





## Perlit Esaslı Geopolimer Kompozitlere Kür Süresi ve Sıcaklığın Etkisi

### Effect Of Curing Time and Temperature on Perlite-Based Geopolymer Composites

Selahattin Güzelkçük<sup>1,2</sup> , İlhami Demir<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 40100, Kırşehir, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 29/04/2019

Kabul/Accepted: 14/06/2019

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2019

#### Öz

Çimento üretimi esnasında dezavantaj olan CO<sub>2</sub> emisyonu ve yüksek enerji tüketiminin en aza indirilmesi amacı ile bu çalışmada perlit içeren geopolimer kompozitler üretilmiştir. Bu amaçla öğütülmüş perlit, sodyum hidroksit ile aktive edilerek, 50×50×50 mm boyutlarında çimentosuz perlit esaslı kompozit küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 24 ve 48 saatlik kür süresinde ve 90 °C ve 110 °C kür sıcaklığında olgunlaştırılmıştır. Karışımlar için en iyi kür süresi, çözeltinin NaOH molaritesi ve kür sıcaklığına bağlı olarak en yüksek basınç dayanımları belirlenmiştir. En iyi basınç dayanımı çözelti molaritesi 15,5 olan, 24 saat kür süresinde ve 110 °C kür sıcaklığında 46,76 MPa olarak bulunmuştur.

#### Anahtar Kelimeler

“Perlit, basınç dayanımı, geopolimer”

#### Abstract

In order to minimize the CO<sub>2</sub> emission and energy consumption, which are disadvantageous during the cement production, perlite-based composites was produced in this study. To this end, ground perlite was activated with sodium hydroxide and perlite-based cementless cubic composites with dimensions of 50 × 50 × 50 mm were produced. The produced samples were cured for 24 and 48 hours curing time at 90 °C and 110 °C curing temperature. The best curing time was determined according to NaOH molarity of the solution and curing temperature. The best compressive strength was determined as 46.76 MPa in perlite-based composites having 15,5 solution molarity, 24 hours curing time and at 110 °C curing temperature.

#### Key Words

“Perlite, compressive strength, geopolimer”

## 1.Giriş

Geopolimer beton üretiminin amacı; CO<sub>2</sub>emissionunu, enerji tüketimini ve buna bağlı olarak çimento üretimi esnasında çevreye verilen olumsuz etkiyi en aza indirmektir. Bunun yanında perlit gibi ülkemizde ham madde kaynağı çok fazla olan ham perlitin kullanımını endüstriye kazandırmaktır. Perlitin volkanik bir mineral olması sebebi ile son zamanlarda yapılan çalışmalarda öğütülmüş perlitin özellikle puzolanik malzeme olarak kullanılabilceği görülmektedir. (Yu, L. H. ve arkadaşları (2003)). Bu tür çalışmalar Türkiye'nin perlit kaynakları açısından zengin olması sebebi ile kullanım alanlarının genişletilmesi açısından önemlidir. (Onuncu Kalkınma Planı.(2014-2018)).

Alkali aktive ve alkalın bağlayıcıların uygulama alanları; Yapısal betonlar, duvar bloklar, beton kaldırımlar, beton büzler, elektrik direkleri, gaz beton, ısıya dayanıklı beton, petrol kuyuları, tehlikeli ve radyoaktif atıkların stabilizasyonu gerektiren betonlar, sulama sistemleri, dalgakıranlar, prefabrik ve yerinde bina inşaatları, döşemeler, temeller olarak sıralanmıştır (Shi, C.ve arkadaşları(2005)). Yapılan çalışmalarda aktivasyonunda en yaygın olarak kullanılan aktivatörler, sodyum veya potasyum hidroksit (POH, NaOH) ile cam suyu (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) veya potasyum cam suyu karışımıdır. (Baradan, B. ve arkadaşları (2012)). Geopolimerler, uçucu kül, kalsine edilmiş killer ve yüksek fırın cürufu gibi maddelerin, alkali aktivasyonu kullanılarak sentezlenen ve amorf alüminosilikatlerden oluşan son yıllarda kapsamlı olarak araştırılan yenilikçi bağlayıcılarıdır.(Ferone, C. ve arkadaşları (2013), Colangelo, F. ve arkadaşları(2017), Messina, F.ve arkadaşları(2015), Molino, B. ve arkadaşları (2014), Ferone, C. ve arkadaşları.(2015), Raphaeelle, P. ve arkadaşları (2016), Messina, F. ve arkadaşları (2017), Haha, M.B. ve arkadaşları(2011), Haha, M.B. ve arkadaşları (2012), İsmail,I. ve arkadaşları(2014)). Normal Portland çimentolu harçlarla kıyaslandığında, alkalilerle aktive edilmiş harçlar, düşük hidrasyon ısısına, yüksek erken mukavemete sahiptirler. (Sevim, O. ve arkadaşları (2017)). Tüm betonlarda olduğu gibi kür süresi ve sıcaklığı geopolimer betonlar için de önemli bir etkidir.(Chanh,N. V. ve arkadaşları (2008)).

