

## Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yerleştirme Zamanına Bağlı Taze ve Sertleşmiş Özelliklerinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi

Alper TOPSAKAL<sup>1</sup>, Cengiz ÖZEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi ABD, 32260 Isparta.

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 32260 Isparta.

e-posta:alpertopsakal@gmail.com, cengizozel@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 10 Kasım 2012; Kabul Tarihi: 26 Şubat 2013

### Özet

Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB) sahip oldukları yüksek akışkanlık özellikleri nedeniyle günümüzde, yoğun donatılı ve dar kesitli yapı elemanlarının inşasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonlardan genel anlamda tasarım ve üretim özelliklerini yerleştirme ve sertleşme süreci boyunca kaybetmemesi beklenmektedir. Bu çalışmada 3 farklı çimento dozajında (350, 400 ve 450 kg/m<sup>3</sup>) üretilen kendiliğinden yerleşen betonların iki mikser tipine göre (düşey ve yatay eksenli) taze (çökme ve çökmede yayılma değerleri) ve sertleşmiş beton özelliklerinin değişimi (basınç dayanımı) dört farklı zaman süreci için (karıştırma süresinden sonraki 5., 35., 65. ve 95. dakikalarda) incelenmiş ve bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Girdi parametresi olarak, mikser tipi, çimento dozajı ve numune alma zamanı kullanılmıştır. Buna bağlı olarak, çıktı parametrelerinde, çökme, çökme yayılması ve basınç dayanımı tahmin edilmiştir. Geliştirilen modelin sonuçları deneysel sonuçları ile karşılaştırıldığında, çökme değerinde ( $R^2=0.9861$ ), çökme yayılmasında ( $R^2=0.9931$ ) ve basınç dayanımında ( $R^2=0.9953$ ) yüksek belirleyicilik katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen belirleyicilik katsayılarına göre oluşturulan modelin KYB'ın zaman bağlı taze ve sertleşmiş özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

### Anahtar kelimeler

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB),  
Bulanık Mantık (BM),  
Çökme Kaybı,  
Basınç Mukavemeti.

## Modeling of Fresh and Hardened Properties Depend on Placement Time of Self-Compacting Concrete by Fuzzy Logic.

### Abstract

Today, Self-Compacting Concrete (SCC) due to high flow properties has been widely used in the construction of building elements, congested reinforcement and narrow cross-section. Generally, during the placement and curing process from fresh concretes is expected to retain properties of design and production. In this study, according to two mixer types (horizontal and vertical axis), changes of fresh (slump, slump flow) and hardened properties (compressive strength) of SCC, produced at three different cement dosage (350, 400 and 450 kg/m<sup>3</sup>), are examined at four different times (at the 5<sup>th</sup>, 35<sup>th</sup>, 65<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> minutes after the mixing period) and fuzzy logic model is developed. At the same time, samples taken from mixtures and molded at these times. It was examined that properties of concrete such as compressive strength, slump and slump flow as depend on molding time. The developed model are used mixer type-cement dosage and time as input parameters, slump-slump flow and compressive strength as output parameters. The developed model results with the experimental results is compared, it was obtained the high determination coefficient ( $R^2= 0.9861$  for slump;  $R^2= 0.9931$  for slump flow and  $R^2= 0.9953$  for compressive strength). According to determination coefficient, developed model can widely used for forecast of fresh and hardened properties depend on time of SCC.

### Key words

Self-Compacting Concrete (SCC),  
Fuzzy Logic (FL),  
Slump Loss,  
Compressive Strength.

## 1. Giriş

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), yoğun donatılı ve dar kesitli elemanlar içerisinde kendi ağırlığı altında akabilen ve sıkışabilen, homojenliğini koruyarak herhangi bir ilave sıkıştırmaya gerek olmaksızın kalıbı tamamıyla dolduran özel bir betondur (THBB, 2007). Dolayısıyla, KYB'nin yüksek bir akıcılığa sahip olması gerekmektedir. Yüksek akıcılık sağlanırken, ayrışma ve su kasma (terleme) olayları meydana gerçekleşmemelidir. Yüksek akıcılık süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanır. KYB'ler düşük su/çimento oranında, yüksek dayanıma ve üstün kalıcılığa sahip betonlar olduğu için, yüksek dayanımlı beton olarak da adlandırılırlar (Okamura, 1997; Özkul, 2002).

