

## Kalsine Edilmiş Doğal Kilin Geopolimer Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Emrah TURAN<sup>1\*</sup> ve Meral OLTULU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Türkiye

\**(emrah.turan@atauni.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi*

*(Geliş Tarihi: 01 Ağustos 2023, Kabul Tarihi: 09 Ağustos 2023)*

(1st International Conference on Modern and Advanced Research ICMAR 2023, July 29-31, 2023)

**ATIF/REFERENCE:** Turan, E. & Oltulu, M. (2023). Kalsine Edilmiş Doğal Kilin Geopolimer Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(7), 128-131.

**Özet** – Çimentolu kompozitlerin dünya genelindeki karbondioksit salınımının yaklaşık %8'ini oluşturması ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, çimentolu malzemelerin kullanımının azaltılması, çimento kullanılmadan veya çok az kullanılarak kompozit malzemelerin üretilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, geopolimer adı verilen bağlayıcı malzemelerle kompozit malzeme üretimi üzerinde durulmaktadır. Geopolimer üretiminde yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül gibi atık malzemelerin kullanımı mümkün olmakla birlikte kalsine kaolin (metakaolin) gibi malzemeler kullanılabilir. Bu çalışmada, doğal bir kilin kalsinasyon işlemi sonrasında geopolimer üretiminde aminosilikat kaynağı olarak kullanımı üzerinde durulmuştur. 700 °C, 800 °C ve 900 °C sıcaklıklarda 1,2 ve 3 saat süreyle kalsinasyon işlemi uygulanan kilin puzolanik aktivitesi en yüksek olan gruptan geopolimer üretilmeye çalışılmıştır. Aktivatör olarak sadece 4, 6, 8, 10 ve 12 molar sodyum hidroksit kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan kil ve seçilen aktivatör molaritelerinde düşük basınç dayanımları elde edilmiştir. Bazı gruplarda basınç deneyine tabii tutulmadan dağılmalar da meydana gelmiştir.

*Anahtar Kelimeler – Kil, Kalsinasyon, Geopolimer, Basınç Dayanımı*

### I. GİRİŞ

Küresel ısınma, fosil yakıtların yanması, endüstriyel üretim ve doğal sebeplerden kaynaklanan karbondioksit salınımının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Üretim sektörü içinde çimento üretimi, atmosfere en çok karbondioksit salınımı yapan faaliyetlerden biri olup, atmosfere salınan CO<sub>2</sub>'nin %5-8'sinden sorumludur[1-3]. Yıllara kıyasla çimento üretimi artış gösteren bir sektördür ve bu nedenle çimento üretiminin çevresel etkilerinin azaltılması önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Alternatif bağlayıcıların geliştirilmesi, CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Bu bağlayıcılara örnek olarak geopolimerler gösterilebilmekte ve

bağlayıcı üretimi normal Portland çimentosuna kıyasla CO<sub>2</sub> emisyonunu %80 oranında azaltmaktadır.

Geopolimerler, çimento esaslı kompozitlerdeki hidrasyon yerine polikondenzasyon adı verilen farklı bir reaksiyonla alüminosilikat kaynaklarından alüminat ve silikat iyonlarından oluşan katı bir kütle olan alüminosilikat jellerinin üretildiği malzemelerdir [4].

Geopolimer üretimi için kalsiyum içeriği düşük veya hiç bulunmayan silisyum ve alüminyum bakımından zengin malzemeler kullanılır. Bu malzemeler arasında uçucu kül, taban külü, yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atıklar ve doğal kaynaklar yer almaktadır. Geopolimerlerin çimento

esaslı malzemelere kıyasla çevresel etkisi daha düşüktür. Ancak, tedarik zorluğu ve sürekliliğinin olmaması dezavantajları arasında yer almaktadır. Bu dezavantajlara çözüm olarak pişirilmiş killer ve şeyller ile metakaolin geopolimer üretiminde kullanılabilir [5]. Metakaolin, kaolin kilinin yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak kristal yapısının amorf yapıya dönüştürülmesiyle elde edilmektedir ve geopolimer üretiminde önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, doğal bir kilin geopolimer üretiminde kullanılmasını hedeflemektedir. Bu sayede geopolimerlerin kaynak çeşitliliği artırılarak çimento esaslı kompozitlerin alternatifi olarak daha sürdürülebilir yapı malzemeleri üretimi sağlanabilir. Ayrıca, geopolimerlerin endüstriyel ölçekte kullanım potansiyelini artırarak çevresel ve ekonomik açıdan daha sürdürülebilir yapılar için yeni bir perspektif sunacaktır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Materyal

Kalsine kil esaslı geopolimer üretmek için Erzurum il sınırları içerisinde Şekil 1'de verilen kil temin edilerek öğütülerek kalsine edilmiştir.



