

# Yüksek Sıcaklık Uygulanmış Katkılı Betonun Bulanık Mantık ve Regresyon Yöntemiyle Basınç Dayanımının Tahmini

Gökhan DURMUŞ, Ömer CAN

## ÖZET

Malzemeler yüksek sıcaklıkla karşı karşıya kaldıkları zaman içyapılarında geri dönüşümü mümkün olmayan fiziksel ve kimyasal değişimler olmaktadır. Bu değişimlerin önceden bilinmesi konut yapılar için son derece önemlidir. Bu çalışmada, hava sürüklenmiş katkı (HSK) ilave edilerek üretilmiş betonlara 5 farklı yüksek sıcaklık değerinde çoklu doğrusal regresyon ve bulanık mantık yöntemi kullanılarak basınç dayanım değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Beton örnekler 50x100 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Numunelere ultrases geçiş hızı ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Sonuçta yüksek sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değerlerine bağlı olarak bulanık mantık modelinin çoklu doğrusal regresyon modeline göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, hava sürükleyici katkı, yüksek sıcaklık, bulanık mantık

## The Prediction of Compressive Strength of High Temperature Implemented Additive Concrete Using Fuzzy Logic and Regression Methods

### ABSTRACT

When materials are faced with high temperature, physical and chemical changes in their structure and these changes are irreversible. It is crucial to predict these structure changes for buildings. In the study compressive strengths of concrete samples produced with mixing air carried additives for 5 different temperatures were tried to predict using multi linear regression and fuzzy logic methods. These samples were casted in of 50x100 mm dimension. The compressive strengths and ultrasound transition values were obtained on these samples. The higher temperature and ultrasound transition speeds were used as input for the determination of compressive strength values. As the result of the study, it was observed that the fuzzy logic model for the due to higher temperature and ultra sound transition values was better than the multi-linear regression model.

**Keywords:** Concrete, air entrained admixture, high temperature, fuzzy logic

### 1. GİRİŞ

Kimyasal katkıları (KK) TS EN 206'ya göre "Taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek üzere, karıştırma işlemi esnasında betona, çimento kütlelerine oranla az miktarlarda ilâve edilen malzeme" olarak tanımlanmaktadır (1,2). Katkıları kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmaktadır. KK'lar betonun priz geciktirici veya hızlandırıcı etkilerinin değiştirilmesinde, su miktarının azaltılmasında, hava içeriğinin değiştirilmesinde ve suda çözünebilir klorür miktarının azaltılması gibi özelliklerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu özellikler sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesinde yardımcı olmaktadır (3,4).

Hava sürükleyici katkıları (HSK) beton içinde çok küçük boyutlu hava kabarcıkları oluşturarak betonun dış etkilere karşı dayanıklılığını artırmak için kulla-

nılmaktadır (4). HSK maddesi betonun dayanıklılık özelliklerini geliştirirken dayanım özellikleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturmamaktadır. Bu nedenle HSK'ların beton özellikleri ile ilgili çalışmalar artarak devam etmektedir.

HSK'nın kullanımı Abrams'ın yayını ile 1924'de başlamıştır (3). Betona hava sürüklenme işlemi akışkanlığının artırılması sodyum veya kalsiyum lignosülfonat'ın (LS) kullanılmasıyla gerçekleşmiştir. LS ile akışkanlığı artırılan betonların içine bir miktar hava da sürüklendiği tespit edilmiştir. Williams HSK'yı 1931 yılındaki makalesinde bunu açıklamış, ancak kimyasal formülü 1956 yılında kesin olarak belirlenmiştir (5,6). HSK'lar beton içerisinde var olan hava kabarcıklarını doğrusal dağılım göstererek eşit olarak yaymaya çalışan aktif maddelerdir. Bu özellikleri yüzünden betondaki su geçirimsizliğini artırması ve donma-çözülme periyodunu kısaltarak dayanıklılığa önemli katkıda bulunması beklenmektedir (7).

KK'nın yanında betona çeşitli mineral katkıları eklenmesiyle betonun yüksek sıcaklığa karşı dayanımını geliştirme çabaları da bulunmaktadır. Yüzer N., ve ark.

