



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



ANFIS ile kendiliğinden yerleşen beton basınç dayanımının tahmini

Prediction of compressive strength of self-compacting concrete with ANFIS

Yazar(lar) (Author(s)): İlker Bekir TOPÇU¹, Mehmet Ozan OLGUN², Eyyüp GÜLBANDILAR³

ORCID¹: 0000-0002-2075-6361

ORCID²: 0000-0003-0309-7760

ORCID³: 0000-0001-5559-5281

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Topçu İ.B., Olgun M.O., Gülbandır E., “ANFIS ile kendiliğinden yerleşen beton basınç dayanımının tahmini”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 641-647, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.537209

ANFIS ile Kendiliğinden Yerleşen Beton Basınç Dayanımının Tahmini

Araştırma Makalesi / Research Article

İlker Bekir TOPÇU¹, Mehmet Ozan OLGUN¹, Eyyüp GÜLBANDILAR^{2*}

¹Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.04.2018 ; Kabul/Accepted : 13.02.2019)

ÖZ

Kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) son yıllarda beton teknolojisindeki en büyük gelişme olduğu söylenebilir. KYB'ler vibratör kullanılmaksızın çok sık donatılı ve karmaşık kesitli yapılarda yüksek dayanım vermektedir. KYB içeriğindeki; süper akışkanlaştırıcı kullanımı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi özellikler açısından normal betondan farklıdır. Bu çalışma, KYB'lerde süper akışkanlaştırıcı katkıların oranıyla betondaki basınç dayanımının ve su/çimento oranındaki değişimleri, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) tahmin modeli ile araştırmak için tasarlanmıştır. Bu modeli inşa etmek için; çimento dozajı (300, 400 ve 450), KYB oranı ve çimento/su oranı giriş değişkeni olarak 28 günlük basınç dayanımı çıkış değişkeni seçilerek ANFIS modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan modelin eğitiminde toplam 63 veri setinden rastgele olarak seçilen 53 adet veri kullanılmıştır. Eğitilen modelin test edilmesi içinde 10 adet veri seti kullanılmıştır. Test parametrelerinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında tasarlanan modelim 28 günlük basınç dayanımlarının tahmininde ($R^2=0,933$, $p<0,001$, $c=0,966$) şeklinde başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, basınç dayanımı, süper akışkanlaştırıcı, ANFIS.

Prediction of Compressive Strength of Self-Compacting Concrete with ANFIS

ABSTRACT

It can be said that the self-compacting concrete (SCC) has been the biggest development in concrete technology in recent years. Self-compacting concretes are very heavily reinforced without vibrators and provide high strength in complex cross-section structures. Both the speed of production and the quality of concrete can be increased by using self-compacting concrete. In the content of the KYB; Superplasticizer use, viscosity additive use, water/binder ratio, sand/total aggregate ratio and total coarse aggregate amount. This study is designed to investigate the changes in the compressive strength and cement/water ratio of the concrete with the proportion of superplasticizer admixtures in self-compacting concrete (SCC) using the predictive model of Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems (ANFIS). In the design of ANFIS model were selected cement dosage (300, 400 and 450), SCC ratio and cement ratio (cement/water) as input variables, and compressive strength as output variables. Training data set which 53 randomly selected from 63 data sets were used for the training of the designed model. For the testing of the trained model were, it was used by the 10 data sets remainder of the total set. When comparing correlation between the results obtained from the test parameters and the experiment alone, the designed model showed successfully in predicting the 28-day compressive strengths ($R^2= 0.933$, $p< 0.01$, $c = 0.966$).

Keywords: Self-compacting concrete, compressive strength, superplasticizer, ANFIS.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Akışkanlaştırıcılar uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlamak ve kolay yerleşmeyi sağlamak amaçlarıyla kullanılırlar [1,2].

Akışkanlaştırıcılar, su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içerisine hava sürükleyerek çimentonun topaklaşmasını önlerler [3]. Hazır beton teknolojisinde betonun santralden taşınarak kalıba

yerleştirilinceye kadar geçen süre bazı durumlarda istenen veya beklenen süreden daha fazla zaman alabilmektedir. Santralin betonun döküleceği yere uzak olması veya trafik tıkanıklığı gibi durumlarda beton şantiyeye vardığında, geçen zamandan ötürü oluşan kıvam kaybının yalnızca su kullanılarak iyileştirilmesi durumunda betonun özelliklerinde çok zararlı etkiler oluşabilmektedir [4]. Bu nedenle beton üretiminde kullanılması gereken çimento miktarı azaltılmaksızın veya beton dayanımından ödün vermeksizin üretilen betonun, akıcı ve kolay yerleşebilir olmasının sağlanması gerekmektedir. Bu akıcılığın sağlanabilmesi için akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmaktadır. Bu katkılar uygun koşullarda kullanılarak beton içerisine katıldığında aynı

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : egulbandilar@ogu.edu.tr

işlenebilmeyi sağlamak koşulu ile karışım suyu miktarında azalmalar sağlayabilmektedirler [5].