KYB'lerde yüksek akıcılık, üstün akışkanlaştırıcı özelliğe sahip olan kimyasal katkıları yardımı ile sağlanır (Sağlam vd., 2004).

Akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları genel anlamıyla betonun kıvamını sabit tutarak daha az karışım suyu ile yapılmasını sağlayan veya karışım suyu miktarı değiştirilmediği takdirde betonun kıvamını artıran maddelerdir. Akışkanlaştırıcı katkıları sırasıyla ligno, melamin, naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcılar ve son olarak polikarbosilikat esaslı hiperakışkanlaştırıcılar olarak gelişme göstermişleridir. Bu akışkanlaştırıcılar, hedeflenen amaca yönelik betonda kullanılmaktadırlar (Akman, 1999; Felekoğlu ve Türkel, 2004; Sağlam vd., 2007; Topsakal ve Özel, 2012).

Bu çalışmada, farklı çimento dozajlarında (350, 400 ve 450 kg/m<sup>3</sup>) KYB üretilmesi hedeflenmiştir. Beton üretiminde mikser tipinin farkını belirlemek amacıyla düşey eksenli cebri karıştırıcı ve yatay eksenli (tambur) mikser olmak üzere iki farklı mikser tipi kullanılmıştır. Üretilen numunelerin karışımı takiben dört farklı zamanda (5., 35., 65., ve 95. dakikalarda) taze beton özellikleri incelenmiş ve bu zamanlarda alınan beton örnekleri ile taze beton özelliklerinin yanı sıra sertleşmiş beton özelliklerinin de değişimi incelenerek Bulanık mantık yöntemi ile modellenmiştir. Bu modelleme sonucunda, bulanık mantık kullanıcı arayüzüne

mikser tipi, çimento dozajı ve numune alınan zaman girildiğinde, taze betonun çökmesi, yayılması ve sertleşmiş beton özelliklerinden basınç dayanımı tahmin edilmiştir.

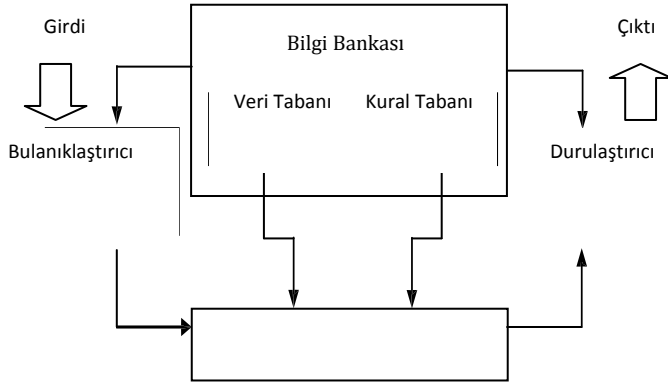
## 2. Bulanık Mantık

Son yıllarda beton ve yapı sektöründe "Sezgisel" (Heuristics) metotların ve yapay zeka tekniklerinin kullanımı hızla artmaktadır. Bu metot ve teknikler kullanılarak oldukça başarılı tahmin ve modellemeler geliştirilmektedir. Bulanık mantık en önemli "sezgisel" metotlardan biridir (Özel ve Polat, 2011).

Bulanık mantık (fuzzy logic "BM") kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley üniversitesinden. Lotfi A. Zadeh'in (1965) bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyulmuştur. Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir (Terzi, 2004).

Bulanık mantık, adından anlaşılacağı gibi mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik (boolean) mantıkta, "doğru" ve "yanlış" ya da "1" ve "0"lar kombinasyonları bulunmaktadır, oysa bulanık mantıkta, ikisinin arasında bir yerde olan önermelere veya ifadelere izin verilebilir ki, gerçek hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantık klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur (Durmuş ve Can, 2009).

Genel olarak bir bulanık mantık işlemindeki akış diyagramı Şekil 1'deki gibi verilebilir. Bunlar, giriş verileri veya veri tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru, kural tabanı ve durulaştırma işlemlerinden meydana gelmektedir (Demir, 2005).



