Isısal Etki Altında Kalmış Alkali Aktiveli YFC'li Harçların Basınç Dayanımlarının YSA ve Bulanık Mantık Kullanılarak Tahmin Edilmesi

İlker Bekir TOPÇU[1], Mehmet CANBAZ[2], Mustafa SARIDEMİR[3]

[1,2]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir
[3]Niğde Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 51100 Niğde
[1] ilkerbt@ogu.edu.tr [2] mcanbaz@ogu.edu.tr [3] msdemir@nigde.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma alkali aktive edilmiş yüksek fırın cüruflu harçların donma-çözülme, yüksek sıcaklık gibi ısısal etkilere karşı dayanıklılığını arttırmada etkili en uygun kullanım oranının belirlenmesi için yapılmıştır. Bu amaçla çeşitli alkali karışımları kullanılarak aktive edilen yüksek fırın cüruflu harçlar üretilmiştir. Bu numunelerin bir kısmı 50-300 çevrimlik donma-çözülme etkisinde, geri kalan ise 100-700 ^{o}C'lik yüksek sıcaklık etkisinde bekletilmiştir. Daha sonra basınç dayanımı deneyi yapılarak dayanım kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmadan yararlanılarak yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerinde modeller geliştirilmiştir. Modellerin eğitiminde ısısal etki şiddeti, cüruf oranı, kireç, alçıtaşı ve aktivatör cinsi girdi, basınç dayanımları ise çıktı olarak kullanılmıştır. Modellerin testinde sadece girdi değişkenleri kullanılarak basınç dayanımları tahmin edilmiştir. Bulanık mantık test sonuçlarının yapay sinir ağlarınkine göre daha az saçıldığı dolayısı ile ısısal etkide kalmış harçlar için bulanık mantık modelinin daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Alkali; Cüruf; Isısal etki; Yapay sinir ağları; Bulanık mantık.*

ABSTRACT

This study has been done to determine the optimum usage ratio of the Alkali activated slag mortars to increase their durability against the thermal effects like freezing-thawing and high temperature. The activated blast furnace slag mortars were produced using various Alkali mixtures for this purpose. Some of the specimens were cured under the freezing-thawing effects of 50-300 cycles. The rest of them were exposed to high temperature of 100-700 ^{0}C. Then, compression strength test were done to determine the compression strength loss. In addition to that, ANN and fuzzy logic models of them were developed using the experimental data. For the training of the models, heat 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 the compression strength was used as output. To test the models, the compression strength was predicted using the input variables. The test results of the fuzzy logic model were less scattered than that of the ANN model. Therefore, it is suggested to use the fuzzy logic model for the Alkali activated slag mortars under heat effects.

Key Words: *Alkali; Slag; Heat effect; ANN; Fuzzy Logic.*

1. 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 püskürtme gibi çeşitli yöntemlerle çok hızlı soğutulursa amorf yapıdan granüle halde ince bir malzeme haline gelmektedir. Öğütüldükten sonra, çimento üretiminde ve beton katkı maddesi olarak kullanılabilmektedir [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 YFC etkilidir [4]. YFC sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3), cam suyu (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 işlenebilmesi artmakta, geçirimliliği ise azalmaktadır. YFC kullanırken betonda karbonatlaşmaya karşı önlem alınmalı, soğuk havalarda beton dökülmesi durumunda priz hızlandırıcı katılmalı, donma-çözülme etkisine karşı hava sürükleyici katkı miktarı arttırılmalıdır. YFC kullanılması ile endüstriyel bir atık değerlendirildiği için hem Ülkemiz ekonomisine kazanç sağlanmış olacak hem de çevre kirliliği önlenmiş olacaktır [10].

2. YÖNTEM

2.1. 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 kullanılmıştır. Bu çimentoya ait özelikler Tablo 1'de verilmiştir.

