonksiyonunun davranışları ayrıntılı olarak ifade edilmektedir (Not: O_i^j , j-inci tabakadaki i-inci düğümün çıkışını göstermektedir).

1. Katman: Bu katmandaki her i düğüm, düğüm fonksiyonuyla uyumlu davranış gösterir ve çıkışı aşağıdaki gibidir.

$$O_i^j = A_i(x), \qquad için \quad i = 1,2$$

$$O_i^j = B_{i-2}(y), \qquad için \quad i = 3,4$$

Burada x veya y i-inci düğüm için girişleri ve A_i veya B_{i-2} ise uzun, kısa gibi dilsel ifadeleri göstermektedir. Diğer bir ifadeyle O_i^j , birinci katman için $j = 1$ alınırsa ve A veya B bulanık kümelerinin üyelik dercelerini göstermektedir ve Denklem (4) ile gösterilmektedir.

$$O_i^1 = \mu A_i(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(x - c_i\right)/a_i\right]^{2b_i}} \tag{4}$$

Burada $\{a_i, b_i, c_i\}$ küme parametrelerini göstermektedir. Genelleştirlmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu için bu parametrelerin değerleri A_i dilsel etiketin üyelik derecesini verir. Bu üyelik derecesi fonksiyonlarının değişik tipleri bulunmaktadır ve üyelik fonksiyonuna tipine göre Denklem 4 değişiklik göstermektedir. Bu katmandaki parametreler öncül parametreler olarak tanımlanmaktadır. Bu katmanın çıkışı öncül kısmın üyelik derecesinin değeridir [8].

2. Katman: Bu katmandaki her bir düğüm cebirsel çarpma operatörü yardımıyla bir kuralın bulanık çıkarımı ile Denklem (2)'deki gibi hesaplanmaktadır (Genellikle T-norm dönüşümü için mantıksal *VE* işlemi tercih edilebilir) [8].

$$O_i^2 = w_i = \mu A_i(x).\mu B_i(y) \qquad i = 1,2,...,n \tag{2}$$

3. Katman: Bu katmandaki i-inci düğümün bulanık çıkarımının bütün düğümlerin bulanık çıkarımlarının toplamının oranlanmasıyla Denklem (3)'deki hesaplanmaktadır [8].

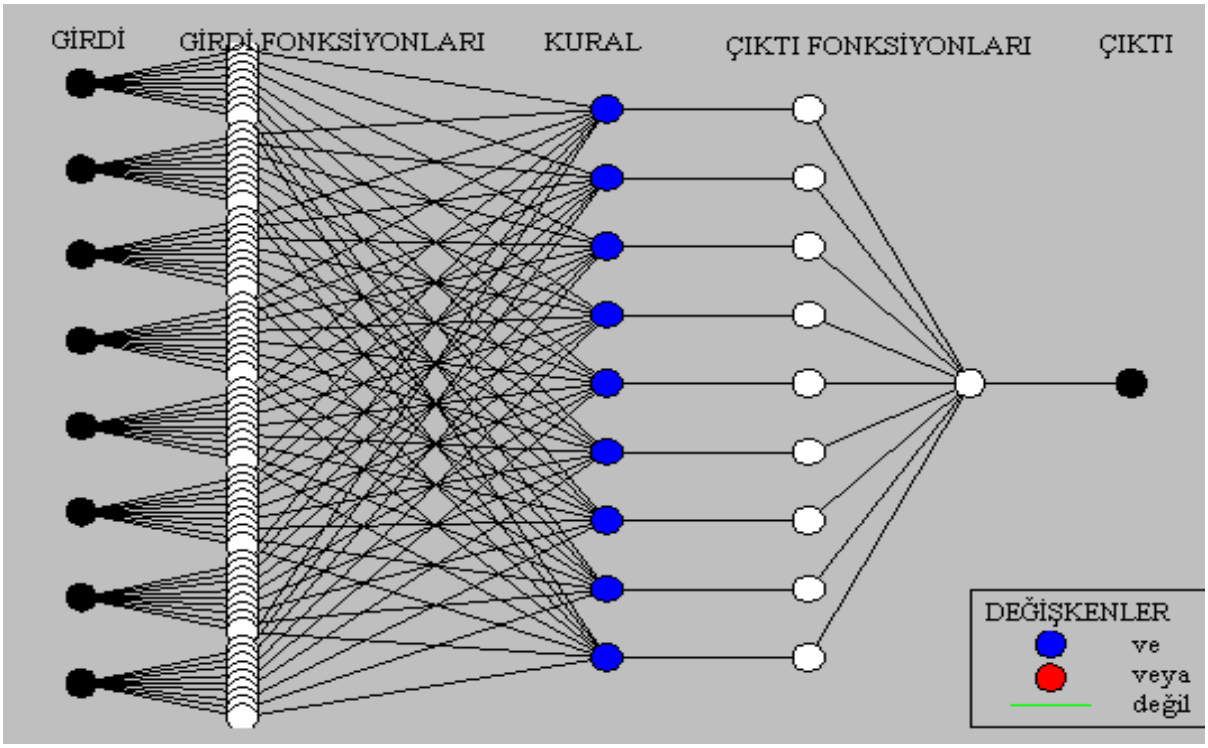
$$O_i^3 = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + .. + w_n} \qquad i = 1,2,...,n \tag{3}$$

