

Makalenin Geliş Tarihi : 26.04.2009
Makalenin Kabul Tarihi : 27.05.2009

ISISAL ETKİDE KALMIŞ AAYFC'Lİ HARCIN DAYANIMININ YSA VE BM KULLANILARAK TAHMİNİ

İlker Bekir TOPÇU¹, Mehmet CANBAZ¹, Mustafa SARIDEMİR²

ÖZET: Bu çalışmada çeşitli alkali karışımları kullanılarak aktive edilen cürüflü harçlar üretilmiştir. Bu numunelerin bir kısmı donma-çözülme etkisinde, geri kalan ise yüksek sıcaklık etkisinde bekletilmiştir. Daha sonra dayanım kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmadan yararlanılarak yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık (BM) yönteminde modeller geliştirilmiştir. Modellerin eğitiminde ısısal etki şiddeti, karışımında kullanılan cürüf oranı, kireç, alçıtaşı ve aktivatör cinsi girdi, basınç dayanımları (BD) ise çıktı olarak kullanılmıştır. BM test sonuçlarının YSA'ya göre daha az saçıldığı dolayısı ile ısısal etkide kalmış harçlar için BM modeli kullanılması tavsiye edilir.

ANAHTAR KELİMELEER: Alkali; Cüruf; Isısal etki; Yapay sinir ağları; Bulanık mantık.

PREDICTION OF STRENGTH OF AABFS MORTARS EXPOSED TO THERMAL EFFECT USING ANN AND FL

ABSTRACT: In this study, activated slag mortars were produced using various Alkali mixtures. Specimens were cured under freezing-thawing and high temperature. Then, strength losses were determined. ANN and fuzzy logic models of them were developed using the experimental data. For training of models, heat effect, slag ratio of Alkali activated slag mortar, mass of lime, mass of gypsum, and activator type were used as inputs and strength was used as output. The test results of fuzzy logic model were less scattered than ANN model. Therefore, it is suggested to use fuzzy logic model for Alkali activated slag mortars under heat effects.

KEYWORDS: Alkali; Slag; Heat effect; ANN; Fuzzy Logic.

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

² Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bor Yolu, 51100 NİĞDE

I. GİRİŞ

Türkiye dünya demir-çelik üretiminde önemli bir yere sahiptir. Demir-çelik üretimi sırasında önemli miktarlarda yüksek fırın cürufu (YFC) atığı oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıkta olan YFC su içerisine dökülme veya basınçlı su püskürtülme gibi çeşitli yöntemlerle çok hızlı soğutulursa amorf yapıda granüle halde ince bir malzeme haline gelmektedir. YFC öğütülerek çimento üretiminde ve beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [1, 2]. YFC'nin çimento yerine kullanılması durumunda erken yaşlarda beton dayanımları düşmektedir. Ancak 28. günden sonra dayanım kazanma hızı artmaktadır. YFC ile üretilen betonların eğilme dayanımları ise geç yaşlarda hızla artmakta çimento ile üretilenlere göre daha büyük eğilme dayanımları elde edilmektedir. YFC kullanımı betonun dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir [3]. Sülfata dayanıklılığı arttırmada etkilidir [4]. YFC sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3), sodyum metasilikat (Na_2SiO_3) gibi alkalilerle aktive edilmektedir. Beton dayanımı ve işlenebilirliği kullanılan alkali kombinasyonuna göre değişim göstermektedir. Yapılan çalışmalarda YFC'nin alkalilerle aktive edilmesi ile çimento yerine çok yüksek oranlarda kullanılabileceği görülmüştür [5-9].

YFC kullanılması ile betonun kimyasal etkiler altındaki performansı ve işlenebilme artmakta, geçirimsizlik azalmaktadır. YFC kullanırken betonda karbonatlaşmaya karşı önlem alınmalı, soğuk havalarda beton dökülmesi durumunda priz hızlandırıcı katkı maddesi kullanılmalı, donma-çözülme etkisine karşı hava sürükleyici katkı miktarı arttırılmalıdır. Erken yaşlarda dayanım beklenen yerlerde YFC kullanılması gerekiyorsa özel önlemler alınmalıdır. YFC kullanılması ile endüstriyel bir atık değerlendirildiği için hem Türkiye ekonomisine kazanç sağlanmış olacak hem de çevre kirliliği önlenmiş olacaktır [10-15].