*Makale 24.03.2009 tarihinde gelmiş,03.09.2009 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.*

*G. DURMUŞ, Ö. CAN, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü*

*e-posta : gdurmus@gazi.edu.tr, omercan@gazi.edu.tr,*

*Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.3. 195-200*

(2007), mineral katkılardan silis dumanı (SD) ve uçucu kül (UK) % 10 ikameli olarak katılan betonlara 100, 200, 300, 600 ve 900 °C gibi yüksek sıcaklıklar uygulamıştır. Farklı sıcaklığa maruz kalmış beton numunelere kendiliğinden ve suda soğutma olmak üzere iki grupta gerçekleştirilerek betonun rengindeki değişiklikler ışıkölçer ile sayısal olarak incelenmiştir (8). Demirel B. ve ark. (2008), SD katılmış karbon lifli hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yaptığı etkiler gözlenmek için bir saat süreyle 250, 500, 750 ve 1000 °C yüksek sıcaklıklar uygulanarak, SD katılı serilerde basınç dayanımı kayıpları SD'siz serilere göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (9).

Çalışmamızda, HSK'lı betonlara yüksek sıcaklık uygulaması gerçekleştirilerek HSK'nın etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, C25 sınıfındaki 50x100 mm ebatlarında karotlara 100, 200, 300, 400, 500 ve 700 °C'de yüksek sıcaklıklar uygulaması yapılmış ve laboratuvar koşullarına (20°C) kadar soğutulan numunelere ultrases geçiş hızı ve basınç dayanım deneyi gerçekleştirilmiştir. KB ve HSK'lı beton numunelerden elde edilen gerçek sonuçlar, çoklu doğrusal regresyon ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak basınç dayanımı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## 2. DOĞRUSAL REGRASYON VE BULANIK MANTIK MODELİ

Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek bilimin uğraşlarından birisidir. Çünkü gerek günlük hayatımızda gerekse bilimsel araştırmalarda karşılaştığımız sorunların çoğunluğu iki (veya daha çok) değişken arasında bir ilişki olup olmadığının saptanması ile ilgilidir. İki değişken arasında eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin derecesinin saptanması da önemlidir. Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerleri ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan modele regresyon modeli denilmektedir. Basit ve çoklu doğrusal regresyon model (ÇDR) denklemleri Eş.1 ve Eş.2'de verilmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (1)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (2)$$

Doğrusal modelde,

$\beta_0$  = Doğrunun y- ekseninin kestiği nokta,

$\beta_1$  = Doğrunun eğimi,

$\varepsilon$  = Şansa bağlı hata terimi, olarak ifade edilmektedir.

Bulanık mantık (BM), sistemlerin tanımlanmasında ve kontrol edilmesinde geniş çapta kullanılan bir modeldir (10). Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisi, klasik küme teorisine alternatif olarak, L.A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Çalışmamızda insan beyninin büyük bir bölümünün bulanık olduğunu belirtmiştir (11). Bulanık küme teorisi, küme ve alt kümeler şeklinde olmaktadır (12). Bu durum, belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasının yanı sıra, doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde temsil edilebilmesini sağlamakta-

dır (13). Genel olarak mühendislikte incelenen bir olaydaki belirsizlikler için istatistik veya matematik yöntemler kullanılmakta ve çoğunlukla olay ile ilgili kabbuller yapılarak model kurulmaktadır (14). Ancak, rastgele olmayan belirsizlik halleri için, istatistik veya matematik yöntemler kullanılması uygun olmamakta ve bu yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu tür rastgele olmayan belirsizlikler bulanık (fuzzy) olarak tanımlanmakta ve modellenmektedir (15,16).

## 3. MALZEMELER VE YÖNTEM

### 3.1. Malzemeler

Beton karışımında 0-4, 4-16 ve 16-22,4 mm tane sınıflarına ayrılmış ve sırasıyla 2,68, 2,72 ve 2,74 gr/cm<sup>3</sup> birim hacim ağırlıkları sahip kalker esaslı kırma agregası kullanılmıştır. Karışımında, Ankara Set Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R çimentosu, karışım suyu olarak da Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal analizleri, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42.5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik analiz

Kimyasal analiz, %		Fiziksel özellikler		
SiO <sub>2</sub>	20,41	Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /gr	3350	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,35	Genişleme, mm	1,0	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,30	Su ihtiyacı, gr	28,2	
CaO	62,50	Priz başl., dk	157	
MgO	1,65	Priz sonu., dk.	235	
SO <sub>3</sub>	2,93	Özgül ağırlık, gr/cm <sup>3</sup>	3,1	
Na <sub>2</sub> O	0,15	Mekanik özellik Basınç dayanımı	Gün	MPa
K <sub>2</sub>	0,71		3. gün	28,5
Cl	0,011		7. gün	41,7
HCl	0,28		28. gün	52,4

