

(Geliş Tarihi / Received Date: 26.04.2021, Kabul Tarihi/ Accepted Date: 27.05.2021)

## Portland Kompoze Çimentosunun Priz Süresine Metakaolin Etkisinin Bulanık Mantıkla Tahmini

Uğur GÜVENÇ<sup>1</sup>, Burak KOÇAK<sup>2</sup>, Yılmaz KOÇAK<sup>\*3</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 81600, Düzce, ORCID No: 0000-0002-5193-7990

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 81600, Düzce, ORCID No: 0000-0002-8640-1758

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81600, Düzce, ORCID No: 0000-0002-5281-5450

### Anahtar Kelimeler:

Bulanık mantık,  
Çimento,  
Priz süresi,  
Metakaolin.

**Özet:** Bu çalışmada, Portland kompoze çimento ile içerisine metakaolin (%5-10-15-20) ikame edilerek toplam beş farklı çimento elde edilmiş ve metakaolinin, priz başlama ve priz sonu sürelerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm karışım oranlarında priz başlama ve priz sonu sürelerinin kısaldığı belirlenmiştir. Ayrıca metakaolinin ikame miktarına bağlı olarak deneysel çalışmaların dışında bulanık mantıkla tahmin edilebilmesi için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelle elde edilen korelasyon katsayısının priz başlama süresi için 0.9851, priz sonu süresi için 0.9693 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen bu modelin çimento ve beton endüstrisinde başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

## Prediction the Effects of Metakaolin on the Setting Time of Portland Composite Cement with Fuzzy Logic

### Keywords:

Fuzzy logic,  
Cement,  
Setting time,  
Metakaolin.

**Abstract:** In this study, a total of five different cements were obtained by substituting Portland composite cement with metakaolin (5-10-15-20%) and the affects of metakaolin on the initial and final setting times were investigated. According to the results, it was determined that the initial and final setting times were shortened in all mixing ratios. In addition, a model was created to predict metakaolin with fuzzy logic outside of experimental studies, depending on the amount of substitution. The correlation coefficient obtained with this model was determined to be 0.9851 for the initial setting time and 0.9693 for the final setting time. The results showed that this developed model can be applied successfully in the cement and concrete industry.

## 1. GİRİŞ

Çimento ve özellikle puzolanik özellikteki mineral katkıları çimento ve beton endüstrisinde yaygın olarak kullanılan başlıca yapı malzemeleridir. Beton sektöründe kullanılan yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi yapay puzolanik malzemeler ve tras, zeolit gibi doğal puzolanik malzemeler; atıkların değerlendirilmesi, ekolojik ve ekonomik nedenlerden dolayı yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadırlar. Bunların yanı sıra puzolanik malzemeler, betonda dayanım ve dayanıklılık, hafiflik, permabilite azaltması, alkali agrega gelişiminin kontrolü, kimyasal direnç sağlaması ve betonun rötresini azaltması gibi avantajlar nedeniyle vazgeçilmez bir unsur olarak çimento ve beton sektöründe yerini almaktadır [1-10]. Ayrıca puzolanik malzemeler, priz başlama ve priz

sonu süreleri üzerinde de etkili olması bakımından dikkat çekmektedir. Çimentonun hidrasyonu dolayısı ile çimento hamurunda meydana gelen sertleşme, çimentonun priz başlangıcı olarak tanımlanmaktadır. Bu sürenin çok hızlı meydana gelmesi sonucunda taze betonun karıştırılması, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlenebilirlik olarak ifade edilen süreçlerde problemlerle karşılaşılabilir. Priz süresinin çok gecikmesi söz konusu olduğunda ise beton dayanımının istenen sürede tamamlanmaması, dolayısı ile de betonun korunma ve kalıp alma süreleri olması gereken süreden daha uzun olmaktadır. Standartlar, bu nedenle çimento tiplerini de dikkate alarak priz başlama süresini sınırlamaktadır [11,12]. Bu nedenle çimento veya beton içerisine farklı özellik ve miktarda mineral ve kimyasal katkıları katılarak, beton dökülecek ortama göre priz süreleri kısaltılmaya ya

