

BETONUN BASINÇ MUKAVEMETİNİN TAZE BETON ÖZELLİKLERİNDEN TAHMİNİ İÇİN ANFIS MODELİ

Cengiz Özel*, Oktar Soykan

Özet

Betonun sertleşme süreci geri dönüştürülemezdir ve taze beton özellikleri hem sertleşme sürecini hem de sertleşmiş beton özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Betonun basınç mukavemeti, eğilme, çekme, elastisitesi ve durabilitesi gibi birçok özellikleri ile yakından ilişkili olduğu için en önemli özelliklerinden biridir. Bu çalışmada beton bileşenlerinin kısmi hacim oranları ve akış özellikleri kullanılarak betonun basınç mukavemetinin tahmini için Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanılarak bazı modeller geliştirilmiştir.

Modellerden en düşük determinasyon katsayısı yalnızca akış özelliklerinin girdi olarak kullanıldığı modelden ($R^2= 0.369$) elde edilmişken yalnızca kısmi hacim oranlarının girdi olarak kullanıldığı modelden ($R^2= 0.673$) akış özelliklerine göre daha yüksek elde edilmiştir. En yüksek determinasyon katsayısı ise her iki değişkenin girdi olarak kullanıldığı modelden ($R^2= 0.961$) elde edilmiştir. Kısmi hacim oranı ve akış özellikleri kullanılarak betonun basınç mukavemetini belirlemek için ANFIS yönteminin alternatif bir metot olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: betonun basınç mukavemeti, akış özellikleri, ANFIS modelleme

ANFIS MODEL FOR THE PREDICTION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE FOR FRESH CONCRETE PROPERTIES

Abstract

The hardening process of concrete is irreversible, and properties of fresh concrete directly affect the hardening process and afterwards its hardened properties. Compressive strength is one of the most important mechanical properties of hardened concrete because it is related to other properties or performance of concrete such as bending, tensile, elasticity and durability. In this study, the ANFIS models were developed to estimate the concrete compressive strength from partial-volume ratio of concrete components and flow properties.

While lowest coefficient of determination is obtained ($R^2= 0.369$) from modeling using of only flow properties as input parameters, modeling using of only partial-volume ratio of concrete components as input parameters is higher ($R^2= 0.673$) than modeling of flow properties. However, the best results ($R^2= 0.961$) is obtained from modeling using both variables as input parameters. As a result suggest that ANFIS can be used as an alternative approach to estimate compressive strength when it is used together partial-volume ratio of concrete components with flow properties as input parameters.

Key words: compressive strength of concrete, flow properties, ANFIS modeling

1. GİRİŞ

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 32260 Isparta. Eposta: cengizozel@sdu.edu.tr

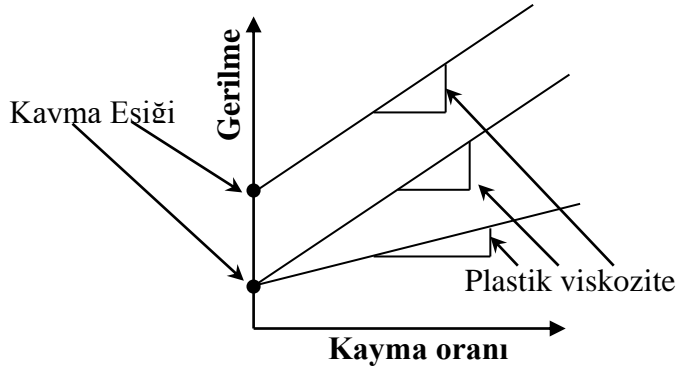
Son yıllarda geleneksel beton üretiminin yerini yüksek performanslı beton (YPB) ve kendiliğinden yerleşen beton (KYB) olarak da bilinen katkılı betonlar almıştır. Betondan en genel anlamda üç temel özellik beklenir. Bunlar, dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirliktir. Bu özelliklerden dayanım ve dayanıklılık sertleşmiş beton özellikleri ile ilişkili iken işlenebilirlik taze beton özellikleri ile ilişkilidir (Akman, 1999). YPB 5-10 farklı malzeme içeren karmaşık bir karışımdır. Betonun özellikleri, çimento-iri ve ince agrega-su ve çeşitli tip ve özelliklerdeki katkıların özelliklerine ve kullanım oranına göre değişmektedir (Ferraris vd. 2001).

Taze betonun sahip olduğu nitelikler betonun sertleşme sürecindeki ve sertleşmiş haldeki özellikleri doğrudan etkiler. Beton sertleştikten sonra sertleşme süreci geri dönüştürülemez. Bu nedenle betonun kalite kontrolü için gerekli olan sistemin, sertleşme sürecinden önce malzemelerin temini aşamasından başlayarak karıştırma sürecini de kapsayacak şekilde kurulması gerekmektedir. Betonun taze haldeyken sahip olacağı nitelikler karışımda kullanılan malzeme özelliklerinin ve kullanım oranlarının yanı sıra karıştırma süreci (şekli, süresi vb.) ile malzemelerin arasındaki etkileşime de bağlıdır.

Sertleşmiş betonun sahip olacağı özelliklerinin önceden belirlenmesi yapı sektörü açısından oldukça önemlidir. Betonların kalite kontrolleri çökme, Ve-Be, J halkası, V-L-U kutu gibi taze beton deneyleri ve mukavemet özelliklerinin belirlendiği tahribatlı (basınç, eğilme, çekme, yarma vb.) ya da tahribatsız (schmidt yüzey sertliği, ultrases geçiş hızı vb.) deneylerle belirlenmektedir. Bu deneylerden mukavemet özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneyler ancak betonun prizini almasından sonra veya sertleşme sürecinin tamamlanmasıyla gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte betonun sertleşme sürecinin durdurulamaz ya da geri dönüştürülemez oluşu nedeniyle sertleşme sürecin tamamlanmasından sonra betonun özellikleri geliştirilemez.

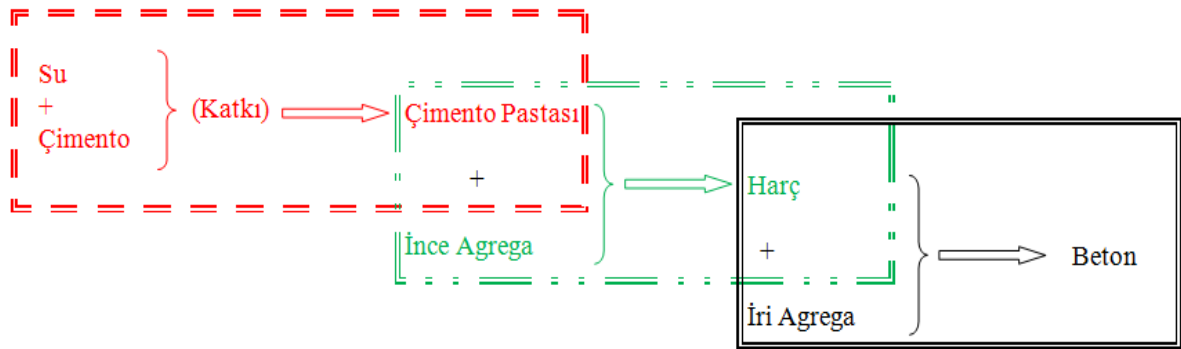
Betonun yapı endüstrisinde genellikle akışkan formda kullanılmasından dolayı taze betonun işlenebilirlik özelliği ölçülmesi gereken en önemli özelliklerinden biridir. Günümüzde bu özellikler hem laboratuvarında hem de şantiyede kolaylıkla uygulanabilen çökme deneyi ile yapılmaktadır. Bu deney aynı zamanda birçok ülke tarafından kabul edilmiş ve ulusal ya da uluslararası standartlar tarafından tanımlanmış bir deneydir.