Bu çalışmanın amacı, geopolimerler vasıtası ile çimento üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonunu, enerji tüketimini ve buna bağlı olarak çimento üretimi esnasında çevreye verilen olumsuz etkiyi en aza indirmektir. Bunun yanında perlit gibi ülkemizde ham madde kaynağı çok fazla olan ham perlitin kullanımını endüstriye kazandırmaktır. Ayrıca; özellikle malzeme yataklarına yakın bölgelerde perlit kullanımını artırarak çimentoya alternatif bağlayıcılar ile geopolimer beton üretmektir.

## 2.Materyal Ve Metot

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Perlit

Çalışmada kullanılan ham perlit tozu dakikada 60 devir dönen bilyalı öğütücüde 60 dakika boyunca öğütülmüştür. Ham perlitin öğütülmeden önceki boyutları 0,60 mm ile 1,20 mm arasında olup ham perlit fabrikasından bu şekilde elde edilmiştir. Öğütülmüş perlitin yoğunluğu 1,95 gr/cm<sup>3</sup>tür.Karışımlarda kullanılan perlitin kimyasal özellikleri ve boyutsal özellikleri Tablo 1, Tablo 2 ve Şekil 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Toz Perlitin Kimyasal Özellikleri

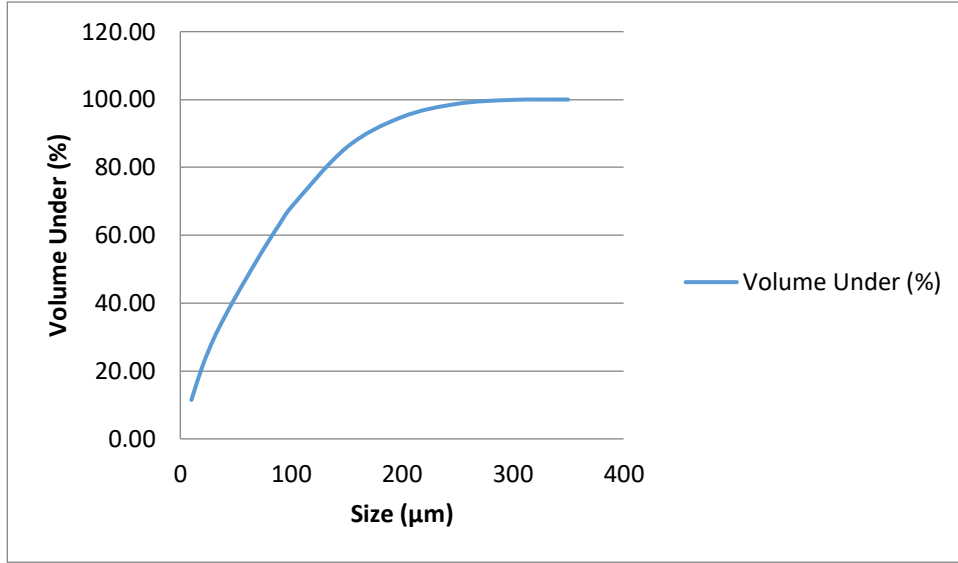
Kimyasal Bileşim	Yüzde (%)
CO <sub>2</sub>	0,03
Na <sub>2</sub> O	3,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,67
SiO <sub>2</sub>	73,86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29
SO <sub>3</sub>	0,11
K <sub>2</sub> O	5,25
CaO	0,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34

**Tablo 2.** Toz Perlitin Mastersize (Parçacık Boyut Analizi) Analizi

Size (µm)	Volume Under (%)
10	11,45
20	21,45
30	29,40
40	35,94

**Tablo 2(Devam).** Toz Perlitin Mastersize (Parçacık Boyut Analizi) Analizi

Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume Under (%)
50	41,91
60	47,58
70	53,14
80	58,47
90	63,52
100	68,24
150	85,86
200	94,84
250	98,74
300	99,90
350	100

**Şekil 1.** Toz Perlitin Mastersize Analizi

### 2.1.2. NaOH

NaOH alkali çözeltisi oluşturmak için kullanılan kimyasaldır. Minimum % 98 NaOH içermektedir.