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

Alkaliler: YFC'yi aktive etmek için sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3), cam suyu (Na_2SiO_3) 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.

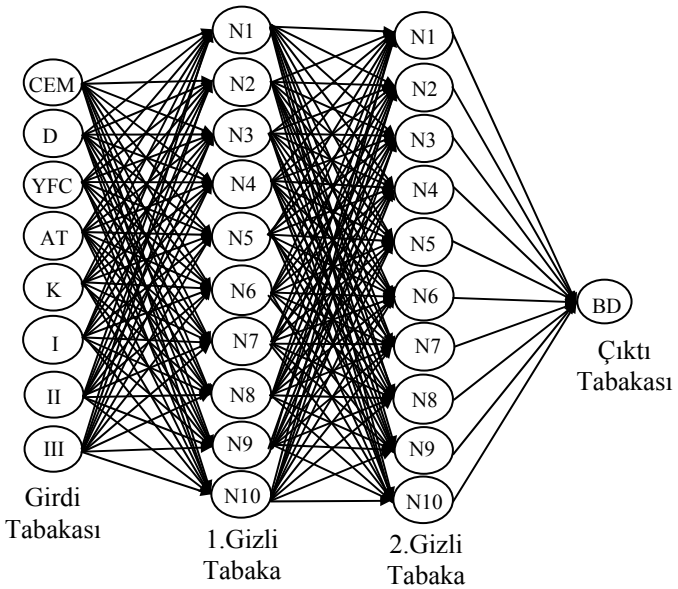
Tablo 1. Kullanılan çimento ve YFC'nin kimyasal ve fiziksel özelikleri.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	SO_3	Cl	Kızdırma Kaybı	İncelik cm^2/g	Özgül Ağırlık
ERDEMİR 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 I 42.5 R	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

Deneysel kısımda YFC, çimento yerine % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında kullanılmıştır. YFC'yi aktive etmek için NaOH, $NaCO_3$, Na_2SiO_3 kullanılmıştır. Karışım oranı bağlayıcı:su:kum sırası ile 1:0.5:3 olarak alınarak karışımlar hazırlanmış, 7x7x7 cm boyutlarında kalıplara dökülmüştür. Numunelerin bir kısmı fırında 100 ^oC, 400 ^oC ve 700 ^oC'de bekletilmiş, diğer kısmı ise -20 ^oC donma, 20 ^oC çözülme seklinde tekrarlı donma çözülme uygulanmış ve basma deneyi yapılarak basınç dayanımları belirlenmiştir.