Gürdal ve Yüceer'in çalışmasında doldurma yeteneği (süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı, dengelenmiş su/bağlayıcı oranı), ayrışmaya karşı direnç (terleme-kaba agrega ayrışması-hava boşluğundaki düzensizlik için sınırlı agrega içeriği, düşük su içeriği ve viskozite artırıcı önerilmiş), işlenebilme ve geçiş yetenekleri (blokajı önlemek için iri agrega istenmez ve viskozite artışı ve düşük su/bağlayıcı oranı) incelenmiş ve uyumsuzlukların giderilmesi verilmiştir [6].

Felekoğlu'nun çalışmasında KYB üretimi için uygun malzeme tip ve miktarının seçimi yapılmış, optimum karışım oranları belirlenmiştir. Elde edilen verilerle iki aşamada hazırlanan beton karışımlarının taze halde kendiliğinden yerleşebilirlik ve sertleşmiş halde mekanik özellikleri incelenip normal beton özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sabit bir çimento dozajı ve agrega granülometrisinde, su/toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır. Çekme dayanımları normal betona göre %17 daha yüksektir. E-modülü oranlarında çok değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrışma olmaması için su /toz oranı hacminde 0.84-1.07 arasında değişen ve toz madde ağırlığının %1.27-0.60 arası akışkanlaştırıcı kullanımı önerilmektedir [7].

Topsakal ve Özel çalışmalarında üç farklı çimento dozajında (350, 400 ve 450 kg/m³), en büyük tane çapı 16 mm KYB'nin çökmede yayılma değerleri 4 farklı zaman için ölçülmüştür. Bu zamanlarda alınan beton numunelerinin sertleşmiş özellikleri (ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, yüzey sertliği vb.) değişimleri incelenmiştir. Sonuçta, numune alma süresine dikkat çekilmiştir. Çökme yayılma değerlerinin azaldığı ve zamanla işlenebilirlik kaybı olduğu belirlenmiştir. Numune alma sürelerine bağlı olarak basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici ile ölçülen yüzey sertliğinde zamana göre artışlar olmuştur. Çimento dozajının artmasıyla çökme yayılma değerlerinde artış elde edilmiştir. Yatay eksenli ve düşey eksenli mikserlerden düşey eksenli mikser numuneleri daha iyi sonuç vermişlerdir [8].

Emiroğlu vd. çalışmalarında atık lastikleri kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonda bağ performansını daha sünek beton oluşturarak çalışmışlardır. Bu atık lastiklerin kullanımında kritik sorun lastik parçacıkları ve çimento hamuru arasındaki ara yüzün zayıf olmasıdır. Portland çimento ile birlikte puzolan kullanımıyla arayüzdeki aderansın geliştirilebileceği kabul edilir. Çalışmada atık lastiklerle üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda çökme ve yayılmanın kullanılan lastik parçacıklarının çapına bağlı olduğu açıklanmıştır. Basınç dayanımları atık lastik miktarıyla azalmıştır. En yüksek bağ dayanımı (çekme) %15 lastikli karışımda elde edilmiştir [9].

Ünal yaptığı çalışmada 5 seride kırmataş, 5 seride de çakıl agregaları kullanılarak her seride altışar numune olmak üzere 60 adet 150x150 mm'lik küp numuneler

üretilmiştir. Elde edilen verilere göre kırma taş agreganın KYB'nin dayanım özelliklerine etkisinin olumlu olduğu görülmüştür. Birim hacim ağırlıkları s/ç oranının artmasıyla azalmıştır. Taze betonda çakıl agregası, sertleşmiş betonda kırma taş serileri daha iyi sonuç vermiştir. s/ç oranı 0.37'de yetersiz 0.46-0.48 arası ayrışma sorununu yarabileceği için s/ç aralığı 0.41-0.45 aralığında olması sağlıklı bulunmuştur [10].