Bununla birlikte çökme deneyi gibi yaygın olarak kullanılan taze beton deneylerinin, beton gibi newtoniyen akışkan olmayan süspansiyonların akış özelliklerinin tam olarak tanımlayamadığı, betonun akış özelliklerinin reolojik parametreler olarak da tanımlanan plastik viskozite (η_{pl}) ve kayma eşliğini (τ_0) içeren denklemler ile (Bingham, Herschel Bulkley vb. (Tattersall ve Banfill, 1983; Tattersall, 1991; Banfill, 1991; 2003; Bartos, 1992)) yaklaşık olarak tanımlanabileceği birçok çalışmada belirtilmiştir. Yaygın olarak kullanılan deneyler reolojik parametrelerden yalnızca biri ile ilişkili değerler ölçtüğü için betonun işlenebilirliğini tam ve doğru olarak tanımlayamaz. Şekil 1'de gösterildiği gibi aynı kayma eşğine sahip iki beton farklı plastik viskozite değerine ya da aynı plastik viskozite değerine sahip iki beton farklı kayma eşliği değerine sahip olabilir. Bu nedenle taze betonun işlenebilirliği en az bu iki parametrenin ölçülmesi ile tanımlanabilir (Ferraris, 1999).



Şekil 1. Betonun işlenebilirliği (Ferraris, 1999)

Beton çimento matrisi içinde agregaların dağılılı olduğu ve matris ile agrega arasında oluşan geçiş bölgesinden oluşan üç fazlı bir malzeme olarak kabul edilir (Hashina ve Monteiro, 2002). YPB'da genellikle ince taneler çimento pastasıyla, iri taneler ise harçla tamamen kaplıdır (Şekil 2). Taze betonun akış özellikleri iri taneli katıların viskoz süspansiyonu olarak tanımlanabilir (Haimoni ve Hannant, 1993; Al-Martini ve Nehdi, 2009). Bir kompozit sistemin yapısal davranışı, kompozit sistemi oluşturan elemanların malzeme özelliklerine ve kullanım oranları ile kompoziti oluşturan elemanlar arasındaki etkileşim ya da yapışmaya (veya aderansa) bağlıdır. Beton gibi kompozit sistemler içinde malzemelerin fiziksel özellikleri ve kullanım oranları betonun performans özelliklerinde oldukça önemlidir. Örneğin çimento dozajının azaltılması basınç mukavemetinin azaltılmasıyla doğrudan ilişkili iken s/ç oranının azaltılmasıyla basınç mukavemeti artırılabilir. Yine kullanılan mineral ve kimyasal katkılarda betonun sahip olacağı performans üzerinde doğrudan etkilidir (Neville, 1996; Erdoğan, 2003).



Şekil 2. Betonun yapısı (Zongjin, 2011)

Son yıllarda betonun özelliklerinin önceden tahmin edilmesine ilişkin birçok araştırmacı tarafından metotlar geliştirilmiştir. Bu çalışmalar betonun en önemli özelliklerinden biri olan ve diğer özellikleri ile (eğilme, çekme, yarma, elastisite modülü, durabilitesi vb.) yakından ilişkili olan basınç mukavemeti üzerinde yoğunlaşmaktadır (Han vd., 2003; Chen vd., 2003; Gupta vd., 2006; Sobhani vd., 2010; Atici, 2011; Ozbay vd., 2010; Bilgehan ve Turgut, 2010; Peng vd., 2009). Betonun işlenebilirlik ve çökme gibi taze haldeki özelliklerinin tahmini için birçok çalışma da yapılmasına rağmen (Chidiac ve Habibbeigi, 2005; Yeh, 2008a; Yeh, 2008b; Chen ve Wang, 2010; Jain vd., 2008; Long vd., 2010; Hsu vd., 2011) taze haldeki özelliklerinden sertleşmiş özelliklerinin tahmini için yeterli çalışma yapılmamıştır. Bunun en

temel nedenlerinden biri aynı çökme değerine sahip betonların farklı performans özellikleri gösterebilmesi ya da aynı performansa sahip betonlardan farklı çökme değerlerinin elde edilebilmesidir.

Bu nedenle yapılan çalışmada betonun sertleşmiş haldeki özellikleri, betonun reolojik parametreleri ve bileşenlerin miktarlarına bağlı olarak tahmin etmek için ANFIS yöntemi kullanılmıştır. ANFIS modelini oluşturmak ve geçerliliğini sınamak için 80 farklı karışım kullanılmıştır. Modelden elde edilen değerler ile deneylerden elde edilen değerler arasındaki ilişki katsayıları araştırılmıştır.

2. BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC) YAKLAŞIMI

Son yıllarda en önemli ve umut verici çalışmalardan biri doğal ya da sosyal sistemlerle bazı benzer alanlarda kullanılan belirleyici olmayan (rastgele olan-non-deterministic) sezgisel metotların kullanımınıdır. Bulanık mantık (BM), yapay sinir ağları, genetik algoritma veri madenciliği bu sezgisel metotların en yaygın kullanılanlarıdır. Sezgisel yöntemlerin en önemli kullanım sebepleri kazanılmış veri ve tecrübelerle yapılacak yeni çalışmalarda zaman ve maddi tasarruf sağlamak, elde edilen veriler arasında gizli kalmış örüntüleri çıkarmak, verinin değerini arttırmak, veriyi bilgiye dönüştürmektir. Sezgisel metotların en önemlilerinden biri olan bulanık küme teorisi ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından tanımlanmıştır. O tarihten sonra Zadeh ve birçok araştırmacı tarafından bu bulanık küme teorisi geliştirilmiş ve birçok bilimsel alanda başarılı bir şekilde uygulanmıştır. BM Aristo'nun ikili mantığının yerine yeni bir matematiksel yöntem olarak ileri sürülmüştür. Bu yöntem, "kısa adam", "güzel kadın" veya 1'den daha büyük gerçek sayılar" gibi belirsiz kümeleri veya şüpheli fikirleri elde etmeye ve tanımlamaya olanak sağlamıştır (Dubois ve Prade, 1980; Do vd., 2005; Do, 2006; Topcu ve Sarıdemir, 2008a; Ramezaniyanpour vd., 2009; Terzi vd., 2009; Chen ve Huang, 2011). Bulanık modeller, değişkenler arasındaki ilişkileri kurallar yardımıyla tanımlamaya yarar. Bulanık modellerin kapalı kutu modellerden (sinir ağları, genetik algoritmalar gibi) en önemli farkı; sistem tanımlamayı basitleştirmesi ve saydam analizler yapılmasına olanak tanınmasıdır. BM kavramı rastgele değişkenlerin varlığından daha ziyade kesin tanımlanmış kriterlerin bulunmadığı, belirsizlik kaynaklarındaki problemlerle ilgili doğal bir çözüm yolu sağlar. BM yaklaşım ilgili olayların kontrol mekanizmasında önemli rol oynayan sözel belirsizlikleri dikkate alır. Burada belirsizlikler sayısal verilere dayanan rastgele, olasılık veya stokastik değişkenler anlamına gelmemektedir (Dağ vd., 2011). "Olasılık" ta olayların oluşum şartları, oluşum olasılığı söz konusu iken "belirsizlik" de oluşum dereceleri ve içerdiği yaklaşıklık ifade edilmektedir (Demir, 2005a). Zadeh çalışmasında, insan düşüncesindeki temel unsurların numaralardan değil belirsizlik seviyelerinden oluştuğunu ileri sürmüştür (Demir, 2005b).