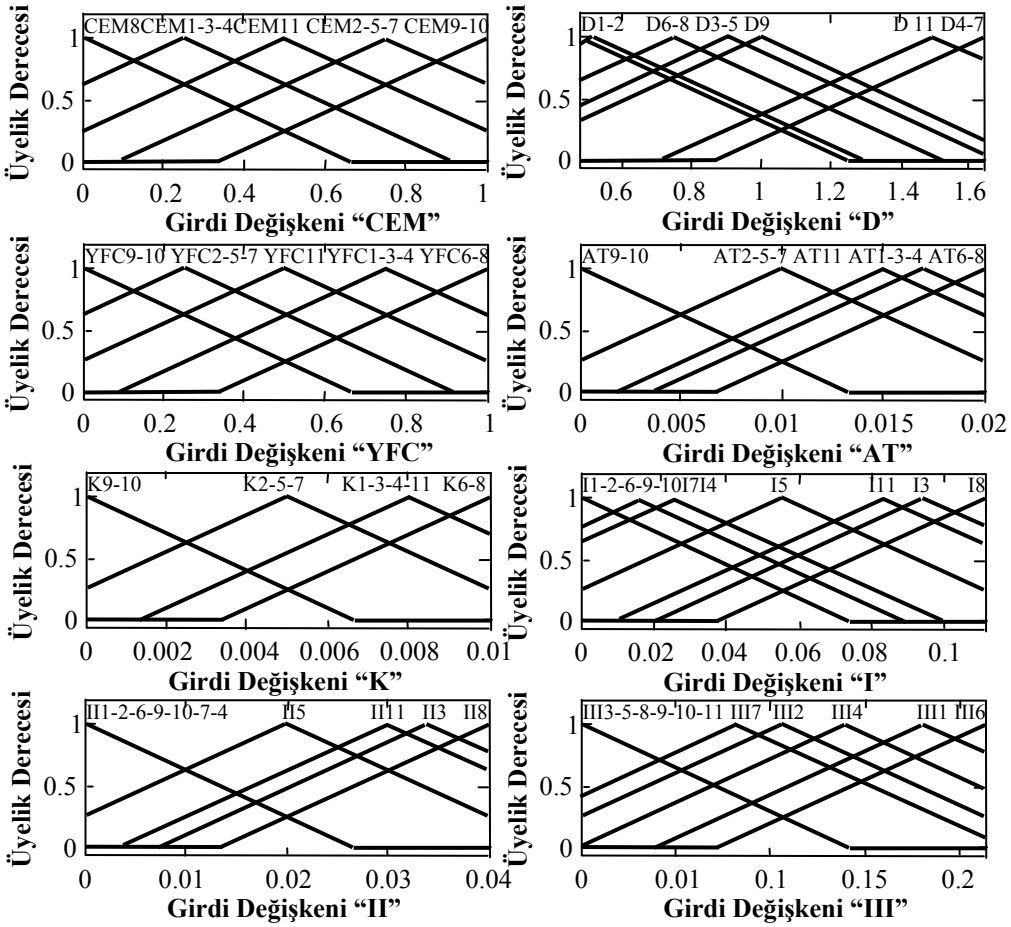
2.2. Geliştirilmiş YSA Modeli

Çalışmada 91 adet deney sonucu YSA modelindeki işlemlerde kullanılmıştır. 61 adet deney sonucu modelin eğitiminde, 30 adet deney sonucu modelin testinde kullanılmıştır. Çimento (CEM), sıcaklık etkisi (D), yüksek fırın cürufu (YFC), alçıtaşı (AT), kum (K), NaOH (I), $NaCO_3$ (II) ve Na_2SiO_3 (III) malzeme oranları olmak üzere toplam 8 özellik modelin giriş katmanında, sertleşmiş harç özeliklerinden 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 10 ve ikinci katmanda 10 hücre belirlenmiştir. YSA modelinin oluşturulmasında farklı gizli tabakalı ve hücreli sistemler, farklı iterasyonlarla denenmiştir. Sonuç olarak, YSA modelinde iki gizli tabaka seçilmesi ve gizli tabakadaki hücre sayıları, en iyi eğitim sonuçlarını elde etmek için Şekil 1'deki gibi belirlenmiştir. Gizli tabaka ve çıkış tabakasındaki hücre çıkışlarında doğrusal olmayan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Momentum ve öğrenme oranı değerleri bulunarak iterasyonlarla model eğitilmiştir. Eğitilen model sadece girdi değerleriyle test edilmiş ve deney sonuçlarına yakın değerler bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan parametre değerleri sırasıyla; girdi tabakası birim sayısı 8, gizli tabaka sayısı 2, birinci gizli tabaka birim sayısı 10, ikinci gizli tabaka birim sayısı 10, çıktı tabakası birim sayısı 1, momentum oranı 0.95, öğrenme oranı 0.75 olarak alınmış ve eğitim sonundaki hata 0.000136 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Değişkenlerin üyelik dereceleri.