Şekil 1. Bulanık Mantığın temel elemanları (Jang, 1993).

**Giriş/Veri Tabanı:** İncelenecek olan olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

**Bulanıklaştırıcı:** Sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işleminin yapıldığı bölümdür.

**Bulanık Kural Tabanı:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, EĞER-İSE (IF – THEN) türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık bağlantıları (rule base) düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

**Bulanık Çıkarım:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

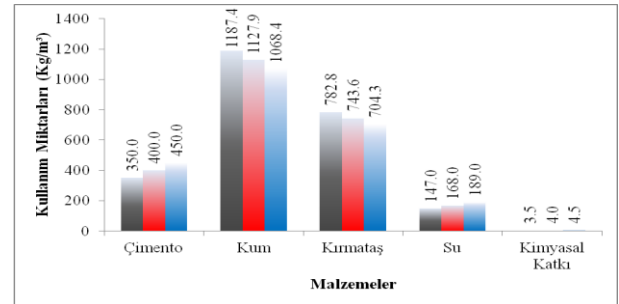
**Durulaştırma:** Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürdüğü birimdir.

**Çıktı:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir (Uygunoğlu ve Ünal, 2005).

Bulanık mantık ile girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkilerin araştırılması birçok bilimsel alanda başarılı bir şekilde uygulanmış ve kurulan modellerin geçerliliği kanıtlanmıştır (Terzi vd., 2006; Özel ve Polat, 2011; Özel ve Soykan, 2012).

### 3. Materyal ve Metot

Beton karışımında, agrega olarak kırma kum ile en büyük tane boyutu 16 mm kalker agregası ve CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak ise modifiye polikarbosilikat esaslı (yoğunluğu 1.09 kg/l) yüksek performanslı hiperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kimyasal katkı her çimento dozajındaki performansın izlenebilmesi için tüm karışımlarda sabit oranda kullanılmıştır. Şekil 2'de 1 m<sup>3</sup> KYB'de kullanılan malzeme miktarları verilmiştir.

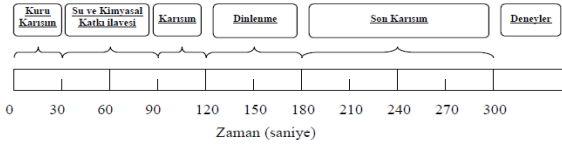


Şekil 2. 1 m<sup>3</sup> KYB'de kullanılan malzeme miktarları

Betonlar iki farklı mikser ile; cihazın alt kısmında dönerik karışan bir kazan ve üstte sabit karıştırıcı sistemden oluşan Düşey eksenli cebri karıştırıcı mikser (D) ve kendi eksenini etrafında dönen yatay eksenli bir tambur kazandan oluşan Yatay eksenli (tambur) mikser (Y) ile eş zamanlı olarak üretilmiştir.

Karışım işlemi tüm karışımlarda aynı olmak üzere, Şekil 3'te belirtildiği gibi 30 sn kuru karışım (iri agrega, ince agrega, bağlayıcı), 90 sn ıslak karışım (ilk 1 dk su ilavesi), 60 sn dilenme ve 120 sn son karışım olmak üzere toplam 300 sn'de (5 dk.)

yapılmıştır (Özel, 2007).



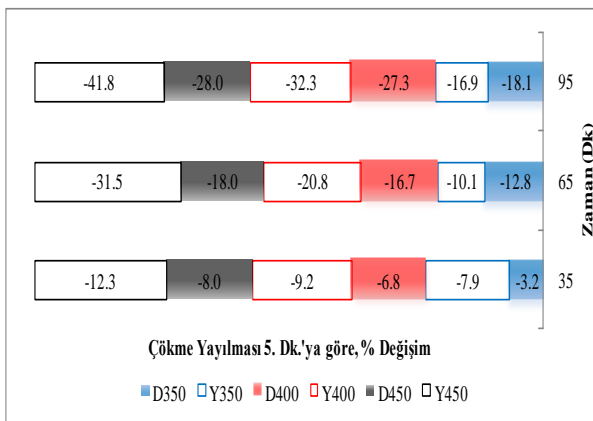
Şekil 3. Beton karışım işlem aşamaları (Özel, 2007)