Tohumcu ve Bingöl'ün çalışmasında mineral katkı maddesi olarak çimento olarak ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında silis dumanı ve %25, %40 ve %55 oranlarında uçucu kül kullanılarak KYB üretilmiş ve beton özellikleri ile sertleşmiş betonların 3,7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Silis dumanı ilavesi basınç dayanımlarında artışa yol açarken uçucu kül katkılı betonlarda dayanım azalması belirlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı değeri 88 MPa ile %15 silis dumanı kullanılarak üretilen betonlardan elde edilmiştir. Uçucu kül erken yaşlarda puzolanik etki ortaya koymadığı için dayanım azalmıştır. Viskozite ise genel olarak artmıştır [11].

Türkmenoğlu vd. çalışmasında toplam olarak 5 farklı beton karışımı elde edilmiştir. Mermer tozu, çimento ile %0, %5, %10, %15 ve %20 oranların da yer değiştirilerek kullanılmıştır. Tüm karışımlarda s/ç oranı ve toplam bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda %15 oranında mermer tozu ilavesinin KYB üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca mermer tozunun kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) üretiminde değerlendirilmesi ile bu atıkların çevreye verildikleri zararlı etkiler ve ekonomik yarar sağlanabilecektir [12].

Gönen ve Yazıcıoğlu'nun çalışmasında, ponza ve geliştirilmiş perlit agregası ile 4 farklı kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) üretilmiştir. Üretilen KYHB'lerin kendiliğinden yerleşebilirlikleri ile donma-çözülme dirençleri incelenmiştir ve bu özellikler dere agregalı KYB ve vibrasyonla sıkıştırılan hafif beton (HB) ile karşılaştırılmıştır. Taze beton deney sonuçlarına göre agreganın birim ağırlığı azaldıkça V-hunisi boşaltma süresinin uzadığı görülmüştür. Dere agregalı KYB'lerin birim ağırlığı 2,3-2,4 ton/m³ iken KYHB'nin birim ağırlığının geliştirilmiş perlit ilave edilmesi durumunda 1,7 ton/m³'e kadar düştüğü görülmüştür. Birim ağırlığa düşen basınç dayanımında KYHB'lerin KYB'lere göre daha verimli oldukları görülmüştür. Fakat donma-çözülme deneyleri sonrasında; agregaların birim ağırlıklarının azalmasının KYHB'lerin donma-çözülme dayanıklılıklarının azalmasına neden olmuştur [13].

Topçu vd.'nin çalışmasında, uçucu kül, kireç taşı tozu, tuğla ve mermer tozunun KYB'de ince malzeme olarak kullanılması durumunda katkı gereksinimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. KYB'de akışkanlığı sağlamak üzere uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik malzemelerin yanı sıra taş unu gibi ince malzemelerde kullanılmaktadır. Deneyler yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB harçları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Harçların

üretiminde ince malzemeler çimentoyla belirli bir oranda yer değiştirilmiş ve %0,5'ten %2,5 oranına kadar kimyasal katkı ilave edilmiştir. 0-4 mm doğal kum ile üretilen harçlar, üzerinde mini çökmede yayılma ve V-hunisi testleri yapılmıştır. Rölatif çökmede yayılma ile s/ç oranı arasındaki ilişkiden gerekli olan katkı miktarı çimento ağırlığının yüzdesi olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak seçilen mineral katkıların katkı gereksinimine dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir. Sabit su/toz oranında kimyasal katkı oranı arttıkça tüm harçların işlenebilirliği artmıştır. Her ince malzemenin yüzeyinin su filmi ile kaplanması için gereken su/toz oranı farklı olacağından, dikkate alınmazsa işlenebilirlik büyük ölçüde kaybolmaktadır [14].

Türkel ve Alabaş yaptıkları bir çalışmada PÇ 42.5 çimentosu ile PKÇ/A 42.5 çimentosunun, buhar kürü uygulamaları açısından kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Çalışmada, su/çimento oranı 0.44 olan 150 mm'lik küpler 4, 8, 16, 24 ve 36 saat buhar kürüne tutulmuş, kür sıcaklığı 65°C ve çimento dozajı 400 kg/m³ seçilmiştir. Farklı koşullarda kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerlerinin değişimi şahit numunelerle karşılaştırılmalı olarak incelemiştir. İki farklı çimento tipi

katkı olarak da farklı iki firmadan alınan normal ve süper akışkanlaştırıcı katkıları olmak üzere toplam 4 farklı akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. CEM I 42.5'e ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. CEM I 42.5'e ait kimyasal özellikler (Chemical properties of CEM I 42.5) [18]

| Bileşen Adı | Çimento |
|--------------------------------|---------|
| SiO ₂ Çözünen | 22,06 |
| Çözünmez kalıntı | 0,12 |
| Al ₂ O ₃ | 4,25 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,20 |
| CaO | 65,4 |
| MgO | 1,13 |
| SO ₃ | 2,98 |
| Kızdırma Kaybı | 2,53 |
| Tayin Edilemeyen | 1,90 |
| Serbest CaO | 1,51 |
| Na ₂ O | 0,53 |
| K ₂ O | 0,50 |

