

Kalsine Edilmiş Injana Formasyonu Kiltaşının (Geç Miyosen), Pozolanik Aktivitesinin Değerlendirilmesi- Orta Irak
Evaluation Of Pozzolanic Activity Of Calcined Injana Formation Claystone (Late Miocene) - Central Iraq

Abed İbrahim Mohammed Mohammed¹, Zeynel Başibüyük^{2*}, Mohammed Kareem Abed³, Gökhan Ekincioglu⁴, Serdar Korkmaz⁵

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

^{2*} Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bağbaşı Kampüsü, Türkiye

³ Al-Furat Al-Awsat Teknik Üniversitesi, Irak

⁴⁻⁵ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu, Kaman Yerleşkesi, Türkiye

ÖZET

Dünya nüfusundaki sürekli artışa paralel olarak çimentoya olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Çimento üretiminden kaynaklı ortaya çıkan CO₂ emisyonunu azaltma gerekliliği doğmuştur. Bu çalışmada, Irak'ın Kerbela ve Necef şehirleri civarındaki Geç Miyosen yaşlı Injana Formasyonu'nun kiltaşları 600 °C ve 800 °C' de kalsine edilerek pozolanik aktivitesi araştırılmıştır. Kalsine edilmiş kil taşları, Irak bölgesi portland çimentosu ile ağırlıkça %5 %10, %15 ve %20 oranlarında ikame edilerek çimento harç örnekleri elde edilmiştir. Hazırlanan çimento harç örneklerinin 3, 7, 28 ve 56 günlük kür süreleri sonucunda basınç dayanımlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen basınç dayanımı değerleri dikkate alınarak kalsine edilmiş kil taşı ikameli çimento harçları için optimum kalsinasyon sıcaklığı ve optimum ikame oranı ortaya konmuştur. Ayrıca kiltaşının 800 °C' de kalsine ederek ağırlıkça %5 oranlarında ikame edildiğinde en yüksek basınç dayanımı değerlerini verdiği; %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikame edildiğinde 60 MPa üzeri basınç dayanımı verebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Kil, Pozolanik Aktivite, Tek Eksenli Basınç Dayanımı

ABSTRACT

In parallel with the continuous increase in the world population, the need for cement is increasing day by day. There is a need to reduce CO₂ emissions from cement production. In this study, claystones of the Late Miocene aged Injana Formation in the vicinity of Karbala and Najaf cities of Iraq were calcined at 600 °C and 800 °C and their pozzolanic activity was investigated. The calcined clay stones were substituted with Iraqi Portland cement at 5%, 10%, 15% and 20% by weight and cement mortar samples were obtained. The changes in the compressive strength of the prepared cement mortar samples after 3, 7, 28 and 56 days of curing time were investigated. Considering the compressive strength values obtained, the optimum calcination temperature and optimum substitution ratio for cement mortars with calcined clay stone substitution were determined. Moreover It has also been determined that clay stone can be substituted for cement by calcining it at 800 °C in proportions of 5%, 10%, 15% and 20% by weight..

Keywords: Cement, Clay, Pozzolanic Activity, Uniaxial Compressive Strength

Başvuru: 28.11.2023 Son Revizyon: 20.12.2023 Kabul: 22.12.2023

Doi: 10.51764/smutgd.1394609

¹ E-mail: abidibrahim1972@gmail.com; ORCID: 0009-0004-84728038

^{2*} Sorumlu yazar E-mail: zbasibuyuk@ahievran.edu.tr; ORCID: 0000-0003-2845-148X