Karışımında, sentetik HSK'sı tercih edilmiş ve ağırlıkça çimento miktarının % 0,1 kadarı kullanılmıştır. HSK'nın TS EN 480-8 (17) göre katı madde miktarı olmadığı, TS EN 480-10 (18) göre suda çözülebilir klorür miktarı ≤ % 0,1 olduğu tespit edilmiştir.

### 3.2. Yöntemler

#### 3.2.1. Agregası deneyleri

Agregası tene büyüklüğü dağılımını TS 3530 EN 933-1 (19) ve TS 130 (20), birim hacim ağırlığını TS 3529 (21) standardı göre gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.2. Taze beton deneyleri

Çökme deneyi TS EN 12350-2 (22), hava miktarının tayini, TS EN 12350-7 (23) standardı göre gerçekleştirilmiştir. Karışımların beton sınıfı C25 olup, HSK'lı ve kontrol betonlarda (KB) s/ç oranı 0,55 dir. HSK'lı betonlara katkı oranı % 0,1 olarak sabit tutulmuştur. KB ile HSK'lı betonların 1 m<sup>3</sup> karışıma giren malzeme miktarları Tablo 2'te verilmiştir.

Tablo 2. Beton karışımdaki malzeme miktarları (1 m<sup>3</sup>)

Malzemeler	KB	HSK	
Çimento, kg	309	309	
Su, lt	170	170	
s/ç	0,55	0,55	
HSK, kg	-	1	
Agrega	0-4 (%46)	909 kg	909 kg
	4-16 (%40)	790 kg	790 kg
	16-22,4 (%14)	277 kg	277 kg

### 3.2.3. Sertleşmiş beton deneyleri

Beton karışımı TS 802 (24) ve TS EN 206-1 (25) standartlarında belirtilen husulara göre, beton numunelerinin hazırlanması ise TS EN 12390-2 (26) standardına göre yapılmıştır. Deneyler 50x100 mm'lik karot numuneler üzerinde yapılmıştır. Ayrıca, basınç dayanımı TS EN 12390-3 (27) standardına göre, ultrases deneyi, ASTM C597-83 (28) standardına göre gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Çoklu doğrusal regresyon analizi

Beton sınıfı	Zaman Faktörü	Regresyon Katsayısı	Ort. Hata. karesi	Regresyon Denklemi	Anlam. Düzeyi, $\alpha < 0.05$
KB	7	0,878	7,55	$Y_{7KB} = 35,281 - 0,03775 * S_{7KB} - 3,436 * U_{7KB}$	0,00
	28.	0,963	2,52	$Y_{28KB} = 30,806 - 0,03098 * S_{28KB} - 5,618 * U_{28KB}$	0,00
HSK	7.	0,855	3,88	$Y_{7HSK} = 6,749 - 0,00748 * S_{7HSK} + 3,099 * U_{7HSK}$	0,00
	28.	0,866	9,14	$Y_{28HSK} = 2,023 - 0,00934 * S_{28HSK} + 5,17 * U_{28HSK}$	0,00

S: Yüksek sıcaklık değeri, U: Ultrases geçiş hızı değeri

### 3.2.4. Yüksek sıcaklık etkisi

Genellikle betonda yüksek sıcaklık etkisi çalışmaları, yüksek sıcaklık altındaki betonun yapısında meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeleri BS EN 13501-1 ve ISO 834 belirtildiği standartlar kısmen uyulmuştur (29, 30). Standartlara göre gerçek yangın ortamı olan 20 – 1000°C sıcaklık arasında ve 15 - 300dk süre içerisinde oluşmaktadır. Ortalama ısı artış oranı 27,4 °C/dk'ya denk gelmektedir. Ancak, ısı artış oranını bu kadar kısa süre içerisinde 27,4 °C/dk'ye çıkarmak rezistanslı fırınlar için mümkün olamamaktadır. Üretici firmadan alınan bilgiler ışığında yüksek sıcaklık fırını 10°C/dk olacak şekilde programı yapılarak betonlar ısıtılmıştır.