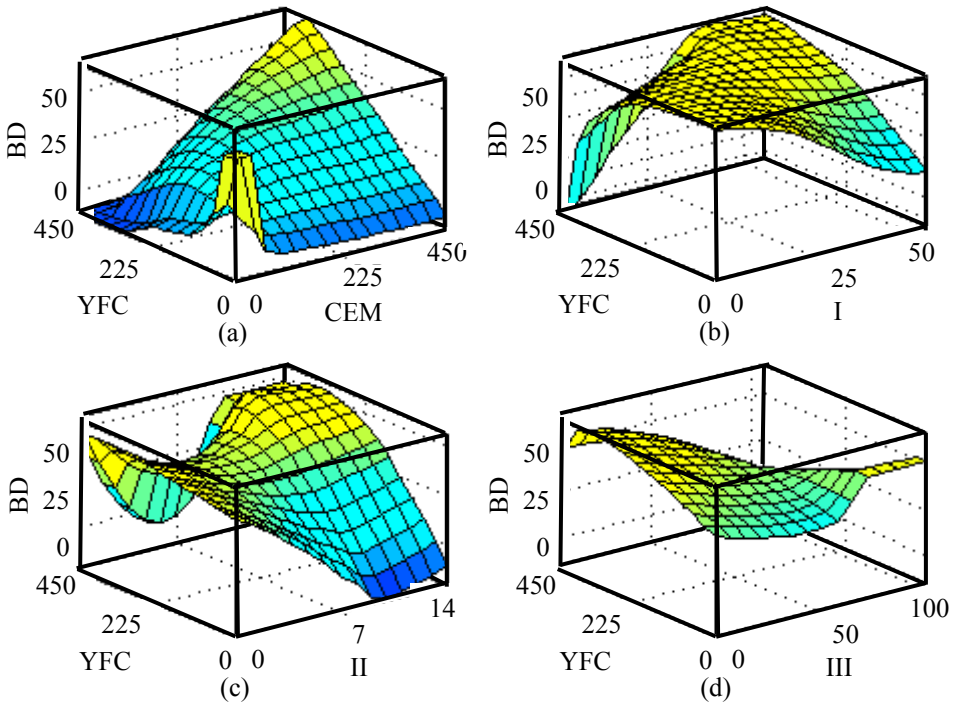
2.3. Geliştirilen Bulanık Mantık Modeli

Çalışmada, YFC içeren harçların 91 tane BD deney sonucu bulanık mantık sisteminde Sugeno tipi bulanık sonuç çıkarma modelindeki işlemlerde kullanılmıştır. Kural tabanında, bulanık

veriler "prod" operatörüyle (bulanık ve) bağlantılıdır ve sonuçlar ağırlıkların ortalaması tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir. 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 11 kural bulunmuştur.

K_i: Eğer (CEM is CEM_imf_i) ve … ve (III is III_imf_i) ise (BD is BD_imf_i) (i=1…11)

Sugeno tipi bulanık sonuç çıkarma yönteminde kullanmak amacıyla, deneysel olarak elde edilen BD sonuçları eğitim ve test grupları olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Veri kümelerinin 61 tanesi eğitim için, 30 tanesi de test için kullanılmıştır. Bulanık model 8 girdi ve 1 çıktıdan oluşturulmuştur. Sugeno tipi modelin eğitiminde kullanılan 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, $NaCO_3$ (II) ile aktive edildiğinde $NaCO_3$ miktarı arttıkça dayanım azalırken, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda $NaCO_3$ miktarı artması dayanımı önce düşürmüş sonra arttırmıştır.