Şekil 1. Doğal Kil

Kalsinasyon sonrası puzolanik aktivite deneyi için CEM I 42,5 R Portland çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Deneylerde, TS EN 196-1 standardına uygun norm kumu ve karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Çimento kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	%
SiO <sub>2</sub>	19,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,04
CaO	63,08
MgO	1,78
SO <sub>3</sub>	2,89
Cl <sup>-</sup>	0,0116
Eşdeğer alkali (Na <sub>2</sub> O cinsinden)	0,76
Kızdırma Kaybı	3,93
Çözünmeyen Kalıntı	0,98

Aktivatör olarak literatürde birçok çalışmada kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmış olan sodyum hidroksit (NaOH) kullanılacaktır [6-8].

### B. Yöntem

İdeal kalsinasyon sıcaklık ve süre tespiti 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklıkta 1, 2 ve 3 saat boyunca kalsine edilerek ASTM C618 puzolanik aktivite deneyi sonucunda belirlenmiştir. Tablo 2'de kalsinasyon gruplarına ait kodlama görülmektedir.

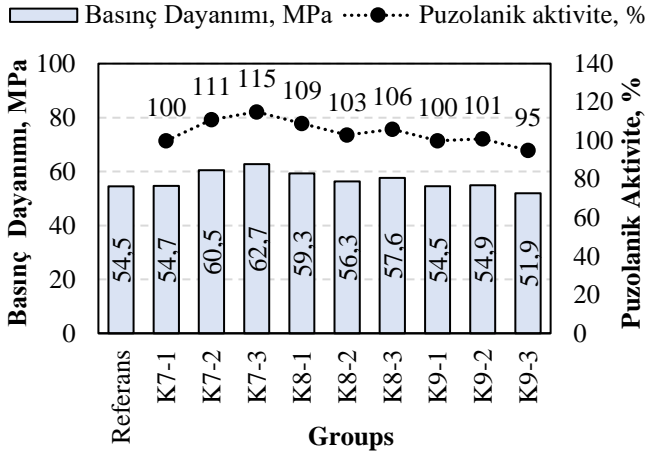
Tablo 2. Kalsinasyon gruplarına ait kodlama

Kodlama	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
K7-1	700	1
K7-2	700	2
K7-3	700	3
K8-1	800	1
K8-2	800	2
K8-3	800	3
K9-1	900	1
K9-2	900	2
K9-3	900	3

İdeal kalsinasyon şartları belirlenerek kalsine edilen kalsine kil, 4, 6, 8, 10 ve 12 molar NaOH çözeltisi kullanılarak üretilmiştir. Bir grup harç dökümünde 500 gram kalsine kil, 1375 gram norm kumu ve yeterince işlenebilir olacak şekilde NaOH kullanılmıştır. Numuneler, 50x50x50 mm boyutlarında küp dökülmüş ve 24 saat boyunca ortam ve 60 °C küre bırakılarak kalıpta bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numunelerin 7. günde basınç dayanımları belirlenmiştir.

## III. BULGULAR

Puzolanik aktivite deney sonuçları Şekil 2 ve farklı molaritelerde üretilmiş geopolimer harçlara ait basınç dayanımı değerleri Tablo 2 ve Şekil 3 'de verilmiştir.



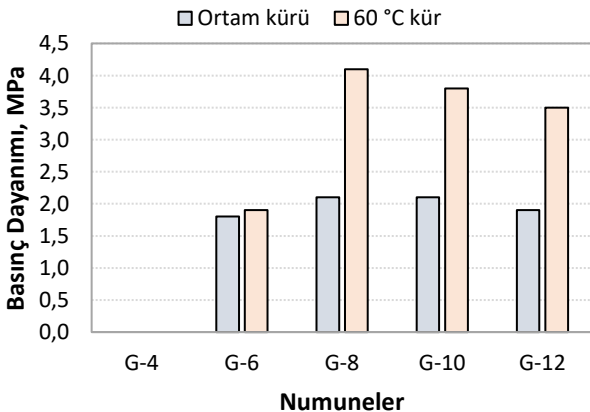
Şekil 2. Puzolanik deney sonuçları

Kalsinasyon işlemi uygulanmış doğal killer arasında %95 ile %115 oranlarında puzolanik aktivite değerleri hesaplanmıştır. %115 oranında puzolanik aktivite değeri ile en yüksek basınç dayanımı değeri K7-3 grubunda meydana gelmiştir. Geopolimer harç üretiminde 700°C'de 3 saat kalsine edilen grup kullanılmıştır.