³ E-mail: mohammed_k1965@atu.edu.iq; ORCID: 0000-0001-8690-6118

⁴ E-mail: gekincioglu@ahievran.edu.tr; ORCID: 0000-0001-9377-6817

⁵ E-mail: skorkmaz@ahievran.edu.tr; ORCID: 0000-0002-4247-3813

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yerleşik hayata geçtiği günden günümüze kadarki zaman içerisinde yapı yapım tekniği ve malzeme kullanımı açısından sürekli bir gelişme içerisinde. Eski dönemlerde doğal yapı taşlarının hâkim olduğu yapıların (Önal vd.,2017; Başbüyük vd., 2019; Alkan vd., 2022) yerini, betonun keşfi ile hızla beton almış ve günümüzde de yapı sektöründeki en yaygın kullanılan malzemesi olmuştur. Beton talebindeki bu artışa paralel olarak betonun en önemli bileşeni olan çimentoya olan ihtiyaç her geçen gün katlanarak devam etmektedir. Çimento üretimindeki çevresel zararlı etkiler (yüksek CO₂ emisyonu vb.) ve üretim maliyeti gibi nedenler son zamanlarda çimento ikamesi olarak kullanılacak malzemelerin (yüksek fırın cürufu, silis, kil vb.) puzolonik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmaları arttırmıştır (Malhotra, 1993; Öner vd., 2005; Nath ve Sarker, 2011; Jafari & Rajabipour, 2021). Puzolonik özelliğe sahip bu malzemelerin belirli oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılabilir oldukları birçok araştırmacı tarafından ortaya çıkarılmıştır (Malhotra, 2002; Thomas, 2007; Muhammad vd., 2021; Sharma vd., 2021).

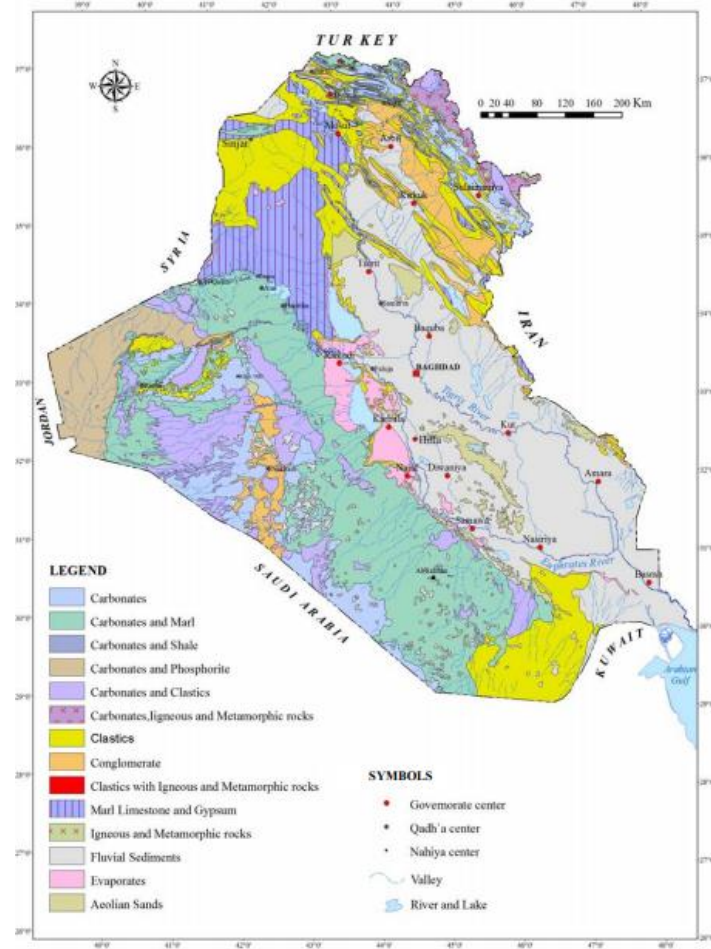
Kil/kiltaşı çimento üretiminin hammaddelerindedir. Bu nedenle puzolanik özellik göstermesi beklenebilir. Çimento üretiminde kullanılan hammaddeler aynı zamanda çimento kalitesini de etkilemektedir. Kiltasının kimyasal ve mineral yapısının yanında rutubet içeriği çimento üretimi için son derece önemlidir. Yüksek rutubet özellikleri gösteren kiltaları çimento üretimindeki kırma ve öğütme süreçlerinde problemler oluşturabilmektedir (Korkmaz, 2021). Özellikle mevsimsel farklılıklar nedeniyle nem içeriğinin değişken olması üretim süreçlerinde aksaklıklar oluşturabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı kilin hammadde olarak kullanıldığı çimento üretiminde kuru sistem üretim yöntemine geçilmiştir (Kuleli, 2010).