BM modellemede sonuçlar numerik (sayısal) test bakış açısından uygun (elverişli) görünse bile kurallar ile kuralların bağlantıları ve üyelik fonksiyonları (MFs) açısından girdi ve çıktı değişkenleri ile ilgili fiziksel yapılandırma öngörü gerektirir. Bulanık çıkarım sistemleri (FIS) sözel bulanık kurallar ve bulanık mantığın yardımıyla lineer olmayan davranışların simülasyonu için güçlü araçlar sağlar. FIS içinde yer alan "If-Then" kuralları ile kesin kantitatif (sayısal) analizler olmadan insan bilgisine ve muhakeme sürecine göre nitelikli modeller kurulabilir. "If-Then" ifadeleri gibi bulanık önermeler bir sistemin durumunu tanımlamak için kullanılan ve önermenin doğruluk derecesini açıklama sistemlerdir (Demir, 2005b). FIS'de "Mamdani" ve "Sugeno" olmak üzere iki ana yaklaşım vardır. Mamdani yaklaşımında "Maksimum-Minimum" uygulanmakta ve bulanık kurulumda belirsiz sonuçlar elde edilmektedir (Erdik, 2009). Mamdani metodu uzman bilgi elde etmek için yaygın olarak kullanılır. Bu metot bize insanlarda olduğu gibi daha sezgisel uzmanlık tanımlamasına olanak

verir. Bununla birlikte Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi önemli bir hesaplama yükü getirir. Diğer taraftan Sugeno metodu özellikle doğrusal olmayan dinamik sistemler için, uyarlanabilir teknikler ve optimizasyon ile çalışan sayısal kontrol sistemlerinde etkilidir (Negnevitsky, 2005).

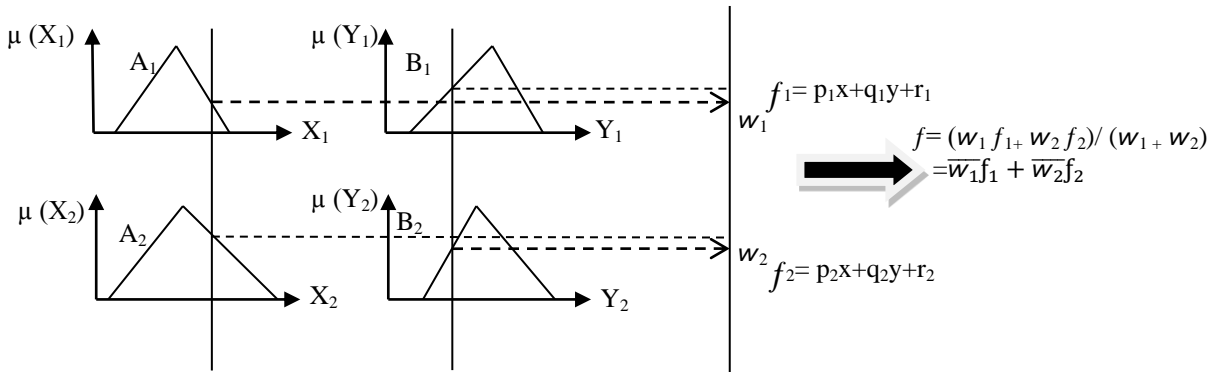
3. ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)

ANFIS (Adaptive Neural Based Fuzzy Inference System) karmaşık sistemleri modellemek için geliştirilmiş olan yapay sinir ağları ile bulanık mantığın birleşiminden oluşan metottur (Sobhani vd., 2010). Bu metot ilk olarak Jang (1993) tarafından önerilmiş ve birçok çalışmada başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Keskin vd., 2006; Terzi vd., 2006; Bassuoni ve Nehdi, 2008; Ebrahimi, 2010; Bilgehan, 2011). Bu metotta, öngörülen girdi-çıkı çiftlerini oluşturmak için uygun üyelik fonksiyonları ile bulanık "If-Then" kuralları kullanılır. Şekil 3'de bulanık çıkarım, Şekil 4'de ise ANFIS'in ağ yapısı şematik gösterilmiştir.

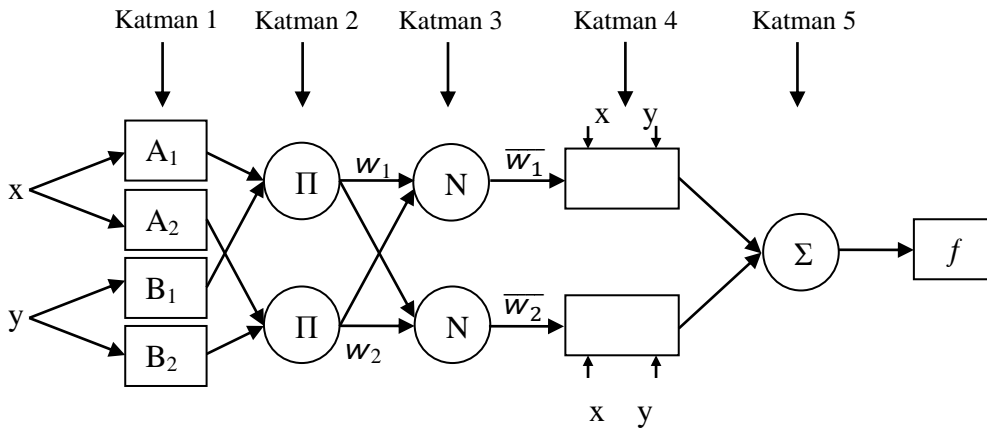
Şekil 3'de birinci derece Sugeno tipi FIS'in çıkarım metodolojisi gösterilmiştir. Matematiksel bakış eğer F kapalı aralık içinde gerçek devamlı eşleştirme ise o zaman Sugeno tipi FIS tarafından verilen lineer olmayan haritalama parametreleri aşağıdaki eşitlikteki gibi verilebilir

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m w_i \Pi_j^n = 1^{\mu_{A_i}(X_j)}}{\sum_{i=1}^m \Pi_j^n = 1^{\mu_{A_j}(X_j)}} \quad (1)$$

burada m kural sayısını göstermektedir, n veri noktalarının sayısını tanımlamaktadır, μ_A A'nın bulanık kurlumun üyelik fonksiyonudur (Topcu ve Sarıdemir, 2008b).



Şekil 3. ANFIS'in bulanık çıkarım şeması (Sobhani vd., 2010)



Şekil 4. ANFIS'in şematik ağ yapısı (Sobhani vd., 2010)

Birinci derece Sugeno tip FIS göz önüne alındığında bulanım model iki kuraldan oluşur (Sobhani vd., 2010):

$$\text{Kural 1: Eğer } x \text{ } A_1 \text{ ve } Y \text{ } B_1 \text{ ise, o zaman } z_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (2)$$

$$\text{Kural 2: Eğer } x \text{ } A_2 \text{ ve } Y \text{ } B_2 \text{ ise, o zaman } z_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

A ve B üçgen üyelik fonksiyonu tipidir (Sobhani vd., 2010).

Her katmana ait düğüm işlevleri ve katmanların işleyişi ise sırasıyla şöyledir (Şentürk, 2010):

x ve y: Giriş katmanı olarak adlandırılmaktadır. Bu katmandaki her düğüm, giriş sinyallerinin diğer katmanlara aktarıldığı giriş düğümleridir.

1. Katman: Bulanıklaştırma katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm A_j ve B_j ($j=1, 2$) gibi bulanık kümeleri ifade etmektedir. Giriş değerlerini bulanık kümelere ayırmada Jang'ın ANFIS modeli, üyelik fonksiyonu şekli olarak *Genelleştirilmiş Bell* üyelik fonksiyonunu kullanmaktadır. Burada her bir düğümün çıkışı, giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik dereceleri olmaktadır, 1. katmandan elde edilen üyelik dereceleri $\mu_{A_j}(x)$ ve $\mu_{B_j}(y)$ değerleridir.

2. Katman: Kural katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Her bir kural düğümünün çıkışı μ_i ise, 1. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımını ifade etmektedir. Yani μ_i her bir düğümün kuralları için katman çıkışlarını (firing strength) göstermektedir. μ_i değerlerinin elde edilişi ise,

$$y_i^3 = \Pi_i = \mu_{A_j}(x) \cdot \mu_{B_j}(y) = \mu_i \quad (j = 1, 2) \quad (i = 1, \dots, n) \quad (3)$$

şeklinde olmaktadır. Buradaki y_i^3 , 3. katmanın çıkış değerlerini ifade ederken n ise bu katmandaki düğüm sayısını göstermektedir.