Çalışmamızda beton numuneler 1600°C kapasiteli PLF 160/30 laboratuvar tipi fırında 180dk süreyle 100, 300, 500 ve 700°C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık değerlerine bağlı olarak, 20°C sıcaklığa kadar 1-2 saat aralığında soğuma gerçekleş-

miştir. Bütün sıcaklık değerlerinde 3 adet numune kullanılmıştır.

### 3.2.5. Regresyon ve bulanık mantık modelleri

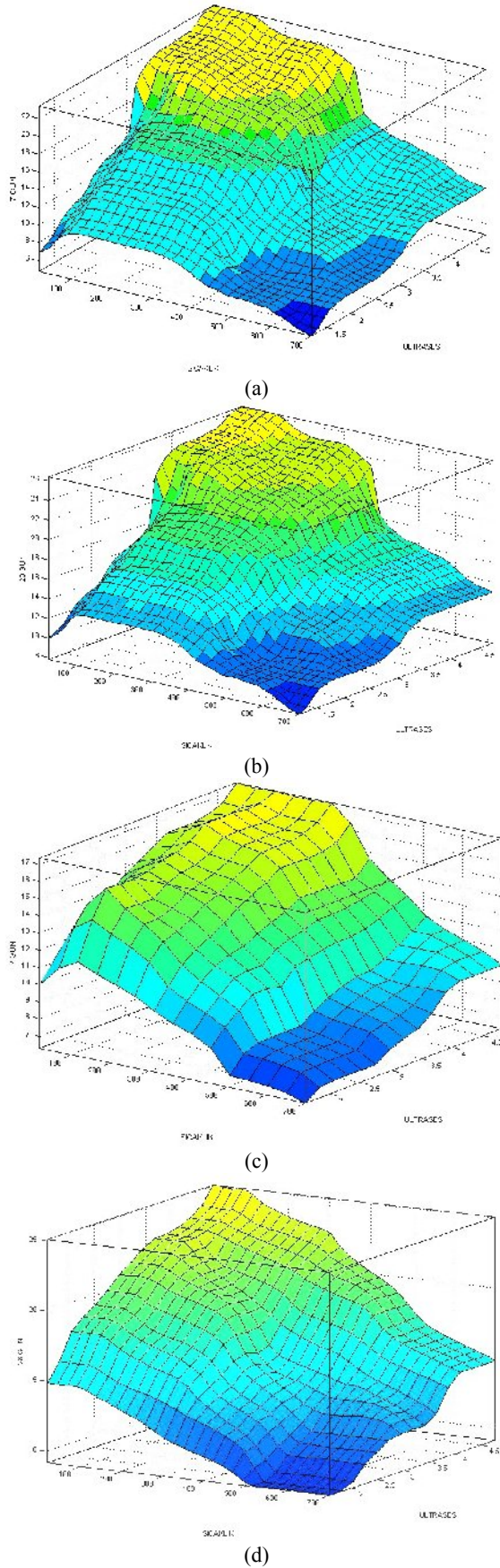
Çalışmada ÇDR ve BM modelleri olmak üzere iki şekilde tahmin yöntemi uygulanmıştır. Girdi olarak yüksek sıcaklık ve ultrases geçiş hızı değerleri, çıktı olarak 7 ve 28. gündeki basınç dayanım değerleri tahmin edilmiştir. ÇDR modelinde Statistica paket programı kullanılarak her sıcaklık değerinde 3 olmak üzere toplam 84 adet veri kullanılmıştır.

BM yöntemi MATLAB bilgisayar programındaki "Fuzzy logic" modeli kullanılarak geliştirilmiştir. Modelin her iki girdi değerinde 5, çıktı değerlerinde ise 8 üyelik fonksiyonları yazılmıştır. Üyelik fonksiyonların küme aralıkları hazırlanırken deneysel verilerden yararlanılmıştır. Ayrıca üyelik fonksiyonların birbiri ve çıktılar arasındaki kural tabanı hazırlanmış ve kurallar "VE" bağlacı ile bağlanmıştır. Her iki gün koşulunda 5x5=25 adet kural yazılmıştır. Durulaştırma işlemi literatürde en yaygın olarak kullanıldığı görülen "ağırlık merkezi" seçilmiş ve buna göre durulaştırılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