Kiltasının önemli fiziksel özelliklerinden birisi de kolay öğütülebilir olmasıdır. Çimento üretiminde enerji tüketimi etkilerinin araştırıldığı çalışmada kalker, mermer artığı, tras, alçıtaşı, kiltası ve klinker malzemeleri üzerinde yapılan öğütülebilirlik testleri sonucunda en kolay öğütülebilen malzeme kiltası olmuştur. (Korkmaz, 2020).

Çimentoya alternatif malzemelerin ve çimento kullanımını azaltmaya yönelik çalışmaların yapıldığı günümüzde yukarıda bahsedilen özellikleri nedeniyle kiltasının puzolanik özelliklerinin belirlenmesi gerekliliği görülmüştür. Bu çalışmada, Irak'ın Kerbela ve Necef şehirleri arasında bulunan Geç Miyosen yaşlı Injana Formasyonu'nu kiltasına 600 °C ve 800 °C' kalsinasyon uygulaması yapılmış olup puzolanik özellikleri değerlendirilmiştir.

2. JEOLJİ

İnceleme sahası Orta Irak'ta evaporit ve akarsu litolojilerinin bulunduğu Kerbela ve Necef illeri arasındaki bölgededir (Şekil 1). Bu bölgede Geç Miyosen yaşlı Injana Formasyonu bulunmaktadır (Awadh vd., 2013). Injana Formasyonu kıyı ve kıyıya yakın, ağırlıklı olarak akarsu ortamında biriken karbonat bakımından zengin kumtaşları, silt taşları ve kil taşlarından oluşan kırıntılı bir formasyonla karakterize edilir (Al-Banna 1982; Al-Juboury 1994; Al-Juboury, 2009). Injana Formasyonunun çökeltilerinde bulunan yaygın kil mineralleri arasında illit, kaolinit, klorit, paligorskit ve karışık katmanlı klorit-smektit ve/veya illit-smektit bulunur (AlJuboury 1994, AlJuboury 2009).



Şekil 1. Irak jeoloji haritası (Sissakian and Al-Khalidi, 2012; Al-Jiburi and Al-Basrawi, 2015)

3. MATERYAL VE METOT

İnceleme sahasındaki kil taşlarını temsil eden üç bölgeden (ilk istasyon $K32^{\circ}14'67''K$ ve $D44^{\circ}16'31''D$ 'de, ikinci istasyon ise $K32^{\circ}4'18''K$ ve $E44^{\circ}17'50.835''D$ ' de ve üçüncü istasyon $K31^{\circ}59'55.284''K$ ve $E44^{\circ}18'4.570''D$ 'de yer almaktadır) örnek alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Araziden örnek alımı

Araziden alınan örnekler üzerinde Şekil 3' de gösterilen kırma ve öğütme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kırma ve öğütme işlemleri sonrası puzolanik özellikleri araştırılacak olan kıltaşı çimento inceliğine yakın bir incelik değeri olan 75 mikronluk elekten elenmiştir.