3. Katman: Normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve bu katmanda her bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesi hesaplanmaktadır. Normalleştirilmiş ateşleme seviyesi, i düğüm için i. kuralın ateşleme seviyesinin, bütün kuralların ateşleme seviyesine oranı olarak ifade edilmektedir. i. düğümün çıkışı yani i. düğümün normalleştirilmiş ateşleme seviyesi $\bar{\mu}_i$ 'nin hesaplanması ise,

$$y_i^4 = N_i = \frac{\mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \bar{\mu}_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (4)$$

şeklinde dir.

4. Katman: Arındırma katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, giriş değerleri x_1 ve x_2 ile normalizasyon katmanının her bir düğümünün çıkış değerleriyle ilişkilidir. Arındırma katmanındaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. Kuralların ise kısımlarından sonraki ifadelerin ağırlıklandırılmış değerleri hesaplanmaktadır. 4. katmandaki i. düğümün çıkış değeri ise,

$$y_i^5 = \bar{\mu}_i [p_i X_1 + q_i X_2 + r_i] \quad (i = 1, \dots, n) \quad (5)$$

şeklinde olmaktadır. Buradaki (p_i, q_i, r_i) değişkenleri, i. kuralın sonuç parametreleri kümesidir.

5. Katman: Toplam katmandır. Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada 4. katmandaki her bir düğümün çıkış değerleri toplanır ve sonuçta ANFIS sisteminin gerçek değeri elde edilmiş olunur. Sistemin çıkış değeri y 'nin hesaplanması ise,

$$y = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i [p_i X_1 + q_i X_2 + r_i] \quad (6)$$

şeklinde olmaktadır. ANFIS mimarisinin işleyişinde görüldüğü üzere, giriş değişkenleri (x_1, x_2) ve sonuç değişkenlerinin (p_i, q_i, r_i) değerlerinin bilinebilmesi önem taşımaktadır (Şentürk, 2010).

Yapay sinir ağları, ham verilerle uğraşıldığında iyi sonuçlar veren düşük seviyeli yapılardır. BM ise, uzman görüşü sonucu elde edilen dilsel bilgileri kullanarak daha yüksek seviyeli sonuçlar çıkarmaktadır. Aslında bulanık sistemlerin öğrenme kabiliyeti yoktur ve kendilerini yeni çevreye adapte edemezler. Diğer yandan yapay sinir ağları öğrenme kabiliyetine sahiptir; fakat kullanıcı tarafından anlaşılma. ANFIS, yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile BM uzman bilgisini kullanarak sonuçlar çıkarabilme özelliklerinin birleşiminden oluşur (Hocaoğlu ve Kurban, 2005).

ANFIS'in öğrenme algoritması, hem giriş değişkenlerini hem de sonuç değişkenlerini optimize etmektedir. Söz konusu öğrenme işlemi gerçekleşirken ANFIS melez öğrenme algoritmasını kullanmaktadır. Melez öğrenme algoritması, en küçük kareler yöntemi ile geri yayımlı öğrenme algoritmasının bir arada kullanılmasından oluşmaktadır. Melez öğrenme algoritması, ileri besleme ve geri besleme olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. İleri beslemede, giriş parametreleri sabit alınarak sonuç parametrelerinin değerleri en küçük kareler yöntemi ile hesaplanırken, geri beslemede ise sonuç parametreleri sabit alınarak giriş parametreleri geri yayımlı öğrenme algoritması ile hesaplanmaktadır. İleri besleme ve geri besleme işlemlerinin nasıl gerçekleştiğini Çizelge 1 ile özetlemek mümkün olmaktadır (Şentürk, 2010);

Çizelge 1. Melez öğrenme algoritması (Şentürk, 2010)

Melez Öğrenme Algoritması	İleri Besleme	Geri Besleme
Giriş parametreleri	Sabit	Geri yayımlı öğrenme
Sonuç parametreleri	En küçük kareler yöntemi	Sabit

Buradaki ileri besleme ve geri besleme işleyiş döngüsü, tüm sistem hatası belirlenen bir hata değerinden küçük olana kadar veya fazla bir değişim göstermeyinceye kadar devam etmektedir. Hesaplanacak olan hata değeri ise, hata kareler ortalamasının karekök değerine bir anlamda sistemin standart sapma değerine eşit olmaktadır. RMSE değerinin formülü ise;

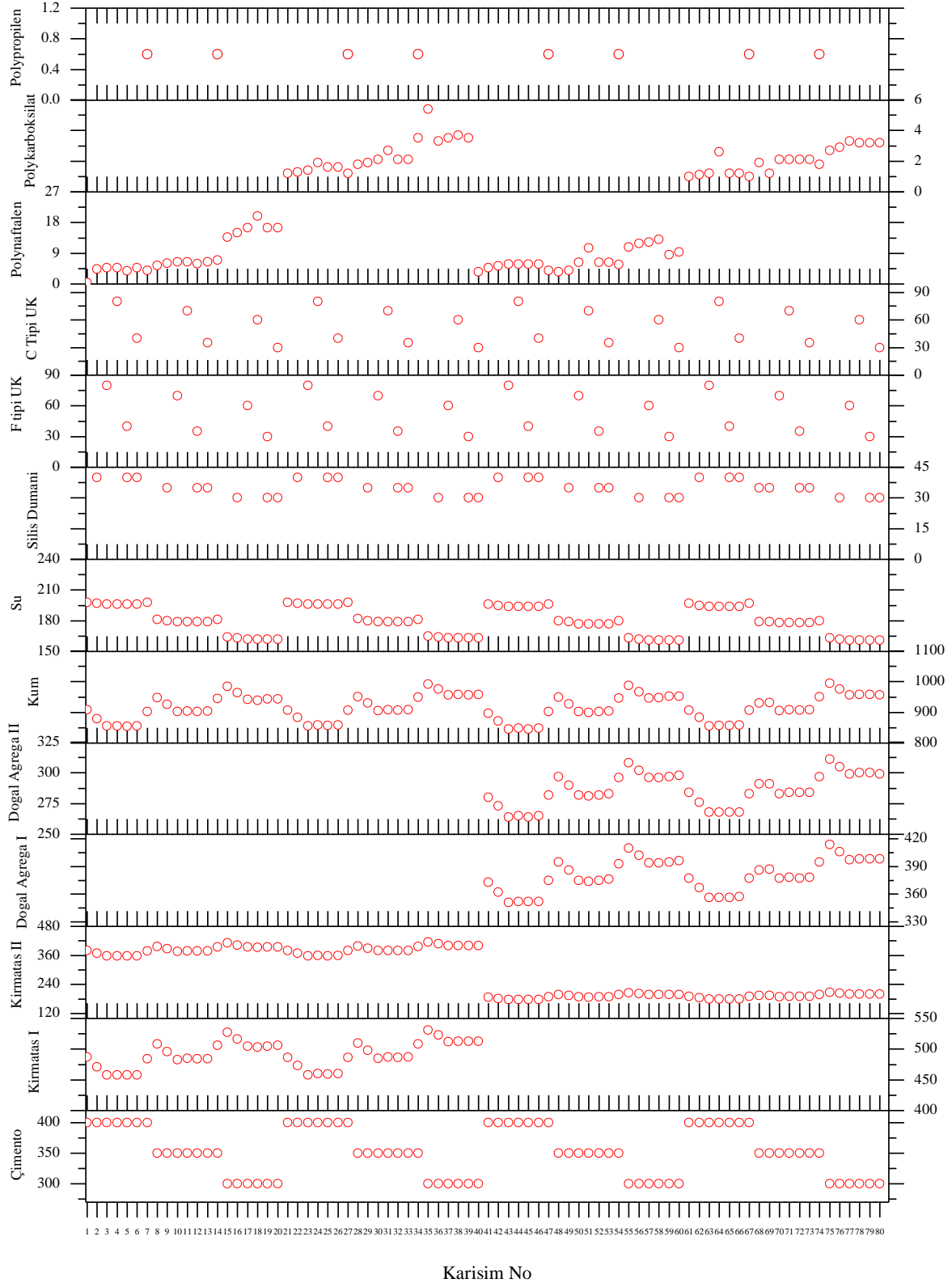
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - y_i)^2}{N}} \quad (7)$$

şeklinde. Formülde T_i gerçek değerleri, y_i ANFIS'den elde edilen değerleri, N ise örnek büyüklüğünü göstermektedir (Şentürk, 2010).