II. YÖNTEM

II.1 Malzemeler

Agrega: Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Çimento Fabrikası tarafından hazırlanan TSE 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 (CEM) kullanılmıştır. Bu çimentoya ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

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

Alkaliler: YFC'yi aktive etmek için sodyum hidroksit (NaOH) (I), sodyum karbonat (Na₂CO₃) (II), cam suyu (Na₂SiO₃) (III) 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 ve pH 6.75'tür.

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

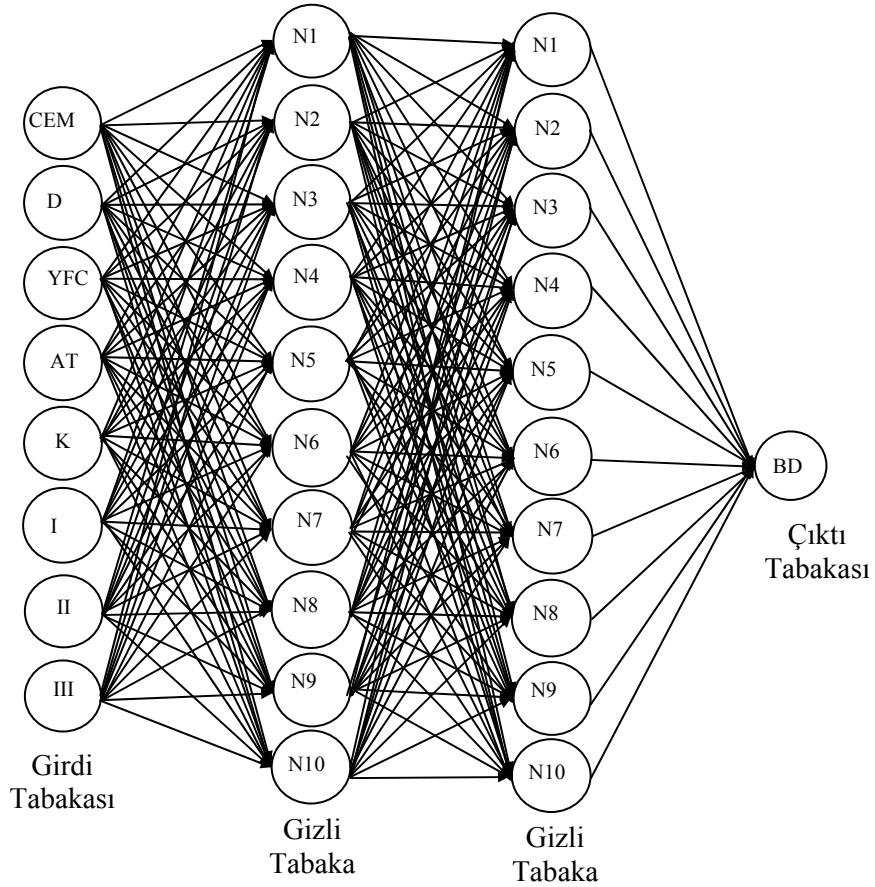
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	Kızdırma Kaybı	İncelik cm ² /g	Özgül Ağırlık
YFC	34,09	12,19	0,61	30,82	6,14	0,03	0,45	0,56	1,57	0,001	0,1	2230	2,84
CEM	19,23	5,44	3,48	63,62	0,88	0,09	0,55	0,68	2,17	0,011	3,2	2860	3,11

II.2 Geliştirilmiş YSA Modeli

Çalışmada 91 adet deney sonucu yapay sinir ağları (YSA) modelindeki işlemlerde kullanılmıştır. 61 adet deney sonucu eğitim modellerinde, 30 deney sonucu test modellerinde kullanılmıştır. CEM, kür süresi (D), YFC, AT, kireç (K), I, II ve III malzeme oranları olmak üzere toplam 8 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. Birinci katmanda 10 ve ikinci katmanda 10 hücre belirlenmiştir. Gizli tabaka ve çıkış tabakasındaki hücre çıkışlarında doğrusal olmayan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Momentum ve öğrenme oranı değerleri bulunarak iterasyonla model

eğitilmiştir. Eğitilen model sadece girdi değerleriyle test edilmiş ve deney sonuçlarına yakın değerler bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan parametre değerleri aşağıdaki gibidir:

- Girdi tabakası birim sayısı = 8
- Gizli tabaka sayısı = 2
- Birinci gizli tabaka birim sayısı = 10
- İkinci gizli tabaka birim sayısı = 10
- Çıktı tabakası birim sayısı = 1
- Momentum oranı = 0,95
- Öğrenme oranı = 0,75
- Eğitim sonundaki hata = 0,000136

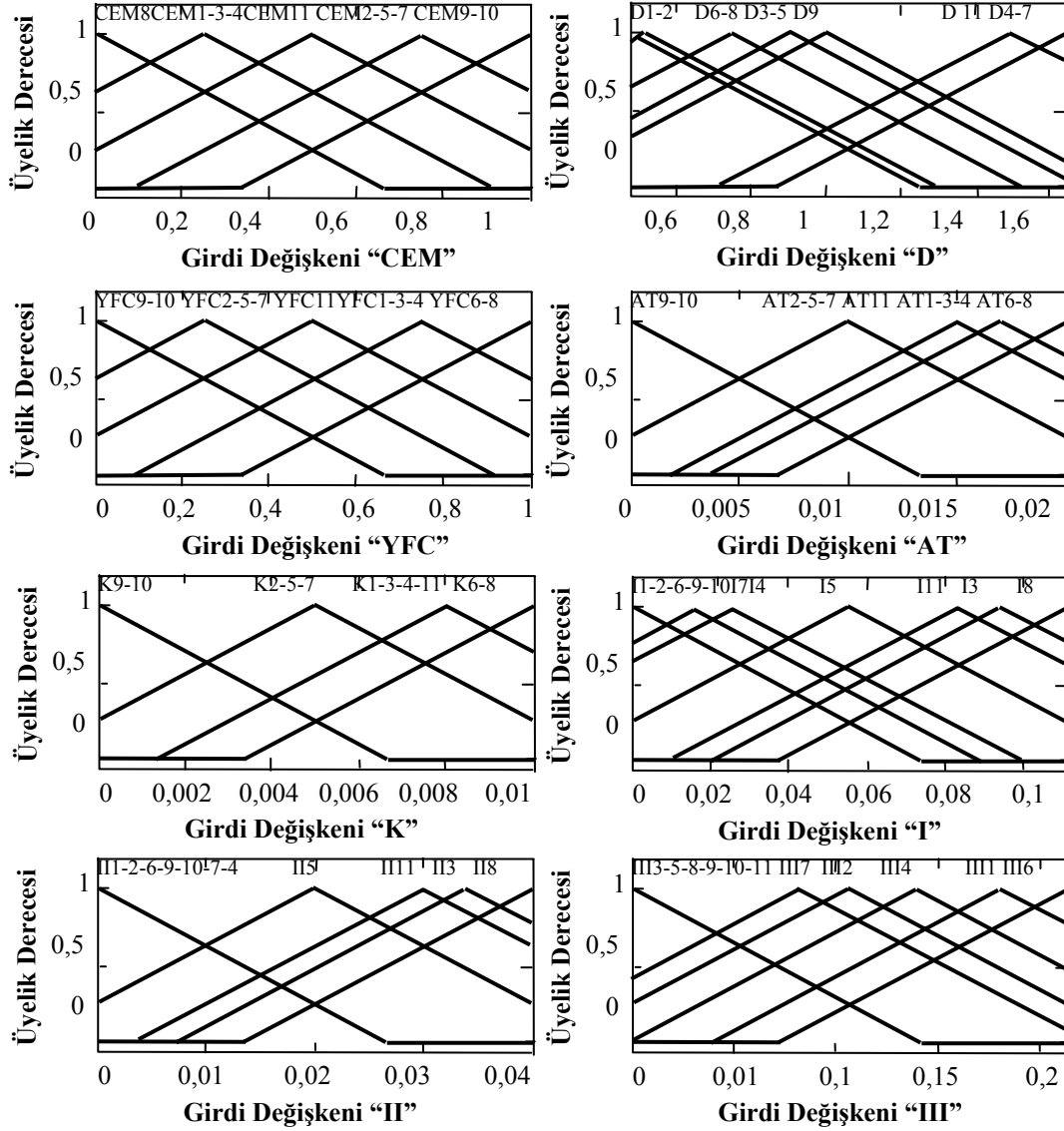


Şekil 1. YSA modelinde kullanılan sistem.