Şekil 3. Kırma, öğütme ve eleme işlemleri

Toz haline getirilen kıltaşının mineral bileşimini belirlemek için, X-ışını kırınımı (XRD), jeokimyasal içeriklerini belirlemek amacıyla X-ışını floresans spektrometre (XRF) analizleri gerçekleştirilmiştir. 75 µm' lik elekten elenen kıltaşı tozları 600 °C ve 800 °C' de ısıtılma tabii tutulmuştur (Şekil 4). İstenilen sıcaklığa ulaşmak için kıltaşı tozu yavaş ısıtma hızında ısıtılmıştır. İstenilen sıcaklık seviyesine ulaşıldığında, kıltaşı tozu 1 saat boyunca 600 °C ve 800 °C sabit sıcaklıkta kalsine edilmiştir. Son işlem olarak kıltaşı tozu fırından çıkarılmış ve kullanılmadan önce 24 saat soğumaya bırakılmıştır. Soğuma ortamı kıltaşı tozunun ortam neminden etkilenmeyeceği ortamda oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Kül fırını

Kontrol harçları yanı sıra 600 °C ve 800 °C sıcaklıkta kalsinasyon uygulanan kilaşının %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikame edilerek hazırlanan çimento harç serileri hazırlanmıştır. Harç üretiminde, Irak'ta "Karasta" markasıyla üretilen Portland çimentosu (I) kullanılmış olup (Şekil 5) çimentonun teknik özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.



Şekil 5. Karasta portland çimentosu (OPC) tip (I)

Tablo 1. Kullanılan çimentoya ilişkin fiziksel ve mekanik özellikler

Fiziksel ve Mekanik özellikler	Birimi	Test sonuçları	Irak şartnamesi sınırları (No.5 1984)
Özgül yüzey (Blaine)	m ² /kg	335	≥230
Priz başlangıcı	dakika	128	≥45 dakika
Priz sonu	saat	6.51	≤ 10 saat
Basınç Dayanımı (3 gün)	N/mm ²	15,8	≥15
Basınç Dayanımı (7 gün)	N/mm ²	24,9	≤23

Çimento harçları 50×50×50 mm boyutlarında ASTM C109 standardına uygun kalıplar kullanılarak üretilmiştir. Üretilen çimento harçları 3,7,28 ve 56 günlük kür edildikten sonra basınç dayanımı testleri ASTM C109 standardına göre yapılmıştır. Deneylerde saniyede 0,6 MPa yükleme hızında 2000 kN kapasiteli Üniversal basınç makinesi kullanılmıştır (Şekil 6).

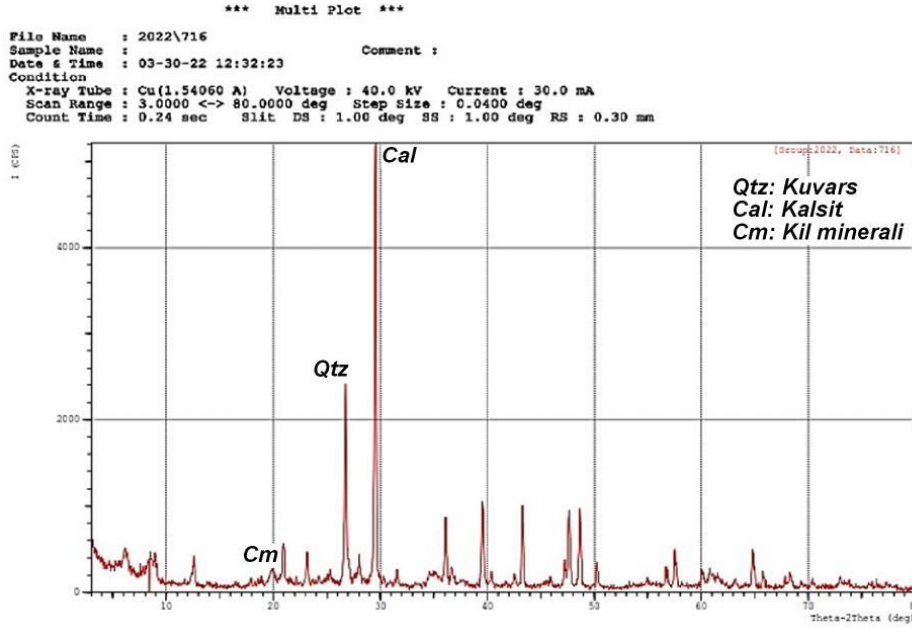


Şekil 6. Beton basınç dayanımı test cihazı görünümü

4. BULGULAR

4.1. XRD ve XRF Analizleri

Çalışmada araziden temin edilen örneklerin minerolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla XRD ve XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. XRD analizi sonucunda mununenin kil minerali, kalsit ve kuvarstan oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Kiltaşının XRD sonucu