da uzatılmaya çalışılmaktadır. Kocak ve Nas yapmış oldukları bir çalışmada %0-5-10-15-20-25 oranlarında uçucu kül ikameli çimentoların hidratasyona ve dayanıma etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen verilere göre uçucu kül ikamesi arttıkça, priz başlama süresinin %14'e, priz sonu süresinin ise %13'e kadar uzadığını tespit etmişlerdir [13]. Topçu ve Karakurt "Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Katkı Olarak Kullanımı" üzerine yapmış oldukları çalışmada referans çimentoya göre, kullanmış oldukları %45 uçucu kül oranında priz başlama süresini 75 dakika, priz sonu süresini ise 60 dakika uzattığını; %45 oranında yüksek fırın cürufu kullanımının ise oranında priz başlama süresini 90 dakika, priz sonu süresini ise 45 dakika uzattığını tespit etmişlerdir [14]. Özdemir ve Koçak prinç kabuğu külü kullanımı ile yaptıkları çalışmada referans çimentoya göre, %10 pirinç kabuğu külü oranında hem priz başlama süresinin hem de priz sonu süresinin 125 dakika uzadığını belirlemişlerdir [15]. Demir ve diğerleri yapmış oldukları "Sülfatın hibrit puzolan ikameli çimento harcı üzerindeki etkileri" başlıklı çalışmalarında %20 oranında "uçucu kül+taban külü+yüksek fırın cürufu" katkılı çimentoların priz başlama süresinin referans çimentoya (CEM I 42.5 R) göre 35 dakika, priz sonu süresini ise 50 dakika uzadığını tespit etmişlerdir [16].

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda çimento ve betona çeşitli puzolanik malzemelerin katılması ile elde edilen çimento harç ve betonların priz süresi, eğilme dayanımı, basınç dayanımı gibi özelliklerin tahmin edilebilmesi için makine öğrenme modelleri, yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) gibi modelleme çalışmaları yapılmış ve deneysel sonuçlara çok yakın değerler elde edildiği belirtilmiştir [17-24]. Bu modelleme çalışmalarından biri de bulanık mantıktır ve bu yöntemle elde edilen sonuçlar tatmin edici boyutlara ulaşmıştır [25-29]. Bulanık mantık bilgisayarlar karar verme yeteneklerini kazandırma yöntemlerinden biridir. Bulanık mantıkta giriş bilgileri 0 ile 1 arasında bulanıklaştırılır. Kural tablosu oluşturularak bilgisayarın karar verme kriterleri belirlenir. Çıkış biriminde ise bulanık çıktı değerleri tekrar durularak sayısallaştırılmaktadır [30].

Bu çalışmada, Portland kompoze CEM II / B-M (V-L) 42.5 R tip çimentoya, %5-10-15-20 oranlarında metakaolin ikame edilerek hazırlanmış olan çimento hamurlarının priz sürelerine, metakaolinin etkisi incelenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerden yararlanılarak bulanık mantık ile bir model oluşturulmuş ve bu model yardımıyla priz başlama ve priz sonu süreleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Çalışmada, referans olarak Mersin Çimento Fabrikası tarafından üretilen Portland kompoze çimento (CEM II / B-M (V-L) 42.5 R) kullanılmıştır. Portland kompoze çimento (PKÇ) bileşimi, %65-79 oranında klinker, %21-35 oranında silissi uçucu kül ve kalkerden oluşmaktadır.

Puzolanik malzeme olarak ise Micron firmasından temin edilen metakaolin kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini gösteren analiz sonuçları sırası ile Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Portland Kompoze çimento ve metakaolinin kimyasal kompozisyonu.

