

MİNERAL KATKI İÇEREN BETONLARIN SERTLEŞME SÜRELERİNİN BELİRLENMESİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

FUZZY LOGIC APPROACH AT DETERMINING THE SETTING TIME OF THE CONCRETE INCLUDING MINERAL ADMIXTURE

Serkan SUBAŞI^a, Ahmet BEYÇİOĞLU^b ve Mehmet Emiroğlu^c

^aDüzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, Türkiye, serkansubasi@duzce.edu.tr

^bDüzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, Türkiye, abeycioglu@duzce.edu.tr

^cDüzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, Türkiye, emiroglumehmet@gmail.com

Özet

Betonlarda sertleşme süreleri beton bileşiminde kullanılan bağlayıcılar ve bağlayıcılık özelliği gösteren malzemeler ile orantılıdır. Bilindiği gibi uçucu küller bağlayıcılık özelliği kazanabilen mineral katkıdır ve beton teknolojisinde çimento ikame veya ilave malzemesi olarak yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, içerisinde %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikamesi yapılan beton karışımlarının priz alma esnasında belirli dayanımlara ulaştığı süreler belirlenmiş ve bu süreler kullanılarak bulanık mantık yöntemiyle sertleşme süresi tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin güvenilirliğini belirlemek amacıyla model sonuçları deneysel olarak elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak modelden elde edilen bulgular deney sonuçları ile karşılaştırıldığında model ve deney sonuçları arasında yüksek oranda bir ilişki olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Uçucu Kül, sertleşme süresi, penetrasyon dayanımı, bulanık mantık.

Abstract

Setting time of the concrete was proportional with the bindings used in the mix design of the concrete and materials which reflected the binding properties. As known, fly ashes were mineral admixtures indicated binder properties and used commonly as additive material or cement substitution in cement technology.

In this study, setting time of the concrete mixtures having 5%, 10%, 15%, 20% and 30% amount of the fly ash substitution, were determined and setting time estimation model were developed using fuzzy logic model. For determining the reliability of the developed model, the model results and the experimental results were compared.

As a result, when investigating the relationship between the experimental and the model results it is seen that there was a highly relationship between the experimental and the model results.

Keywords: Fly ash, setting time, penetration resistance, fuzzy logic

1. Giriş

Uçucu küller silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için, aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermekte ve kalsiyum hidroksitle sulu ortamlarda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadır. Bu nedenle, hem kompoze çimento üretiminde, hem de beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanılmaktadırlar [1-3]. Uçucu külün beton karışımında kullanımı taze ve sertleşmiş betonun özellikleri üzerinde belirgin etkiler oluşturur [2]. Taze betonun su ihtiyacı, işlenebilirliği, priz zamanı, bitirilebilirlik özelliği, hidrasyon ısısı gibi özellikleri uçucu külün kullanımı sonucu etkilenirler [4]. Sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri de uçucu külün beton karışımında kullanılmasıyla etkilenen önemli beton özellikleridir [5].

Diğer taraftan beton karışımı hazırlandıktan sonra kısıtlı bir süre içerisinde dökümü gerçekleştirilmek zorundadır [1]. Puzolan katkıların betonların priz sürelerini arttırdığı bilinmektedir [4,6]. Aynı şekilde puzolan katkılı betonların diğer katkısız betonlara göre dayanım kazanma sürelerinin arttığı birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir[2,6]. Özellikle aşırı sıcak ve soğuk havalarda betonun dökümü gerçekleştirildikten sonraki dayanım kazanma hızının bilinmesi önem arz etmektedir. İnşaat yapım sürecinin sorunsuz ve hızlı bir şekilde devam edebilmesi için beton kalıp alma sürelerinin doğru belirlenmesi ve beton yeterli dayanıma ulaştıktan sonra kalıp sökümünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir [7,8].

Taze betonun priz süresinin belirlenmesine dair önerilen çok sayıda deney yöntemi bulunmaktadır. Bunlar, betonun kıvamındaki değişikliği, betona gönderilen titreşimin dalga hızını, terlemeyi, hidrasyon ısısı değişikliğini, hacim değişikliğini ve penetrasyona karşı betonun direncini ölçmeyi esas alan değişik deney yöntemleridir [1].