Çizelge 2. CEM I 42.5'e ait fiziksel ve mekanik özellikler (Physical and mechanical properties of CEM I 42.5) [18]

| Fiziksel Özellikler | | | |
|----------------------------------|-------|--------------------|-----------------------|
| Priz Başlangıcı (dak.) | | | 135 |
| Priz Sonu (dak.) | | | 160 |
| Hacim Sabitliği (mm) | | | 4,0 |
| Özgül Yüzey (cm ² /g) | | | 4400 |
| Mineralojik Bileşenler | | Mekanik Özellikler | |
| C ₃ S | 54,88 | Gün | Basınç Dayanımı (MPa) |
| C ₂ S | 26,01 | 2 | 34 |
| C ₃ A | 11,80 | 7 | 50 |
| C ₄ AF | 0,71 | 28 | 63 |

kullanılarak hazırlanmış beton karışımlarının 65°C üst kür sıcaklığında beş farklı ısı emdirme sürecinde (4, 8, 16, 24, 36 saat) bekletildikten sonra PÇ 42.5 çimentosunun PKÇ/A 42.5 çimentosuna göre daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduklarını ortaya koyulmuştur. Ayrıca normal kür koşullarında PÇ 42.5 çimentosunun, PKÇ/A 42.5 çimentosuna göre erken yaşlarda dayanım kazanma eğiliminin, buhar kürü yöntemindeki ısı işlem uygulama süreleri için de benzer olduğunu gösterilmiştir [17].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

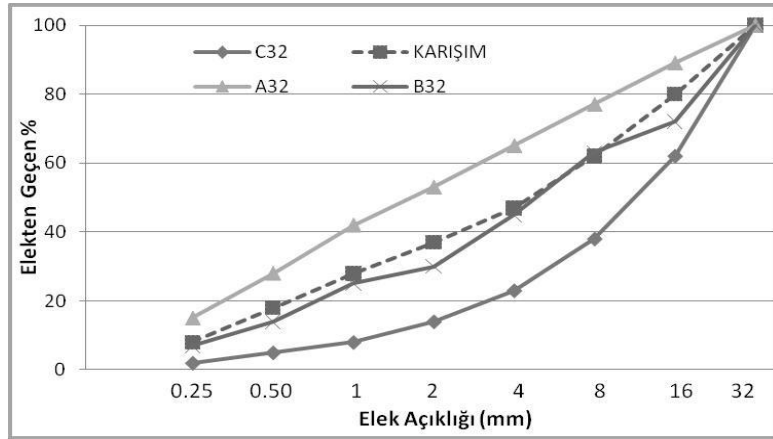
ANFIS için bu makale hazırlanırken deney sonuçlarının kullanıldığı [18] nolu çalışmanın karışımlarında çimento olarak CEM I 42.5 çimentosu, agrega olarak Sakarya-Geyve yöresinden sağlanan kalker agregası, kimyasal

Numuneler 300, 400 ve 450 dozaj olmak üzere iki farklı çimento dozajında 100 mm'lik küp olarak üretilmiştir. Katılan su miktarı, 160-190 mm arasında çökme sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen numuneler üzerinde 3, 7, 28 ve 90 gün sonunda basınç dayanım deneyleri yapılarak, iki farklı çimento dozajında, iki farklı firmaya ait normal akışkanlaştırıcı (Lignosülfonat esaslı) ve süper akışkanlaştırıcı (Melaminsülfonat esaslı) katkı ve katkısız olarak hazırlanan numuneler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Böylelikle, normal akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımının betonda oluşturduğu basınç dayanımı değişimleri araştırılmıştır. Üretilen betonlarda kullanılan agregaların granülometrik analizi TS 3530'a göre yapılmış ve Şekil 1'de gösterilmiştir [15].