Kil taşlarının XRF analizi sonucunda jeokimyasal bileşiminin % 42,55 SiO₂, % 15,52 CaO, % 10,60 Al₂O₃, % 5,68 Fe₂O₃, % 5,33 MgO, % 1,88 Na₂O, % 1,44 K₂O, %0,71 TiO₂, % 0,62 SO₃ ve % 0,10 MnO içerdiği belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Kiltaş'ının jeokimyasal değerleri

Kimyasal İçerik	(%)
SiO ₂	42,55
Al ₂ O ₃	10,60
Fe ₂ O ₃	5,68
CaO	15,52
Na ₂ O	1,88
K ₂ O	1,44
MgO	5,33
TiO ₂	0,71
MnO	0,10
SO ₃	0,62
L.O.I*	15,26

Tablo 2' de verilen değerler incelendiğinde kıltaşının $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (SAF) içeriğinin toplam içeriğin yaklaşık %60' ını (%58,83) oluşturduğu görülmektedir. CaO miktarı % 15,52 olarak ölçülmüştür. Kıltaşının jeokimyasal değerlerinde kızdırma kaybı değerinin (L.O.I) diğer puzolan türlerine göre yüksek çıktığı söylenebilir. Bu durumun kıltaşı ikameli örneklerin uzun süreli performanslarını olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

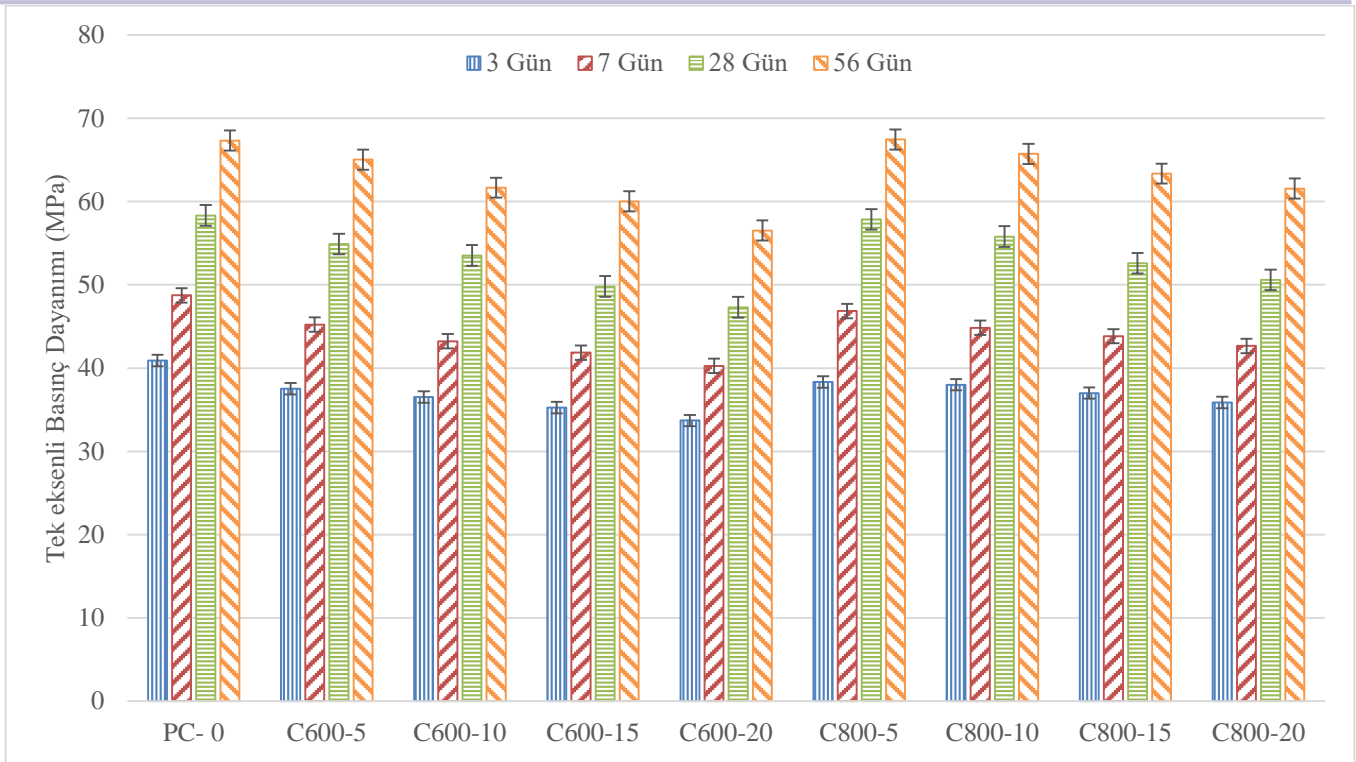
4.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