Karışım tamamlandıktan sonra her iki mikser tipinden alınan taze beton örnekleri üzerinde çökme ve çökmede yayılma deneyi yapılmıştır. Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra beton numuneleri plana uygun olarak 5. dakikada numuneler kalıplanmıştır. Bu işlemler 35., 65. ve 95. dakikalarda her iki mikser tipi içinde tekrarlanmıştır. Kalıplanan numuneler bir gün sonra kalıptan çıkarılarak kür havuzunda 28 gün bekletilmiş ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

#### 4. Bulgular ve Model Kurulumu

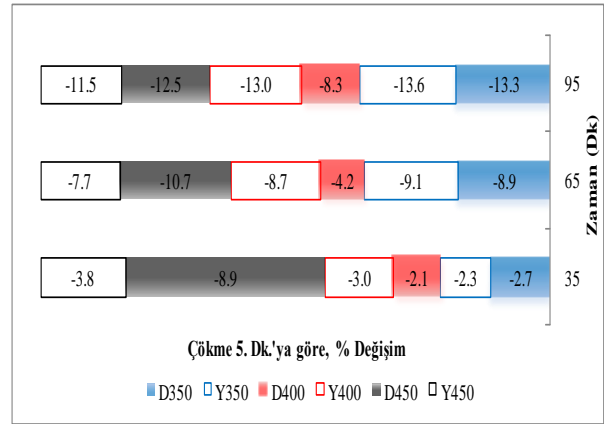
Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların zamana göre değişim oranları (5. dakikadaki değerlere göre 35., 65. ve 95. dakikalardaki azalma oranları), Şekil 5'te (Çökme yayılması), Şekil 6'da (Çökme) ve Şekil 7'de (Basınç dayanımı) verilmiştir.

Şekil 4'te de görüldüğü gibi, zamana bağımlı olarak, en az çökme yayılması değişiminin D tipi mikserde 350 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında (% 3.2) olduğu ölçülmüştür. Çökme yayılmasının en fazla azalma oranı ise Y tipi mikserde 450 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında (% 41.8) olduğu ölçülmüştür. Diğer azalma oranları incelendiğinde, en iyi sonuçların D tipi mikserden alındığı tespit edilmiştir.



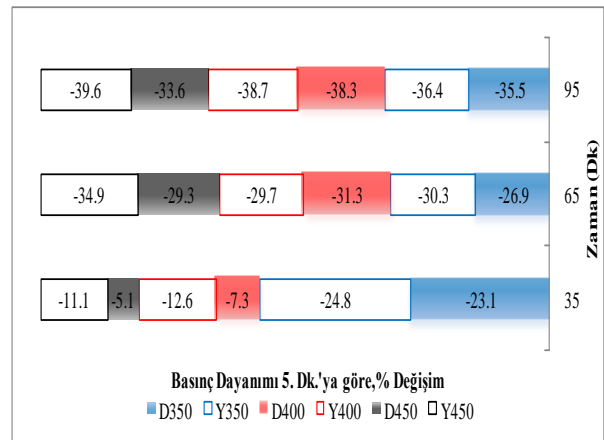
Şekil 4. Çökme yayılması- zaman % değişim oranı

Şekil 5'te görüldüğü gibi, zamana bağımlı olarak, en az çökme değişiminin D tipi mikserde 350 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında (% 2.7) olduğu ölçülmüştür. Çökmenin en fazla azalma oranı ise Y tipi mikserde 350 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında (% 13.6) olduğu ölçülmüştür. Diğer azalma oranları incelendiğinde, en iyi sonuçların D tipi mikserden alındığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Çökme-zaman % değişim oranı