Çalışmada toplam 64 seri beton üretimi gerçekleştirilmiş, 16 seride katkı maddesi olarak Lignosülfonat esaslı

normal akışkanlaştırıcı katkı, 16 seride ise katkı maddesi olarak Melaminsülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmış 300, 400 ve 450 dozajlı kontrol betonlarında ise herhangi bir katkı maddesi kullanılmamıştır. Bir adet 400 dozajlı veri deneysel hata nedeniyle çalışmadan çıkartılmıştır. Normal akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı

ağlarını hem de bulanık çıkarım sistemlerini kendi bünyesinden barındıran bir karma sistemdir. Bu karma sistem, genellikle Sugeno bulanık model olarak adlandırılır. Giriş değişkenleri bulanık mantık yapılan sistemlerdeki gibi bulanıklaştırılır. Klasik bulanık mantık uygulamalarından farklı olarak çıkarım biriminde fonksiyonel çıkış kullanılır ve bu bir polinom



Şekil 1. Denede kullanılan agregaların elek analizi (Sieve analysis of aggregates used in the experiment) [18]

Çizelge 3. Kimyasal katkıların özellikleri (Properties of chemical admixtures) [18]

| Akışkanlaştırıcı | Normal I | Normal II | Süper I | Süper II |
|------------------|--------------------------------|------------------------|--|--|
| Kimyasal yapı | Modifiye Lignosülfonat | Modifiye Lignosülfonat | Sentetik polimer | Melamin sülfonat |
| Betona etkisi | Su azaltıcı+ priz hızlandırıcı | Su azaltıcı | Yüksek oranda su azaltıcı+ Priz hızlandırıcı | Yüksek oranda su azaltıcı+ priz hızlandırıcı |
| Yoğunluk (kg/l) | 1,11 | 1,12 | 1,17 | 1,21 |

maddelerinin özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Her gruba ait üç numunede basınç deneyi yapılmıştır [18].

fonksiyonudur. Eğer birinci dereceden bir polinom ise bu model, birinci derece Sugeno bulanık model olarak

Çizelge 4. Üretilen betonların kodlandırılması (Coding of produced concrete) [18]

| Kod | Üretilen beton |
|-----|--|
| 300 | 300 Dozajlı Beton |
| 400 | 400 Dozajlı Beton |
| 450 | 450 Dozajlı Beton |
| N1 | A firmasının normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi |
| N2 | B firmasının normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi |
| S1 | A firmasının süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi |
| S2 | B firmasının süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi |

Çizelge 4'te verilen üretilen betonların kodlandırılmasında ilk üç rakam çimento dozajını, sonraki harf katkı türünü, daha sonraki rakam katkı firmasını ve geriye kalan rakamlar ise katkı oranlarını göstermektedir.

tanımlanır. Eğer sabit ise, sıfırıncı derece Sugeno bulanık model denir. Birinci derece Sugeno bulanık çıkarım sistemi için aşağıdaki gibi iki bulanık çıkarım *If-then* kuralları ile örneklenebilir.

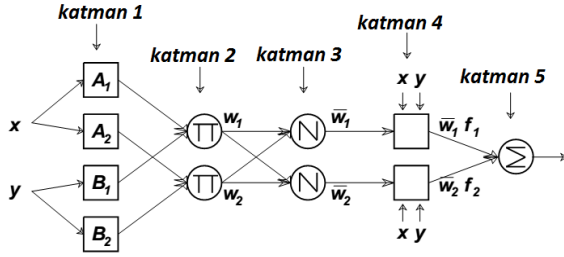
Kural1: If x is A_1 and y is B_1 , then $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

Kural 2: If x is A_2 and y is B_2 , then $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$ (1)

3. UYARLAMALI SİNİRSSEL BULANIK ÇIKARIM SİSTEMLERİ (ADAPTIVE NEURAL FUZZY INFERENCE SYSTEMS)

Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems: ANFIS) hem sinir

Bu çıkarım sisteminde her bir kuralın çıkışı, sabit terimin eklenmesi ile giriş değişkenlerinin doğrusal bir kombinasyonudur. Son çıkış, her bir kuralın çıkışının ağırlık ortalamasıdır. ANFIS mimarisinin temel yapısı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. ANFIS katman yapıları (ANFIS layers)

Aşağıda aynı katmandaki düğüm fonksiyonunun davranışları ayrıntılı olarak ifade edilmektedir. Bu açıklamalarda; O_i^j , j-inci tabakadaki i-inci düğümün çıkışını göstermektedir ve buna göre tanımlama yapılacaktır.