Bu katmanın çıkışları normalize edilmiş olarak adlandırılır.

4. Katman: Bu tabakadaki i-inci düğüm, düğüm fonksiyonunun ile normalize çıkışın çarpılması ile denklem (4)'deki gibi hesaplanmaktadır [8].

$$O_i^4 = \overline{w_i}.f_i = \overline{w_i}.(p_i.x + q_i y + r_i) \quad i = 1,2,\ldots,n \tag{4}$$

Burada $\overline{w}_i$, 3-üncü katmanın i-inci düğümün çıkışını ve $\{p_i, q_i, r_i\}$ ise parametre kümesini göstermektedir. Bu katmandaki parametreler ardıl parametreler olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1. Projede elde edilen ANFIS mimarisi (The ANFIS model of the Project)

5. Katman: Bu katmanın tek sabit düğümündeki Σ etiketi bütün gelen işaretlerin toplamı olan son çıkış olarak Denklem (5)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$O_i^5 = top.çıkış = \sum_i \overline{w_i}.f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \; i = 1,2,\dots,n \quad (5)$$

ANFIS'in temel öğrenme kuralı olarak «backpropagation gradient descent» kullanılmakta ve giriş düğümüne çıkış katmanı tekrar geri verilmekte ve hata işaretleri kendi kendini çağırarak (rekürsif) hesaplanmaktadır (Her düğümün çıkışı ile ilgili kare hata türevidir). Bu öğrenme kuralı tam olarak ortak ileri beslemeli sinir ağlarında kullanılan geri yayılım öğrenme kuralı aynıdır [8].

5. DENEYSEL TASARIM VE MODEL PARAMETRELERİ (EXPERIMENTAL DESIGN AND MODEL PARAMETERS)

Önce kullanılan malzemelerin cinsi sabit olmak üzere miktarlarının ve sonuç basınç davranışlarının değişiklik gösterdiği 42 eğitim verisi ve 10 test verisi programa tanıtılmıştır. Verilerin elde edilmesi aşamasında daha önce Reaktif Pudra Betonlarının incelendiği ve deneysel çalışmaların yapıldığı makaleler araştırılmış ve incelenmiştir [12,13,14,15,16,17].

Tasarımında 8 giriş parametresi ve 1 çıkış parametresinin kullanıldığı bu çalışmada sırasıyla PÇ, SD, Kuvars Unu, Kum, Çelik Lif, Süper Akışkanlaştırıcı ve Su miktarları, ayrıca çıkış parametresi olan Basınç Dayanımı parametreleri ayrıntılı olarak Çizelge 2'de verilmiştir.

