

Makalenin Geliş Tarihi : 26.04.2009  
Makalenin Kabul Tarihi : 25.05.2009

## **KİMYASAL ETKİDE KALMIŞ AAYFC'Lİ HARCIN DAYANIMININ YSA VE BM KULLANILARAK TAHMİNİ**

İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Mehmet CANBAZ<sup>1</sup>, Mustafa SARIDEMİR<sup>2</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada çeşitli alkali karışımları kullanılarak aktive edilen cürüflü harçlar üretilmiş, asit içeren ve sülfat içeren ortamlarda bekletilmişlerdir. Daha sonra dayanım kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmadan yararlanılarak yapay sinir ağları ve bulanık mantık yönteminde modeller geliştirilmiştir. Modellerin eğitiminde kimyasal etki altındaki kür süresi, karışımında kullanılan cüruf oranı, kireç, alçıtaşı ve aktivatör cinsi girdi, basınç dayanımı sonuçları ise çıktı olarak kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen modelleri test etmek için sadece girdi değişkenleri kullanılarak basınç dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Modeller eğitildikten sonra yapılan testler sonucunda gerçek değerlere yakın değerler elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Alkali; Cüruf; Kimyasal etki; Yapay sinir ağları; Bulanık mantık.

## **PREDICTION OF STRENGTH OF AABFS MORTAR EXPOSED TO CHEMICAL EFFECT USING ANN AND FL**

**ABSTRACT:** In this study, the activated slag mortars were produced using various Alkali mixtures for this purpose and were cured under the medium containing acid and sulfate. Then, compression strength losses were determined. In addition to that, artificial neural networks (ANN) and fuzzy logic models of them were developed using the experimental data. For the training of the models, the cure duration of the specimen under the chemical effect, the slag ratio of the Alkali activated slag mortar, the mass of lime, the mass of gypsum and activator type were used as inputs and compression strength was used as output. To test the models, compression strength was predicted using the input variables. The test results of the models were very close to that of the experimental data.

**KEYWORDS:** Alkali; Slag; Chemical effect; ANN; Fuzzy Logic.

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Blm., Meşelik Kamp., 26480 ESKİŞEHİR

<sup>2</sup> Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bor Yolu, 51100 NIĞDE

## ***I. GİRİŞ***

Yüksek fırın cürufu (YFC) demir üretimi sırasında açığa çıkmaktadır. Demir cevherleri, kalktaşı ile birlikte kok kömürü kullanılarak yüksek fırınlarda 1400-1600 °C'ye kadar ısıtılarak yabancı maddelerden arındırılır. Demirin yoğunluğu yüksek olduğu için diğer maddeler eriyik halindeki demirin üzerinde yüzmektedir. İki ayrı çıkıştan demir eriği ve üzerindeki maddeler ayrılır. Bu yabancı maddeler YFC olarak adlandırılır. Amorf yapıya sahip olan YFC yüksek miktarlarda SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermesi nedeni ile puzolanik özellik göstermektedir. YFC'nin bağlayıcı özeliği 1774 yılından beri bilinmektedir. YFC kullanımı betonun dayanım ve dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir. Sülfata dayanıklılığı arttırmada YFC etkilidir. YFC katkılı çimentolarda C<sub>3</sub>A miktarı az olduğu için sülfata dayanıklılığı oldukça fazladır. YFC miktarı çimentoda % 65 olduğunda, sülfata dayanıklı çimento olarak kabul edilir [1, 2].

YFC sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), cam suyu (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) gibi alkalilerle aktive edilebilmektedir [3, 4]. Beton dayanımı ve işlenebilirliği kullanılan alkali kombinasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir [5]. Yapılan çalışmalarda YFC'nin alkalilerle aktive edilmesi ile çimento yerine çok yüksek oranlarda kullanılabileceği görülmüştür. YFC kullanılması ile betonun kimyasal etkiler altındaki performansı ve işlenebilme artmakta, geçirimsizlik azalmaktadır. Deniz yapıları için önemli sorun olan sülfat etkisine karşı dayanıklılığı artmaktadır. Türkiye'de YFC kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. YFC kullanılması ile endüstriyel bir atık değerlendirildiği için hem Türkiye ekonomisine kazanç sağlanmış olacak hem de çevre kirliliği önlenmiş olacaktır [6-11].