İki farklı kalsinasyon sıcaklığında elde edilen örneklerden aynı şartlar altında kontrol numuneleri ve %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile ikame edilen çimento harçlarının 3, 7, 28 ve 56 gün sonrasında tek eksenli basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen değerler Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Numune Kodu			Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)			
			Kür Süresi (Gün)			
Açıklama	Kodu	Kıltaşı ikame oranı (%)	3	7	28	56
Kontrol Numuneleri	PC- 0	0	40,90	48,73	58,33	67,33
600 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikamesi	C600-5	5	37,53	45,23	54,90	65,03
	C600-10	10	36,53	43,23	53,53	61,66
	C600-15	15	35,26	41,86	49,80	60,03
	C600-20	20	33,70	40,26	47,30	56,53
800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikamesi	C800-5	5	38,33	46,86	57,86	67,46
	C800-10	10	38,00	44,83	55,80	65,73
	C800-15	15	37,00	43,83	52,60	63,36
	C800-20	20	35,86	42,66	50,60	61,56

Tablo 3 incelendiğinde 3, 7 ve 28 gün kür edilen kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımlarının 3, 7 ve 28 gün kür edilen kontrol numunelerinden elde edilen basınç dayanımını geçemediği görülmektedir. Bu durum kıltaşı ikamesinin erken dönem basınç dayanımlarına olumlu etki etmediğini göstermektedir. Bu durum puzolanik özellik taşıyan malzemeler için benzerlik göstermektedir. Şekil 8' de çalışma kapsamında üretilen numunelere ait basınç dayanımı değerleri grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 8. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Şekil 8 incelendiğinde 56 gün kür edilen 800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli C800-5 kodlu numune serisinden en yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmektedir. Kür süresi arttıkça kontrol numuneleri ve kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin tümünde basınç dayanımı artışı görülmüştür. Bu artış, hidrasyon işlemi sırasında oluşan hidrat fazlarının doğasından kaynaklanmaktadır. Kıltaşının kalsinasyon sıcaklığının 600 °C' den 800 °C' ye çıkartılması basınç dayanımına olumlu yansımıştır. 800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımları çalışma kapsamındaki tüm kür süreleri ve kıltaşı ikame oranlarında 600 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımlarından yüksek çıkmıştır. Ayrıca 800 °C' de kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin tümünde basınç dayanımları 60 MPa üzerinde değerler almıştır. Bu durum diğer kıltaşı ikame oranlarının da (%10, %15 ve %20) uygulama sürecinde kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Kıltaşının puzolan olarak çimento yerine ikame edilebilmek için 800 °C kalsinasyon uygulanması ve %5 oranında çimento yerine ikame edilmesi çalışma kapsamında optimum değerler olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında üretilen örneklerin tek eksenli basınç dayanımı analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. 56 gündeki basınç dayanımı katkı içermeyen örnek için PC-0 = 67,33 MPa; 600°C fırınlanmış örnekler için C600-5 = 65,03 MPa, C600-10=61,66 MPa, C600-15=60,03 MPa, C600-20=56,53 MPa; 800°C fırınlanmış örnekler için C800-5 = 67,46 MPa, C800-10=65,73 MPa, C800-15=63,36 MPa, C800-20=61,56 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında;