II.3 Geliştirilen Bulanık Mantık Modeli

Çalışmada 91 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. Böylece aşağıdaki gibi 11 kural elde edilmiştir.

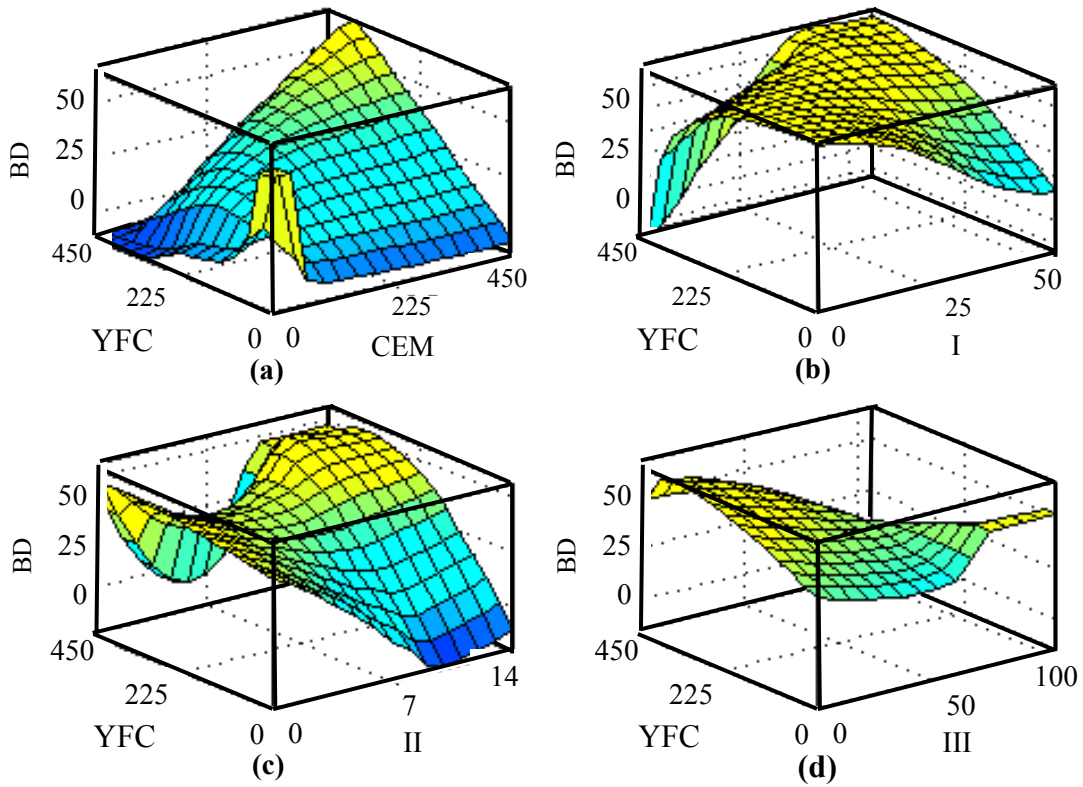
- K1. Eğer (CEM1 is CEM1mf1) ve ... ve (III8 is III8mf1) ise (BD1 is BD1mf1) (1)
- K2. Eğer (CEM1 is CEM1mf2) ve ... ve (III8 is III8mf2) ise (BD1 is BD1mf2) (1)
- K3. Eğer (CEM1 is CEM1mf3) ve ... ve (III8 is III8mf3) ise (BD1 is BD1mf3) (1)
- K4. Eğer (CEM1 is CEM1mf4) ve ... ve (III8 is III8mf4) ise (BD1 is BD1mf4) (1)
- K5. Eğer (CEM1 is CEM1mf5) ve ... ve (III8 is III8mf5) ise (BD1 is BD1mf5) (1)
- K6. Eğer (CEM1 is CEM1mf6) ve ... ve (III8 is III8mf6) ise (BD1 is BD1mf6) (1)
- K7. Eğer (CEM1 is CEM1mf7) ve ... ve (III8 is III8mf7) ise (BD1 is BD1mf7) (1)
- K8. Eğer (CEM1 is CEM1mf8) ve ... ve (III8 is III8mf8) ise (BD1 is BD1mf8) (1)
- K9. Eğer (CEM1 is CEM1mf9) ve ... ve (III8 is III8mf9) ise (BD1 is BD1mf9) (1)
- K10. Eğer (CEM1 is CEM1mf10) ve ... ve (III8 is III8mf10) ise (BD1 is BD1mf10) (1)
- K11. Eğer (CEM1 is CEM1mf11) ve ... ve (III8 is III8mf11) ise (BD1 is BD1mf11) (1)