## ***II. YÖNTEM***

### ***II.1 Malzemeler***

***Agrega:*** Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Çimento Fabrikası tarafından hazırlanan TS EN 196-1'e uygun olan Rilem Cembureau Standart kumu kullanılmıştır.

**Çimento:** ÇİMSA Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Eskişehir Fabrikası'nın üretimi olan CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

**YFC:** Erdemir fabrikasından sağlanmıştır. İnceliği 60 µ küçük kalacak şekilde öğütülmüştür. Öğütme sırasında % 2 alçı taşı katılmıştır. Bu YFC'ye ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

**Alkaliler:** YFC'yi aktive etmek için sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), cam suyu (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) kullanılmıştır.

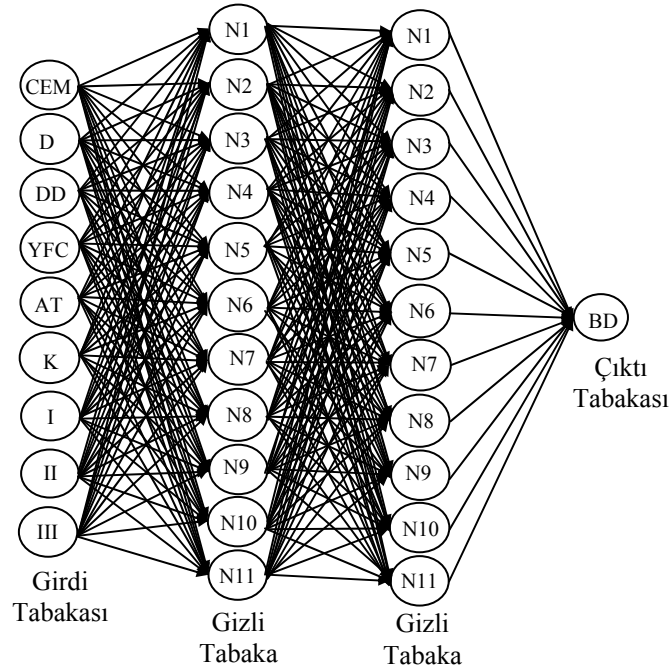
**Su:** Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun sülfat içeriği 45 mg/lt, kalsiyum içeriği 57 mg/lt, magnezyum içeriği 83 mg/lt, klorür içeriği 49 mg/lt, buharlaşma bakiyesi 438 mg/lt ve pH 6.75'tür.

**Çizelge 1. Kullanılan çimento ve YFC'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri**

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MGO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	Kızdırma Kaybı	İncelik cm <sup>2</sup> /g	Özgül Ağırlık
<b>YFC</b>	34,09	12,19	0,61	30,82	6,14	0,03	0,45	0,56	1,57	0,001	0,1	2230	2,84
<b>CEM</b>	19,23	5,44	3,48	63,62	0,88	0,09	0,55	0,68	2,17	0,011	3,2	2860	3,11

## II.2 Geliştirilmiş YSA Modeli

Çalışmada 117 adet deney sonucu YSA modelindeki işlemlerde kullanılmıştır. 78 adet deney sonucu eğitim modellerinde, 39 deney sonucu test modellerinde kullanılmıştır. CEM, D, DD, YFC, AT, K, I, II ve III malzeme oranları olmak üzere toplam 9 özellik modelin giriş katmanında, sertleşmiş harç özelliklerinden basınç dayanımı (BD) değerleri modelin çıkış katmanında kullanılmıştır. YSA modelinde Şekil 1'de görüldüğü gibi iki adet gizli katman seçilmiştir.