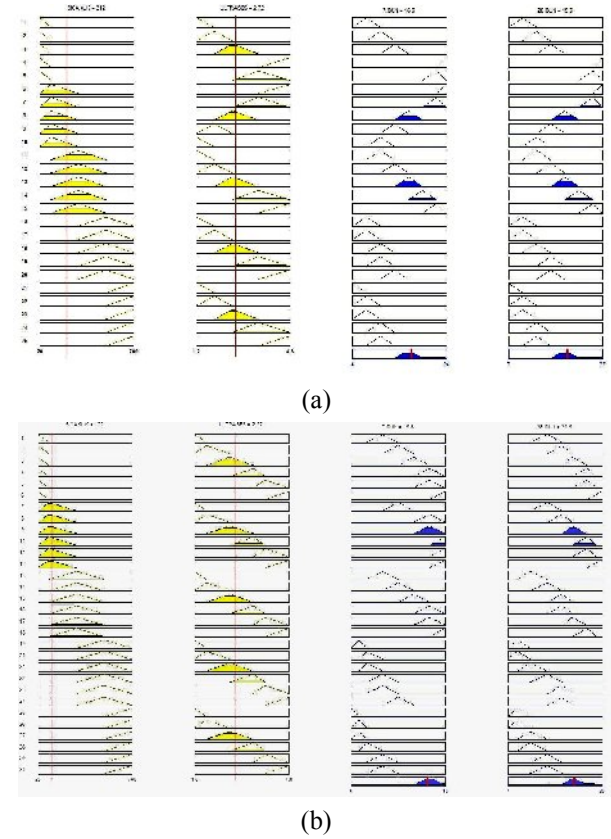
KB'nun çökme değeri 3 cm, hava içeriği % 2,6, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları sırasıyla 1,88 g/cm<sup>3</sup> ve 2,24 g/cm<sup>3</sup> olarak, HSK'lı betonda ise çökme değeri 4 cm, hava içeriği % 4,2, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları sırasıyla 1,96 g/cm<sup>3</sup> ve 2,25 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Literatür bilgilerine göre; kırma agregalarla yapılan betonların birim ağırlığı 2,2-2,4 kg/dm<sup>3</sup> arasında olduğundan (4), KB ve HSK betonların birim hacim ağırlıkları literatür bilgilerle uyumluluk göstermektedir. KB'nin çökme değeri HSK'lı betona göre 1.5 kat, hava miktarı ise 1.6 kat yüksek elde edilmiştir. Bu durum HSK'nın etkisi ile açıklanabilir. Tahmin modelinin ilkindeki ÇDR modeli ikinci dereceden matematiksel modellemeyle açıklanabilmekte ve analiz sonuçları Tablo 3'de verilmektedir.

Deneysel sonuçlara bağlı olarak geliştiren BM tahmin modeli Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de hem gün koşulunda hem de katkı türüne göre 4 adet model geliştirilmiştir.



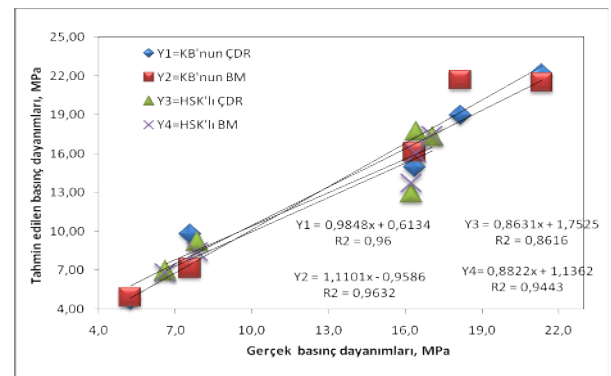
Şekil 1. Bulanık mantık modelleri a) KB 7.gün, b)KB 28. gün, c)HSK 7 gün, d) HSK 28 gün

Üyelik fonksiyonları ve aralarındaki ilişkiyi yansıtabilecek kuralların belirlenmesinden sonra modelin tahmin ettiği değerleri belirlemek amacıyla kullanılan durulaştırma ara yüzü Şekil 2’de görülmektedir.



