

POLİKARBOKSİLAT BAZLI SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKILI BETONUN YÜKSEK SICAKLIKTAKİ BASINÇ DAYANIMIN BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE TAHMİNİ

Gökhan DURMUŞ*¹, Ömer CAN*

*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi bölümü, 06500 Beşevler/ ANKARA

Özet

Bu çalışmada, farklı sıcaklık değeri uygulanmış süper akışkanlaştırıcı katkı ve katkısız betonların, sıcaklık ve ultrases geçiş hızına bağlı olarak basınç dayanım değerlerini çoklu doğrusal regresyon ve bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilmesini araştırmaktır. Bu amaçla kırma taş agrega, CEM I 42.5 R çimentosu, polikarboksilat bazlı süper akışkanlaştırıcı katkı (SAK) ve Ankara şebeke suyu kullanılarak C25 sınıfı beton üretilmiştir. Üretilen taze betonlar üzerinde çökme, birim hacim ağırlık ve ve-be deneyleri yapılmıştır. Taze betonlar üzerinde çökme, birim hacim ağırlık, ve ve-be deneyleri yapılmıştır. Taze betonlar Ø5*10 cm boyutlu silindir numunelere yerleştirilmiş ve 28 gün standart kür uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş beton numuneleri yüksek sıcaklık fırında 3 saat süresince, ısı artış oranı 10 °C/dk, 100, 300, 500 ve 700 °C’de sıcaklık uygulaması yapılmış ve laboratuvar koşullarına (20 °C) kadar soğutulmuşlardır. Sonuçta, süper akışkanlaştırıcı katkı betonların basınç dayanım değerlerinin, yüksek sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değerlerine bağlı olarak bulanık mantık yöntemiyle basınç dayanımın % 3-5 gibi küçük bir hata oranıyla tahmin edilebildiği görülmüştür. Bulanık mantık yönteminin çoklu doğrusal regresyon modeline göre daha başarılı sonuç verdiği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton, Süper akışkanlaştırıcı katkı, Katkı, Yüksek sıcaklık,

¹ İletişim kurulacak yazar: Tel: 0312 2028889 Belge geçer: 0312 212 0059
E-posta: gdurmus@gazi.edu.tr

THE ESTIMATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF SUB-POLICARBOKSILAT SUPERPLASTICIZER ADMIXTURED CONCRETE UNDER HIGH TEMPERATURE BY METHOD OF FUZZY LOGIC

Abstract

In this study, the compressive strength of the concretes mixed with superplasticizers and without superplasticizers were tried to estimate by the method of multi-regression and fuzzy logic in the different temperature. For this purpose, the concrete numbered C25 was produced by using the cement of CEM I 42.5 R and superplasticizers admixture (SA), tap water, and gravel of crushed stone. The slump test and unit volume weight and vebe test so on were performed on these fresh concretes and samples obtained with the dimensions of Ø5*10 after the curing of 28 days. To the hardened concrete samples 100, 300, 500, and 700 °C heat were applied for three hours by increasing the temperature rate 10 °C/min after this stage samples laboratory conditions were cooled down to 20 °C. As a result, fuzzy logic method was estimated the compressive strength of SA added concrete with a small 3-5 % error by using temperature and ultrasound transmission velocity values. In addition, it was determined that fuzzy logic method is better estimation than multi linear regression model.

Keywords: Concrete, Superplasticizer, Admixture, High temperature

1. Giriş

Bulanık mantık (fuzzy logic), adından anlaşılabilirliği gibi mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik (boolean) mantıkta, "doğru" ve "yanlış" yada "1" ve "0"lar kombinasyonları bulunmaktadır, oysa bulanık mantıkta, ikisinin arasında bir yerde olan önermelere veya ifadelerine izin verilebilir ki, gerçek

hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantık klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur [1-3]. Bulanık mantık (BM) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyulmuştur [4]. Bulanık mantık kümeleri ve sistemleri Mamdani ve Assilian 1975 deki geliştirdikleri kontrol sistemleri sayesinde kullanımı giderek artmıştır [5,6].