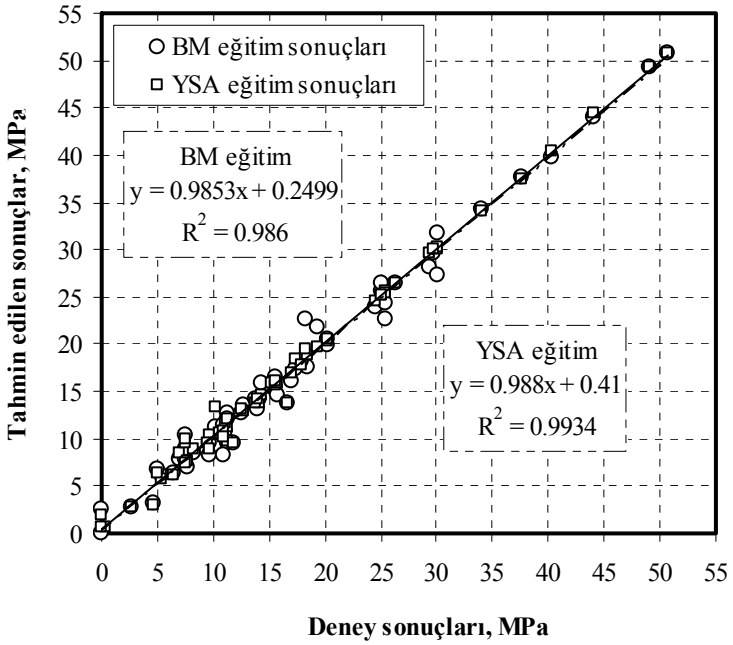


Şekil 3. Değişkenlerin basınç dayanımına etkileri.

Şekil 3.d incelendiğinde düşük oranlarda YFC, Na_2SiO_3 (III) ile aktive edildiğinde dayanım çok büyük oranda değişmezken, yüksek oranda YFC kullanılması durumunda Na_2SiO_3 miktarı artması dayanımı düşürmüştür.

3. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

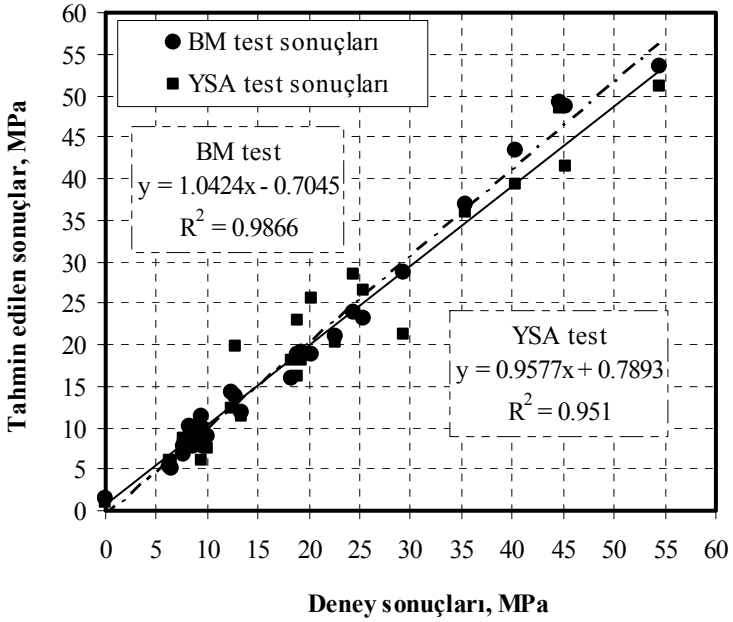
Hem deneysel çalışmalarından hem de YSA ve BM'da geliştirilen modellerdeki eğitim ve testten elde edilen donma-çözülme, yüksek sıcaklık etkisinde kalmış numuneler ile kontrol numunelerinin basınç dayanımı sonuçları Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Eğitim ve test verileri için doğrusal en küçük kare çizgisi, denklemi ve R^2 değerleri bu şekillere de gösterilmiştir. YSA ve BM modellerindeki eğitim ve testlerden elde edilen değerler Şekil 4 ve 5'de 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 4. YSA ve BM eğitim sonuçlarının BD deney sonuçları ile karşılaştırması.

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 tavsiye edilebilir. Ancak, her çalışma için BM model sonuçlarının, YSA model sonuçlarından daha iyi sonuç vereceği söylenemez.