Çalışmada penetrasyon yöntemi ile taze beton sertleşme sürelerinin uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak bulanık mantık yöntemiyle belirlenebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla içerisinde farklı oranlarında uçucu kül ikamesi yapılan beton karışımlarının sertleşme süreleri belirlenmiş ve elde edilen deneysel bulgular kullanılarak bulanık mantık yöntemiyle bir tahmin modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, 'kesin doğru' ve 'kesin yanlış' kavramları arasındaki 'kısmen doğru' kavramını kullanması nedeniyle ikili mantığın genelleştirilmiş halidir. Bulanık mantık kavramının temelini oluşturan bulanık küme, üyelik derecelerinin [0,1] aralığında olmasıyla klasik kümeden ayrılmaktadır [9].

Bulanık sistemdeki giriş ve çıkış bulanık kümeleri, tüm çalışmayı etkilemektedir. Uygun sonuçları verebilecek sistem için öncelikli adım, üyelik derecelerinin doğru belirlenmesidir. Bulanık küme oluşturulurken çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bunlar, sezgiye bağlı olabilmekte veya çeşitli algoritmaları içermektedir. Sezgiye bağlı olan yöntemde; uzman kişi, bilgisinden yararlanarak bulanık kümeyi oluşturmaktadır. Diğer yöntemler; sonuç çıkarma, sıralama, açısız bulanık kümeler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, tümevarım, bulanık istatistik vb. olarak sıralanmaktadır [10,11]. Bu çalışmada sezgiye dayalı bulanık kümelerin oluşturulma yöntemi kullanılmıştır.

3. Malzeme ve yöntem

3.1. Malzemeler

Araştırmada; Düzce ili Melen Deresi'nden temin edilen kırmataş agregaya kullanılmıştır. Agregaya karışım oranları TS 706 'da verilen sınır değerler arasında kalacak şekilde %20 doğal kum, %30 0-5 mm kırma taş, %25 5-15 mm kırma taş ve %25 15-25 mm kırma taş olarak düzenlenmiştir [12].

Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan uçucu kül Orhaneli Termik Santralinden temin edilmiş ve uçucu külün kimyasal bileşimi Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Orhaneli uçucu külü kimyasal bileşimi ve standartlara uygunluk değerleri

Bileşenler	(%)	TS EN 197-1 [13]	
		V	W
SiO ₂	48,53		
Al ₂ O ₃	24,61		
Fe ₂ O ₃	7,59		
S+A+F	80,73		
CaO	9,48	<%10	>%10
MgO	2,28		
SO ₃	2,48		
K ₂ O	2,51		
Na ₂ O	0,35		
KK	1,69	<%5	<%5
Cl ⁻	0,005		
Serb, CaO	0,11		
Reak, SiO ₂	34,06	>%25	>%25
Reak, CaO	7,58	<%10	>%10

Bu çalışmada C 20 sınıfı betonların üretilmesi hedeflenmiştir. Su/Bağlayıcı (S/B) oranı üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımı göz önüne alınarak seçilmiştir. Ön deneyler sonucunda S/B oranının 0,60 olmasına karar verilmiştir. TS 802 'de [14] belirtilen karışım suyu ve hava miktarları alınarak, karışım oranları belirlenmiştir ve deneylerde kullanılan

betonlardaki beton bileşenlerinin miktarları Çizelge 2' de verilmiştir.

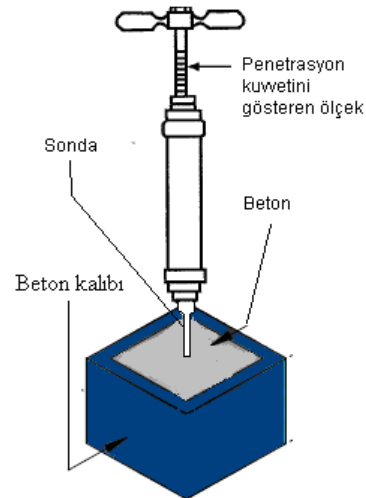
Çizelge 2. 1 m³ betondaki malzeme miktarları

Karışım Türü	Çimento (Kg)	Su (lt)	U.Kül (kg)	Agrega (Kg)		
				0-5	5-15	15-25
Katkısız Karışım	350	210	-	1043	426	426
%5 Uçucu Kül	332,5	210	17,5	1043	426	426
%10 Uçucu Kül	315	210	35	1043	426	426
% 20 Uçucu Kül	280	210	70	1043	426	426
%30 Uçucu Kül	245	210	105	1043	426	426