Kimyasal kompozisyon	PKÇ, %	Metakaolin, %
SiO <sub>2</sub>	21.59	58.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.14	20.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.14	0.46
CaO	59.56	9.71
MgO	2.6	1.54
SO <sub>3</sub>	2.95	1.58
Na <sub>2</sub> O	0.31	0.24
K <sub>2</sub> O	1.03	0.92
Cl <sup>-</sup>	0.0090	-
Kızdırma kaybı	2.93	6.67

**Tablo 2.** Portland Kompoze çimento ve metakaolinin fiziksel özellikleri.

Malzeme	Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	Blaine, %
Metakaolin	2.59	9180
PKÇ	3.06	3670
Metakaolin ikameli çimento, %5	3.04	3959
Metakaolin ikameli çimento, %10	3.01	4209
Metakaolin ikameli çimento, %15	2.99	4518
Metakaolin ikameli çimento, %20	2.97	4752

### 2.1. Metot

Bu çalışmada PKÇ referans çimento olarak kullanılmıştır. Daha sonra bu çimentoya %5-10-15-20 oranlarında metakaolin ikame edilerek toplam beş farklı çimento elde edilmiş ve çimentoların kodları Tablo 3'te verilmiştir.

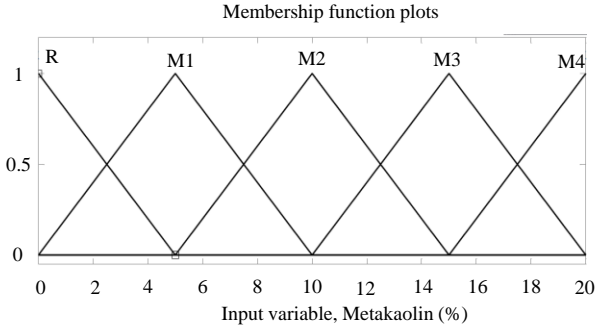
**Tablo 3.** Çimento kodları.

Çimento	Çimento tipi	Kodu
1	PKÇ	R
2	Metakaolin ikameli çimento, %5	M1
3	Metakaolin ikameli çimento, %10	M2
4	Metakaolin ikameli çimento, %15	M3
5	Metakaolin ikameli çimento, %20	M4

Üretilen bu çimentoların priz başlama ve sonu süreleri TS EN 196-3'e göre 3'er deney yapılarak belirlenmiştir [31]. Çimentoların priz başlama ve priz sonu süreleri Vicat halkası, sondası ve iğnesi kullanılarak Mersin Çimento Fabrikasında, 20 °C sıcaklık ve bağıl nemin %65 olduğu laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

## 3. PRİZ SÜRELERİNİN BULANIK MANTIKLA TAHMİNİ

Bulanık mantık sisteminin tasarımında MatLab2014 Toolbox Fuzzy modeli kullanılmıştır. Bulanık mantık sistemin tasarımında bir giriş değişkeni ve iki adet çıkış değişkeni kullanılmıştır. Giriş değişkeninde yüzde olarak metakaolin miktarı tercih edilmiş ve Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Giriş değişkenin üyelik fonksiyonu şekli ve tipleri.