*Şekil 1. YSA modelinde kullanılan sistem.*

Birinci katmanda 11 ve ikinci katmanda 11 hücre belirlenmiştir. Gizli tabaka ve çıkış tabakasındaki hücre çıkışlarında doğrusal olmayan Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Momentum oranı ( $\eta$ ) ve öğrenme oranı ( $\alpha$ ) değerleri bulunarak iterasyonlarla model eğitilmiştir. Eğitilen model sadece girdi değerleriyle test edilmiş ve deney sonuçlarına yakın değerler bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan parametre değerleri: Girdi tabakası birim sayısı = 9; gizli tabaka sayısı = 2; birinci gizli tabaka birim sayısı = 11; ikinci gizli tabaka birim sayısı = 11; çıktı tabakası birim sayısı = 1; momentum oranı = 0,96; öğrenme oranı = 0,70; eğitim sonundaki hata = 0,000019.

### ***II.3 Geliştirilen Bulanık Mantık Modeli***

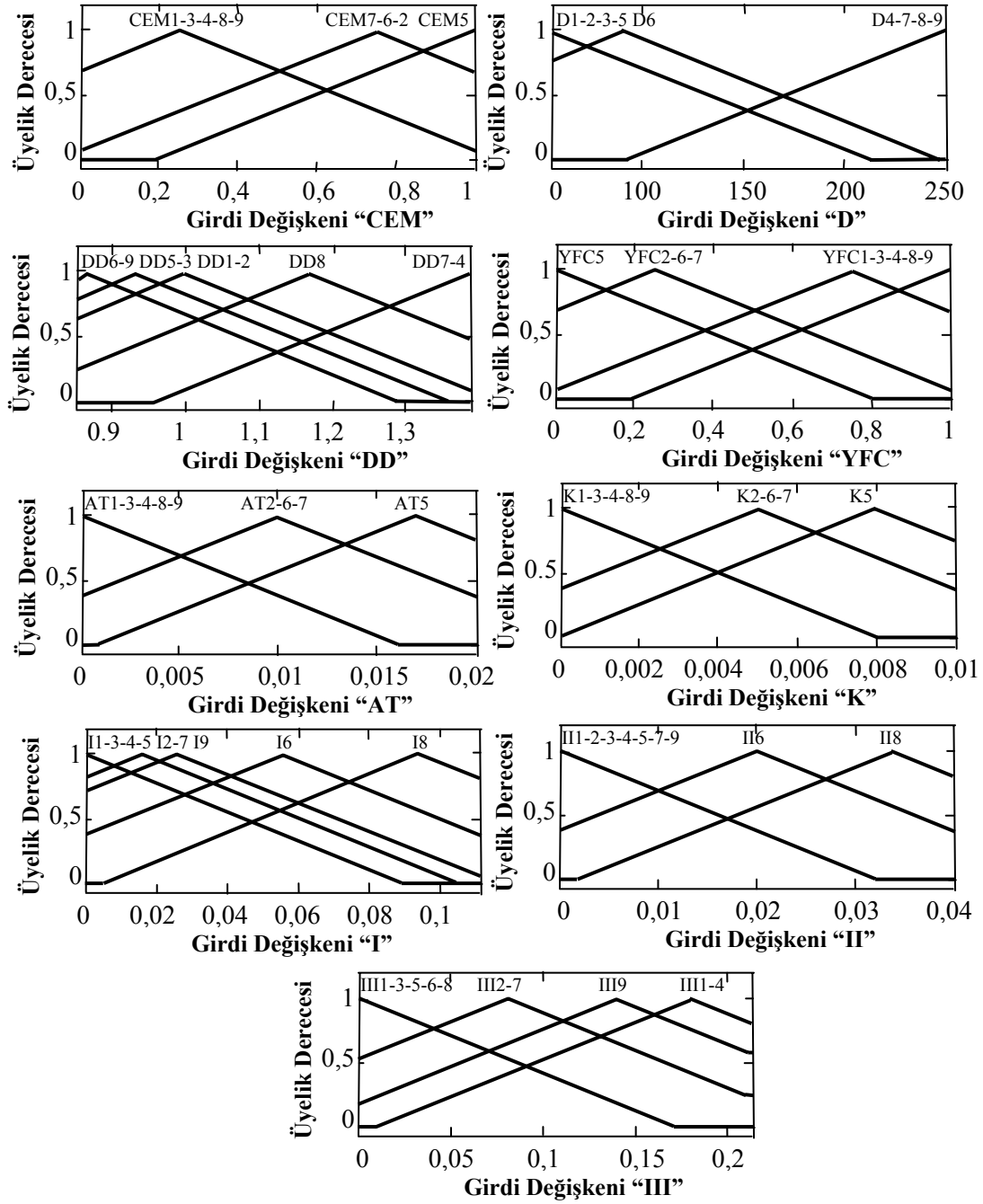
Bulanık modelleme iki aşama içeren sistem tanımlama işidir: bu iki aşama, yapının tanımlanması ve parametre tahminidir. Yapı tanımlanması, konu ile ilgili girdi verilerinin seçilmesi, özel tip bulanık sonuç çıkarma sisteminin seçilmesi, önce gelen ve sonra gelen kural