3.2. Yöntem

3.2.1. Beton sertleşme sürelerinin belirlenmesi

Hazırlanan beton numuneleri üzerinde çökme ve Ve-be deneyleri yapıldıktan sonra taze beton numuneleri 15x15x15 cm boyutlarındaki kalıplara 4 mm göz açıklıklı elekten elenerek, penetrasyon dayanımlarının belirlenmesi amacıyla her seri betondan 3 adet olacak şekilde dökülmüştür. Beton sertleşme sürelerinin tayin edilmesi amacıyla, uygulamada kullanılan farklı deney yöntemleri arasında en çok kabul gören yöntemlerden biri olan taze betonun penetrasyona karşı direncinin ölçülmesi yöntemi kullanılmıştır. Beton karışımının penetrasyona karşı direncinin ölçülmesi yoluyla priz süresinin tayini TS 2987 (ASTM C 403)'e göre yapılmıştır [15,16]. Hazırlanan taze beton harcı üzerinde 1/4 inç² ≈ 161,29 mm² alana sahip sonda uçlu penetrasyon aleti yardımıyla 0,5 MPa, 1 MPa ve 3 MPa dayanıma ulaşıncaya kadar geçen süreler için ölçümler alınmıştır. Şekil 1'de penetrasyon aleti ve uygulama prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



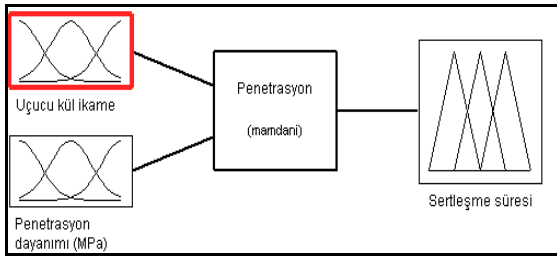
Şekil 1. Penetrasyon aleti ve uygulama prensibi

3.2.2. Bulanık mantık model yapısı

Penetrasyon aleti ile beton numunelerin 0,5MPa, 1MPa ve 3 MPa'lık dayanıma ulaştığı süreler belirlendikten sonra elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak bulanık mantık yöntemiyle bir tahmin modeli geliştirilmiştir.

Geliştirilen modelde uçucu kül ikame miktarı için 5,sertleşme sürelerinin belirlenmesi için tayin edilen penetrasyon dayanımı için ise 4 adet üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Ayrıca çıktı parametresi olan sertleşme süresi için ise 12 adet üyelik fonksiyonu belirlenmiştir.

Çalışmada oluşturulan 2 girdili ve 1 çıktılı bulanık mantık modelinin genel yapısı Şekil 2'de görülmektedir. Ayrıca modelde girdiler ve çıktı için oluşturulan üyelik fonksiyonlarının tanımları Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Geliştirilen bulanık mantık modelinin genel yapısı

Çizelge 3. Oluşturulan modelde girdiler ve çıktının üyelik fonksiyonlarının tanımları

'uçucu-kül-Aralık=[0 30]
Üyelik fonk. sayısı=5
MF1='mf1': Üçgen', [0 0 5]
MF2='mf2': Üçgen', [0 5 10]
MF3='mf3': Üçgen', [5 10 20]
MF4='mf4': Üçgen', [10 20 30]
MF5='mf5': Üçgen', [20 30 30]
'pent-dayn.-(MPa)'-Aralık=[0.5 3]
Üyelik fonk. sayısı=4
MF1='mf1': Üçgen', [0.5 0.5 1]
MF2='mf2': Üçgen', [0.5 1 2]
MF3='mf3': Üçgen', [1 2 3]
MF4='mf4': Üçgen', [2 3 3]
'sertleşme-süresi-(dk)' Aralık=[180 380]
Üyelik fonk. sayısı=12
MF1='mf1': Üçgen', [180 180 185]
MF2='mf2': Üçgen', [180 185 195]
MF3='mf3': Üçgen', [185 195 210]
MF4='mf4': Üçgen', [195 210 250]
MF5='mf5': Üçgen', [210 250 270]
MF6='mf6': Üçgen', [250 270 300]
MF7='mf7': Üçgen', [270 300 310]
MF8='mf8': Üçgen', [300 310 320]
MF9='mf9': Üçgen', [310 320 350]
MF10='mf10': Üçgen', [320 350 365]
MF11='mf11': Üçgen', [350 365 380]
MF12='mf12': Üçgen', [365 380 380]