Katman 1 (Bulanıklaştırma katmanı): Bu katmandaki her i düğüm, düğüm fonksiyonuyla uyumlu davranış gösterir ve çıkışı aşağıdaki gibidir.

$$O_i^1 = A_i(x), \quad \text{icin } i = 1, 2, \text{ veya} \quad (2)$$

$$O_i^1 = B_{i-2}(y), \quad \text{icin } i = 3, 4$$

Burada x veya y i-inci düğüm için girişlerini ve A_i veya B_{i-2} ise uzun, kısa gibi üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. O_i^j katman çıkışı ise, A veya B bulanık kümelerinin üyelik derecelerini göstermektedir ve

$$O_i^1 = \mu A_i(x) = \frac{1}{1 + \left[\frac{(x - c_i)}{a_i} \right]^{2b_i}} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada $\{a_i, b_i, c_i\}$ bulanık küme parametrelerini göstermektedir. Bu bağıntı genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu için bu parametrelerin değerleri üyelik derecesini verir. Bu üyelik derecesi fonksiyonlarının değişik tipleri bulunmaktadır ve üyelik fonksiyonuna tipine göre Denklem 3 değişiklik göstermektedir.

Çizelge 5. ANFIS modelinin giriş ve çıkış parametreleri (Input and output parameters of ANFIS model)

| | | Eğitim ve test verileri | |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------|----------|
| | | Minimum | Maksimum |
| Giriş parametreleri | Çimento dozajı | 300 | 450 |
| | KYB, (%) | 0,5 | 9,5 |
| | Çimento oranı, (çimento/su) | 0,23 | 0,57 |
| Çıkış parametreleri | Basınç dayanımı (MPa) | 12,6 | 58 |

Katman 2 (Çıkarım kuralı katmanı): Bu katmandaki her bir düğüm cebirsel çarpma operatörü yardımıyla bir kuralın bulanık çıkarımı ile hesaplanmaktadır (Genellikle T-norm dönüşümü için mantıksal VE işlemi

tercih edilebilir). Bu katmanın görevi giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki mantıksal ilişkiler ortaya konulmaktadır. Bu T-norm dönüşümü için;

$$O_i^2 = w_i = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

genellikle bu bağıntı kullanılmaktadır.

Katman 3 (Normalizasyon katmanı): Bu katmandaki i-inci düğümün bulanık çıkarımının bütün düğümlerin bulanık çıkarımlarının toplamının oranlanmasıyla hesaplanmaktadır.

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Bu katmanın çıkışları normalize edilmiş olarak adlandırılır.

Katman 4 (Sonuç katmanı): Bu tabakadaki i-inci düğüm, düğüm fonksiyonunun ile normalize çıkışın çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$O_i^4 = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Burada \bar{w}_i , 3-üncü katmanın i-inci düğümün çıkışını ve $\{p_i, q_i, r_i\}$ ise parametre kümesini göstermektedir. Bu katmandaki parametreler ardıl parametreler olarak tanımlanmaktadır.

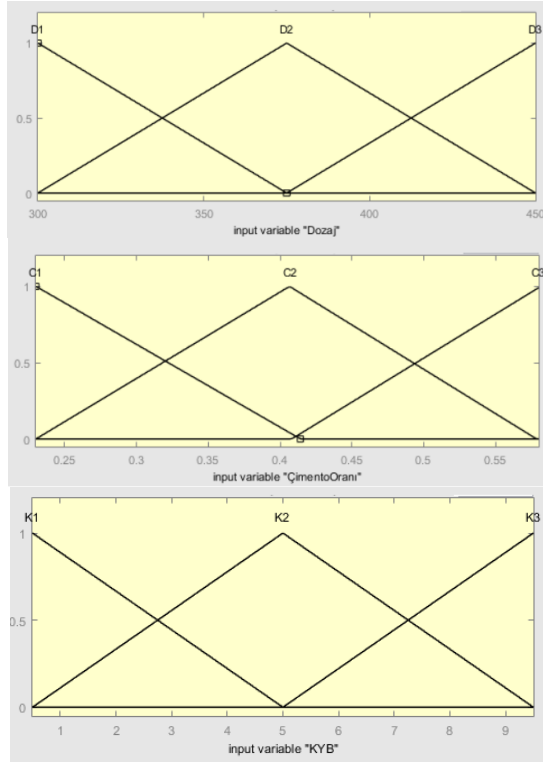
Katman 5 (Çıkış katmanı): Bu katmanın tek sabit düğümünde bütün gelen işaretlerin toplamını alarak toplam çıkış olarak hesaplanmaktadır. Bu değer çıkış değişkenin ham değerini ortaya koymaktadır [16].