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

Bazı modellemelerde YSA sonuçlarından, bazı modellemelerde de BM model sonuçlarından daha iyi performans elde edilebilir. BD değerlerinin tahmini için YSA ve BM modellerindeki eğitim ve testlerden bulunan MAPE, R2 ve RMS istatistiksel parametre değerleri [11-17] Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Önerilen YSA ve BM modellerinin BD istatistiksel değerleri.

İstatistiksel değerler	YSA		BM	
	Eğitim seti	Test seti	Eğitim seti	Test seti
MAPE	6.5676	12.5766	10.9946	9.5609
R^2	0.9978	0.9833	0.9956	0.9944
RMS	0.9596	2.9550	1.3650	1.7184

4. 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 yüksek oranda YFC kullanılması önerilebilir. Ayrıca yüksek oranlarda YFC kullanılması durumunda aktivatör olarak NaOH ve $NaCO_3$ kullanılması dayanımı arttırdığından NaOH ve $NaCO_3$ 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 için BM modelinin kullanılması tavsiye edilebilir. Bu çalışmada YFC'li harçların basınç dayanımının tahmininde BM modeli YSA modeline göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür, ancak farklı çalışmalarda bu durum değişebilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T.Y., "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 741s., Ankara, Mayıs 2003.
2. Tokyay, M., Erdoğdu, K., "Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar", Araştırmaların Gözden Geçirilmesi Raporu, 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. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., "Betonarme Yapılarda Kalıcılık", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282 s., İzmir, Nisan 2002.
5. Zhou, H., Wu, X., Xu, Z., Tang, M., "Kinetic Study on Hydration of Alkali-Activated Slag", Cem. and Conc. Res., 23: 1253-1258, 1993.
6. Peter, M.G. and Jack, E.G., "Freeze-Thaw Durability of Activated Blast Furnace Slag Cement Concrete", ACI Mat. Journal, 242-245, May-June 1996.
7. Shi, C. and Li, Y., "Investigation on Some Factors affecting the Characteristics of Alkali-Phosphorus Slag Cement", Cem. Conc. Res., 19: 527-533, 1989.
8. Wang, S.D., Scrivener, K.L., Pratt, P.L., "Factors Affecting the Strength of Alkali-Activated Slag", Cem. Conc. Res., 24: 1033-1043, 1994.
9. Hakkinen, T., "The Influence of slag content on the Microstructure, Permability and Mechanical Properites of Concrete", Cem. and Conc. Res., 23: 407-421, 1993.
10. Canbaz M., "Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cüruflu Harçların Özelikleri", Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 244s., 2007.
11. Topçu, İ.B. and Sarıdemir, M., "Prediction of properties of waste AAC aggregate concrete using artificial neural Networks", Computational Materials Science, 41(1):117-125, 2007.
12. Topçu, İ.B. and Sarıdemir, M., "Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural network and fuzzy logic", Constr. Build. Mater., 22(4): 532-540 2008.
13. Demir, F., A new way of prediction elastic modulus of normal and high strength concrete-fuzzy logic, Cement and Concrete Research, 35(8):1531-1538, 2005.
14. Kewalramani, A.M. and Gupta, R., "Concrete compressive strength using ultrasonic pulse velocity through artificial neural Networks", Auto. in Constr., 15(3): 374-379, 2006.
15. Özger, M. and Şen, Z., "Prediction of wave parameters by using fuzzy logic approach", Ocean Engineering, 34(3-4): 460-469, 2007.
16. Pala, M., Özbay, E., Öztaş, A. and Yuce, M.I., "Appraisal of long-term effects of fly ash and silica fume on compressive strength of concrete by neural networks", Construction and Building Materials, 21(2): 384-394, 2007.
17. Ünal, O., Demir, F. and Uygunoğlu T., "Fuzzy logic approach to predict stress-strain curves of steel fiber-reinforced concretes in compression", Building Environment, 42(10): 3589-3595, 2007.