4. MODELLEME VE DEĞERLENDİRME

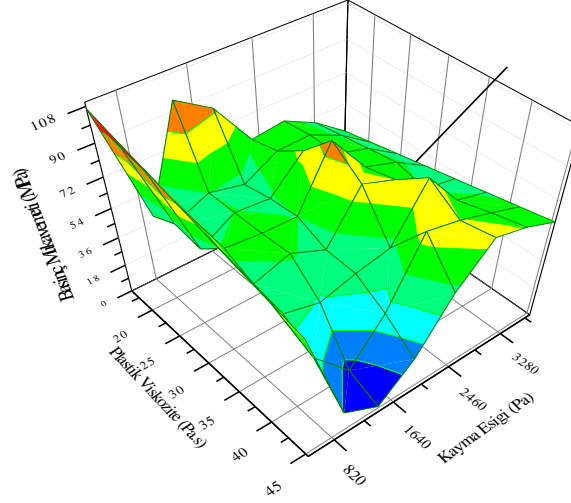
Bu çalışmada, taze betonun reolojik (plastik viskozite ve kayma eşiği) özellikleri ve bu betonlara ait karışım tasarımları kullanılmıştır. Modelleme için kullanılan malzeme miktarları Şekil 5'de ve akış özellikleri ile basınç mukavemeti değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5'de görüldüğü gibi ilk 40 karışımda doğallaş agregası kullanılmamış olup bu betonların yarı

polinaftelen diğer yarısı da polikarboksilat katkılı betonlardır. Yine çimento miktarlarından da görüleceği gibi 12 ayrı seri toplamda 80 farklı tasarım kullanılarak beton hazırlanmıştır. Beton hazırlanmıştır. Üretilen betonların 5., 20., 25., 30., 35., 45., 50., 60., 65., 69., 73., 75., 76., 77., 79. ve 80. karışımlarından alınan deneysel sonuçlar test setinde diğerleri eğitim setinde kullanılmıştır.



Şekil 5. 1m³ beton için kullanılan malzeme miktarları (kg)

Şekil 6'dan görüleceği gibi üretilen betonlardan farklı karışım tasarımları kullanılıp farklı akış özellikleri ve basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Plastik viskozitenin ve kayma eşiğinin artan değerlerinde beton basınç mukavemeti azalmıştır.



Şekil 6. Betonlardan elde edilmiş olan reolojik parametreler ve basınç mukavemetlerinin değişimi

Modelleme yapılırken beton bileşenlerinin hacim oranı değerleri kullanılmıştır. Bunun en temel nedeni deneylerde, ağırlıkça aynı değerde mineral katkı kullanılmasına rağmen farklı basınç mukavemeti ve reolojik değerler elde edilmesidir. Yapılan modelleme çalışmalarında, süspansiyon teorilerinde olduğu gibi kullanılan malzemelerin hacim değerlerine bağlı olarak hesaplanmış olan kısmi hacim oranı değerleri kullanılmıştır.

B/T: toplam bağlayıcı hacmi/bileşenlerin toplam hacmi

S/B: su hacmi/toplam bağlayıcı hacmi

M/B: toplam mineral katkı hacmi/toplam bağlayıcı hacmi

P/B: akışkanlaştırıcı hacmi/toplam bağlayıcı hacmi

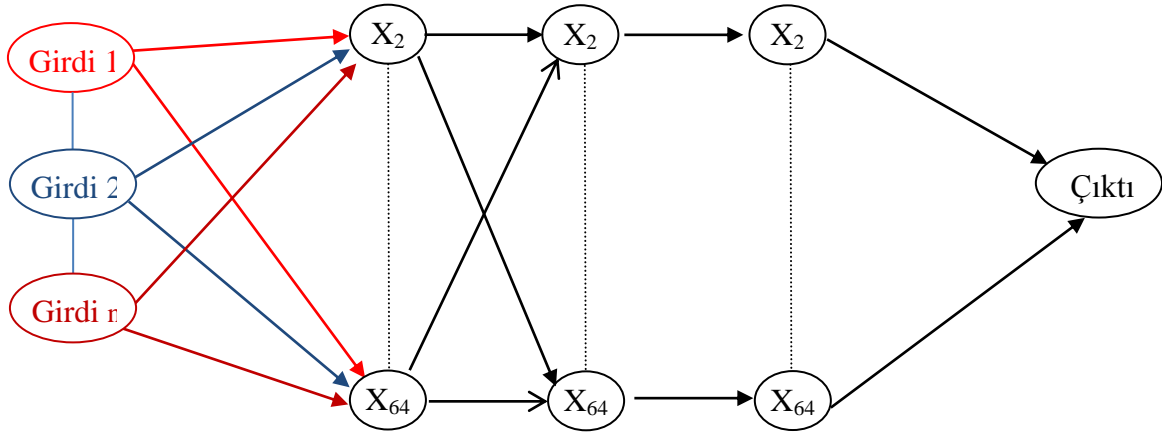
K/B: ince agreganın (kum) hacmi/toplam bağlayıcı hacmi

A/B: toplam agregası hacmi/toplam bağlayıcı hacmi

K/T: ince agreganın (kum) hacmi/bileşenlerin toplam hacmi

C/T: iri agregaların (Kırmataş I-II, Doğal agregası I-II) hacmi/bileşenlerin toplam hacmi

ANFIS'in karmaşık neden-sonuç ilişkilerini öğrenebilme yeteneğinden dolayı girdi ve çıktılar arasındaki ilişkileri belirlemede kullanılabilir. Bununla birlikte bu çalışma temel mekanik özellik olan basınç mukavemeti ile akış (reolojik) özellikleri veya bileşenlerin hacim oranlarıyla arasındaki ilişkinin araştırılmasıyla sınırlandırılmıştır. Bu nedenle hacim oranları ve/veya reolojik parametreler (plastik viskozite ve kayma eşiği) girdi olarak, basınç mukavemetleri ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Çıktılar için sırayla, reolojik parametrelerin, kısmi hacim oranlarının ve hem reolojik parametrelerin hem de kısmi hacim oranlarının girdi olarak kullanıldığı üç bağımsız ANFIS modeli (Şekil 7) oluşturulmuştur. Modelin etki aralığı (range of influence) 0.01, sıkıştırma faktörü (squash factor) 1.25, kabul etme oranı (accept ratio) 1 ve reddetme oranı (reject ratio) 1'dir.



Şekil 7. Oluşturulan ANFIS modelinin yapısı

Çalışmada veri tabanı olarak Özel (2007) tarafından belirlenmiş olan 80 deneye ait hacim oranları, basınç mukavemeti deney sonuçları ve reolojik parametreler için CTPT “Tattersall İki Nokta İşlenebilirlik Deney Cihazı”ndan elde edilen deney sonuçları kullanılmıştır. Verilerin %80’i (64 deney) eğitim seti, %20’si (16 deney) test seti olarak kullanılmıştır. Özel (2007) tarafından Data Mining modellemesi için verileri rastgele olarak seçilmiş olan eğitim ve test verileri, bu çalışmada da seçilmiştir. ANFIS’de çoklu girdilere ait formülasyon değerleri alınamamasına rağmen tek veya ikili girdilere ait formülasyonlar alınabilmektedir. Bu nedenle her bir girdinin bireysel olarak çıktı değerleri ile ilişkisi aşağıdaki formül kullanılarak araştırılmıştır.

$$f_{(x)} = a \cdot e^{(b \cdot x)} \quad (8)$$

formüle göre elde edilen katsayılar ve bazı istatistiksel parametreler Çizelge 2’de gösterilmiştir. Çizelge 2’den görüleceği gibi girdi olarak kullanılan herhangi bir parametrenin (kısmi hacim oranlarından veya reolojik özelliklerden herhangi birinin) çıktı parametresi olan basınç mukavemeti ile arasında yüksek ilişki bulunmamaktadır.