Şekil 2. Değişkenlerin üyelik dereceleri.

Bulanık mantık (BM) sistemindeki Sugeno tipi bulanık sonuç çıkarma sisteminde uygulamak amacıyla, deneylerden elde edilen BD sonuçları eğitim ve test parçalarına bölünmüştür. Burada, deney sonuçlarının 61 tanesi eğitim için kullanılırken 30 tanesi de test için kullanılmıştır. Bu çalışmada üyelik fonksiyonlarının hepsi 8 girdi ve 1 çıktıdan oluşmaktadır. Eğitimde kullanılan üyelik fonksiyonlarının girdi değişkenleri Şekil 2’de görülmektedir. Çalıştırılan modelin

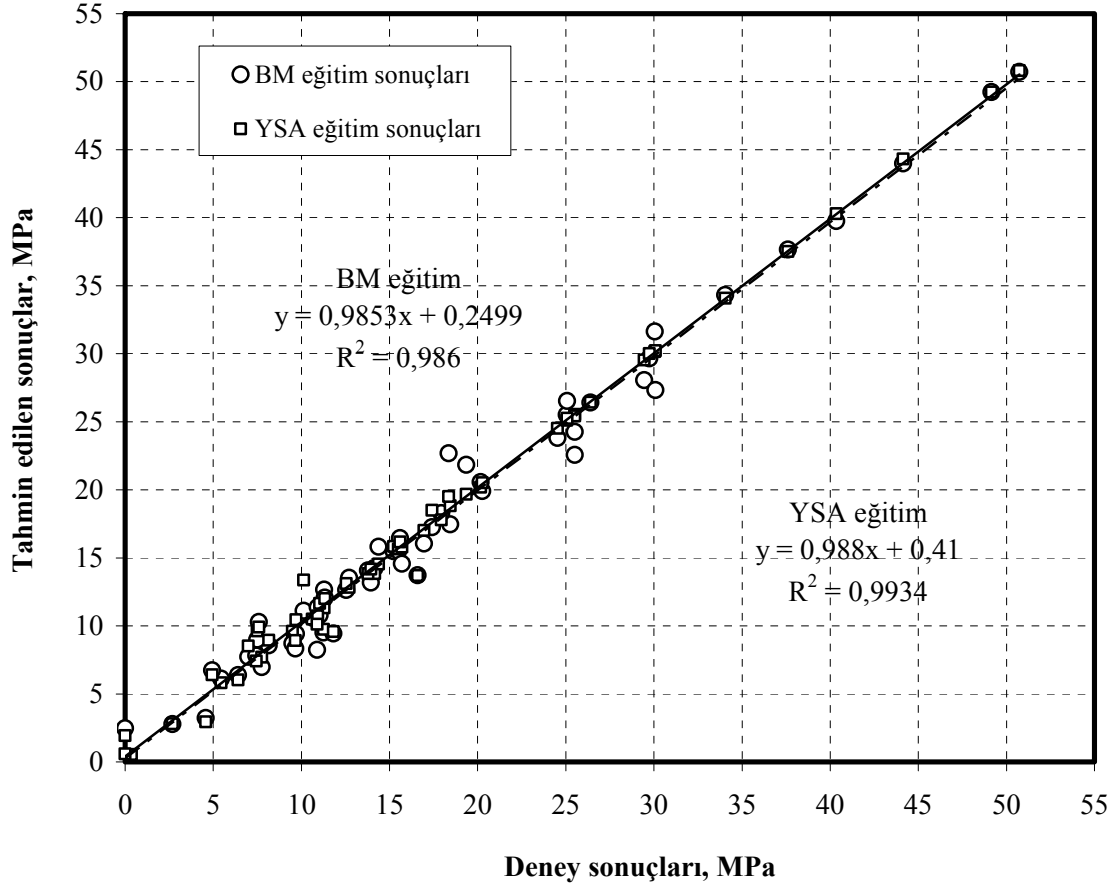
tahmini sonuçlarına dayanarak, iki faktörün her bir yüzey haritası üzerinde basınç dayanımına etkisi Şekil 3'de görülmektedir. Şekil 3.a incelendiğinde çimento miktarı ve YFC miktarı arttıkça basınç dayanımları artarken, yine sadece YFC ve sadece çimento kullanılan numunelerde basınç dayanımının yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 3.b incelendiğinde düşük oranlarda YFC, NaOH (I) ile aktive edildiğinde NaOH miktarı arttıkça dayanım azalmış, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda NaOH miktarı artması dayanımı arttırmıştır. Şekil 3.c incelendiğinde düşük oranlarda YFC, NaCO₃ (II) ile aktive edildiğinde NaCO₃ miktarı arttıkça dayanım azalırken, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda NaCO₃ miktarı artması dayanımı önce düşürmüş daha sonra arttırmıştır. Şekil 3.d incelendiğinde düşük oranlarda YFC, Na₂SiO₃ (III) ile aktive edildiğinde dayanım çok büyük oranda değişmezken, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda Na₂SiO₃ miktarı artması dayanımı düşürmüştür.