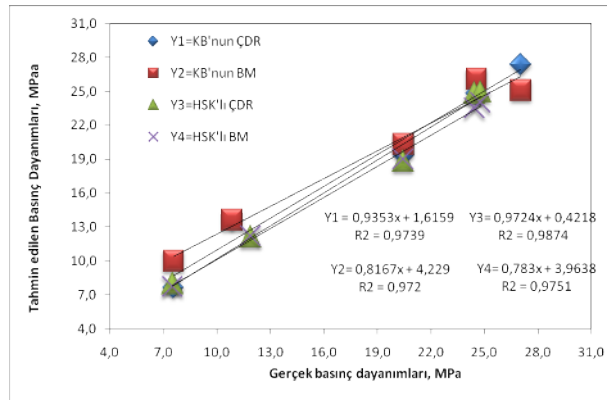
Şekil 2. Durulaştırma ekranı, a)KB, b)HSK

ÇDR ve BM yöntemiyle elde edilen değerler, deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her iki tahmin modelinin 7. günde karşılaştırmalı sonuçları Şekil 3’de, 28 gün karşılaştırmalı sonuçları ise Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 3. 7 günde tahmin modelleri-gerçek değerler arasındaki ilişki

Şekil 3 ve 4'deki gerçek-regresyon ve gerçek-bulanık mantık arasındaki ilişkiler verilmiştir. Grafikte  $y_1$  denklemi KB'nin doğrusal regresyon ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişki,  $y_2$  denklemi KB'nin bulanık mantık ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişki,  $y_3$  denklemi HSK'lı betonun doğrusal regresyon ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişki,  $y_4$  denklemi HSK'lı betonun bulanık mantık ile gerçek değerler arasındaki nümerik ilişkiyi göstermektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında BM yöntemi ÇDR modeline göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 4. 28 günde tahmin modelleri-gerçek değerler arasındaki ilişki

## 5. SONUÇLAR

KB ve HSK'lı betonlardan 5 farklı yüksek sıcaklık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerleri elde edildikten sonra ÇDR ve BM tahmin yöntemi kullanılarak basınç dayanım tahmini gerçekleştirilmiş ve bunlar gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır.

KB'nin ÇDR matematiksel model sonuçları gerçek sonuçlarla karşılaştırıldığında 20 (Ref) °C'deki karot örnekleri 7. günde %-4, 28. günde %-1.3, 100 °C'deki karot örnekleri 7. günde %-4.7, 28. günde %-0.9, 300 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 8.6, 28. günde % 5.6, 500 °C'deki karot örnekleri 7. günde % -19, 28. günde % -15, 700 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 10, 28. günde % -1 fark olduğu bulunmuştur.

HSK'nın ÇDR matematiksel model sonuçları gerçek sonuçlarla karşılaştırıldığında 20 (Ref) °C'deki karot örnekleri 7. günde %-8, 28. günde %-1.7, 100 °C'deki karot örnekleri 7. günde %-1.4, 28. günde %-0.7, 300 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 20, 28. günde % 7.9, 500 °C'deki karot örnekleri 7. günde % -17.5, 28. günde % -1.9, 700 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 5.2, 28. günde % -6.3 fark olduğu bulunmuştur.

KB'nin BM model sonuçları gerçek sonuçlarla karşılaştırıldığında 20 (Ref) °C'deki karot örnekleri 7. günde %-0.7, 28. günde %7, 100 °C'deki karot örnekleri 7. günde %-10, 28. günde %-6, 300 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 1.5, 28. günde % 0.9, 500 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 5.5, 28. günde % -0.3, 700 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 5, 28. günde % -8 fark olduğu bulunmuştur.

HSK'nın BM model sonuçları gerçek sonuçlarla karşılaştırıldığında 20 (Ref) °C'deki karot örnekleri 7. günde %2.5, 28. günde %4, 100 °C'deki karot örnekleri 7. günde %-2, 28. günde %3.2, 300 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 10, 28. günde % 7, 500 °C'deki karot örnekleri 7. günde % -6, 28. günde % -2.4, 700 °C'deki karot örnekleri 7. günde % 2.7, 28. günde % 2.6 fark olduğu bulunmuştur.

Ortalama değerlere göre BM yönteminin gün türlerine bağlı olarak daha başarılı sonuç verdiği bulunmuştur.