Çizelge 2. Girdi olarak kullanılan her bir parametrenin çıktı değerleri arasındaki ilişkiler

	a*	b*	SSE**	R ²	Düzeltilmiş R ²	RMSE
B/T	0.3459 (0.2439, 0.448)	0.2757 (-0.1782, 0.7295)	2.583	0.02482	0.009338	0.2025
S/B	0.4824 (0.4094, 0.5553)	-0.4808 (-0.8283, -0.1333)	2.321	0.1236	0.1097	0.1919
M/B	0.2964 (0.2128, 0.38)	0.4557 (0.1238, 0.7877)	2.322	0.1232	0.1093	0.1920
P/B	0.4531 (0.3846, 0.5216)	-0.5945 (-1.208, 0.0187)	2.431	0.08224	0.06767	0.1964
K/B	0.455 (0.3622, 0.5478)	-0.3496 (-0.8697, 0.1704)	2.562	0.03262	0.01727	0.2017
A/B	0.4561 (0.3659, 0.5463)	-0.331 (-0.7958, 0.1338)	2.553	0.03597	0.02067	0.2013
K/T	0.4457 (0.3457, 0.5457)	-0.228 (-0.6821, 0.2262)	2.604	0.01684	0.001232	0.2033
C/T	0.4309 (0.3586, 0.5033)	-0.255 (-0.7427, 0.2327)	2.598	0.01909	0.003523	0.2031
KE	0.3674 (0.286, 0.4488)	0.3217 (-0.269, 0.9123)	2.613	0.01333	-0.002333	0.2037
PV	0.3183 (0.2562, 0.3804)	0.7101 (0.3306, 1.09)	2.245	0.1522	0.1387	0.1888

* % 95 güven aralığında ** Hataya dayalı kareler toplamı

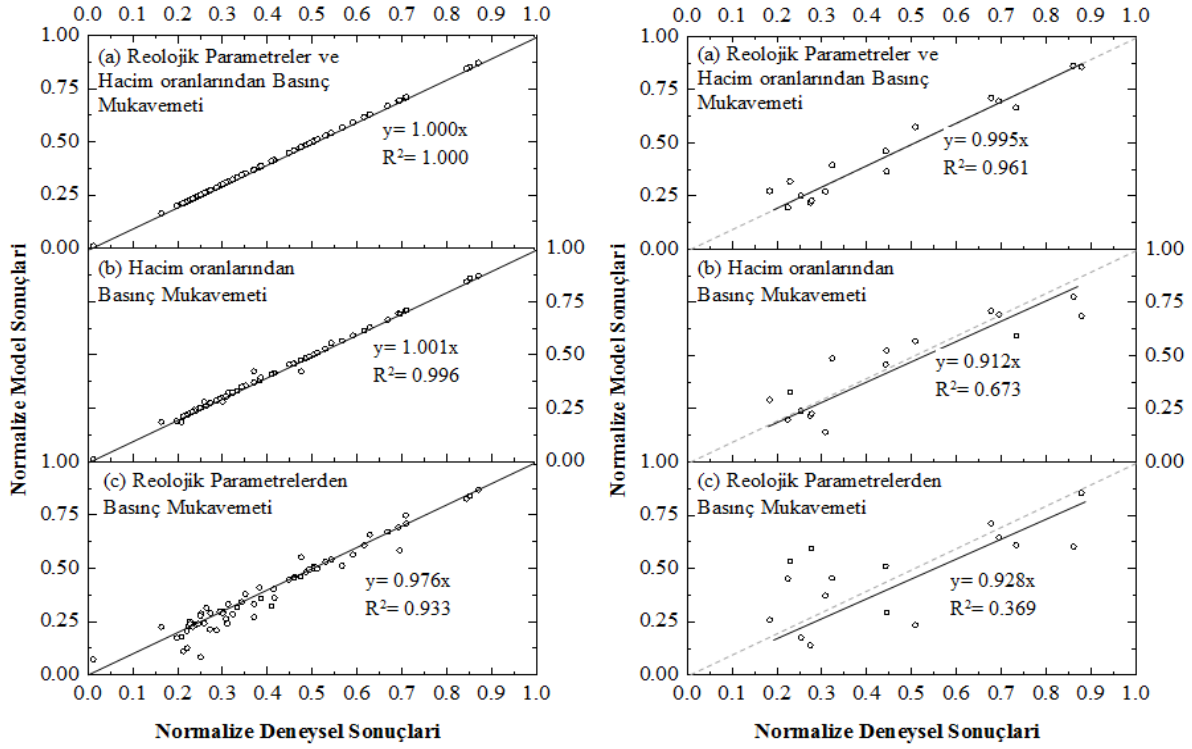
Sırasıyla reolojik parametrelerin (RP), hacim oranlarının (HO) ve hem RP hem de HO’nun girdi basınç mukavemetlerinin (BD) çıktı olarak kullanıldığı ANFIS modelleri için eğitim ve

test verilerinin değişimleri Şekil 8 ve 9’da gösterilmiştir. Eğitim verilerine bakıldığında en iyi belirleyicilik katsayısı hem reolojik parametrelerin hem de hacim oranlarının girdi olarak kullanıldığı modelden (Şekil 8a) alınmıştır. Diğer modelleme sonuçlarından da kabul edilebilir belirleyicilik katsayısı elde edilmiş olmasına rağmen (Şekil 8b ve Şekil 8c) özellikle Reolojik parametrelerin kullanıldığı modelde saçılmanın çok fazla olduğu görülmüştür (Şekil 8c). Saçılma grafiklerine göre en az zayıf ilişki (saçılmanın en fazla olduğu) RP, en güçlü ilişki (saçılmanın en az olduğu) ise RP ve HO’nun girdi olarak kullanıldığı modelden elde edildiği hem eğitim hem de test grafiklerinden görülmektedir (Şekil 8 ve 9). Bununla birlikte tüm model sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında lineer ilişki vardır.

Test verilerinden de eğitim verilerine benzer olarak en yüksek determinasyon katsayısı hem Reolojik parametrelerin hem de hacim oranlarının girdi olarak kullanıldığı modelden (Şekil 9a) alınmıştır. Bu değeri hacim oranlarından elde edilen model (Şekil 9b) ve Reolojik parametrelerden elde edilen model (Şekil 9c) sonuçları izlemektedir. Hacim oranları ve/veya reolojik parametrelerin eğitim verilerinde yüksek belirleyicilik katsayısı elde edilmiş olmasına rağmen test verilerinden aynı derecede başarı elde edilememiştir.

Sırasıyla reolojik parametrelerin (RP), hacim oranlarının (HO) ve hem RP hem de HO’nun girdi basınç mukavemetlerinin (BD) çıktı olarak kullanıldığı ANFIS modelleri için eğitim ve test verilerinin değişimleri Şekil 8 ve 9’da gösterilmiştir. Eğitim verilerine bakıldığında en iyi belirleyicilik katsayısı hem reolojik parametrelerin hem de hacim oranlarının girdi olarak kullanıldığı modelden (Şekil 8a) alınmıştır. Diğer modelleme sonuçlarından da kabul edilebilir belirleyicilik katsayısı elde edilmiş olmasına rağmen (Şekil 8b ve Şekil 8c) özellikle Reolojik parametrelerin kullanıldığı modelde saçılmanın çok fazla olduğu görülmüştür (Şekil 8c). Saçılma grafiklerine göre en az zayıf ilişki (saçılmanın en fazla olduğu) RP, en güçlü ilişki (saçılmanın en az olduğu) ise RP ve HO’nun girdi olarak kullanıldığı modelden elde edildiği hem eğitim hem de test grafiklerinden görülmektedir (Şekil 8 ve 9). Bununla birlikte tüm model sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında lineer ilişki vardır.