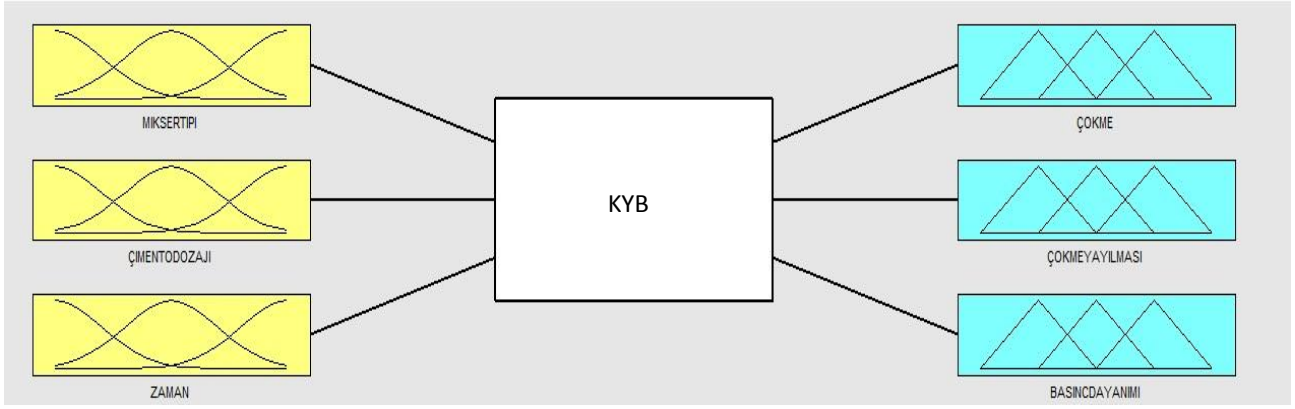
Şekil 6'da görüldüğü gibi, zamana bağımlı olarak, en az basınç dayanımı değişiminin D tipi mikserde 450 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında (% 5.1) olduğu ölçülmüştür. Basınç dayanımının en fazla azalma oranı ise Y tipi mikserde 450 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında (% 39.6) olduğu ölçülmüştür. Diğer azalma oranları incelendiğinde, en iyi sonuçların D tipi mikserden alındığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. Basınç dayanımı- zaman % değişim oranı

Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak, KYB'nin çökme ve basınç mukavemeti özelliklerini tahmin edebilmek için bulanık mantık modeli kurulmuştur. Modelin genel yapısı, Şekil 7'de gösterilmiştir. Girdi parametresi olarak mikser tipi (D ve Y), çimento