sayısının belirlenmesi, tip ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gibi konuları içermektedir. Parametre tahmini, oluşturulan modelin belli girdi değerlerine karşı hedeflenen değerlerin belirlenmesidir. Bu amaçla, çalışmada 117 tane deney sonucu bulanık mantık sisteminde Sugeno tipi bulanık sonuç çıkarma modelindeki işlemlerde kullanılmıştır. Bulanık kural tabanını temsil eden kısa özlü grafiksel form, bulanık hafıza tablosu olarak adlandırılır. Kural tabanında, bulanık veriler “prod” operatörüyle (bulanık ve) bağlantılıdır ve kurallar “max-min” ayrışım tekniği kullanılarak birleştirilmiştir. Ayrıca, hata azalmasındaki değişimlerin gözlenmesiyle 100 devir sürdürülmüş ve eğitim süreci sonlandırılmıştır. Basınç dayanımı girdi verileri için eğitim veri seti üyelik fonksiyonları üçgensel tiptir ve parametre terimi alt-uzay eğitim veri seti kümelemesi kullanılarak belirlenmiştir. Aşağıdaki 9 kural bulunmuştur.

- K1. Eğer (CEM1 is CEM1mf1) ve ... ve (III9 is III9mf1) ise (BD1 is BD1mf1) (1)
- K2. Eğer (CEM1 is CEM1mf2) ve ... ve (III9 is III9mf2) ise (BD1 is BD1mf2) (1)
- K3. Eğer (CEM1 is CEM1mf3) ve ... ve (III9 is III9mf3) ise (BD1 is BD1mf3) (1)
- K4. Eğer (CEM1 is CEM1mf4) ve ... ve (III9 is III9mf4) ise (BD1 is BD1mf4) (1)
- K5. Eğer (CEM1 is CEM1mf5) ve ... ve (III9 is III9mf5) ise (BD1 is BD1mf5) (1)
- K6. Eğer (CEM1 is CEM1mf6) ve ... ve (III9 is III9mf6) ise (BD1 is BD1mf6) (1)
- K7. Eğer (CEM1 is CEM1mf7) ve ... ve (III9 is III9mf7) ise (BD1 is BD1mf7) (1)
- K8. Eğer (CEM1 is CEM1mf8) ve ... ve (III9 is III9mf8) ise (BD1 is BD1mf8) (1)
- K9. Eğer (CEM1 is CEM1mf9) ve ... ve (III9 is III9mf9) ise (BD1 is BD1mf9) (1)