### 2.1.3. CEN Referans Kumu

Çalışmada kullanılan standart kum Limak Trakya Çimento fabrikasında üretilen TS EN 196-1 standartlarında belirtilen CEN referans kumu olup tane dağılımı Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Referans kumunun tane dağılımı

Kare göz açıklığı (mm)	Yığılımlı kalan (%)
2.00	0
1.60	7 ± 5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

#### 2.1.4. Su

Çalışmada kullanılan su içme suyudur.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Harcın Hazırlanması ve Deney Numunelerinin Hazırlanması

Geopolimer kompozitlerde silis kaynağı olarak ham perlit çimento inceliğine getirilmiş ve bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Agregaya yerine standart kum, aktivatör olarak ise farklı miktarlarda sodyum hidroksit kullanılmıştır. Ayrıca çözeltilerdeki NaOH molariteleri sırası ile 7,7, 11,6 ve 15,5' tir. Oluşturulan geopolimer karışımlar ASTM C109' a göre, 50x50x50 mm boyutlarındaki harç kalıplarına dökülmüştür. Numunelere 24 ve 48 saat 90 °C'de ayrıca 24 ve 48 saat 110 °C'de iki farklı etüv kürü uygulanmıştır. Numunelerde basınç dayanımları incelenerek, dayanım açısından en uygun kür süresi, çözelti molaritesi ve kür sıcaklığı belirlenmiştir. Örneklerin adlandırılması Tablo 4, malzeme miktarları ise Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Örneklerin Adlandırması

GeopolimerKarışım	Açıklama
90-7,7-24	90°C Kür sıcaklığı, 7,7 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 24 Saat Kür Süresi
90-7,7-48	90°C Kür sıcaklığı, 7,7 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 48 Saat Kür Süresi
90-11,6-24	90°CKür sıcaklığı, 11,6 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 24 Saat Kür Süresi
90-11,6-48	90°CKür sıcaklığı, 11,6 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 48 Saat Kür Süresi
90-15,5-24	90°C Kür sıcaklığı, 15,5 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 24 Saat Kür Süresi
90-15,5-48	90°C Kür sıcaklığı, 15,5 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 48 Saat Kür Süresi
110-7,7-24	110°C Kür sıcaklığı, 7,7 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 24 Saat Kür Süresi
110-7,7-48	110°C Kür sıcaklığı, 7,7 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 48 Saat Kür Süresi
110-11,6-24	110°C Kür sıcaklığı, 11,6 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 24 Saat Kür Süresi
110-11,6-48	110°C Kür sıcaklığı, 11,6 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 48 Saat Kür Süresi
110-15,5-24	110°C Kür sıcaklığı, 15,5 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 24 Saat Kür Süresi
110-15,5-48	110°C Kür sıcaklığı, 15,5 Molarite, Su/Bağlayıcı Oranı 0,45 ve 48 Saat Kür Süresi

**Tablo 5.** Malzeme Miktarları

Geopolimer Karışım	Sıcaklık	Kür Süresi		NaOH (Gr)	Bağlayıcı (Gr)	Standart Kum
		(Saat)	Molarite			
90-7,7-24	90	24	7,7	62,62	450	1350
90-7,7-48	90	48	7,7	62,62	450	1350
90-11,6-24	90	24	11,6	93,92	450	1350
90-11,6-48	90	48	11,6	93,92	450	1350
90-15,5-24	90	24	15,5	125,21	450	1350
90-15,5-48	90	48	15,5	125,21	450	1350
110-7,7-24	110	24	7,7	62,62	450	1350
110-7,7-48	110	48	7,7	62,62	450	1350
110-11,6-24	110	24	11,6	93,92	450	1350
110-11,6-48	110	48	11,6	93,92	450	1350
110-15,5-24	110	24	15,5	125,21	450	1350
110-15,5-48	110	48	15,5	125,21	450	1350

Örnekler adlandırılırken ilk verilen rakam kür sıcaklığını, ikinci verilen rakam çözeltideki NaOH molaritesini, üçüncü verilen rakam ise kür süresini ifade etmektedir.