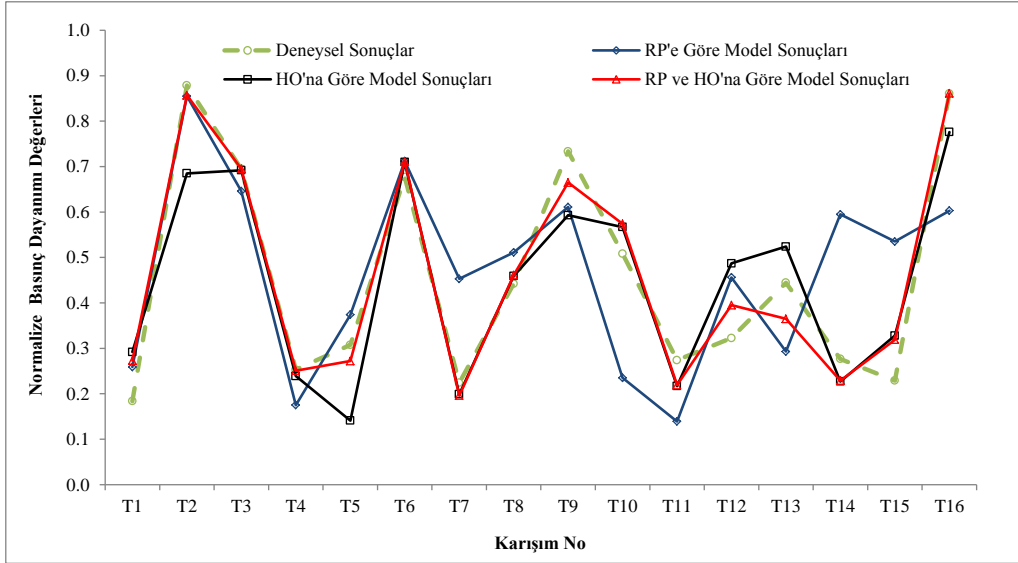
Test verilerinden de eğitim verilerine benzer olarak en yüksek determinasyon katsayısı hem Reolojik parametrelerin hem de hacim oranlarının girdi olarak kullanıldığı modelden (Şekil 9a) alınmıştır. Bu değeri hacim oranlarından elde edilen model (Şekil 9b) ve Reolojik parametrelerden elde edilen model (Şekil 9c) sonuçları izlemektedir. Hacim oranları ve/veya reolojik parametrelerin eğitim verilerinde yüksek belirleyicilik katsayısı elde edilmiş olmasına rağmen test verilerinden aynı derecede başarı elde edilememiştir.



Şekil 8. Eğitim verileri için ANFIS model sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiler
 Şekil 9. Test verileri için ANFIS model sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiler

Model sonuçlarından elde edilen belirleyicilik katsayıları için test verilerinin değişimi incelendiğinde, Şekil 10’da görüldüğü gibi reolojik parametrelerin girdi olarak kullanıldığı modelden T5, T8, T9, T10 ve T11 model sonuçları deneysel sonuçlardaki değişime benzer eğimde olmasına karşılık gerçek değerlerden farklıdır. Bununla birlikte T7, T12, T13, T14, T15 ve T16 karışımlarından ise gerçek değerlerin eğim değişiminin tersine sonuçlar elde edilmiştir.

Hacim oranlarından elde edilen sonuçlarda da T5, T12 ve T15 karışımlarda gerçek değerlerin tersine diğer karışımlarda ise benzer eğim değişimleri elde edilmiştir. Her iki değişkenin modellenmesinden elde edilen sonuçlarda ise değişkenlerin ayrı ayrı kullanıldığı modellerden eğimsel davranış açısından çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte T12, T13 ve T15 karışımlarında gerçek değerlerin büyüklüğünden azda olsa farklı değerler elde edilmiştir. Bu farklılığın nedeni 12. seri betonlara ait bu karışımların test setinde olması nedeniyle eğitim setinde yeterli örnek karışımın kalmamasından kaynaklanabilir. Yani diğer serilerden eğitim setinde yaklaşık 6 karışım sonucu, test setinde 1 karışım sonucu var iken bu seride eğitim setinde 1 karışım, test setinde 5 karışım sonucu öğrenmenin ve dolayısıyla tahminin yeterli doğrulukta olmamasına sebep olmuş olabilir.



Şekil 10. Model sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Betonun sertleşme sürecinin geri dönüştürülemez oluşu betonun sertleşme sürecinden sonra sahip olacağı performans özelliklerinin karıştırma sürecinde hatta daha önceden bilinmesini gerekli kılmaktadır. Yapılan birçok çalışmada su/çimento oranı, çimento dozajı, mineral katkı miktarı gibi ya da ağırlık, ultrases geçiş hızı, schmidt yüzey sertliği gibi verilerden betonun performansını belirleme yönelik analizler yapılmıştır. Bununla birlikte gelişen beton teknolojisi birçok yeni bileşen alternatifini beraberinde getirmiş, betonun performans analizinde sadece doğrusal değil doğrusal olmayan (karmaşık) ilişkilerin de kurulmasına sebep olmuştur. Bu nedenle çalışmalarda bilgisayar tabanlı programların kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada, betonun en önemli özelliklerinden biri olan basınç mukavemetinin, akış özelliklerinin tanımlandığı reolojik özellikler olan plastik viskozite ve kayma eşiği ile betonu oluşturan bileşenlerden elde edilen kısmi hacim oranlarından tahmin edilmesi için ANFIS modeli geliştirilmiştir. Verilerin %80'i modeli oluşturmak için eğitim seti, %20'si ise modelin geçerliliğini belirlemek için test seti olarak ayrılmıştır.

Çalışma sonucunda, reolojik parametreler kullanılarak oluşturulan modelden basınç tahminin düşük bir ilişkiyle ($R^2= 0.369$) tahmin edilebildiği, hacim oranlarından kabul edilebilir bir ilişki ($R^2= 0.673$) olmasına rağmen en yüksek tahmin gücünün her iki girdinin aynı anda kullanıldığı modelden ($R^2= 0.961$) elde edildiği görülmektedir.

Elde edilen belirleyicilik katsayıları ve analizlere göre;

- Betonların basınç mukavemetlerinde bileşenlerin özellik ve miktarlarının tanımlandığı kısmi hacim oranlarının etkilerinin yüksek olduğu,
- Ancak bileşenlere göre yapılan tahmin çalışmalarında elde edilen verilerin betonun sertleşmiş haldeki özelliklerini tam ve doğru olarak tahmin etmede yetersiz olduğu,
- Bileşenler arasındaki etkileşimi de göz önüne alan taze beton özelliklerinin de ölçülmesi ve modellemede kullanılması gerektiği,
- Reolojik parametrelerin bileşenler arasındaki etkileşimi açıklamak için kullanılabileceği,
- ANFIS'in beton özelliklerinin tahmini için yeterli düzeyde esnek kullanıma sahip olmasının yanı sıra kullanılabilir olduğu