Tablo 2. Üretilen geopolimer basınç dayanımı sonuçları

Numune Kodu	NaOH molarite	7. gün basınç dayanımı (MPa)	
		Ortam kürü	60 °C kür
G-4	4	Dağıldı	Dağıldı
G-6	6	1,8	1,9
G-8	8	2,1	4,1
G-10	10	2,1	3,8
G-12	12	1,9	3,5

İdeal kalsinasyon şartlarında kalsine edilen doğal kil kullanılarak üretilen geopolimerlerin basınç dayanımları ortam küründe 1,8 ile 2,1 MPa arasında basınç dayanımı değeri alırken 60 °C kür uygulanması halinde 1,9 ile 4,1 değeri almıştır.



Şekil 3. Geopolimer harçların basınç dayanımları

Tüm geopolimer grupları arasında en iyi basınç dayanımı 60°C kür uygulanmış 8 M NaOH aktivatör kullanılmış numunede elde edilmiştir.

#### IV. TARTIŞMA

Yeryüzünde geniş bir temin olanağı bulunan killerin kalsine edilerek geopolimer üretiminde kullanılması hem çevresel açıdan hem de sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Çalışmada kalsine edilerek kullanılan kilin sadece NaOH kullanılarak üretilen geopolimerlerin yeterli geopolimerizasyon ürünün oluşmadığı, basınç dayanımı artışının sağlanması için ikincil bir aktivatör kullanımı veya katkıları kullanılarak geliştirilebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, kalsine edilmiş farklı iç yapıdaki killerin geopolimer üretiminde kullanılması için uygun katkı miktarlarının tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

#### V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve sürelerde kalsine edilen doğal kilin, en yüksek puzolanik aktiviteye sahip olduğu olduğu gruptan geopolimer üretimi amaçlanmaktadır. Bu çalışmaya ait sonuçlar şöyledir:

- Puzolanik aktivite değerleri farklı kalsinasyon sıcaklığı ve sürelerinde %95 ile %115 arasında değişen değerler almıştır. En yüksek puzolanik aktivite değeri K7-3 grubunda meydana gelmiştir.
- İdeal kalsinasyon şartlarında kalsine edilen doğal kil (K7-3) kullanılarak üretilen geopolimerlerde, ortam küründe 1,8 ile 2,1 MPa arasında basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. 60 °C'de kür uygulanan numunelerde basınç dayanımı değerlerinin 1,9 ile 4,1 MPa aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, geopolimer harçlarında sıcak kürün mekanik özellikleri önemli ölçüde geliştirilebileceğini göstermektedir.
- Tüm geopolimer grupları arasında, en yüksek basınç dayanımı değerlerinin 60 °C'de kür uygulanmış ve 8 M NaOH aktivatör kullanılmış numunelerden elde edildiği belirlenmiştir.
- Literatürdeki geopolimer çalışmalarına bakıldığında en yüksek basınç dayanımının

oldukça düşük bir değer olduğu ancak sıva gibi yüksek dayanım istenmeyen yapı malzemelerinde kullanımı mümkün olacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, doğal kil temelli geopolimer harçların mekanik özelliklerini geliştirmek için aktivatör ve kil çeşidi üzerine yoğunlaşılması; sürdürülebilir ve çevre dostu inşaat malzemelerinin geliştirilmesine katkıda bulunarak gelecek çalışmalara ışık tutacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1] R.M. Andrew, Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, *Earth Syst Sci Data*. 10 (2018) 195–217.
- [2] F. Kantarci, Nano silis, mikro silis ve polimer katkıları içeren volkanik tüf esaslı geopolimer beton üretimi ve özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, 2018.
- [3] Y. Aygörmez, O. Canpolat, M.M. Al-mashhadani, M. Uysal, Elevated temperature, freezing-thawing and wetting-drying effects on polypropylene fiber reinforced metakaolin based geopolymer composites, *Constr Build Mater*. 235 (2020) 117502.
- [4] A.R. Brough, A. Atkinson, Sodium silicate-based, alkali-activated slag mortars: Part I. Strength, hydration and microstructure, *Cem Concr Res*. 32 (2002) 865–879.
- [5] M. Zhang, H. Guo, T. El-Korchi, G. Zhang, M. Tao, Experimental feasibility study of geopolymer as the next-generation soil stabilizer, *Constr Build Mater*. 47 (2013) 1468–1478. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.017>.
- [6] J.L. Provis, Alkali-activated materials, *Cem Concr Res*. 114 (2018) 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009>.
- [7] H. Rashidian-Dezfouli, P.R. Rangaraju, Study on the effect of selected parameters on the alkali-silica reaction of aggregate in ground glass fiber and fly ash-based geopolymer mortars, *Constr Build Mater*. 271 (2021) 121549. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121549>.
- [8] F. Pacheco-Torgal, Introduction to Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes, *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*. (2015) 1–16. <https://doi.org/10.1533/9781782422884.1>.