Betonu oluşturan yapı malzemeler üzerinde çeşitli araştırmalar bulunmakta ve bazıları şöyle özetlenebilir. Kırmataş agrega içerisinde bulunan taşunu'nun betonun basınç mukavemetine etkisi bulanık mantık yöntemiyle araştırılmış ve kullanılabilceği kanısına varılmıştır [7].

Uygunoğlu ve ark. Tarafından yapılan çalışmada, yapay katkılardan olan uçucu külün betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi bulanık mantık ile modellenerek yapılarak betondaki basınç dayanımını arttıran en uygun uçucu kül miktarı belirlenmiştir [8]. Sertleşmiş beton üzerindeki başka çalışmada ise, farklı sürelerde vakum uygulanmış betonlarda vakum süresi, radyoaktif yöntemle yoğunluk ve beton derinliğine bağlı olarak gerçek beton yoğunluk değerlerinin regresyon ve bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilmesi araştırılmış ve % 2 hata oranı ile gerçek değerle yaklaşarak tahmin edilmiştir [9]. Ayrıca kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde farklı dozajlar üzerinde bulanık mantık modellenmesi hazırlanmış ve istatistiksel analize göre daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür [10].

Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir [11]. Diğer bir deyişle, süper

akışkanlaştırıcı katkı (SAK) belirli bir beton bileşiminde kıvamı değiştirmeden su miktarının yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi, yayılmayı yüksek oranda artıran veya her iki etkiyi birlikte yaratan katkıdır [12]. Bu katkıların kullanılması betondaki s/ç oranının düşmesine neden olmakta, buda beton dayanımını olumlu yönde etkilemektedir [13-14].

Hafif ve normal betonlara silis dumanı ve % 2 oranında SAK ilave edilerek üretilen betonların yüksek sıcaklık uygulandıktan sonraki ağırlık kaybı ile basınç dayanımları farkı araştırılmıştır. Hafif betonlar ilk dayanımlarının % 38'ini korumuşlardır. Normal betonlar hafif betonlara göre daha iyi sonuç vermiştir. Silis dumanı kullanım oranına bağlı olarak basınç dayanımı kaybı artmıştır [15].

Yapay puzolanlar kullanılarak üretilen betonlar 100, 200, 300, 600, 900 °C gibi farklı sıcaklıklar uygulanarak, soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun renginde (ışıkölçer ile sayısal olarak), ultrases geçiş hızında ve basınç dayanımında benzer değişikliklerin olduğunu göstermiştir [16].

Çalışmada, SAK'lı 50x100 mm ebatlarında beton örnekler üretilmiş ve 3 saat süresince 20, 100, 300, 500 ve 700 °C yüksek sıcaklıklarda maruz bırakıldıktan sonra laboratuvar koşullarına kadar soğutulmuştur. Yüksek sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değerleri kullanılarak çoklu lineer regresyon ve bulanık mantık yöntemiyle basınç dayanımları tahmin edilmiş ve deney sonuçlarıyla istatistik olarak karşılaştırılması yapılarak yorumlanmıştır.

2. Deneysel çalışma

2.1. Malzemeler

Karışımda, kalker esaslı 0-4, 4-16 ve 16-22,4 mm'lik kırmataş agrega sınıfları, CEM I 42,5 R portland çimentosu, karışım suyu olarak Ankara şebeke suyu ve kimyasal katkı olarak polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı SAK kullanılarak beton örnekleri hazırlanmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik analizlerine ait deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42,5 R çimentosuna ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler

Analiz	Bileşik	%	Analiz	Deneyle	Değer
Kimyasal, %	SiO ₂	20,41	Fiziksel	Özgül yüzey, cm ² /g	3350
	Al ₂ O ₃	5,35		Genişleme, mm	1,0
	Fe ₂ O ₃	3,30		Su ihtiyacı, gr	28,2
	CaO	62,50		Priz baş. sür., dak	157
	MgO	1,65		Priz bit. sür., dak.	235
	SO ₃	2,93		Özgül ağırlık, g/cm ³	3,1
	Na ₂ O	0,15	Mekanik	Gün	MPa
	K ₂	0,71		3. gün	28,5
	Cl	0,0110		7. gün	41,7
	HCl	0,28		28. gün	52,4

SAK yoğunluğu:1,149 gr/cm³, pH:7,39, katı madde: 38,64 olan polikarboksilat bazlı tercih edilmiş olup çimento dozajının % 1 kadarı kullanılmıştır.