sonuçlarına ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akman MS (1999). Role of admixtures on high performance concrete, RILEM TC 158 AHC, Monterrey, Mexico.
- Al-Martini S, Nehdi M (2009). Genetic algorithm-based yield stress equations for concrete at high temperature and prolonged mixing time, *Comput Concr*, **6**(4), 343-356.
- Atici U (2011). Prediction of the strength of mineral admixture concrete using multivariable regression analysis and an artificial neural network, *Expert Syst Appl*, **38**(8), 9609-9618.
- Banfill, P.F.G., 1991. *Rheology of Fresh Cement and Concrete*. E.&F.N. Spon Publisher, p.373, London.
- Banfill, P.F.G., 2003. *The Rheology of Fresh Cement and Concrete - A Review*. 11th International Cement Chemistry Congress, p. 13, Durban.
- Bartos, P., 1992. *Fresh Concrete Properties and Tests*. Elsevier Science Publisher, 291s., Amsterdam.
- Bassuoni MT, Nehdi ML (2008). Neuro-Fuzzy Based Prediction of the Durability of Self-Consolidating Concrete to Various Sodium Sulfate Attack Exposure Regimes, *Comput Concr*, **5**(6), 573-597.
- Bilgehan MA (2011). Comparative study for the concrete compressive strength estimation using neural network and neuro-fuzzy modelling approaches, *Nondestructive Test Eval*, **26**(1), 35-55.
- Bilgehan M, Turgut P (2010). The use of neural networks in concrete compressive strength estimation, *Comput Concr*, **7**(3), 271-283.
- Chen CW, Huang ST (2011). Implementing KM programmes using fuzzy QFD, *Total Qual Man & Business Excel*, **22**(4), 387-406.
- Chen HS, Sun W, Stroeven P (2003). Prediction of compressive strength and optimization of mixture proportioning in ternary cementitious systems, *Mater Struct*, **36**(260), 396-401.
- Chen L, Wang TS (2010). Modeling slump of concrete using the group method data handling algorithm *Indian J Eng Mater Sci*, **17**, 179-185.
- Chidiac SE, Habibbeigi F (2005). Modeling the rheological behavior of fresh concrete: an elasto-viscoplastic finite element approach, *Comput Concr*, **2**(2), 97-110.
- Dağ, A., Alkan, B., Çıra, C.S., (2011). Bulanık modelleme yaklaşımının çimento hammadde sahası kalınlık kestiriminde kullanılabilirliğinin araştırılması, *e-Journal of New World Sciences Academy, Engineering Sciences*, NWSA (www.newwsa.com), **6** (1), 88-97.
- Demir, F., (2005a). Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modülü Belirlenmesi İçin Bir Bulanık Yaklaşımı, *Deprem Sempozyumu*, 23-24.
- Demir F (2005b). A new way of prediction elastic modulus of normal and high strength concrete-fuzzy logic, *Cem Concr Res*, **35**, 1531-1538.
- Do J, Song H, So S, Soh Y (2005). Fuzzy methodology application for modeling uncertainties in chloride ingress models of RC building structure, *Comput Concr*, **2**(4), 325-343.

- Do JY (2006). Fuzzy inference based cover thickness estimation of reinforced concrete structure quantitatively considering salty environment impact, *Comput Concr*, **3**(2), 145–162.
- Dubois D, Prade H (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, Academic Pres. Inc. Ltd., London.
- Ebrahimi E, Mollazade K (2010). Intelligent fault classification of a tractor starter motor using vibration monitoring and adaptive neuro-fuzzy inference system, *INSIGHT*, **52** (10), 561-566.
- Erdik T (2009). Discussion on Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic, *Comput Mater Sci*, **44**, 1022.
- Erdoğan TY (2003). *Concrete*, Metu Pres, Ankara, Turkey.
- Ferraris CF (1999). Measurement of the rheological properties of high performance concrete. *J Res Nat Inst Stand and Tech*, **104**(5), 461-478.
- Ferraris CF, Obla KH, Hill R (2001). The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, *Cem Concr Res*, **31**(2), 245-255.
- Gupta R, Kewalramani MA, Goel A (2006). Prediction of concrete strength using neural-expert system, *J Mat Civ Engrg*, **18**(3), 462-466.
- Haimoni A, Hannant DJ (1993). Hydraulic transport of solids in pipes: a simple method for the prediction of pressure, *Drop Mat Struc*, **26**, 144-151.
- Han SH, Kim JK, Park YD (2003). Prediction of compressive strength of fly ash concrete by new apparent activation energy function, *Cem Concr Res*, **33**(7), 965-971.
- Hashina Z, Monteiro PJM (2002). An inverse method to determine the elastic properties of the interphase between the aggregate and the cement paste, *Cem Concr Res*, **32**(8), 1291-1300.
- Hocaoğlu FO ve Kurban M, (2005). Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ile Eskişehir Bölgesi için Güneşlenme Süreleri Tahmini, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı*, İstanbul.
- Hsu HH, Chen L, Kou CH, Chiu CH (2011). Modeling slump flow of concrete using genetic programming, *Adv Mater Res*, **211-212**, 374-378.
- Jain A, Jha SK, Misra S (2008). Modeling and analysis of concrete slump using artificial neural networks, *J Mat Civ Engrg*, **20**(9), 628-633.
- Jang JSR (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **23**(3), 665-685.
- Keskin ME, Taylan D, Terzi Ö, (2006). ANFIS Approach for Modeling Hydrological Time Series, *Hydrol Sci J*, **51**(4), 588-598.
- Long, W J, Khayat KH, Xing F (2010). Statistical models to predict fresh properties of self-consolidating concrete, *Adv Mater Res*, **129–131**, 853-856.
- Negnevitsky M (2005). *Artificial Intelligence; A Guide to Intelligent Systems*, Second Edition, Addison-Wesley, New York.
- Neville AM (1996). *Properties of Concrete*, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ozbay E, Oztas A, Baykasoglu A (2010). Cost optimization of high strength concretes by soft computing techniques, *Comput Concr*, **7**(3), 221-237.

- Özel C (2007). Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği A.B.D., Isparta.
- Peng CH, Yeh IC, Lien LC (2009). Modeling strength of high-performance concrete using genetic operation trees with pruning techniques, *Comput Concr*, **6**(3), 203-223.
- Ramezaniyanpour AA, Shahhosseini V, Moodi F (2009). A fuzzy expert system for diagnosis assessment of reinforced concrete bridge decks, *Comput Concr*, **6**(4), 281-303.
- Sobhani J, Najimi M, Pourkhorshidi AR, Parhizkar T (2010). Prediction of the compressive strength of no-slump concrete: A comparative study of regression, neural network and ANFIS models, *Const Build Mat*, **24**, 709-718.
- Şentürk S, (2010). Faktöriyel Tasarıma Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi İle Farklı Bir Yaklaşım, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, **22**, 57-74
- Tattersall, G. H. ve Banfill P. F. G., 1983. *The Rheology of Fresh Concrete*, Pitman Books Limited, p. 353, London.
- Tattersall G. H., 1991. *Workability and Quality Control of Concrete*, E.&F.N. Spon Publ., p.262, London.
- Terzi Ö, Keskin ME, Taylan ED, (2006). Estimating Evaporation Using ANFIS, *J Irrign Drain Engrg*, **132**(5), 503-507.
- Terzi S, Morova N, Karaşahin M (2009), Determining of Flexible Pavement Condition Rating Deduct Value with Fuzzy Logic Algorithm, *Int Symp on Innov in Intel Syst and App*, 161-168, Trabzon, Turkey.
- Topcu IB, Saridemir M (2008a). Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic, *Comp Mat Sci*, **41**(3), 305-311.
- Topcu IB, Saridemir M (2008b). Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural network and fuzzy logic, *Const Build Mat*, **22**, 532-540.
- Yeh IC (2008a). Prediction of workability of concrete using design of experiments for mixtures, *Comput Concr*, **5**(1), 1-20.
- Yeh IC (2008b). Modeling slump of concrete with fly ash and superplasticizer, *Comput Concr*, **5**(6), 559-572.
- Zadeh LA (1965). Fuzzy sets, *Inf Control* **8**(3): 338-353.
- Zongjin L, (2011). CIVL 111 Construction Materials, Department of Civil Engineering <http://teaching.ust.hk/~civ111/CIVL111-lecture-5.pdf> (Erişim Tarihi: 28.01.2012)