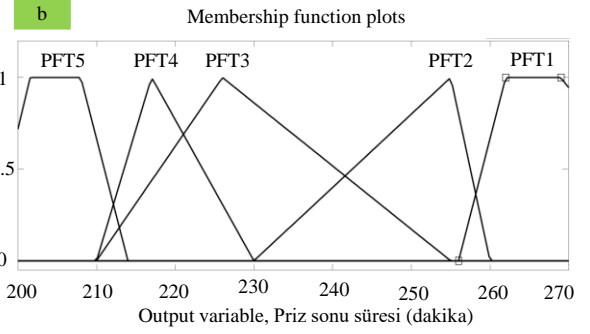
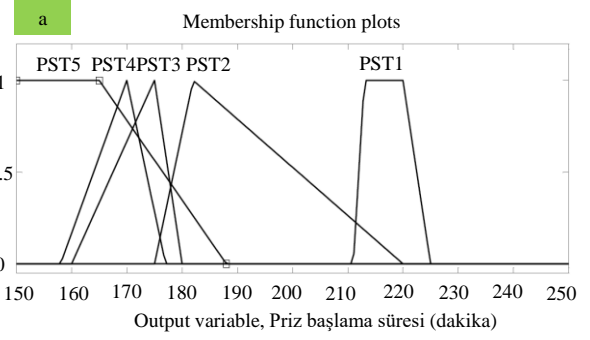
Bulanık model oluşturma sürecinin ilk basmağı bulanıklaştırma işlemidir. Bu çalışmada yüzde olarak verilen ve tek giriş değişkeni metakaolin için dört adet üçgen üyelik kümeleri tercih edilmiştir. Bulanık kümelerin şekil ve değerleri belirlenirken deneysel olarak elde edilen sonuçlar dikkate alınmış ve Şekil 1’de görülen kümeler kullanılarak giriş verileri bulanıklaştırılmıştır. Üyelik derecelerinin hesaplanmasında üçgen üyelik fonksiyonları kullanıldığından, üyelik derecelerinin hesaplanmasında aşağıdaki ilişki kullanılmaktadır.

$$\mu_{K1} = \begin{cases} 1, & \text{MTK} = 0 \text{ ise,} \\ \frac{5-MTK}{5-0}, & 0 < \text{MTK} \leq 5 \text{ ise,} \\ 0, & 5 < \text{MTK} \text{ ise,} \end{cases} \quad (1)$$

Burada, MTK yüzdelik cinsten metakaolin ham değerini,  $\mu_{K1}$  ise üyelik derecesini göstermektedir. Benzer şekilde üçgen üyelik fonksiyonun üçgenin sol tarafı için benzer eşitlikler kullanılarak üyelik dereceleri hesaplanır. Örneğin metakaolinin yüzde %15 değeri için R, M1, M2 ve M4 üyelik kümelerinin üyelik dereceleri yukarıdaki eşitlikten sıfır ve M3 için 1 olarak hesaplanmaktadır. Benzer şekilde her metakaolin değeri için 0 ile 1 arasındaki değerlerde bulanıklaştırma işlemi yapılmaktadır.

Çıkış değişkenlerimiz olan priz başlama ve priz sürelerini ham değerleri ve üyelik kümelerinin değişimleri Şekil 2’de görülmektedir. Üyelik kümelerinin şekil ve zaman içindeki değişimleri, deneysel verilerimizin sonuçlarına göre tasarlanmıştır [32].

Bulanık karar verme sistemlerinin ana yapısı kural tabanıdır. Bilgisayar, karar vermek için bu kural tabanını dikkate almaktadır. Bu kural tabanı oluşturulurken bu alandaki uzman kişilerin görüşü ve deneysel sonuçlar dikkate alınmıştır. Çimentoğun priz başlama ve sonu süreleri için önceki mesleki deneyimler ve deneysel sonuçlar dikkate alınarak Tablo 4’teki kural tabanı oluşturulmuştur [33].



**Şekil 2.** Çıkış değişkenleri ve üyelik kümelerinin değişimi (a. Priz başlama süresi, b. Priz sonu süresi).

**Tablo 4.** Çimentoğun priz başlama ve sonu süreleri için kural tabanı (dakika)

Çıkış değişkeni	Giriş Değişkeni Üyelik Kümeleri				
	R	M1	M2	M3	M4
Priz başlama süresi	PST5	PST4	PST3	PST2	PST1
Priz sonu süresi	PFT5	PFT4	PFT3	PFT2	PFT1

Çıkarım süreci aşamasında giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki bulanık ilişkiler tanımlanır. Bu ilişkiyi tanımlamak için Tablo 4’teki kural tablosu kullanılarak aşağıdaki beş adet maksimum ilişki tanımlamaları yapılmıştır. Çıkarım için ise min-maks yaklaşımı tercih edilmiştir.