Şekil 3. Değişkenlerin basınç dayanımına etkileri.

III. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

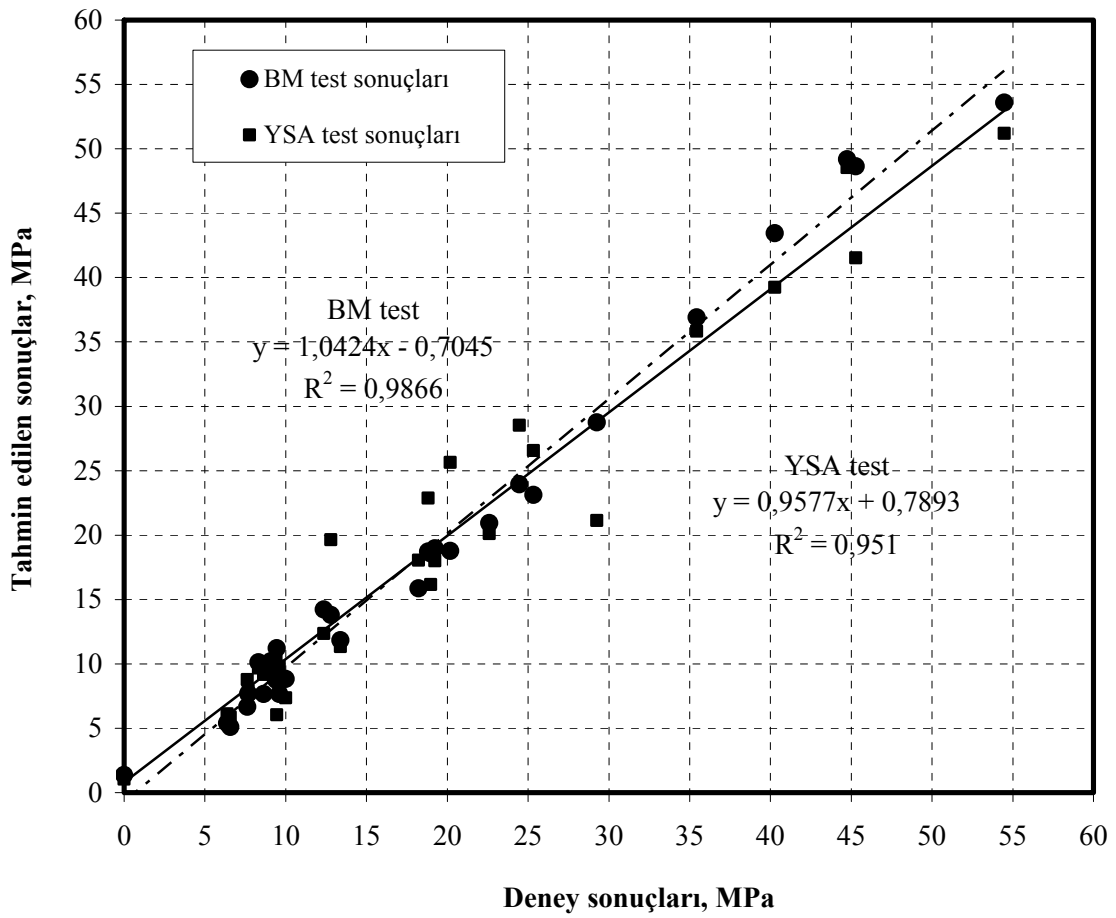
Hem deneysel çalışmalarından hem de YSA ve BM'da geliştirilen modellerdeki eğitim ve testten elde edilen donma-çözülme, yüksek sıcaklık etkisinde kalmış numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanımı sonuçları Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