- İkame kil malzemesinin miktarının artmasına bağlı olarak basınç dayanımında bir düşüş gözlenmekle birlikte, kil malzemesinin fırınlanma derecesindeki 600 °C den 800 °C' ye artışın; ikame kilin kendi içerisinde kıyaslandığında beton dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında kalsine edilmiş İnjana formasyonu kıltaşının beton üretiminde çimento yerine ikame edilerek kullanılabilceği görülmüştür.
- 600 °C' ve 800 °C sıcaklıkta kalsine edilen ve çimento yerine %20 oranında ikame edilen kıltaşı tozu ile üretilen örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerleri 30 MPa' nın altına düşmemiştir. Bu veri dikkate alındığında inşaat sektöründe istenen C25-C30 asgari beton sınıfı dayanımlarının çimento yerine %20 oranında kalsine kıltaşı ikame edilerek üretilen betonlardan elde edilebileceği görülmüştür.
- 600°C ve 800°C sıcaklıklarda kalsine edilmiş kıltaşı ikamesi ile üretilen örneklerin 3, 7, 28 ve 56 gün kür sürelerinde elde edilen basınç dayanımları incelendiğinde 800 °C sıcaklıkta kalsine edilen %5 kıltaşı ikameli (C800-5) serinin kontrol numunesi basınç dayanımı değerini az da olsa geçtiği görülmektedir.
- 600°C ve 800°C sıcaklıklarda kalsine edilmiş kıltaşı ikameli örneklerin basınç dayanımları

karşılaştırıldığında 800 °C sıcaklıkta kalsine edilen kiltası içerikli örneklerin tüm kür sürelerinde daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduğu görülmektedir.