$$O_i^5 = \text{toplam çıkış} = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

4. ANFIS MODEL TASARIMI ve PARAMETRELERİ (ANFIS MODEL DESIGN AND PARAMETERS)

ANFIS modelinin eğitim ve test aşamaları için çimento dozajı (300 ve 450), KYB dozajı oranı ve çimento oranı gibi 3 giriş parametresi ve 28 günlük basınç dayanımı da çıkış parametresi kullanılmıştır (Çizelge 5). ANFIS modelinin eğitimi için deneylerden elde edilen toplam 63 veri setinden rastgele olarak seçilen 53 veri kullanılarak modelimizin basınç dayanımını tahmin eden modelimizin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Aynı veri setinden ayrılan 10 veri de modelimizin test aşaması için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan ANFIS modelinde üç adet giriş değişkeni (çimento dozajı, KYB

dozajı oranı, çimento/su oranı) ve çıkış değişkeni olarak 28 günlük betonun basınç dayanımı seçilmiştir (Şekil 3). Bu modelde, farklı epoch sayıları ile farklı öğrenme algoritmaları denendikten sonra en iyi



Şekil 3. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları
(Membership functions of input variables)

korelasyonun 500 epoch ve hibrit öğrenme algoritmasında olduğunu belirlenmiştir. Modelimizde tüm giriş değişkenleri için “trimf”(üçgen üyelik fonksiyonu) üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Toplam 27 çıkarım kuralı oluşturulmuştur. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 3'te görülmektedir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, 28 gündeki basınç dayanımı değerleri tahmin etmek için ANFIS ile modelleme oluşturulmuştur. Tasarladığımız ANFIS modelinin eğitimi için 53 veri kullanılırken, test için 10 veri kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılmasında; belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama hata (RMS) kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterler Denklem (8), (9) ve (10) kullanılarak hesaplanabilir [16].

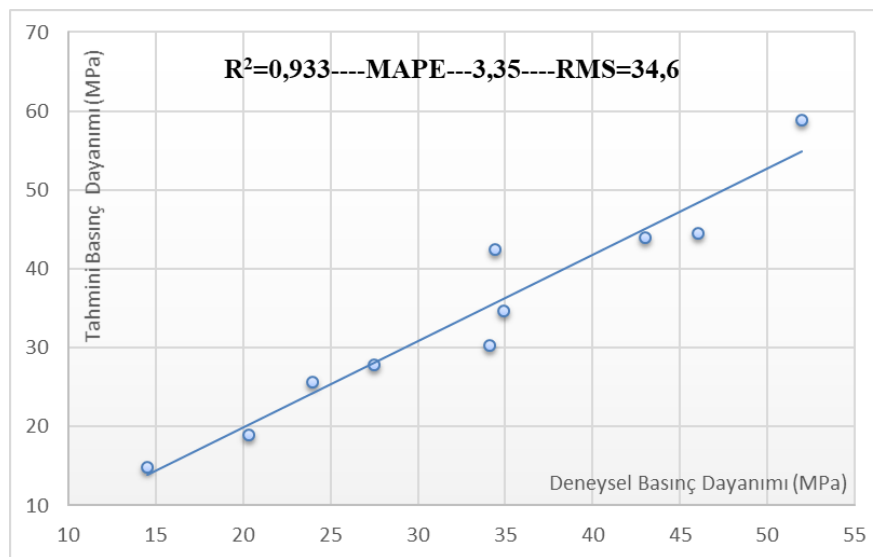
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_i - o_i|^2} \quad (8)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i)^2} \right) \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{t_i - o_i}{o_i} \right| \right) * 100 \quad (10)$$

Burada t hedef değeri, o ANFIS çıkış değerini ve N toplam örneklem sayısını göstermektedir. ANFIS modelinden elde edilen tahmin değerleri ile deneylerden elde edilen 28. günlük basınç dayanımları ve hesaplanan R^2 , RMS ve MAPE gibi istatistiksel veriler Şekil 4'te verilmiştir.