ANFIS modelinin eğitimi için deneylerden elde edilen 42 veri kullanılırken, her bir beton türünün basınç dayanımını belirlemek için 10 veri, test aşaması için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ANFIS modelinde sekiz adet giriş değişkeni (PÇ, SD, Kuvars unu, Kum, Süperakışkanlaştırıcı, Çelik Lif, Su ve Gün) ve çıkış değişkeni olacakta RPB'nin basınç dayanımı seçilmiştir. Bu modelde farklı epochlarla farklı öğrenme algoritmaları denendikten sonra en iyi sonucun hibrit öğrenme algoritmasında olduğunu belirlenmiştir. Modelimizde tüm giriş değişkenleri için ''gbellmf'' üyelik fonksiyonu seçilmiştir çıkış parametresinin üyelik fonksiyonu ise "lineer" olarak seçilmiştir Epoch değerlerinden elde edilen hata oranı ise 0.015 olarak olağan miktarda bulundu. Giriş ve çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 2'de görülmektedir.

Çizelge 5. Parametreler (Parameters)

		Eğitim ve Test Verileri	
		Min.	Maks.
Giriş Parametreleri	PÇ	657	1000
	Silis Dumanı	0	320
	Kuvars Unu	0	856.16
	Kum	490	1760
	Süperakışkanlaştırıcı	0	100
	Çelik Lif	0	340
	Su	138	300
	Hidratasyon Günü	0	28
Çıkış Parametreleri	Basınç Dayanımı	53.88	178.2

6. BULGULAR (RESULTS)

Bu çalışmada, basınç dayanımı değerleri ANFIS ile modellenmiştir. ANFIS modelinin eğitimi için 42 veri kullanılırken, test için 10 veri kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen basınç dayanımları mavi renkli dairelerle, ANFIS değerleri ise kırmızı renkli toplam işareti ile Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere basınç dayanımlar ve ANFIS değerleri birbirlerine paralel şekilde yer almaktadır. Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen test sonuçlarının karşılaştırılmasında ise; belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak yüzde hata

(MAPE) ve karekök ortalama hata (RMS) kriterleri kullanılmış, bu kriterler Denklem (6), (7) ve (8)'le de hesaplanabilir [8]. Burada ***t*** hedef değeri, ***o*** ANFIS çıkış değerini ve ***N*** toplam örneklem sayısını göstermektedir. Elde edilengrafikler Şekil 2 ve 3'te programdan alınarak gösterilmiştir.