#### 2.2.3. Basınç Dayanım Testi

Basınç dayanım testleri ASTM C109' a göre 50x50x50 mm boyutunda küp numune kalıpları kullanılarak yapılmıştır.

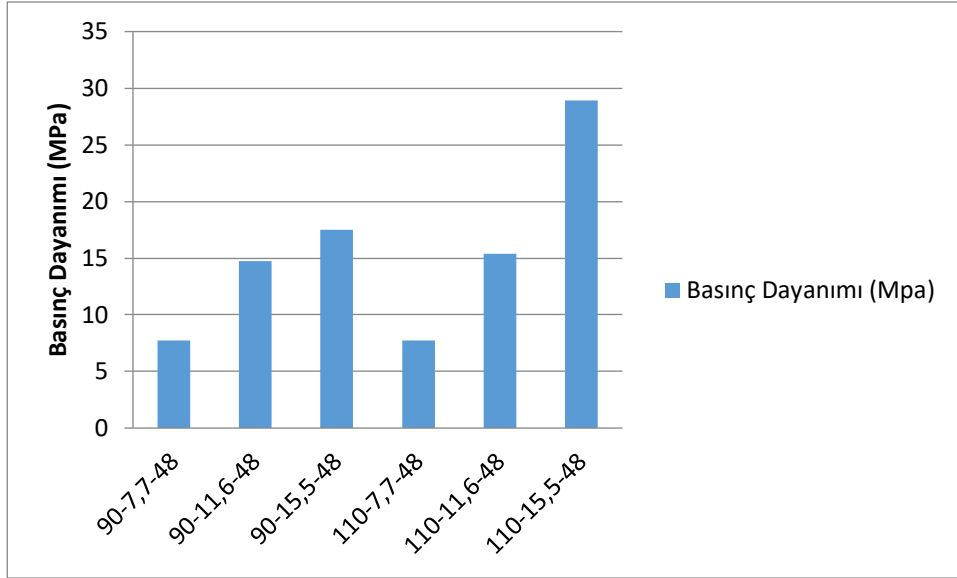
### 3. Bulgular

#### 3.1. Etüvde 48 Saat Bekletilen Örneklerin Basınç Dayanımları

48 saat 90°C ve 110°C sıcaklıkta etüvde bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri Tablo 6 ve Şekil 2' de verilmiştir.

**Tablo 6.** 48 saat etüv küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı karşılaştırması

Numune	Basınç Dayanımı (Mpa)
90-7,7-48	7,71
90-11,6-48	14,71
90-15,5-48	17,53
110-7,7-48	7,74
110-11,6-48	15,37
110-15,5-48	28,95