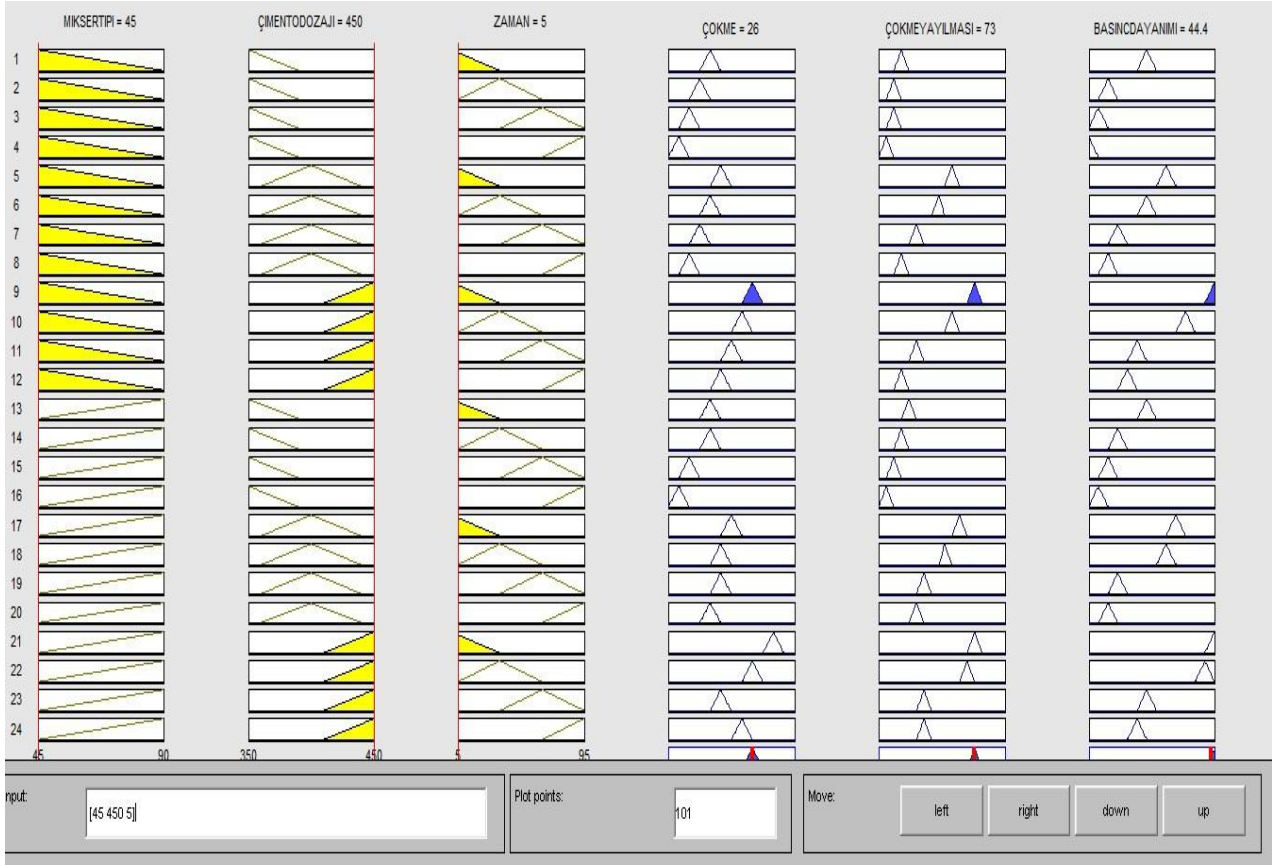
dozajı (350-400-450 kg/m<sup>3</sup>) ve numune alma zamanları (5., 35., 65. ve 95. dakikalar) kullanılmıştır. Çıktı parametresi olarak ise çökme, çökme yayılması ve basınç dayanımı değerleri tahmin edilmiştir.



Şekil 7. Geliştirilen modelin genel yapısı

Bulanık mantık modelinde sistemin çalışmasını sağlayan kullanıcı ara yüzü Şekil 8'de verilmiştir. Kullanıcı ara yüzüne mikser tipi, çimento dozajı ve örnek alma zamanını

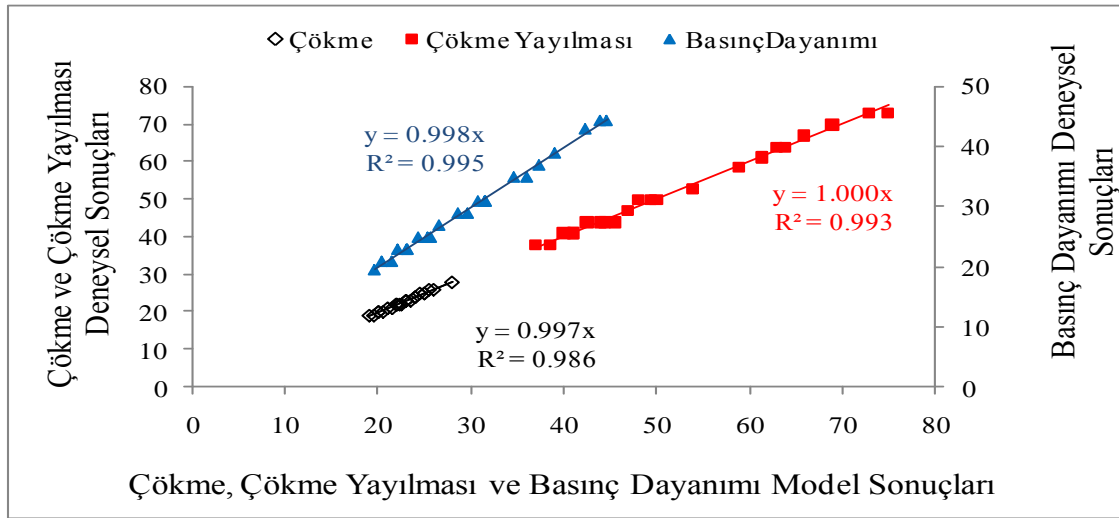
girildiğinde numune üretilmeden çökme, çökme yayılması ve basınç dayanımı hakkında bilgi sahibi olabileceğiz.