*If input=R then output1=PST5 and output2=PFT5*

*If input=M1 then output1=PST4 and output2=PFT4*

*If input=M2 then output1=PST3 and output2=PFT3*

*If input=M3 then output1=PST2 and output2=PFT2*

*If input=M4 then output1=PST1 and output2=PFT1*

Bulanık model tasarımının son aşaması berraklaştırma sürecidir ve bu aşamada bulanık değerlerden tekrar ham değerlere dönüş yapılır. Bu çalışmamızda yaygın olarak kullanılan ağırlık ortalaması durulama yöntemini tercih edilmiştir. Aşağıdaki bağıntıya göre ham değerler aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(x) x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(x)} \quad (2)$$

Burada  $x^*$  ham çıkış değerlerini,  $\mu_i$  ise her bir kuralın çıkışı olan üyelik kümesinin üyelik derecesini ve  $x_i$  ise her bir kuralın ortalama ağırlığı göstermektedir [33,34].

#### 4. BULGULAR

Çalışmada kullanılan çimento hamurları üzerinde TS EN 196-3'e göre yapılan deneylerden ve bulanık mantık modelinden elde edilen sonuçlara göre priz başlama süreleri Tablo 5'te, priz sonu süreleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

**Table 5.** Çimento hamurlarının priz başlama süreleri (dakika)

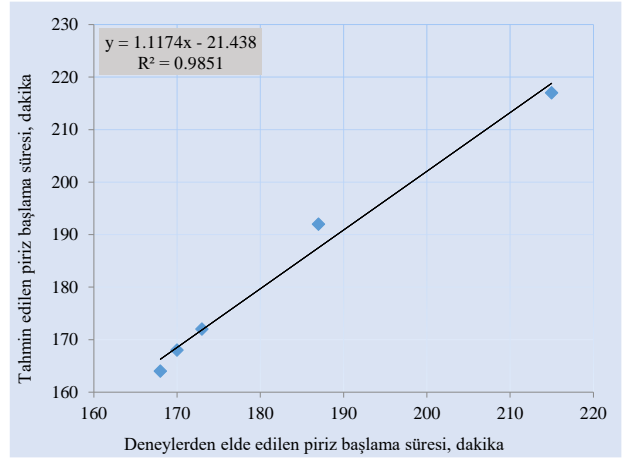
Numune	Çimento				
	R	M1	M2	M3	M4
1	210	190	175	170	165
2	215	185	175	170	170
3	220	185	170	170	170
<b>Ortalama</b>	<b>215</b>	<b>187</b>	<b>173</b>	<b>170</b>	<b>168</b>
Endeks, %	100	87.0	80.5	79.1	78.1
<b>Bulanık mantık tahmini</b>	<b>217</b>	<b>192</b>	<b>172</b>	<b>168</b>	<b>164</b>

**Table 6.** Çimento hamurlarının priz sonu süreleri (dakika)

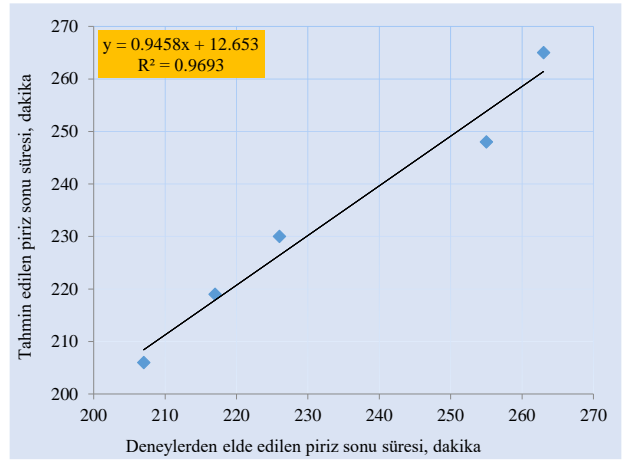
Numune	Çimento				
	R	M1	M2	M3	M4
1	265	250	225	215	205
2	265	255	225	215	210
3	260	260	230	220	210
<b>Ortalama</b>	<b>263</b>	<b>255</b>	<b>226</b>	<b>217</b>	<b>207</b>
Endeks, %	100	97.0	85.9	82.5	78.7
<b>Bulanık mantık tahmini</b>	<b>265</b>	<b>248</b>	<b>230</b>	<b>219</b>	<b>206</b>