2.2. Metot

Beton karışımı TS 802 [17] ve TS EN 206-1 [18] standartlarına uygun olarak C25 beton sınıfına göre hazırlanmıştır. Karışımdaki betonun s/ç 0,55 seçilmiş, kontrol betonu (KB) ve SAK'lı betonun (SB) 1m³ beton karışımına giren malzeme miktarları Tablo 2'te verilmiştir.

Tablo 2. Beton karışımda kullanılan malzeme miktarları (1m³)

Malzemeler	Beton türleri	
	KB	SB

	Çimento, kg	309	309
	Su, lt	170	170
	s/ç	0,55	0,55
	SA, kg	-	3
Agrega	0-4 (%46)	909 kg	909 kg
	4-16 (%40)	790 kg	790 kg
	16-22,4 (%14)	277 kg	277 kg

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, birim hacim ağırlığı, çökme, ve-be deneyleri ve numunelerinin hazırlanması sırasıyla TS 3530 EN 933-1 [19], TS 3529 [20], TS EN 12350-2 [21], TS EN 12350-3 [22] ve TS EN 12390-2 [23] standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Üretilen taze betonun özellikleri Tablo 3'te verilmiştir

Tablo 3. Çalışmada kullanılan taze betonun özellikleri

Deneyler	Beton Türleri	
	KB	SB
Çökme, cm	3	18
Ve-Be, sn	8	2
Hava İçeriği	% 2,6	% 5
Gev, Bir. Hac. Ağ, (g/cm ³)	1,88	1,8
Sık, Bir, Hac, Ağ, (g/cm ³)	2,37	2,17

Numuneler 20±2 °C sıcaklık ve % 50-60 bağıl nem sahip laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra Ø50 x 100 mm'lik numuneler kalıptan çıkarılarak 28 gün süreyle kür havuzunda bekletilmiştir. Numuneler etüvde (105 °C) bekletilmiş ve daha sonra yüksek sıcaklık fırınına alınmıştır. Yüksek sıcaklık altındaki betonun yapısında meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmelerin ölçülmesinde BS EN 13501-1 ve ISO 834 standartlarındaki kurallara uyulmuştur [24, 25]. Numuneler 1800 °C kapasiteli laboratuvar tipi fırında 180 dk süreyle, sıcaklık artış hızı dakikada 10 °C olacak şekilde 20, 100, 300, 500 ve 700°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Bütün sıcaklık değerlerinde 6'şar adet numune kullanılmıştır. Numunelere önce ASTM C597-83 [26]

standardına göre ultrases geçiş hızı deneyine ardından TS EN 12390-3 [27] standardına göre basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır.

Yüksek sıcaklığın ultrases geçiş hızı değerlerine bağlı olarak basınç dayanımı değerlerini tahmin edebilmek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır [28]. Çok doğrusal regresyon denklemi Eş 1’de verilmiştir.

$$y = \alpha + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_n * x_n \quad (1)$$

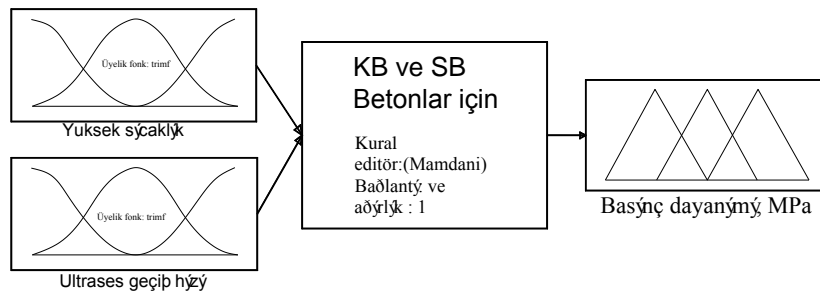
Burada, y= bağımlı değişken

X_i: Bağımsız değişkenleri,

β_i: Katsayı değerleri,

α : hata terimini ifade etmektedir.