## 6. KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T.Y., Admixtures For Concrete, ODTU Geliştirme Vakfı Yayn. ve Ltş Şti., Ankara, , ss 10-11. (1997)
2. Topçu, İ.B., "Yapı Malzemeleri ve Beton", Eskişehir, (2006)
3. Akman, M.S., Akçay, B., "Kimyasal Beton Katkıların Gelimi ve Çimentolarla Uyumu", Yapılarda Kimyasal Katkılar (Beton ve Harçlar) Sempozyumu, 24-258, ss 15-32 Ankara,(2005)
4. Erdoğan, T.Y., "Beton", ODTU Geliştirme Vakfı Yayn. ve iltş Şti., Ankara, , ss 140-160. (2003)
5. Troxell, G.E., Davis, H.E., "Composition and Properties of Concrete", Mc Graw-Hill Book Comp. Inc., NewYork, , pp. 66-74. (1956)
6. Parlak, N., Akman, M.S., "Lignosüfonatların Üretimi, Özellikleri ve Süper akışkanlaştırıcı Olarak Geliştirilmesi", SİKA Teknik Bülten, s. 3-13. (2002/1)
7. Tosun, M., "Beton Katkı Maddeleri ve Önemi", Kuzey Kıbrıs 1. Beton Kongresi, , s. 133-139. (1990).
8. Yüzer, N., Akbaş, B., Kızılkıranat, A.B., "Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Betonun Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Tahmini", 7. Ulusal Beton Kongresi, s. 271-280, (2007).
9. Demirel, B., Gönen, T., "Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı Ve Poroziteye Etkisi", Mühendislik Bilimleri Dergisi, s. 223-228. (2008).
10. Elmas, Ç., "Bulanık Mantık Denetleyiciler", ISBN 975 347 613 2, Seçkin yayınevi, Ankara, 26, (2003).
11. Zadeh, L.A., 1965 "Fuzzy sets" Information And Concrete", 8, 338-352. (1965).
12. Beycioğlu, A., Kılınçarslan, Ş., Başyigit C., Emiroğlu M., Akkurt, İ., "Yapay Sinir Ağları İle Ağır Betonların Basınç Dayanımının Tahmini" Fırat Univ. Fen Ve Muh. Bilimleri Dergisi 20-4, 609-616, (2008).
13. Demir, F., Gençoğlu, M., ve Güler, K., "Çelik Tel Takviyeli Betonların Gerilme-Şekil Değişirme Davranışı için Bir Bulanık Mantık Yaklaşımı", Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul, 15-16-17 Nisan (2004).
14. Murat Y.Ş., Gedizlioğlu E., A Fuzzy Logic Multi-phased Signal Control Model for Isolated Junctions, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 13, 19- 36s., (2005).
15. Şen, Z., Fuzzy Algorithm for Estimation of Solar Irradiation from Sunshine Duration,Solar Energy, 63, 1, 39-49,(1998).
16. Murat, Y. Ş., Uludağ N., "Bulanık Mantık ve Lojistik Regresyon Yöntemleri ile Ulaşım Ağlarında Geçki Seçim

- Davranışının Modellenmesi İMO Teknik Dergi, 4363 - 4379, Yazı 288, (2008)
17. TS EN 480-8, “Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet İçin- Deney Metotları- Bölüm 8: Katı Madde Muhtevası Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, (2001).
  18. TS EN 480-10, Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet İçin- Deney Metotları- Bölüm 10: Suda Çözünebilir Klorür Muhtevası Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, (2001).
  19. TS 3530 EN 933-1, “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1999).
  20. TS 130, “Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1978).
  21. TS 3529, “Beton agregalarının birim ağırlıklarının tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1980).
  22. TS EN 12350-2, “Beton- taze beton deneyleri- bölüm 2: çökme (slamp)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
  23. TS EN 12350-7, “Türk “Beton- taze beton deneyleri- bölüm 7: hava içeriğinin tayini- basınç metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2002).
  24. TS 802, “Beton Karışım Hesap Esasları” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2009).
  25. TS EN 206-1, Türk Standartları Enstitüsü, “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
  26. TS EN 12390-2, “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve kürlenmesi” (), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
  27. TS EN 12350-3, “Beton- taze beton deneyleri- bölüm 3: vebe deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
  28. ASTM C597-83, “Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete”, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, Philadelphia. 1991.
  29. BS EN 13501-1:2007 “Fire classification of construction products and building elements. Classification using data from reaction to fire tests”, British Standards Institution, (2007).
  30. ISO 834, “Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction - Part 1: General Requirements”,