Tasarlamış olduğumuz ANFIS modeline uygulanan 10 adet test verilerinin elde ettiğimiz basınç dayanımı değerleri ile deneysel basınç dayanımlarının



Şekil 4. ANFIS'den elde edilen tahmin değerleri ile deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması (Comparison of the predicted values obtained from ANFIS and the results obtained from the experiments)

karşılaştırılması aşamasındaki R^2 , RMS ve MAPE gibi istatistiksel veriler sırasıyla 0,933, 3,35 ve 34,6 olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Bu değerler; deneylerden elde edilen 28. günlerindeki basınç dayanımı sonuçlarının, bu model ile elde edilen tahmin değerlerine yakın benzerlikler ortaya koymaktadır. Modelimizin MAPE değeri beklenenden yüksektir. Bunun nedeni test veri sayımızın az olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer veri sayısı arttırılırsa bununda yüksek olacağı kanaati ortaya çıkmaktadır. Deneysel ve model tahmini sonuçlarını istatistiksel olarak SPSS paket programı kullanarak karşılaştırdığımızda ise değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon olduğu görülmektedir ($c=0,966$, $p<0,001$).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışma, kendiliğinden yerleşen betonlarda (KYB) süper akışkanlaştırıcı katkıların oranıyla betondaki basınç dayanımının ve su/çimento oranındaki değişimleri, Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) tahmin modeli ile araştırmak için tasarlanmıştır. Bu modeli inşa etmek için, 300, 400 ve 450 dozaj çimento kullanılarak hazırlanmış numunelerden, farklı süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri kullanılarak alınan 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarından oluşan 53 deney sonucunu, ANFIS modelinin eğitim aşamaları için kullanılmıştır. Ayrıca 10 adet veride modelin testi için kullanılmıştır.

- ANFIS kullanarak ürettiğimiz deney sonuçları, laboratuvarında deney yaparak elde edilen sonuçlara %93.3'lik bir doğruluk ve 0,966 korelasyon sağlamaktadır.
- Bu yöntem bize deney yapmadan önce bir ön bilgi sunduğu gibi deney yaparken kaybedilen zaman ve maddi kaynaklarında önüne geçmiş olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Akman M.S., "Beton Katkı Maddelerinin Ana İşlevleri ve Yan Etkileri", *İTÜ İnşaat Fakültesi, Malzeme Seminerleri*, İstanbul, (1987).
- [2] Yıldırım H., Yorulmaz V. ve Ardaç E., "Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu", *4. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 25-33, (1996).
- [3] Topçu İ.B., "Akışkanlaştırıcı ve Dona Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi", *4. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 45-53, (1996).
- [4] Aydın K.K., Uyan, M. ve Baş, S., "Betonda Kıvam Kaybının Süper Akışkanlaştırıcı Katkılarla İyileştirilmesi", *4. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 73-80, (1996).
- [5] Akman M.S., "Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları", İstanbul, ss. 55-71, (1996).
- [6] Gürdal H. ve Yüceer Z. "Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları", (2007) <https://sites.google.com/site/beton2004/23.pdf>
- [7] Felekoğlu B., "Kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2003).
- [8] Topsakal A., Özel C, "Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çökme Kaybının ve Kalıplama Zamanının Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerindeki Etkisi", *SDU International Technologic Science*, 4(2): 124-134, (2012).
- [9] Emiroğlu M, Yıldız S. ve Keleştemur M.H., "Lastik Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kırılma Parametrelerinin Belirlenmesi", *10. Uluslar. Kırılma Konf.*, Kayseri, 96-107, (2014).
- [10] Ünal O., "Agrega Türünün Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisinin Araştırılması", *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1): 51-60, (2013).
- [11] Tohumcu İ. ve Bingöl A.F., "Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri ve Basınç Dayanımları", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2): 31-44, (2013).
- [12] Türkmenoğlu Z.F., Kılıç A.M. ve Depci T., "Van Yöresi Pomza ile Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1): 105-116, (2015).
- [13] Gönen T. ve Yazıcıoğlu S., "Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma-Çözülme Direnci" *9. Ulusal Beton Kongresi*, Antalya, (2015).
- [14] Topçu İ.B., Ünal O. ve Uygunoğlu T., "Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması", *2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 181-193, (2007), www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3992.pdf
- [15] TS 3530, Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1980).
- [16] Gulbandilar E. ve Koçak, Y., "Application of expert systems in prediction of flexural strength of cement mortars", *Computers and Concrete*, 18(1):1-16, 2016.
- [17] Türkel S. ve Alabaş V., "İki Farklı Çimento İle Üretilen Betonların Basınç Dayanımına Değişik Buhar Kürü Uygulama Sürelerinin Etkileri", *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (2002).
- [18] Uysal M. ve Yılmaz K., "Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12 (1): 2012, 19-35, (2012).