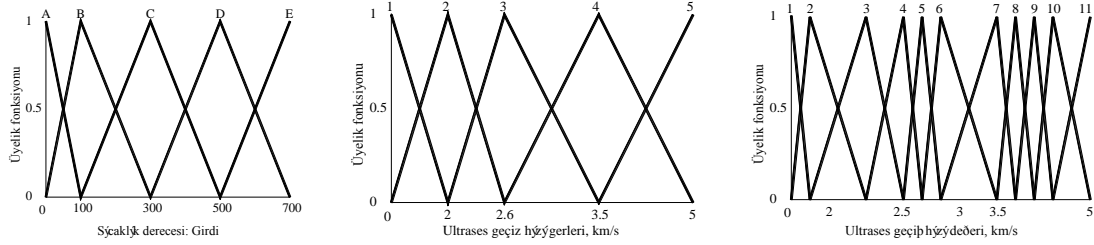
Bulanık mantık modeli, MATLAB bilgisayar programındaki “Fuzzy logic” arayüzü kullanılarak geliştirilmiş ve her iki beton türüne ait bulanık mantık modeli Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Bulanık mantık modelleri

Şekil 1’deki modelde yüksek sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değerleri girdi, 28. gündeki basınç dayanımları çıktı olarak belirlenmiştir. Girdi veri tabanının sıcaklık, KB

ve SB betonlarına ait ultrases geçiş hızı değerinin üyelik fonksiyonları Şekil 2 (a,b,c), çıktı olarak belirlenen basınç dayanımının üyelik fonksiyonları Şekil 3 (d,e) verilmiştir.

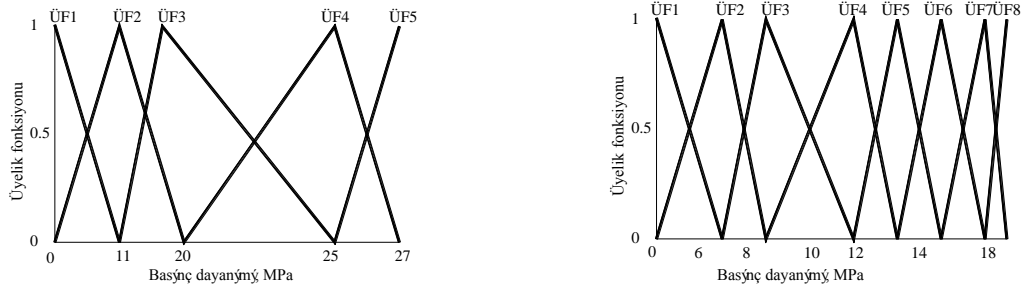


a=yüksek sıcaklık
üyelik fonk.

b=KB'nun ultrases
geçiş hızı üyelik fonk.

c=SB'lı betonun ultrases
geçiş hızı üyelik fonk.

Şekil 2. Bulanık mantık modelinin girdi üyelik fonksiyonları (a,b,c)



d=KB basınç dayanımı üyelik fonk.

e=SB betonun basınç dayanımı üyelik fonk.

Şekil 3. Bulanık mantık modelinin çıktı üyelik fonksiyonları (d,e)

Şekil 2'deki üyelik fonksiyonların küme aralıkları hazırlanırken deneysel verilerden yararlanılmıştır. KB'nun sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değeri için 5'er, SB için 11 üyelik fonksiyonu yazılmıştır. Üyelik fonksiyonları ve çıktılar arasındaki kural tabanı hazırlanmış ve bu kurallar "VE" bağlacı ile bağlanmıştır. KB'nunda $5*5=25$ ve $5*11=55$ adet kural yazılmıştır. Çıktıların alınmasındaki önce Durulaştırma işlemi "Ağırlık merkezi" seçilmiş ve buna göre durulaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Normal agregalarla yapılan betonların birim ağırlığı $2,2-2,4 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir [4]. Tablo 3'den KB'nin birim ağırlığının sınır değerler arasında olduğu,

SB'nin ise $2,17 \text{ kg/dm}^3$ ile tam sınırdaki olduğu görülmektedir. KB'nin çökme değeri SB'den 6 kat düşük, ve-be değeri 4 kat yüksek, hava miktarı ise 2 kat yüksek elde edilmiştir. Bu durum KB'da kullanılan polikarboksilat bazlı süper akışkanlaştırıcı katkıının etkisiyle açıklanabilir.