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere göre, metakaolin ikameli tüm çimento hamurunun priz başlama ve priz sonu sürelerinin kısaltıldığı görülmektedir (Tablo 5 ve Tablo 6). Bu verilere göre ortalama priz başlama ve priz sonu sürelerin sırası ile 168 ve 207 dakika ile en az sürenin M4 kodlu çimentoda olduğu görülmektedir. Referans çimento hamuruyla kıyaslandığında, priz başlama sürelerinde M1-2-3-4 kodlu çimentolarda sırasıyla %13-19.5-20.9-21.9 oranlarında kısaltıldığı görülmektedir (Tablo 5). Priz sonu sürelerinin, referans çimento hamuruyla kıyaslandığında ise M1-2-3-4 kodlu çimentolarda sırasıyla %3-4.1-7.5-11.3 oranlarında kısaltıldığı görülmektedir (Tablo 6). Bu süreler incelendiğinde tüm çimento hamurlarında priz başlama sürelerinin 42.5 MPa dayanım sınıfında olan 60 dakikanın ve 32.5 MPa dayanım sınıfında olan 45 dakikanın üzerinde sağlandığı görülmektedir [12].

Deneyler sonucunda elde edilen ve bulanık mantıkla tahmin edilen priz başlama süreleri Şekil 3'te, priz sonu süreleri ise Şekil 4'te verilmiştir.



**Şekil 3.** Deneysel ve tahmin edilen priz başlama süreleri.



**Şekil 4.** Deneysel ve tahmin edilen priz sonu süreleri.

Yapılan deneyler sonucundaki veriler ve bulanık mantıkla tahmin edilen sonuçlardan elde edilen Şekil 3'teki priz başlama süresinin korelasyon katsayısı ( $R^2=0.9851$ ) ve Şekil 4'teki priz sonu süresinin korelasyon katsayısı ( $R^2=0.9693$ ) dikkate alındığında tahmin sonuçlarının oldukça yakın sonuçlar olduğu görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Referans ve metakaolin ikameli çimentoların priz başlama ve priz sonu sürelerinin incelendiği bu çalışmada, metakaolin ikame oranına bağlı olarak priz başlama ve priz sonu süreleri için bulanık mantık metoduyla tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bu deneysel sonuçlarla tahmin edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre;

- Referans çimentonun en düşük priz başlama süresinin 210 dakika, en düşük priz sonu süresinin ise 260 dakika olduğu;
- M1 kodlu çimentonun priz başlama ve priz sonu süreleri dikkate alındığında en düşük sürenin sırası ile 185 ve 250 dakika olduğu; buna karşılık ortalama priz başlama süresinin referans çimento ortalamasına göre %87, priz sonu süresinin ise %97 oranında olduğu;
- M2 kodlu çimentonun priz başlama ve priz sonu süreleri dikkate alındığında en düşük sürenin sırası ile 170 ve 225 dakika olduğu; buna karşılık ortalama priz başlama

süresinin referans çimento ortalamasına göre %80.5, priz sonu süresinin ise %85.9 oranında olduğu;

- M3 kodlu çimentonun priz başlama ve priz sonu süreleri dikkate alındığında en düşük sürenin sırası ile 170 ve 215 dakika olduğu; buna karşılık ortalama priz başlama süresinin referans çimento ortalamasına göre %79.1, priz sonu süresinin ise %82.5 oranında olduğu;
- M4 kodlu çimentonun priz başlama ve priz sonu süreleri dikkate alındığında en düşük sürenin sırası ile 165 ve 210 dakika olduğu; buna karşılık ortalama priz başlama süresinin referans çimento ortalamasına göre %78.1, priz sonu süresinin ise %78.7 oranında olduğu belirlenmiştir.