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

Eğitim ve test verileri için doğrusal en küçük kare 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 çakışmıştır. Sonuç dağılımı genellikle bu çizgi çevresinde dağılım göstermiş, büyük bir saçılma olmamıştır. Sonuçlar daha çok 20 MPa kadar sık bir şekilde görülürken, 20 MPa'dan sonra gruplaşmış ve seyrekleşerek 55 MPa kadar çıkmıştır. Şekil 5 incelendiğinde BM sonuçlarının eğilim çizgisi 45^0 'nin bir miktar üstünde 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. BM test sonuçlarının YSA test sonuçlarına göre daha az saçıldığı dolayısı ile termal etki altında kalmış YFC'li harçlar için BM modelleri kullanılması önerilebilir.



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

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>	6,5676	12,5766	<i>MAPE</i>	6,5676
<i>R²</i>	0,9978	0,9833	<i>R²</i>	0,9978
<i>RMS</i>	0,9596	2,9550	<i>RMS</i>	0,9596

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma sonuçlarından yararlanılarak YSA ve BM yönteminde modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık mantık modeli sonuçları incelendiğinde yüksek oranlarda YFC kullanıldığında basınç dayanımları artması nedeni ile % 50 ve üzerinde YFC kullanılması önerilebilir. Ayrıca yüksek oranlarda YFC kullanılması durumunda aktivatör olarak NaOH ve NaCO₃ kullanılması dayanımı arttırdığından NaOH ve NaCO₃ içeren alkali kombinasyonları kullanılması tavsiye edilebilir. BM test sonuçlarının YSA test sonuçlarına göre daha az saçıldığı dolayısı ile ısısal etki altında kalmış YFC’li harçların basınç dayanımı tahmininde BM kullanılması tavsiye edilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] T.Y. Erdoğan, “*Beton*”, ODTÜ İletişim A.Ş. Yayını, 741s., Ankara, Mayıs 2003.
- [2] M. Tokyay ve K. Erdoğan, “*Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar*”, TÇMB Yayını, 48 s., Ankara, Ekim 2003.
- [3] Arslan, M., “*Beton (Dökümü, Kalıpları, Kusurları, Dayanıklılığı)*”, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 237 s., İstanbul, Ağustos 2001.

- [4] B. Baradan, H. Yazıcı ve H. Ün, "Betonarme Yapılarda Kalıcılık", *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 282 s., İzmir, Nisan 2002.
- [5] 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.
- [6] M.G. Peter, and E.G. Jack, "Freeze-thaw durability of activated blast furnace slag cement concrete", *ACI Mat. Journal*, pp. 242-245, May-June 1996.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] T. Hakkinen, "The Influence of slag content on the microstructure, permability and mechanical properites of concrete", *Cem. and Conc. Res.*, Vol.23, pp.407-421, 1993.
- [10] M. Canbaz, "Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflü Harçların Özellikleri", Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 244s., 2007.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.