Çalışmada iki farklı tahmin yöntemi kullanılmıştır. Birinci tahmin yöntemi çoklu doğrusal regresyon yöntemin uygulanarak tahmin modeli oluşturulmuştur. Regresyon analizi Statistica ve NCSS paket programları kullanılarak model denklemleri çıkartılmıştır. Regresyon modelini oluşturulmasında KB'da ve SB'de 21'er veri kullanılmıştır. KB'ye ait çoklu regresyon analiz sonuçları Tablo 4'de SB'ye ait sonuçlar ise Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 4. KB'nun betonun çoklu regresyon analiz sonuçları

<i>Regresyon istatistikleri</i>		<i>Değerler</i>			
Bağımlı değişken		Basınç			
Bağımsız değişken sayısı		2			
Kolerasyon katsayısı R =		0,939			
R ²		0,8821			
Düzeltilmiş R ²		0,869			
Belirsizlik katsayısı		0,1466			
Ortalama hatalar karesi		6,9611			
<i>Varyans analizi</i>					
Varyans kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ort.	F-Testi	$\alpha < 0.05$
Regresyon	937,716	2	468,858	67,354	0,000
Kalan	125,301	18	6,9612		
Toplam	1063,017				
<i>Regresyon analizi</i>					
	Standart hata	Katsayılar	T istatis.	Anlam. düzeyi	
Kesme noktası		14,743	1,2731	0,2192	
Sıcaklık	0,243	-0,01782	-2,2583	0,0366	
Ultrases geçiş hızı	0,244	3,2541	1,6603	0,114	

Tablo 5. SB'ye ait çoklu regresyon analiz sonuçları

<i>Regresyon istatistikleri</i>	<i>Değerler</i>
Bağımlı değişken	Basınç
Bağımsız değişken sayısı	2
Kolerasyon katsayısı R =	0,922
R ²	0,8518

Düzeltilmiş R ²	0,8353				
Belirsizlik katsayısı	0,1504				
Ortalama hatalar karesi	7,27				
<i>Varyans analizi</i>					
Varyans kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ort.	F-Testi	$\alpha < 0.05$
Regresyon	747,42	2	373,71	51,71	0,000
Kalan	130,09	18	7,22		
Toplam	877,51				
<i>Regresyon analizi</i>					
	Standart hata	Katsayılar	T istatis.	Anlam. düzeyi	
Kesme noktası	7,2972	16,5752	2,271	0,0356	
Sıcaklık	0,0073	-0,0177	-2,408	0,0269	
Ultrases geçiş hızı	1,5303	2,0879	1,364	0,1892	

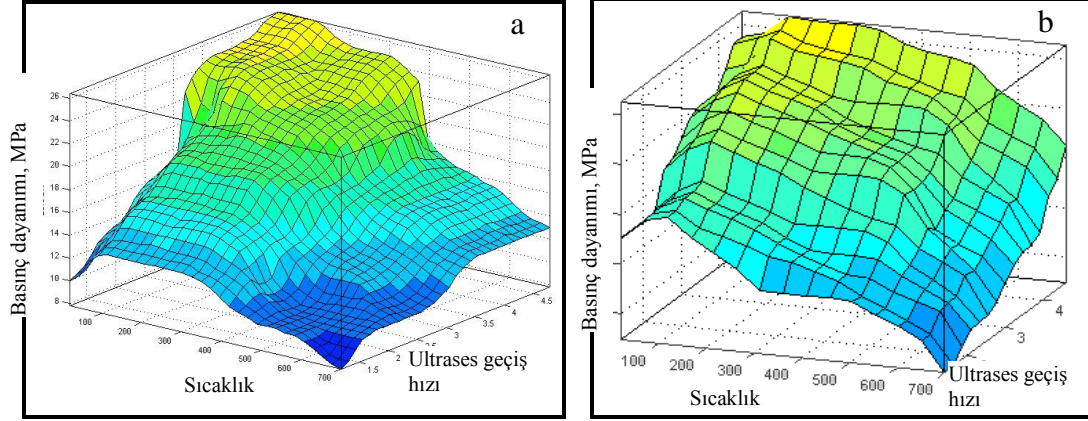
Oluşturulan çoklu regresyon modeline ilişkin çoklu lineer regresyon analizin denklemleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Çoklu doğrusal regresyon denklemler