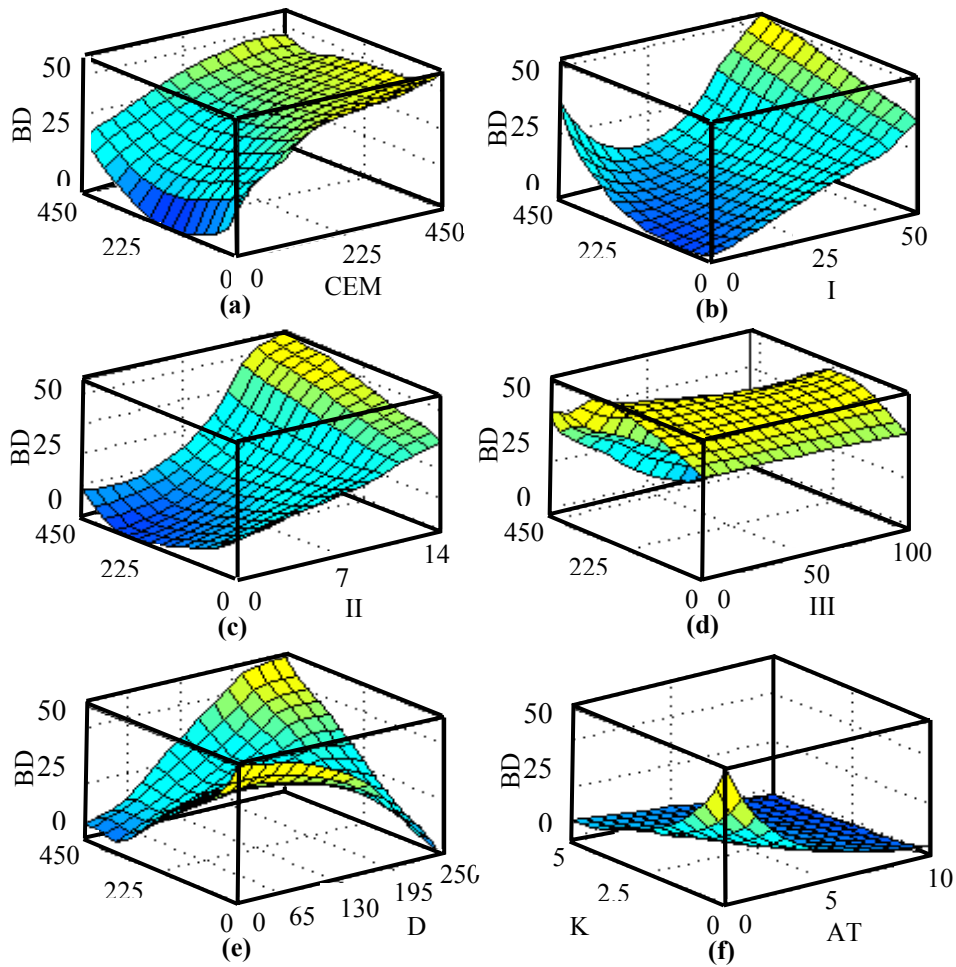
Bulanık mantık sistemindeki Sugeno tipi bulanık sonuç çıkarma sisteminde uygulamak amacıyla, deneylerden elde edilen BD sonuçları eğitim ve test parçalarına bölünmüştür. Burada, deney sonuçlarının 78 tanesi eğitim için kullanılırken 39 tanesi de test için kullanılmıştır. Bu çalışmadaki üyelik fonksiyonları 9 girdi ve 1 çıktıdan oluşmaktadır. Eğitimde kullanılan girdi değişkenleri Şekil 2’de görülmektedir. Çalıştırılan modelin tahmini sonuçlarına dayanarak, iki faktörün her bir yüzey haritası üzerinde basınç dayanımına etkisi Şekil 3’te görülmektedir. Şekil 3.a incelendiğinde çimento miktarı arttıkça basınç dayanımları artarken, YFC miktarı arttıkça basınç dayanımları önce azalmış, yüksek oranlarda kullanıldığında arttığı görülmüştür. Şekil 3.b incelendiğinde düşük oranlarda YFC, NaOH (I) ile aktive edildiğinde NaOH miktarı arttıkça

dayanım artarken, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda NaOH miktarı artması önce dayanımı düşürürken daha sonra arttırmıştır.



Şekil 2. Değişkenlerin üyelik dereceleri.