4. Bulgular ve Tartışma

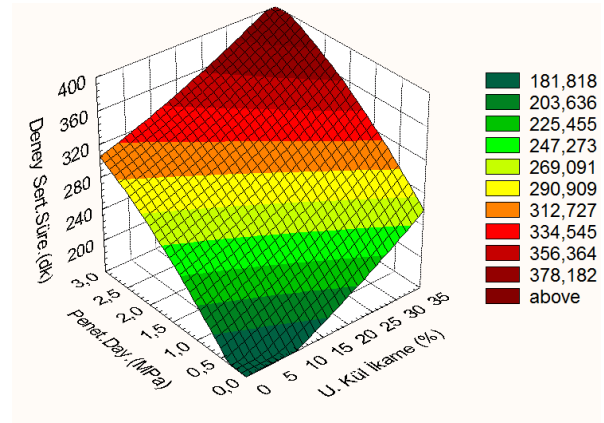
4.1. Deneysel Bulgular

Her bir seriden 3 farklı numune üzerinde yapılan penetrasyon yöntemi ile priz süresi tayini deneyi sonucu elde edilen ortalama değerler Çizelge 4' de verilmiştir.

Çizelge 4. Sertleşme sürelerine ait açıklayıcı istatistikler

Uçucu Kül Miktarı	Penet. Day. (MPa)	N	Ort. Sertleş. Süresi (dak.)	Std. Hata	Min.	Maks.
Referans	0,5	4	185,52	2,628	180	192
	1,0	4	205,82	1,329	203	209
	2,0	4	289,80	2,499	284	296
% 5 Uçucu Kül	0,5	4	183,00	1,164	180	185
	1,0	4	194,42	2,046	188	198
	2,0	4	308,77	3,913	301	319
% 10 Uçucu Kül	0,5	4	203,62	1,251	201	207
	1,0	4	254,22	1,311	251	257
	2,0	4	363,57	1,991	360	369
% 20 Uçucu Kül	0,5	4	205,52	13,02	170	232
	1,0	4	254,20	16,79	220	300
	2,0	4	357,10	0,837	355	359
% 30 Uçucu Kül	0,5	4	281,87	3,118	275	290
	1,0	4	318,12	2,080	313	323
	2,0	4	376,80	1,930	371	381

Elde edilen deney verileri üzerinde gerçekleştirilen varyans analizleri sonucunda her bir penetrasyon dayanımında uçucu kül ikame miktarları arasında sertleşme süreleri bakımından istatistiksel anlamda önemli fark olduğu görülmüştür. Uçucu kül ikame miktarı arttıkça beton sertleşme sürelerinde önemli bir artışın olduğu, uçucu külün beton sertleşmesini geciktirdiği görülmektedir. Sertleşme süresi, uçucu kül ikame miktarı ve penetrasyon dayanımı arasındaki ilişki grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

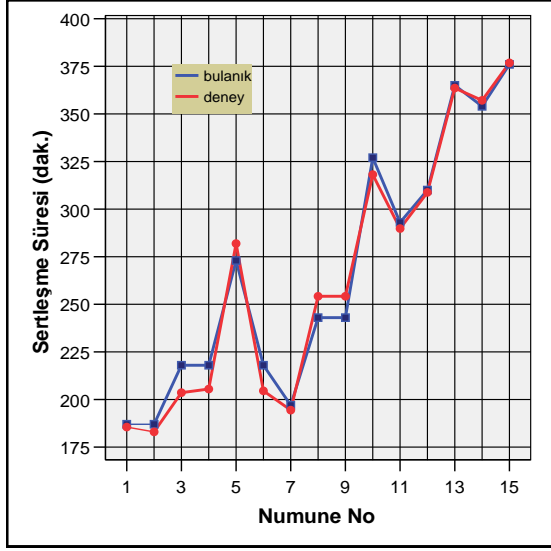


Şekil 3. Sertleşme süresi, uçucu kül ikame miktarı ve penetrasyon dayanımı arasındaki ilişki grafiği

4.2. Bulanık Mantık Bulguları

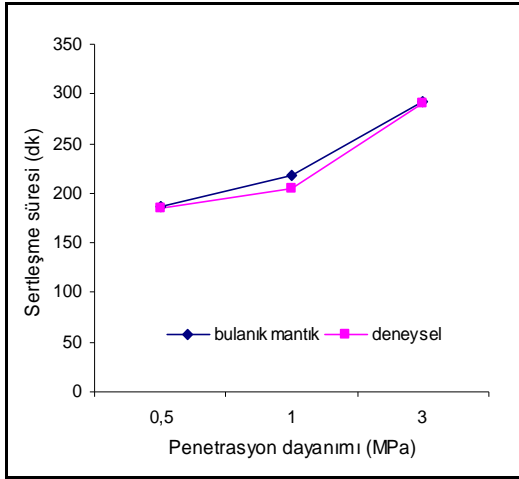
Geliştirilen bulanık mantık modelinde girdiler ile çıktı arasındaki etkileşimi yansıtacak olan kurallar, kural tabanında oluşturulmuştur. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi ile model sonuçları alınmıştır.