Beton sınıfı	Regresyon Denklemi
KB	$Y=14,743-0,01782xS+ 3,2541xU$
SAK	$Y=16,575-0,0177xS + 2,0879xU$

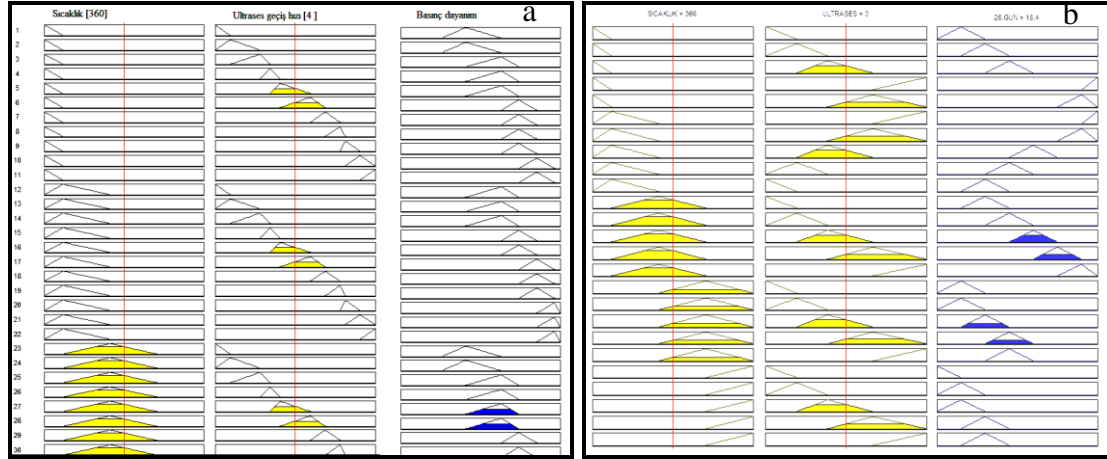
S: Sıcaklık, U: Ultrases geçiş hızı

İkinci tahmin yöntem ise MATLAB paket programında bulanık mantık tahmin modeli geliştirilmiştir. Her iki beton türünde sıcaklık ve ultrases geçiş hızı girdi olarak kullanılmıştır. Çıktı parametresi ise basınç dayanım değerleri hesaplanılmaya çalışılmıştır. KB'ye ait matematiksel model grafiği Şekil 4a'da SB'ye betona ait matematiksel model ise Şekil 4b'de gösterilmektedir.