Bunların yanı sıra bulanık mantıkla oluşturulan modelinde priz başlama ve priz sonu süresi için elde edilen deneysel sonuçlar ile tahmin değerleri arasında oldukça yakın sonuçlara ulaşıldığı belirlenmiştir. Verilere göre priz başlama süresi için korelasyon katsayısının 0.9851, priz sonu süresinin ise 0.9693 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler, bulanık mantık metodunun metakaolin ikame oranına göre çimentonun priz başlama ve sonu sürelerinin tahmininde kullanılabileceği kanaati oluşmuştur. Ayrıca bu ve benzeri daha sonra yapılacak olan bulanık mantık, yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) makine öğrenmesi gibi tahmin yöntemlerinin inşaat mühendisliği alanında çimento harcı ve beton ile ilgili yapılan basınç dayanımı, eğilme dayanımı gibi sonuçların tahmin edilmesinde fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.

### Teşekkür

Deneylerdeki katkıları için Mersin Çimento Fabrikası Yetkililerine ve laboratuvar çalışanlarına çok teşekkür ederiz.

### KAYNAKÇA

[1] Xu, G., Shi, X. 2018. Characteristics and applications of fly ash as a sustainable construction material: A state-of-the-art review. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 95-109.

[2] Worrell, E., Martin, N., & Price, L. 2000. Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry. *Energy*, 25(12), 1189-1214.

[3] MolaAbasi, H., Saberian, M., Li, J. 2019. Prediction of compressive and tensile strengths of zeolite-cemented sand using porosity and composition. *Construction and Building Materials*, 202, 784-795.

[4] Ahmadi, Z., Esmaili, J., Kasaei, J., Hajialioghli, R. 2018. Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite. *Sustainable Materials and Technologies*, 16, 47-53.

[5] Wang, J., Xiao, J., Zhang, Z., Han, K., Hu, X., Jiang, F. 2021. Action mechanism of rice husk ash and the effect on main performances of cement-based materials: A review. *Construction and Building Materials*, 288, 123068.

[6] Rashidian-Dezfouli, H., Rangaraju, P. R. 2021. Study on the effect of selected parameters on the alkali-silica reaction of aggregate in ground glass

fiber and fly ash-based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, 271, 121549.

[7] Li, S., Roy, D. M. 1986. Investigation of relations between porosity, pore structure, and  $\text{Cl}^-$  diffusion of fly ash and blended cement pastes. *Cement and Concrete Research* 16 (5): 749-759.

[8] Nguyen, Q. D., Castel, A., Kim, T., Khan, M. S. 2021. Performance of fly ash concrete with ferronickel slag fine aggregate against alkali-silica reaction and chloride diffusion. *Cement and Concrete Research*, 139, 106265.

[9] Aguirre-Guerrero, A. M., Robayo-Salazar, R. A., de Gutiérrez, R. M. 2021. Corrosion resistance of alkali-activated binary reinforced concrete based on natural volcanic pozzolan exposed to chlorides. *Journal of Building Engineering*, 33, 101593.

[10] Chindaprasirt, P., Homwuttivong, S., Sirivivatnanon, V. 2004. Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1087-1092.

[11] Simsek, O. 2000. *Yapı Malzemeleri II*, Ankara University Yayınları, Ankara.

[12] TS EN 197-1. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları, Ankara, 2012.

[13] Kocak, Y., Nas, S. 2014. The effect of using fly ash on the strength and hydration characteristics of blended cements. *Construction and Building Materials*, 73, 25-32.