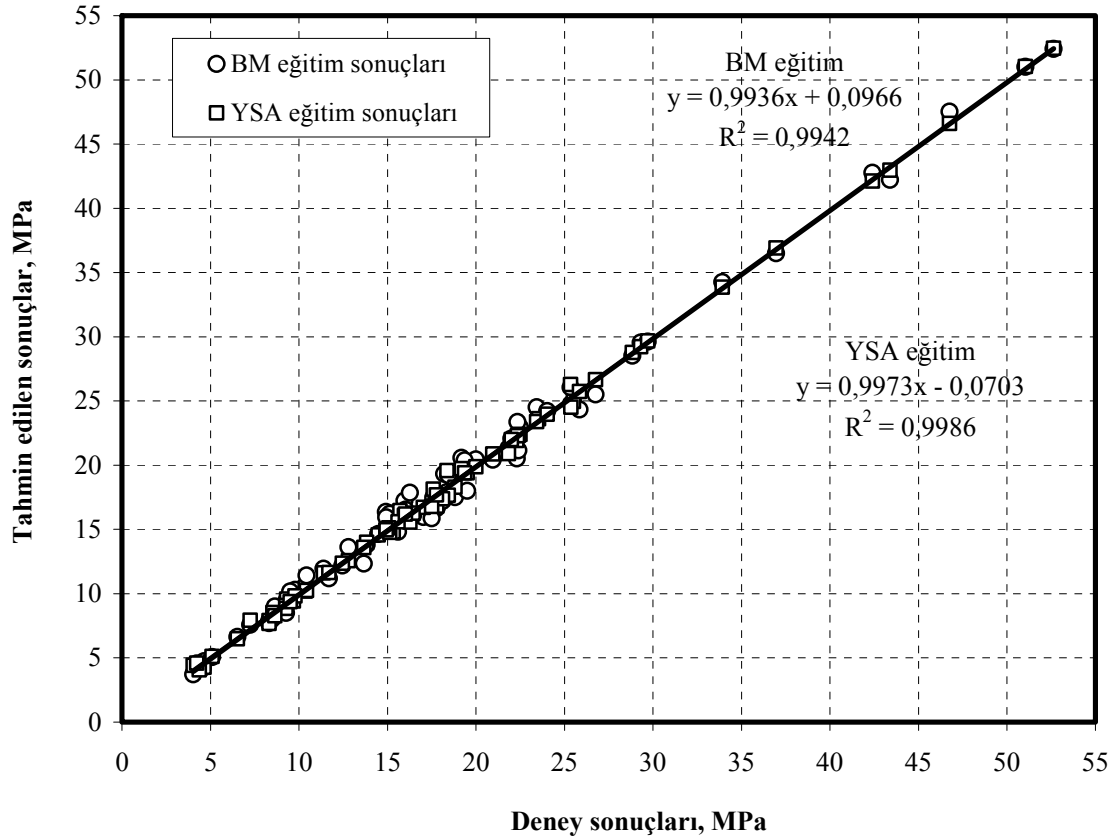
Şekil 3.c incelendiğinde düşük oranlarda YFC,  $\text{NaCO}_3$  (II) ile aktive edildiğinde II miktarı arttıkça dayanım artarken, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda II miktarı artması dayanım artış oranı artmıştır. Şekil 3.d incelendiğinde düşük oranlarda YFC,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (III) ile aktive edildiğinde dayanım artarken, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda III miktarı artması dayanımı düşürmüştür. Şekil 3.e incelendiğinde kimyasal etkide bekleme süresi arttıkça düşük oranda YFC kullanıldığında dayanımlar düşmüştür. Yüksek oranda YFC kullanıldığında kür süresi arttıkça dayanımların arttığı görülmektedir. Buradan YFC kimyasal etkilere dayanıklılıkta yararlı olduğu söylenebilir. Şekil 3.f incelendiğinde düşük oranda kireç ve alçı taşı kullanılması durumunda dayanımlar artarken, yüksek oranda kireç ve alçı taşı kullanılması dayanımları düşürmüştür.



Şekil 3. Değişkenlerin basınç dayanımına etkileri.