**Şekil 2.** 48 saat etüv küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı karşılaştırması

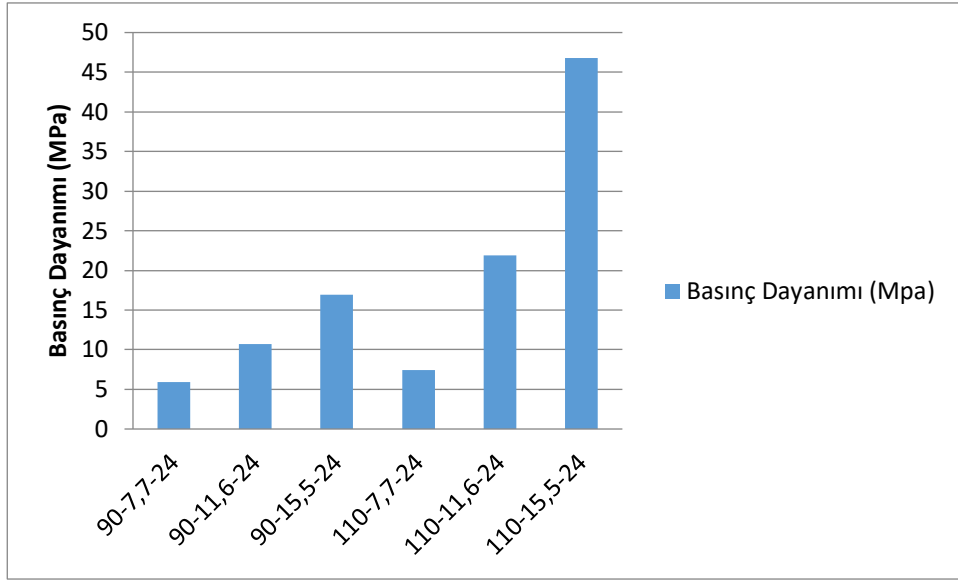
48 saat sonunda 90 °C kür sıcaklığında bekletilen ve çözüldüdeki NaOH molariteleri 7,7, 11,6, ve 15,5 olan numunelerin basınç dayanımları sırası ile; 7,71 MPa, 14,71 MPa ve 17,53 MPa olarak belirlenmiştir. 110 °C kür sıcaklığında bekletilen, numunelerin basınç dayanımları ise sırası ile; 7,74 MPa, 15,37 MPa ve 28,95 MPa olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak en iyi dayanımı 15,5 NaOH molaritesi ve 110°C kür sıcaklığında bekletilen numunelerde elde edilirken, en düşük dayanım ise 7,7 NaOH molaritesi ve 110°C kür sıcaklığında bekletilen numunelerde elde edilmiştir.

### 3.2. 24 Saat Etüvde Bekletilen Örneklerin Basınç Dayanımları

24 saat 90°C ve 110°C sıcaklıkta etüvde bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri Tablo 7 ve Şekil 3' de verilmiştir.

**Tablo 7.** 24 saat etüv küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı karşılaştırması

Numune	Basınç Dayanımı (Mpa)
90-7,7-24	5,9
90-11,6-24	10,74
90-15,5-24	16,94
110-7,7-24	7,44
110-11,6-24	21,86
110-15,5-24	46,76



Şekil 3. 48saat etüv küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı karşılaştırması

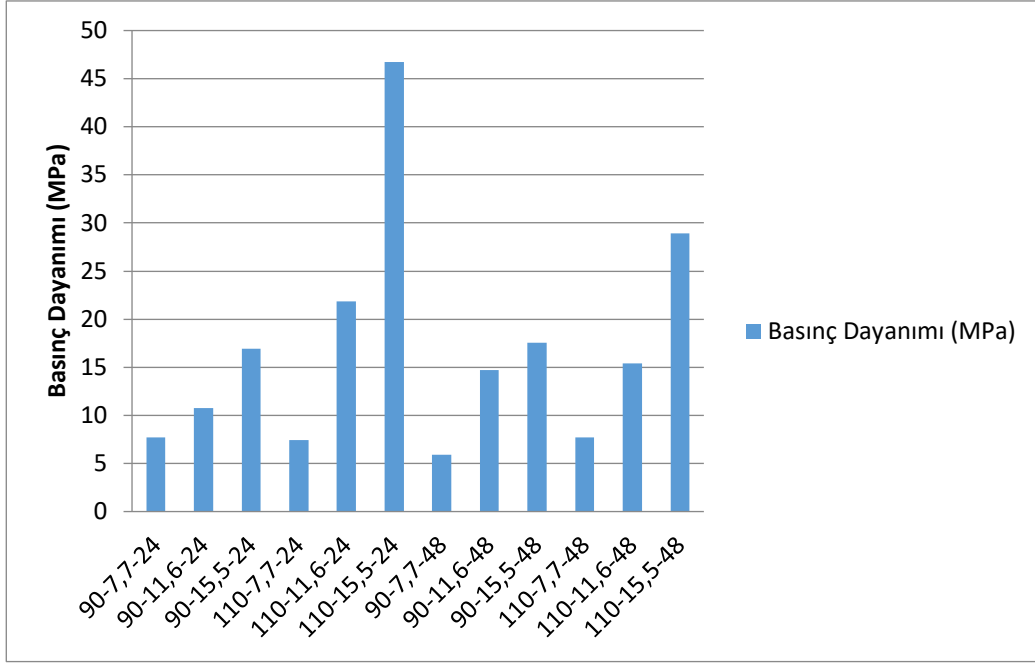
24 saat sonunda 90 °C kür sıcaklığında bekletilen, çözeltideki NaOH molariteleri 7,7, 11,6, ve 15,5 olan numunelerin basınç dayanımları sırası ile; 5,9 MPa, 10,74 MPa ve 16,94 MPa olarak belirlenmiştir. 110 °C kür sıcaklığında bekletilen numunelerin basınç dayanımları ise sırası ile; 7,44MPa, 21,86 MPa ve 46,76MPa olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak en iyi dayanımı 15,5 NaOH molaritesinde ve 110°C kür sıcaklığında bekletilen numunelerde elde edilirken, en düşük dayanım ise 7,7 NaOH molaritesinde 90°C kür sıcaklığında bekletilen numunelerde elde edilmiştir.