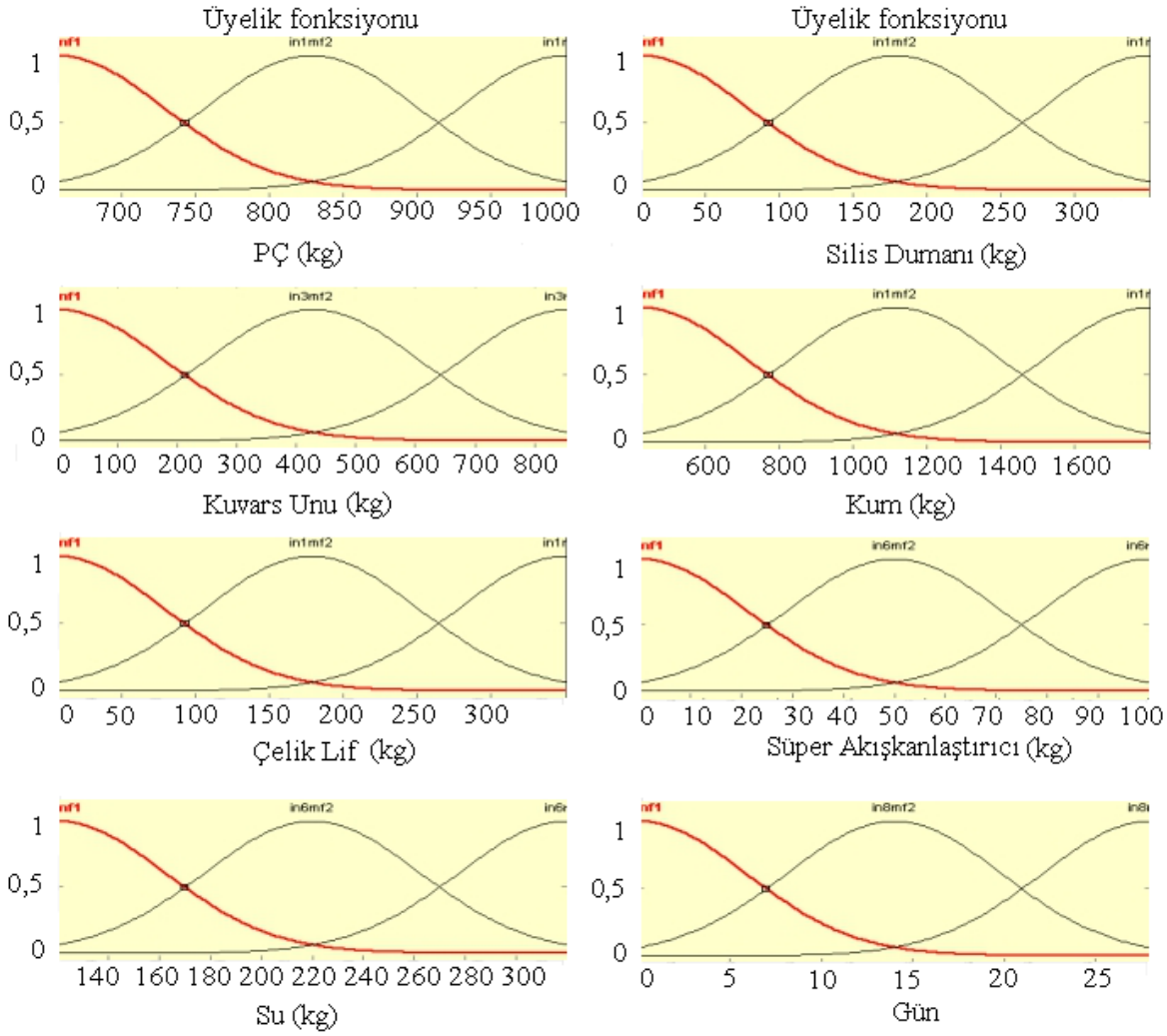
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{N}(t_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(O_i)^2}\right) \quad (6)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|t_i - O_i|^2} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\left(\frac{t_i - O_i}{O_i}\right)\right| * 100 \quad (8)$$

Deneysel sonuçlar ile ANFIS modelinden elde edilen test aşamasındaki basınç dayanımları Denklem 6, 7 ve 8 ile istatistiksel karşılaştırma sonuçları hesaplanmıştır. Elde edilen istatistiksel sonuçlar, R^2, RMS ve MAPE için sırasıyla 0,9909, 0,0277 ve 0,0004 olduğu ve bu sonuçlara göre her iki veri arasında oldukça anlamlı sonuçlar olduğu belirlenmiştir. Belirleme katsayısı (R^2) ile elde edilen hata oranı 0,9909 olmaktadır bu değerin 1,0 değerine ‰1 hata ile yakın olması ANFIS sonuçlarının doğru olduğunu göstermektedir. Şekil 4'te Belirleme katsayısı (R^2) grafiği gösterilmiştir.