Deneyel olarak bulunan penetrasyon verileri ve bulanık modelin tahmin ettiği veriler arasındaki eşleşme Şekil 4' de görülmektedir.

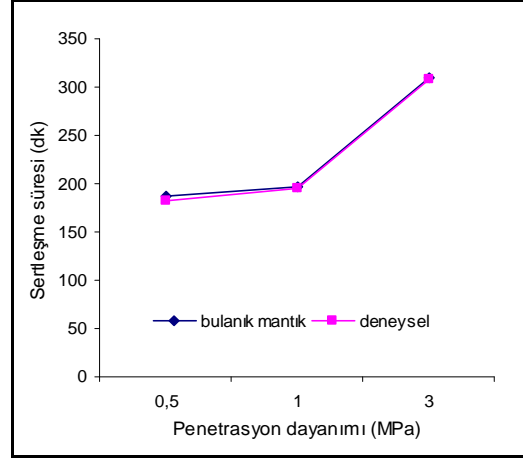


Şekil 4. Model sonuçları ile deney sonuçları arasındaki eşleşme grafiği

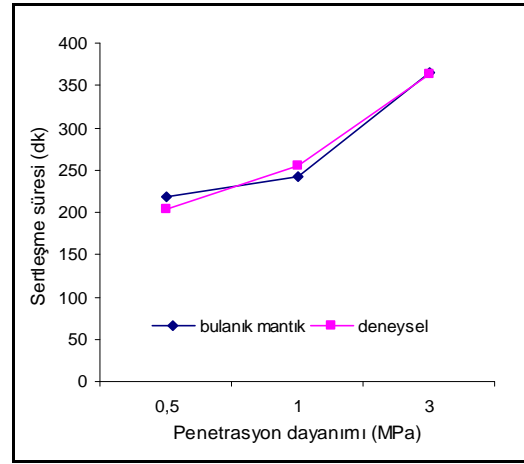
Her bir uçucu kül ikame miktarında ve her bir penetrasyon dayanımında model ve deney sonuçları arasında regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bütün uçucu kül ikame miktarları için deney-bulanık model verileri arasındaki ilişki grafikleri Şekil 5-6-7-8-9'da görülmektedir.



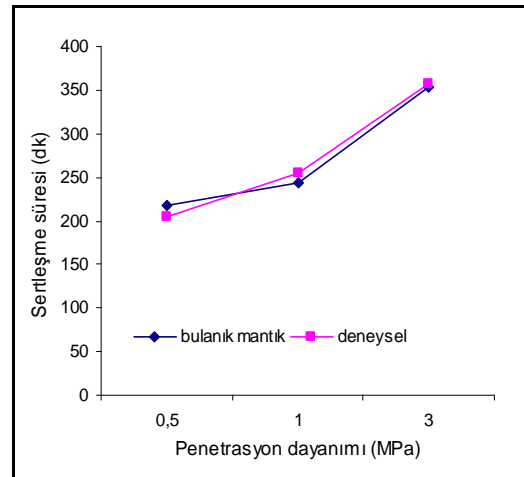
Şekil 5. Uçucu kül kullanılmayan seride ulaşılan penetrasyon dayanımı ve geçen süre ilişkisi ($r^2=0,98$)



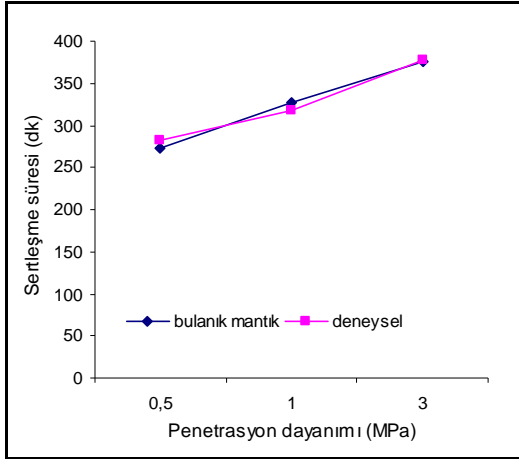
Şekil 6. Uçucu kül % 5 olan seride ulaşılan penetrasyon dayanımı ve geçen süre ilişkisi ($r^2=0,99$)