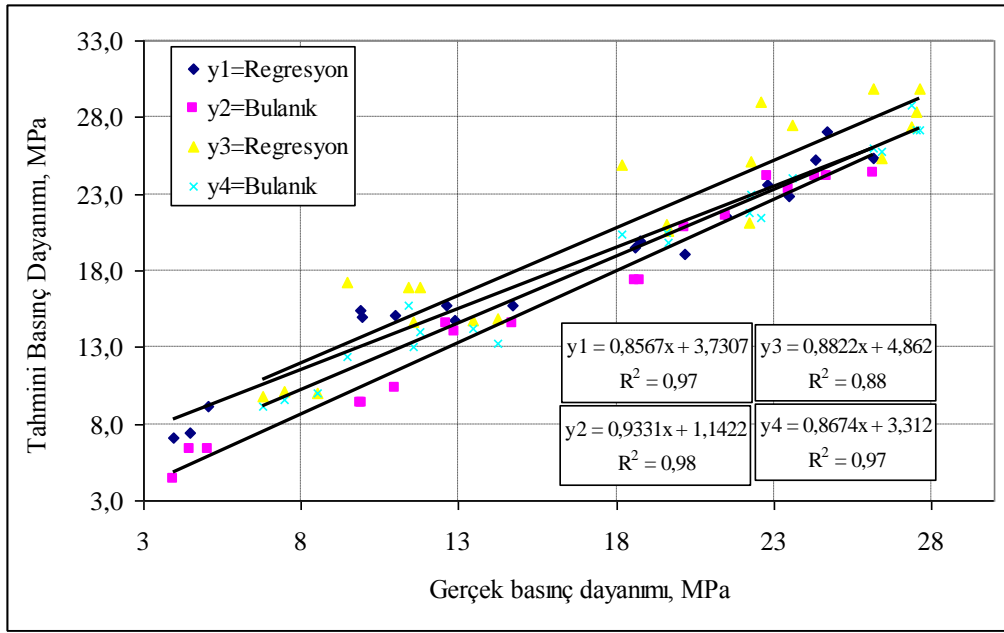
Şekil 4. Bulanık mantık modelleri, a)KB, b)SB

Üyelik fonksiyonların arasındaki ilişkiyi gösterecek kuranların belirlenmesinde sonra matematiksel modelin tahmin ettiği değerleri belirlemek amacıyla, ağırlık merkezine göre hesaplatılmış durulaştırma ara yüzeyleri Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Durulaştırma ara yüzeyleri a)KB, b)SB

Hangi tahmin modelinin deney sonuçlarını daha yüksek oranda tahmin edilebildiğini belirlemek amacıyla tahmin modellerinden elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak Şekil 6’da incelenmiştir.



Şekil 6. Tahmin modelleri-gerçek değerler arasındaki ilişki

Şekil 6'da gerçek-regresyon ve gerçek-bulanık mantık arasındaki ilişkiler grafiği oluşturulan değerlerin ortalamaları alınmıştır. Grafikte y_1 denklemi KB'nun doğrusal regresyon ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişki, y_2 denklemi KB'nun bulanık mantık ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişki, y_3 denklemi SB'nin betonun doğrusal regresyon ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişki, y_4 denklemi SB'nin betonun bulanık mantık ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişki göstermektedir.

4. Sonuçlar

SB'lerin 28. günlük yüksek sıcaklık uygulanmış basınç dayanım değerleri KB'nin değerlerinin çok altında gerçekleşmiştir. Sonuçta yüksek sıcaklığın SB'nin üzerinde etkisini olmadığı kanısına varılmıştır.

KB ve SB betonlarına 5 farklı yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra deneysel olarak ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değerleri kullanılarak çoklu lineer regresyon ve bulanık mantık

modelleri oluşturulmuştur. Modeller kullanılarak basınç dayanımları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca tahmin modellerin sonuçları istatistik olarak karşılaştırılması yapılarak değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda çoklu doğrusal regresyon ile deney sonuçları karşılaştırıldığında, çoklu regresyon analiz ile bütün sıcaklık değerlerinde KB'nin basınç dayanımları ortalama % 20, SB'nin basınç dayanımları ise ortalama % 3,5 yaklaşık değerle tahmin edilmiştir. Bulanık mantıkta ise KB'nin basınç dayanımları ortalama % 20, SB'nin basınç dayanımları ise ortalama % 5 hata ile tahmin edilmiştir. Buna göre bulanık mantık yönteminin çoklu doğrusal regresyon modeline göre daha başarılı sonuç verdiği bulunmuştur. Sonuçta SB'nin yüksek sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değerlerine bağlı olarak basınç dayanımının tahmin edilebileceği, basınç dayanım değerlerinin tahmininde bulanık mantık yönteminin kullanılabilirliği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Sarıdemir M., Topçu İ.B., Özcan F., Severcan MH., "Prediction of long-term effects of GGBFS on compressive strength of concrete by artificial neural networks and fuzzy logic" *Construction and Building Materials*, (2009), 23 1279–1286,
- [2] Demir F. A new way of prediction elastic modulus of normal and high strength concrete-fuzzy logic. *Cement Concrete Res* 2005; 35(8):1531–8.
- [3] S_en Z. Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration. *Sol Energy*, 1998; 63(1):39–49.
- [4] Zadeh LA. Fuzzy sets. *Inform Control* 1967; 8:338–53.
- [5] Passino KM, Yurkovich S. *Fuzzy control*. Addison-Wesley; 1998.
- [6] Ho DWC, Zhang PA, Xu J. Fuzzy wavelet networks for function learning. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 2001; 9(1):200–11.
- [7] Özgan E., "Tas Unu miktarının beton basınç dayanımına etkisinin bulanık mantıkla incelenmesi" *e-Jurnal of New Word Sciences Academy*, 2008, 3(1) 4