### 3.3. 24 ve 48 Saat Etüvde Bekletilen Örneklerin Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

Su / Bağlayıcı oranı 0,45 ve çözeltideki NaOH molariteleri sırası ile 7,7, 11,6, ve 15,5 olan numuneler, 110°C ve 90°C kür sıcaklığında 24 ve 48 saat bekletilmiş olan numunelerin basınç dayanımları Tablo 8 ve Şekil 4' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

**Tablo 8.** 110°C ve 90°C kür sıcaklığı, çözelti molariteleri sırası ile 7,7, 11,6, ve 15,5 Su/Bağlayıcı Oranın 0,45 olan Numunelerin Basınç Dayanımı Karşılaştırması

Geopolimer Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)
90-7,7-24	7,71
90-11,6-24	10,74
90-15,5-24	16,94
110-7,7-24	7,44
110-11,6-24	21,86
110-15,5-24	46,76
90-7,7-48	5,90
90-11,6-48	14,71
90-15,5-48	17,53
110-7,7-48	7,74
110-11,6-48	15,37
110-15,5-48	28,95



**Şekil 4.** 110°C ve 90°C kür sıcaklığı, çözelti molariteleri sırası ile 7,7, 11,6, ve 15,5 Su/Bağlayıcı Oranın 0,45 olan Numunelerin Basınç Dayanımı Karşılaştırması

Bu deneysel çalışmada, 90 °C ve 110 °C'lik kür sıcaklıkları ile birlikte çözeltideki NaOH molariteleri sırası ile 7,7, 11,6, ve 15,5 olan sodyum hidroksit aktivatörü kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0,45 olacak şekilde hazırlanan karışımlar 24 ve 48 saat süreyle kür edilmiştir. En iyi dayanımı veren karışım; 15,5 NaOH molaritesi, 24 saatlik kür süresinde ve 110 °C'de elde edilmiş olup bu değer 46,76 MPa olarak belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma sonucunda; kür sıcaklığının ve NaOH miktarının artırılması ile, basınç dayanımının yükseldiği belirlenmiştir. Daha önce yapılan literatür çalışmalarının da elde edilen sonuçları desteklediği görülmüştür. (Hardjito, D. ve arkadaşları (2004)), düşük kalsiyumlu uçucu kül için, sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltilerinin kombinasyonunun iyi bir aktivatör olduğu ve daha yüksek sodyum hidroksit konsantrasyonları ve kür sıcaklığındaki artışla daha yüksek dayanım elde edilebileceği belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada, geopolimer betonlarda uçucu kül ilave oranının artması ile birlikte örneklerin basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiş, 60 °C'lik kür sıcaklığının uygulandığı % 40 uçucu kül ilaveli beton örneklerinde 30.1 MPa, 90 °C'lik kür uygulanan örneklerde ise yine % 40 uçucu kül ilaveli geopolimer betonlarında 31.4 MPa ile en yüksek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. (Gümüş, A. ve arkadaşları(2016), Bakharev, T. ve arkadaşları(1999)). Kür sıcaklığındaki artış ile erken yaşlardaki dayanımların daha fazla artış gösterdiğini ve ilerleyen yaşlarda reaksiyon süresinin artması ile kür sıcaklığı artışının sonuç dayanımının azalmasına sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Sonuç olarak; En iyi dayanımı veren karışım; 15,5 NaOH molaritesinde, 24 saatlik kür süresi ve 110 °C'de elde edilmiş olup bu değer 46,76 MPa olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda; 90 °C kür sıcaklığında 24 saatlik kür süresindeki numunelerin reaksiyonunun tamamlanmadığı buna bağlı olarak da 48 saat sonunda basınç dayanımının arttığı, 110 °C kür sıcaklığında ise 24 saatlik kür süresindeki numunelerin basınç dayanımının 48 saat sonundaki basınç dayanımlarından yüksek olduğu ve 110 °C'de beklenen numunelerin 24 saatlik kür süresi sonunda oluşan bağlara zarar verdiği ve basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür.