Şekil 7. Uçucu kül % 10 olan seride ulaşılan penetrasyon dayanımı ve geçen süre ilişkisi ($r^2=0,97$)



Şekil 8. Uçucu kül % 20 olan seride ulaşılan penetrasyon dayanımı ve geçen süre ilişkisi ($r^2=0,97$)



Şekil 9. Uçucu kül % 30 olan seride ulaşılan penetrasyon dayanımı ve geçen süre ilişkisi ($r^2= 0,97$)

Çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli ile deney sonuçları arasındaki çoklu belirleyicilik katsayıları incelendiğinde; bütün beton serilerinde deney ve model sonuçları arasında 0,97 ile 0,99 arasında değişen çoklu belirleyicilik katsayılarının ortaya çıktığı görülmektedir. Sonuçlar, bütün uçucu kül ikame miktarlarında oluşturulan bulanık mantık modelinin deneysel olarak elde edilen sertleşme sürelerine çok yakın değerler verdiğini göstermektedir.

5. Sonuçlar

Çalışmada mineral katkı içeren betonların sertleşme sürelerinin belirlemek amacıyla içerisinde %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikamesi yapılan beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde priz alma esnasında belirli dayanımlara ulaştığı süreler belirlenmiş ve bu süreler kullanılarak bulanık mantık yöntemiyle sertleşme süresi tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin güvenilirliğini belirlemek amacıyla model sonuçları deneysel olarak elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak bütün beton serilerinde bulanık mantık modeli deney sonuçlarını yüksek oranda başarı ile tahmin etmiştir. Sertleşme sürelerinin belirlenmesinde beton sertleşme sürelerine etki eden bütün parametrelerin göz önünde bulundurulduğu daha kapsamlı bulanık modeller ile beton priz başlangıç ve bitiş sürelerinin belirlenebileceği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1]. Turhan, Y.E., "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 2003.
- [2]. Malhotra, V.M., Mehta, P.K., "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete" Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., 101 page, Ottawa, 2002.
- [3]. Baradan, B., Yazıcı, H, Ün, H., "Betona Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)", DEÜ. Müh. Fak. Yayın No: 298, DEÜ., 282 sayfa., İzmir, 2002.
- [4]. Neville, A. M., "Properties of Concrete", 4. Baskı, Longman Group Ltd., 303-306, 391-394, 504-505, 581-585, 605-609, 610-624, 2002.

- [5]. Karahan, O., Lifterle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, 2006.
- [6]. Yazıcı, H., Yüksek Hacimde C Sınıfı Uçucu Kül İçeren Betonların Mekanik Özellikleri ve Sülfürik Asit Dayanıklılığı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 11, Sayı: 3, Sayfa: 443-448, Denizli, 2005.
- [7]. İ.B. Topçu, Maturity in fresh concrete and determination of stripping time for different cement mortars, 17th International Congress of the Precast Concrete Industry (BIBM), Turkish Precast Concrete Association, Istanbul, Turkey, 2002.
- [8]. İ.B. Topçu, A. Akman, Kalıp Sökme Sürelerinin Olgunlukla Belirlenmesi, Kocaeli Deprem Sempozyumu, Özler Kitabı, s.159, 23-25, 2005.
- [9]. Toydemir, P., Sezgin, H., Şenyer, N., "Bulanık Küme Üyelik Derecelerinin Yapay Sinir Ağlarına İlişkin Hatanın Geri Yayılımı Yöntemi Kullanılarak Bulunması," Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu- BMYS'2005 16 – 18, Sayfa 110-114, 2005.
- [10]. Subaşı S., Beycioğlu A., Emiroğlu, M., 2008. "Hafif Betonlarda Donatı Aderansı Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi" Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2008.
- [11]. Subaşı S., Beycioğlu A., Emiroğlu, M., "Genleştirilmiş Kil Agregalı Hafif Betonlarda Bulanık Mantık Yöntemiyle Yarmada Çekme Dayanımı Tahmin Modeli Geliştirilmesi", Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu- BMYS'2008, 15 - 17 Ekim 2008, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 265-273, Eskişehir, 2008.
- [12]. TS 706 EN 12620 "Beton Agregaları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [13]. TS EN 197-1, Genel çimentolar- Birleşim özellikleri ve uygunluk kriterleri, 2002.
- [14]. TS 802. 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [15]. TS 2987, "Betonda Priz Süresinin Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.
- [16]. ASTM C 403, "Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance", American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, 1999.