- [8] Uygunoğlu T., Ünal O., Yücel K.T.,“Uçucu külün betonun basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı”,4.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2005
- [9] Subaşı S.,“Vakumlu betonlarda farklı derinliklerdeki beton yoğunluğunun alternatif yöntemler ile tahmin edilmesi”,Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2008; (2) 53-61
- [10] Altın M., Sarıtaş M., İ., Çelik H., “Kendiliğinden yerleşen beton numunelerinde dayanım özelliklerinin deneysel çalışma ve tasarlanan bulanık uzman sistem ile incelenmesi” 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2005
- [11] Missaglia, C. “The Concrete”, Course Notes W.R. Grace Camp., 1983,
- [12] Türk Standartları, “Beton katkıları-tarifler ve özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme” (TS EN 934-2), Türk Standartları Enstitüsü 2002,
- [13] Akman, M.S., Akçay B., “Kimyasal beton katkılarının gelişimi ve çimentolarla uyumu”, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 2005, s:15-32
- [14] Mantegazza, G., Yanardağ, C.,“Yüksek mukavemetli ve dayanıklı betonlarda süper akışkanlaştırıcı kullanımı”,Kuzey Kıbrıs 1. Beton Kongresi, 1990, s.106-116
- [15] Şimşek, O., Sancak,E., “Yüksek sıcaklığın silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıli hafif betona etkileri” Gazi Üniv. Müh., Mim., Fak. Dergisi, 2005, s. 443-450
- [16] Yüzer,N., Akbaş, B., Kızılkant, A.B., “Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımı-renk değişimi ilişkisinin yapay sinir ağları yöntemi ile tahmini”, 7. Ulusal Beton Kongresi, Kasım 2007, s.271-280
- [17] Türk Standartları, “Beton karışım hesap esasları” (TS 802), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [18] Türk Standartları, “Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk” (TS EN 206–1), Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
- [19] Türk Standartları, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini” (TS 3530 EN 933–1), Türk Standartları Enstitüsü, 1999.
- [20] Türk Standartları, “Beton agregalarının birim ağırlıklarının tayini” (TS 3529), Türk Standartları Enstitüsü, 1980.
- [21] Türk Standartları, “Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slamp)” (TS EN 12350-2), Türk Standartları Enstitüsü, 2002.

- [22] Türk Standartları, “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 3: Vebe Deneyi” (TS EN 12350-3), Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
- [23] Türk Standartları, “Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 2:Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve kürlenmesi” (TS EN 12390–2), Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
- [24] British Standards, “Fire classification of construction products and building elements. Classification using data from reaction to fire tests”, (BS EN 13501-1:2007), British Standards Institution, 2007.
- [25] International Organization for Standardization, “Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction - Part 1: General Requirements”, (ISO 834).
- [26] ASTM C597-83 “Standard test method for pulse velocity through concrete,” Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, Philadelphia.
- [27] Türk Standartları, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç” (TS EN 12390–3), Türk Standartları Enstitüsü, 2003.
- [28] İstatistik analiz, http://www.istatistikanaliz.com/regresyon_analizi.asp, Ekim, 2009