Şekil 8. Model için kullanıcı arayüzü

Üretilen KYB üzerinde yapılan deneysel sonuçlar ile modelleme sonuçlarından elde edilen değerler arasındaki belirleyicilik katsayıları Şekil 9'da verilmiştir. Çökme değerinin deneysel sonuçları ile modelleme arasındaki belirleyicilik katsayısı  $R^2 = 0.9861$ , çökme yayılması değerinin deneysel

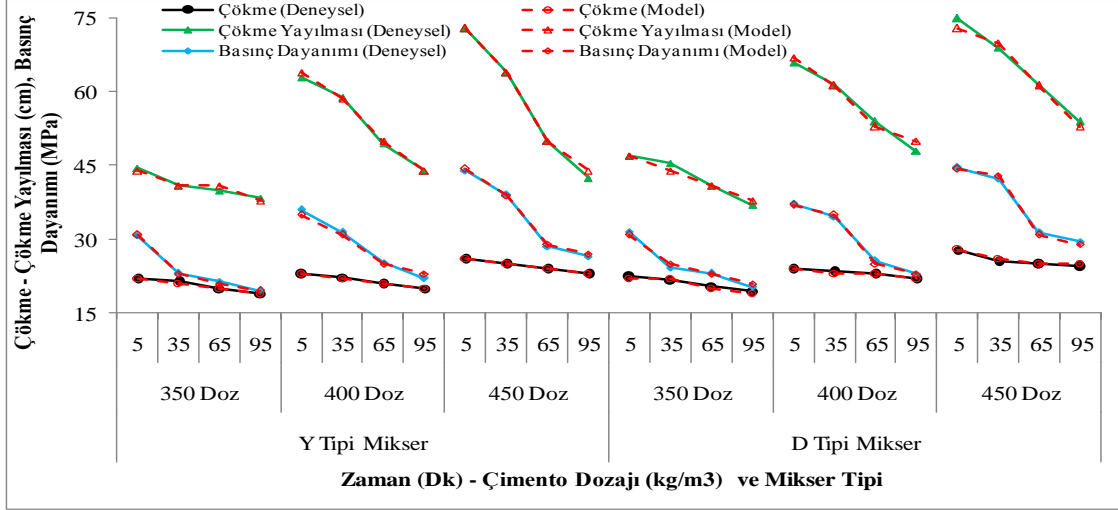
sonuçları ile modelleme arasındaki belirleyicilik katsayısı  $R^2 = 0.9931$ , basınç dayanımı değerinin deneysel sonuçları ile modelleme arasındaki belirleyicilik katsayısı  $R^2 = 0.9953$  olarak bulunmuştur.



Şekil 9. Deneysel sonuçlar ile modelleme sonuçları arasındaki belirleyicilik katsayıları

DeneySEL sonuçlar ile modelleme sonuçları arasındaki ilişki Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 16'daki belirleyicilik katsayıları incelendiğinde oluşturulan modelden elde edilen sonuçların

deneySEL sonuçları temsil ettiği tespit edilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü gibi, deneySEL sonuçlar ve model sonuçları benzer davranış göstermektedir.



Şekil 10. DeneySEL sonuçlar ile modelleme sonuçları arasındaki ilişki

## 5. Tartışma ve Sonuç

Yapılan deneySEL çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Üretilen KYB'lerde zamanla (5., 35., 65. ve 95. dk.) çökme ve çökme yayılması değerlerinin azaldığı ve işlenebilirlik kaybı olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte basınç dayanımı değerlerinde de zamana bağlı olarak değerlerin azaldığı belirlenmiştir.

KYB karışımından sonra yapılan deneylerde, çökme ve çökme yayılması değerleri incelendiğinde mikser tipinin etkili olduğu belirlenmiştir. Düşey eksenli mikserden Y tipi mikserde daha yüksek çökme ve daha homojen karışımlar elde edilmiştir.