### III. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Hem deneysel çalışmalarından hem de YSA ve BM'da geliştirilen modellerdeki eğitim ve testten elde edilen sülfat, asit etkisinde kalmış numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanımı sonuçları Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



Şekil 4. YSA ve BM eğitim sonuçlarının BD deney sonuçları ile karşılaştırması.

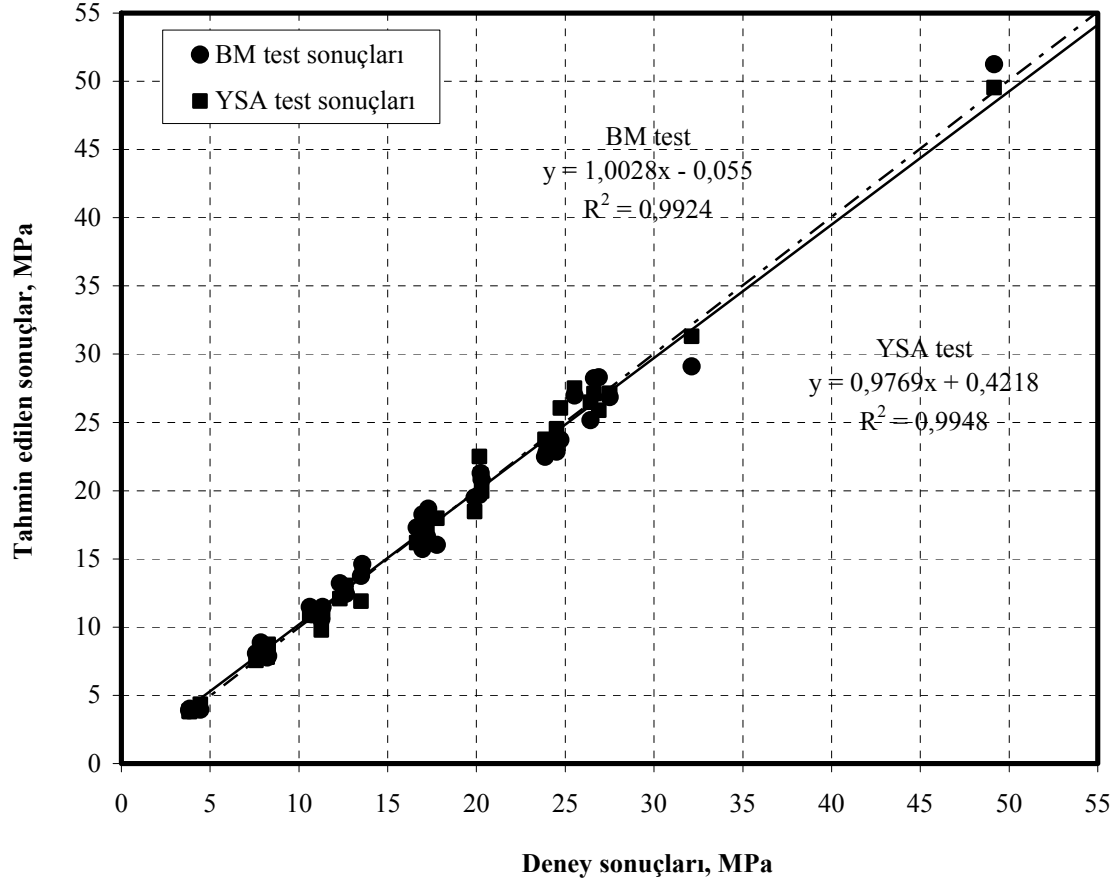


Eğitim ve test verileri için doğrusal en küçük kareler çizgisi, denklemi ve  $R^2$  değerleri bu şekillerde gösterilmiştir. YSA ve BM modellerindeki eğitim ve testlerden elde edilen değerler Şekil 4 ve 5'te görüldüğü gibi deney sonuçlarına çok yakındır. Bu durum, deney sonuçları ile YSA ve BM model sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir. Şekil 4 incelendiğinde eğilim çizgisi  $45^0$ 'ye yakın bulunmuş, YSA ve BM model sonuçlarının eğilim çizgisi üst üste çakışmıştır. Sonuç dağılımı genellikle bu çizgi çevresinde dağılım göstermiş, büyük bir saçılma olmamıştır. Sonuçlar daha çok 30 MPa kadar sık bir şekilde görülürken, 30 MPa'dan sonra seyrekleşmiş 55 MPa kadar çıkmıştır. Ortalama,  $R^2$  ve RMS olarak YSA ve BM modellerindeki eğitim ve testlerden bulunan BD değerlerinin istatistiksel değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Önerilen YSA ve BM modellerinin BD istatistiksel değerleri

İstatistiksel değerler	YSA		BM	
	Eğitim seti	Test seti	Eğitim seti	Test seti
<i>MAPE</i>	2,1794	3,6935	<i>MAPE</i>	2,1794
$R^2$	0,9996	0,9984	$R^2$	0,9996
<i>RMS</i>	0,4055	0,9373	<i>RMS</i>	0,4055

Şekil 5 incelendiğinde BM sonuçlarının eğilim çizgisi  $45^0$ 'ye yakın olduğu görülürken, YSA eğilim çizgisi  $45^0$ 'nin bir miktar altında çıkmıştır. BM ve YSA modeli sonuçları eğilim çizgisi çevresinde dağılım yapmıştır. BM ve YSA test sonuçları eğitim sonuçlarına göre daha fazla saçıldığı görülmüştür.



Şekil 5. YSA ve BM test sonuçlarının BD deney sonuçları ile karşılaştırması.

#### IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma sonuçlarından yararlanılarak YSA ve BM yönteminde modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık mantık modeli sonuçları incelendiğinde yüksek oranda YFC kullanıldığında kimyasal etki süresi arttıkça dayanımların arttığı için YFC kimyasal etkilere dayanıklılığı olumlu yönde etkilemektedir. YFC'li harçların basınç dayanımı için YSA ve BM model sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmüştür.

**V. KAYNAKLAR**

- [1] M. Tokyay ve K. Erdoğan, “Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar”, TÇMB Yayını, 48 s., Ankara, Ekim 2003.
- [2] B. Baradan, H. Yazıcı ve H. Ün, “Betonarme Yapılarda Kalıcılık”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282 s., İzmir, Nisan 2002.
- [3] H. Zhou, X. Wu, Z. Xu, and M. Tang, “Kinetic study on hydration of alkali-activated slag”, *Cem. and Conc. Res.*, Vol.23, pp. 1253-1258, 1993.
- [4] C. Shi, and Y. Li, “Investigation on some factors affecting the characteristics of alkali-phosphorus slag cement”, *Cem. Conc. Res.*, Vol.19, pp. 527-533, 1989.
- [5] S.D. Wang, K.L. Scrivener, and P.L. Pratt, “Factors affecting the strength of alkali-activated slag”, *Cem. Conc. Res.*, Vol.24, pp. 1033-1043, 1994.
- [6] M. Canbaz, “Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflü Harçların Özellikleri”, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 244s., 2007.
- [7] İ.B. Topçu ve M. Canbaz, “Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki mikroyapıları”, *Anadolu Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 10, Sayı 1, ss. 319-326, Haziran 2009.
- [8] İ.B. Topçu ve M. Canbaz, “Sülfatlı ortamların alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların mikroyapısına etkisi”, *Anadolu Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 10, Sayı 1, ss. 309-318, Haziran 2009.
- [9] İ.B. Topçu ve M. Canbaz, “Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçlarda donma-çözülme”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt XXI, Sayı 2, ss. 1-16, Aralık 2008.
- [10] İ.B. Topçu ve M. Canbaz, “Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçlarda asit etkisi”, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 16, ss. 69-79, Eylül 2008.
- [11] İ.B. Topçu, C. Karakurt ve M. Sarıdemir, “Predicting the strength development of cements produced with different pozzolans by neural network and fuzzy logic”, *Materials and Design*, Vol. 29, pp. 1986-1991, 2008.