- 600°C sıcaklıkta kalsine edilmiş kiltası ikameli örneklerin basınç dayanımları tüm kür süreleri ve tüm ikame oranlarında 800°C sıcaklıkta kalsine edilmiş kiltası ikameli örneklerin basınç dayanımlarının %90 ve üzerinde basınç dayanımı değeri vermiştir. Bu veri dikkate alındığında kalsine sıcaklığı için 600°C' nin ekonomi/performans değerlendirmesinin daha olumlu olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler ışığında bölgedeki kil taşlarının beton üretiminde çimento yerine ikame edilmesi ile karışımlarda kullanılan çimento miktarının azaltılabileceğini görülmüştür. Buna bağlı olarak kalsine edilmiş kiltası kullanımı sayesinde çimento üretiminden kaynaklı CO2 emisyonunun azaltılması mümkün olabilecektir. Kiltasının doğadan temin edilen bir malzeme olması, kolay öğütülebilir olması ekonomik bir üretim fırsatı sunmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma ile değişken nem içeriklerine sahip olabilecek kiltasının öğütme, eleme ve kalsinasyon işlemleri sonucunda çimento yerine %20 oranlarına kadar ikame malzemesi olarak kullanılabilir olduğunu ortaya konulmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Al-Banna, N. Y. (1982). Sedimentological study of Upper Fars Formation in selected areas, north Iraq. *Unpublished M. Sc. thesis, University of Mosul, Iraq P, 177.*
- Al-Jiburi, H. K., & Al-Basrawi, N. H. (2015). Hydrogeological map of Iraq, scale 1: 1000 000, 2013. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 11(1), 17-26.*
- Al-Juboury, A. I. (1994). Petrology and provenance of the Upper Fars Formation (Upper Miocene), Northern Iraq. *Acta Geologica Universitatis Comenianae Bratislava, 50, 45-53.*
- Al-Juboury, A. I. A. (2009). The upper Miocene Injana (upper Fars) formation of Iraq: Insights on provenance history. *Arabian journal of geosciences, 2, 337-364.*
- Alkan Y., Gölbaş A., Ekincioglu G., Başbüyük Z., (2022). Orta Anadolu Arkeoloji, Antropoloji ve sanat Tarihi Araştırmaları/Engineering Properties of The Natural Building Blocks Used At The Karincali Byzantium Church (Kırşehir, Turkey) And Source Rock Identification (Kırşehir-Turkey), Myrina Yayınları.
- ASTM C109/C109M-02, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or 50 mm Cube Specimens)
- Awadh, S. M., & Awad, A. M. (2020). Manufacture of Portland cement from Late Miocene claystone, Injana formation, Central Iraq. *Arabian Journal of Geosciences, 13(19), 1008.*
- Awadh, S. M., Abood, Z. S., & Eisa, M. J. (2013). Chemical and physical control processes on the development of caves in the Injana Formation, Central Iraq. *Arabian Journal of Geosciences, 6, 3765-3772.*
- Başbüyük, Z., Ekincioglu, G., & Önal, M. M. (2019). Yozgat Sarıkaya Termal Roma Hamamı'nda Kullanılan Doğal Yapı Taşları ve Mühendislik Özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(1), 233-244.*
- Jafari, K., & Rajabipour, F. (2021). Performance of impure calcined clay as a pozzolan in concrete. *Transportation Research Record, 2675(2), 98-107.*
- Korkmaz, A. V. (2020). Hammadde ve klinker öğütülebilirliklerinin çimento üretiminde enerji tüketimine etkisinin araştırılması. *Scientific mining journal, 59(3), 169-181.*
- Korkmaz, A. V. (2021). Hammadde Rutubetinin Çimento Üretim Prosesine Etkisinin Araştırılması. *MT Bilimsel, (19), 33-49.*
- Kuleli, Ö., 2010, Çimento Mühendisliği El Kitabı, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara.
- Malhotra, V. M. (1993). Fly ash, slag, silica fume, and rice husk ash in concrete: A review. *Concrete International, 15(4), 23-28.*
- Malhotra, V. M. (2002). High-performance high-volume fly ash concrete. *Concrete International, 24(7), 30-34.*
- Muhammad, A., Thienel, K. C., & Sposito, R. (2021). Suitability of blending rice husk ash and calcined clay for the

production of self-compacting concrete: A review. *Materials*, 14(21), 6252.

- Nath, P., & Sarker, P. (2011). Effect of fly ash on the durability properties of high strength concrete. *Procedia Engineering*, 14, 1149-1156.
- Önal, M.M., Başbüyük Z., Gölbaş A. (2017). Antik Sarıkaya Termal Roma Hamamının Mimarisi ve Yapımında Kullanılan Doğal Yapı Taşları (Sarıkaya-YOZGAT). *II. Uluslararası Bozok Sempozyumu: Yozgat'ın Turizm Potansiyelleri ve Sorunları*, Yozgat Türkiye
- Oner, A., Akyuz, S., & Yildiz, R. (2005). An experimental study on strength development of concrete containing fly ash and optimum usage of fly ash in concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1165-1171.
- Sharma, M., Bishnoi, S., Martirena, F., & Scrivener, K. (2021). Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. *Cement and Concrete Research*, 149, 106564.
- Sissakian, V. K., & Fouad, S. F. (2015). Geological map of Iraq, scale 1: 1000 000, 2012. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 11(1), 9-16.
- Thomas, M. D. A. (2007). *Optimizing the use of fly ash in concrete* (Vol. 5420). Skokie, IL, USA: Portland Cement Association.