Çimento dozajının artmasıyla birlikte çökme ve çökme yayılması değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Çimento dozajının artmasıyla birlikte, KYB'nin basınç dayanımı da artmıştır. KYB'nin basınç dayanımında zamana bağlı olarak azalma olduğu belirlenmiştir. Çimento dozajına bağlı olarak mikser tipinin etkisi net olarak belirlenmemiştir.

Yapılan deneySEL çalışma ve değerlendirmeler sonucunda betonun işlenebilirliğinde deneyin yapıma zamanının ve sertleşmiş beton özellikleri üzerinde numune alma zamanının ve mikser tipinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan deneySEL çalışmalardan elde edilen değerler ile, geliştirilen bulanık mantık modeli sonuçları arasındaki ilişki incelendiğinde çökme değerinde ( $R^2=0.9861$ ), çökme yayılmasında ( $R^2=0.9931$ ) ve basınç dayanımında ( $R^2=0.9953$ ) belirleyicilik katsayıları ( $R^2$ ) tespit edilmiştir. Yüksek belirleyicilik katsayıları elde edildiği bu model ve bulanık mantık kullanılarak KYB karışım tasarımında öngörülerde bulunulabilecek, zamandan, işgücünden ve sermayeden tasarruf edilebilecektir.

## Teşekkür

3346-YL1-12 Numaralı Proje ile çalışmamızı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığına teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

Akman, M.S., 1999. Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özellikleri Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisi. (Role of Admixtures on High Performance

- Concrete, RILEM TC 158 AHC, Monterrey, Meksika, Çeviren Mehmet Mutlu), SİKA-Teknik Bülteni sayı: 2000/1 ve 2000/2, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş., İstanbul.
- Demir, F., 2005. Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi İçin Bir Bulanık Yaklaşım. Deprem Sempozyumu: s; 1353-1358. Kocaeli.
- Durmuş, G. ve Can, Ö., 2009. Polikarboksilat Bazlı Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Betonun Yüksek Sıcaklıktaki Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini. Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergisi:8, 3, s; 272 – 286.
- Felekoğlu, B., Türkel, S., 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkileri. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6, 1, 77-89.
- Jang, J.S.R., (1993), ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 665-685.
- Okamura, H., 1997. Self-Compacting High-Performance Concrete. Concrete International, Cilt 19 Sayı 7, ss. 50-54.
- Özel, C., Soykan, O., 2012. Betonun Basınç Mukavemetinin Taze Beton Özelliklerinden Tahmini için ANFIS Modeli, SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2012.
- Özel, C., Polat, H., Polipropilen Fiber İçeren Betonlarının Elastisite Modülünün Bulanık Mantık Kullanılarak Belirlenmesi, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0197, 2011, 6 (4), 789-807.
- Özel, C., (2007). Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Özkul, M.H., 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen Beton. THBB Hazır Beton Dergisi, Cilt 8 Sayı 52, ss. 64-71.
- Sağlam, A.R., Parlak, N., Özkul, M.H., (2007). Polikarboksilat Esaslı Kimyasal Katkıların Beton Üretiminde Kullanımı. Yapılarda Kimyasal Katkılar Bildiriler Kitabı, 107-120.
- Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, Ü.A., Özkul, M.H., (2004). Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı Çimento Uyumu. Beton 2004 Kongresi, 213-224, İstanbul..
- Terzi, Ö., Keskin, M.E., and Taylan, E.D., 2006. Estimating Evaporation Using ANFIS. J. Irrigation Drainage Eng:132 (5), p; 503-507.
- Terzi, S., 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Isparta:Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. s; 187. Isparta.
- THBB, 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton İçin Avrupa Kılavuzu. Türkiye Hazır Beton Birliği, Nisan, ss. 10-63.
- Topsakal, A., Özel, C., (2012). Effect on Hardened Properties of Slump Loss and Molding Time at Self-Compacting Concrete. International Construction Congress 2012. Isparta.
- Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., 2005. Seyitömer Uçucu Külünün Betonun Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bulanık Mantık Yaklaşımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi: (1) s;13-20. Afyon.
- Zadeh, L.A., (1965), Fuzzy sets, Inf Control, 8 (3): 338–353.