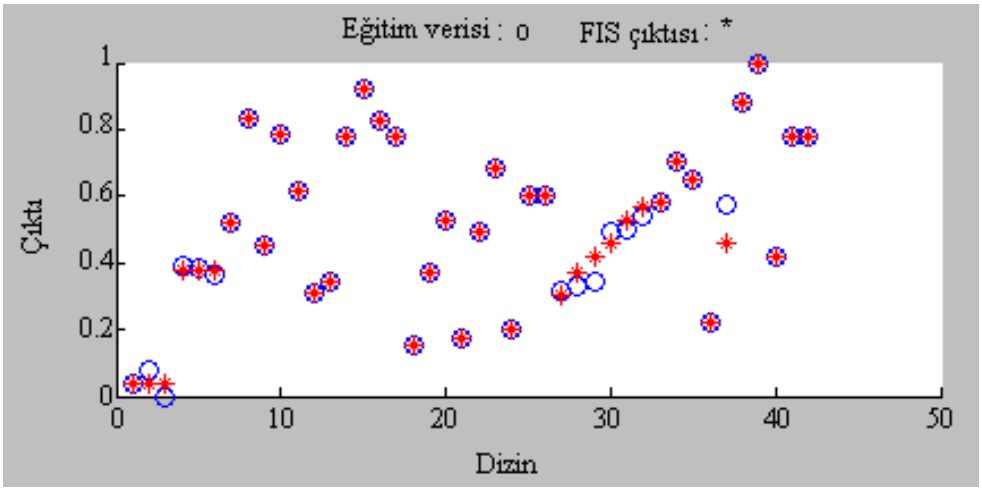
Bu nedenle de giriş ve çıkış değişkenleri arasında bir uyumun olduğu ve bu ANFIS modelinden oldukça iyi basınç dayanımı tahminleri elde edilebileceği, dolayısı ile geliştirilen bu modelin yararlı ve güçlü bir model olduğu belirlenmiştir.



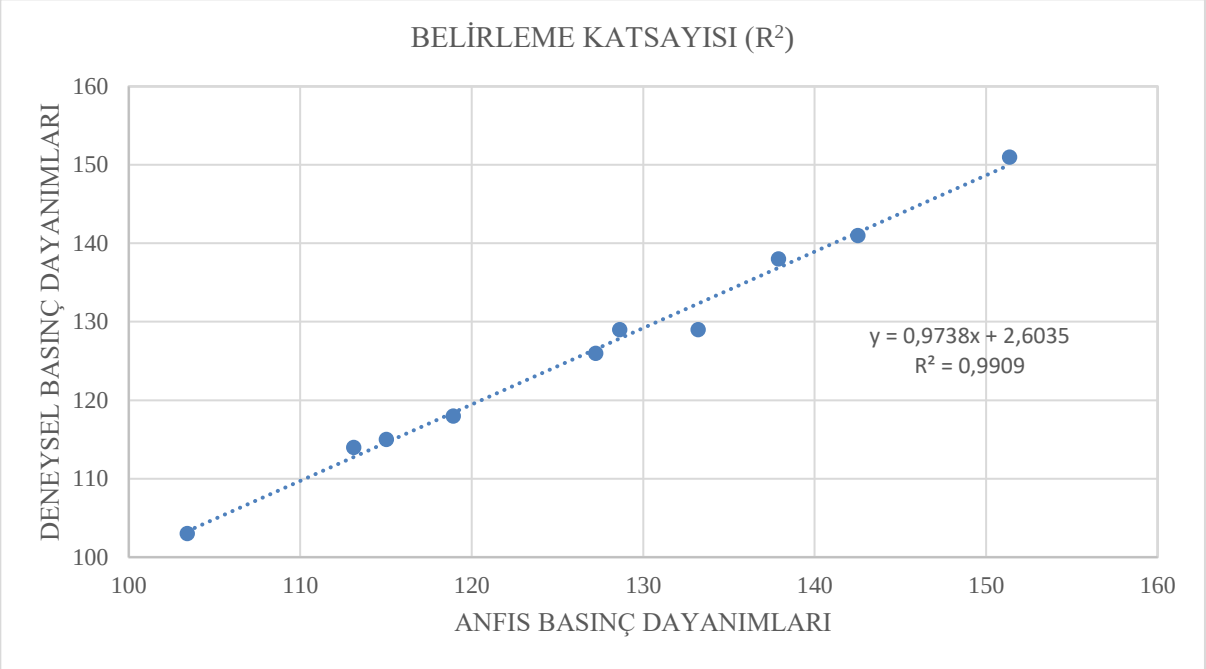
Şekil 2. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları (Membership functions of input variables)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER
(CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Yapılan bu çalışmada Reaktif Pudra Betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için geliştirilen ANFIS modeli; hidratasyon günü, Portland çimento, Silis Dumanı, Kuvars Unu, Kum, su ve Süperakışkanlaştırıcı olmak üzere 8 giriş parametresi ve betonun basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresinden oluş-muştur.