#### Referanslar

Gümüş A. (2016), Geopolimer Beton Özelliklerine Termal Kür Prosesinin Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

ASTM C109/ C109M Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y. B., (1999), Alkali activation of Australian slag cements. *Cement and Concrete Research*, 29, 113–120, doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00170-7

Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S. (2012), Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334, İzmir

Molino, B., Vincenzo, A.D., Ferone, C., Messina, F., Colangelo, F., Cioffi, R., (2015), Recycling of clay sediments for geopolimer binder production. A new perspective for reservoir management in the framework of Italian legislation: the Occhito reservoir case study, *Materials* 7.5603-5616, doi: 10.3390/ma7085603

- Caijun Shi, Della Roy, Pavel Krivenko. (2005). Alkali-Activated Cements and Concretes, (1 st ed.).
- Ferone, C., Colangelo, F., Messina, F., Santoro, L., Cioffi, R., (2013), Recycling of prewashed municipal solid waste incinerator fly ash in the manufacturing of low temperature setting geopolymer materials, *Materials* 6; 3420-3437
- C. Ferone, C., Liguori, B., Capasso, I., Colangelo, F., Cioffi, R., Cappelletto, E., Maggio, R. D. (2015), Thermally treated clay sediments as geopolymer source material, *Appl. Clay Sci.* 107.195-204, doi.org/10.1016/j.clay.2015.01.027
- Colangelo, F., Cioffi, R., Roviello, G., Capasso, I., Caputo, D., Aprea, P., Liguori, B., Ferone, C., (2017), Thermal cycling stability of fly ash based geopolymer mortars, *Compos. Part B* 129 .11-17, doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.06.029
- Messina, F., Ferone, C., Colangelo, F., Cioffi, R., (2015), Low temperature alkaline activation of weathered fly ash: influence of mineral admixtures on early age performance, *Constr. Build. Mater* 86.169-177, doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.069
- Messina, F., Ferone, C., Molino, A., Roviello, G., Colangelo, F., Molino, B., Cioffi, R., (2017), Synergistic recycling of calcined clayey sediments and water potabilization sludge as geopolymer precursors: upscaling from binders to precast paving cement-free bricks, *Constr. Build. Mater.* 133.14-26, doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.039
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J. ve Rangan, B. V. (2004). On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal*, 101 (6), 467-472.
- Ismail, I., Bernal, S. A., Provis, J. L., Nicolas, R. S., Hamdan, S. Deventer, J. S. V., (2014) . Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash, *Cem. Concr. Compos.* 45 ,125-135, doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.006
- Yu, L.-H., Ou, H., Lee, L.-L., (2003), *Cement And Concrete Research*, 33; 73-76
- Haha, M. B., Lothenbach, B., Le Saout, G. L., Winnefeld, F., (2011), Influence of slag chemistry on the hydration of alkali-activated blast-furnace slag Part I: effect of MgO, *Cem. Concr. Res.* 41 (9). 955-963.
- Haha, M. B., Lothenbach, B., Le Saout, G. L., Winnefeld, F., (2012) Influence of slag chemistry on the hydration of alkali-activated blast-furnace slag Part II: effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Cem. Concr. Res.* 42 (1).74-83.
- Chanh, N. V., Trung, B. D., Tuan, D. V., (2008), Recent research geopolymer concrete., in: *The 3rd ACF International Conference-ACF/VCA, Vietnam*, pp. 11-13.
- Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018), Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu
- P. Raphaelle, P., Martin, C., (2016), Formulation and performance of flash metakaolin geopolymer concretes, *Constr. Build. Mater.* 120.150-160.
- Sevim O, Filazi A, Toprak B, Kartal S. (2017). Investigating of Mechanical Properties of Mortars Based on Fly Ash and Blast Furnace Slag Activated with Alkali, *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)* [Vol-4, Issue-2.
- TS EN 196-1, Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini, TSE, (2002).