[14] Topçu, İ. B., Karakurt, C. 2007. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimento üretiminde katkı olarak kullanımı. *Ulusal Beton Kongresi*, 395-404.

[15] Özdemir, İ., Koçak, Y. 2020. Piriç Kabuğu Külü İkameli Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(1), 160-168.

[16] Demir, I., Güzelkücük, S., Sevim, Ö. 2018. Effects of sulfate on cement mortar with hybrid pozzolan substitution. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(3), 275-283.

[17] Ozcan, G., Kocak, Y., Gulbandilar, E. 2017. Estimation of compressive strength of BFS and WTRP blended cement mortars with machine learning models. *Computers and Concrete*, 19(3), 275-282.

[18] Saridemir, M. 2009. Prediction of compressive strength of concretes containing metakaolin and silica fume by artificial neural Networks. *Advances in Engineering Software* 40: 350-355.

[19] Ashrafi, H. R., Jalal, M., Garmsiri, K. 2010. Prediction of load-displacement curve of concrete reinforced by composite fibers (steel and polymeric) using artificial neural network. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7663-7668.

[20] Subaşı, S. 2009. Prediction of mechanical properties of cement containing class C fly ash by using artificial neural network and regression technique. *Scientific research and essays*, 4(4), 289-297.

[21] Kocak, Y., Gulbandilar, E., Akcay, M. 2015. Predicting the compressive strength of cement

- mortars containing FA and SF by MLPNN. *Computers and Concrete*, 15(5), 759-770.
- [22] Ozcan, G., Kocak, Y., Gulbandilar, E. 2018. Compressive strength estimation of concrete containing zeolite and diatomite: an expert system implementation. *Computers and Concrete*, 21(1), 21-30.
- [23] Boğa, A. R., Öztürk, M., Topcu, I. B. 2013. Using ANN and ANFIS to predict the mechanical and chloride permeability properties of concrete containing GGBFS and CNI. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 688-696.
- [24] Sadrmomtazi, A., Sobhani, J., Mirgozar, M. A. 2013. Modeling compressive strength of EPS lightweight concrete using regression, neural network and ANFIS. *Construction and Building Materials*, 42, 205-216.
- [25] Özcan, F., Atiş, C. D., Karahan, O., Uncuoğlu, E., Tanyildizi, H. 2009. Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete. *Advances in Engineering Software*, 40(9), 856-863.
- [26] Topcu, I.B., Saridemir M. 2008. Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic. *Computational Materials Science* 41: 305-311.
- [27] Gulbandilar, E., Kocak, Y. 2013. Prediction of the effects of fly ash and silica fume on the setting time of Portland cement with fuzzy logic. *Neural Computing and Applications*, 22(7), 1485-1491.
- [28] Tanyildizi, H. 2009. Fuzzy logic model for the prediction of bond strength of high-strength lightweight concrete. *Advances in Engineering Software* 40: 161-169.
- [29] Koçak, B., Koçak, Y., Yücedağ, İ. 2020. Prediction of Flexural Strength of Portland-Composite Cement Mortars Substituting Metakaolin Using Fuzzy Logic. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(4), 2377-2387.
- [30] Guler, I., Tunca, A., Gulbandilar, E. 2008. Detection of traumatic brain injuries using fuzzy logic algorithm. *Expert Systems with Applications* 34(2): 1312-1317.
- [31] TS EN 196-3. Çimento deney metotları- Bölüm 3: Priz süresi ve hacim genleşme tayini. *Türk Standartları*, Ankara, 2002.
- [32] Uçar, A., Karaca S., Gulbandilar E. 2016. Kayaçların İş İndeksinin Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi, 67-72, 8.Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, Kütahya, 13-14 Ekim 2016.
- [33] Hsu, Y. L., Lee, C. H., Kreng, V. B. 2010. The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 419-425.
- [34] Ajayi, A. O., Aderounmu, G. A., Soriyan, H. A., David, A. 2010. An intelligent quality of service brokering model for e-commerce. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 816-823.