Şekil 3. Eğitim parametreleri ve ANFIS sonuçları (Training parameters and ANFIS results)



Şekil 4. Dağılım grafiği (Scatterplot)

Sonuç olarak geliştirilen bu model ile Reaktif Pudra Betonların çok küçük hata ile kısa sürede basınç dayanımlarının tahmininde bulunulabileceği görülmüştür. Ayrıca bu yöntemin yanında yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık gibi uzman sistemler kullanılarak farklı modellerle tahmin edilmesinin yararlı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Richard P., Cheyrezy M., "Composition of Reactive Powder Concretes", ***Cement and Concrete Research***, 25: 1501-1511, (1995).

[2] Dugat J., Roux N., Bernier G., "Mechanical Properties of Reactive Powder Concretes", ***Materials and Structures***, 29 (188): 233-260, (1996).

[3] Topçu İ.B., Karakurt C., "Reaktif Pudra Betonu ve Uygulamaları", ***Akdeniz İnşaat Haber***, 2: 32-33, (2005).

[4] Dallaire E., Aitcin P. C., Lachemi M., "High Performance Powder", ***Civil Engineering***, 68: 48-51, (1998).

[5] Taşdemir M. A., Bayramov F., Kocatürk N., Yerlikaya M., "Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler", ***Beton 2004 Kongresi,*** İstanbul, 24-57, (2004).

[6] Matte V., Moranville M., "Durability of reactive powder composites: Influence of silica fume on the leaching properties of very low water/binder pastes", ***Cement and Concrete Composites***, 21: 1-9, (1999).

[7] Yeğinobalı A., "Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı", ***TÇMB/AR-GE Enstitüsü***, Ankara, (2002).

[8] Jang J.S.R., "Input selection for ANFIS learning, Fuzzy Systems", ***Proceedings of the Fifth IEEE International Conference***, 2: 1493 –1499, (1996).

[9] Ozcan F., Atis C.D., Karahan O., Uncuoglu E., Tanyildizi H., "Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long–term compressive

strength of silica fume concrete", ***Advances in Engineering Software,*** 40: 856–863, (2009).

[10] Sellevold E. J., Nilsen T., "Condensed Silica Fume In Concrete : A world review, Supplementary Cementing Materials for Concrete", ***CANMET, Canadian Government Publishing Center,*** 167-229, (1987).

[11] İpek M., İyiliksever R., Yılmaz K., "Atık Mermer Bulamacının Reaktif Pudra Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi", ***SAÜ Fen Bil Dergisi***, 18(3): 183-192, (2014).

[12] Topçu İ.B., Karakurt C., "Reaktif Pudra Betonları", ***TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri***, 437(3): 25-30, (2005).

[13] Bali I., Kushartoma W., Jonathan J., "Effect of In-Situ Curing on Compressive Strength of Reactive Powder Concrete", ***SMAE 2016, MATEC Web of Conferences***, 67, 03013: 1-6, (2016).

[14] Topçu İ.B., Uygunoğlu T., Mumyakmaz Y.A., "Reaktif Pudra Betonunun Teknik Özelikleri Üzerine Bir İnceleme", ***El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi***, 1(1): 29-46, (2014).

[15] Kushartoma W., Christianto D., Suryani J., "Flexural Toughness Reactive Powder Concretes", ***Jurnal Teknik Sipil,*** 23(2): 107-112, (2016).

[16] Rajkumar D., Bage A.A., "Experimental Investigation of Mechanical and Durability properties of Reactive Powder Concrete (RPC)", ***International Journal of Latest Technology in Engineering, Management and Applied Science (IJLTEMAS)***, 5(7): 30-33, (2016).

[17] Saravanan J., Poovazhagan S., "Analytical Study on Compressive Strength of Reactive Powder Concrete", ***International Journal of Recent Scientific Research***, 6(5): 3872-3880, (2015).