



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Pomza katkısı varlığında kum-bentonit karışımlarının hacimsel deformasyon ve yüksek sıcaklık altında kayma davranışlarının incelenmesi

## *Investigation of volumetric deformation and shear behavior under high temperature of sand-bentonite mixtures in the presence of pumice additive*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Esra GÜNERİ<sup>1</sup>, Yeliz YÜKSELEN AKSOY<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0002-1840-2118

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0002-9145-765X

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Güneri E., Yükselen Aksoy Y., “Pomza katkısı varlığında kum-bentonit karışımlarının hacimsel deformasyon ve yüksek sıcaklık altında kayma davranışlarının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(1): 57-62, (2021).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.626943

# Pomza Katkısı Varlığında Kum-Bentonit Karışımlarının Hacimsel Deformasyon ve Yüksek Sıcaklık Altında Kayma Davranışlarının İncelenmesi

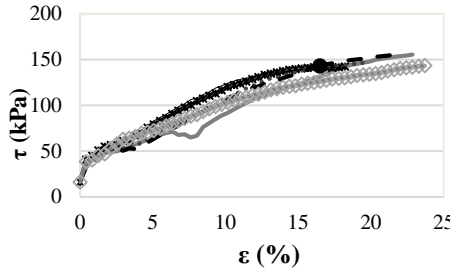
## Investigation of Volumetric Deformation and Shear Behavior Under High Temperature of Sand-Bentonite Mixtures in The Presence of Pumice Additive

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Bu çalışmada bentonit-kum karışımlarının, pomza varlığında mühendislik özellikleri incelenmiştir./ In this study engineering properties of bentonite-sand mixtures were investigated in the presence of pumice.
- ❖ Direk kesme deneyleri oda sıcaklığı ve 80 °C olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir./ Direct shear tests were conducted at room temperature and 80 °C.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, pomza varlığında, bentonit-kum karışımlarının kompaksiyon ve konsolidasyon davranışları, ayrıca oda sıcaklığı ve 80 °C altında kayma davranışı incelenmiştir.



Şekil. Pomza katkılı kum-bentonit karışımlarının  $\tau$ -  $\epsilon$  ilişkisi/ Figure. The pumice added sand-bentonite mixtures  $\tau$ -  $\epsilon$  relationship

### Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı pomza katkısının yüksek sıcaklık varlığında bentonit-kum karışımlarının kayma mukavemetine etkisinin incelenmesidir./ The aim of this study is to determine the effect of pumice on the shear strength behavior of bentonite-sand mixtures under high temperatures.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Konsolidasyon deneyleri ASTM D2435 (2011) standardına göre yapılmıştır. Direk kesme oda sıcaklığı ve 80 °C olmak üzere iki farklı koşulda gerçekleştirilmiştir./ Consolidation tests were performed according to the ASTM D2435(2011) standard. Direct shear tests were carried out under two different conditions: RT and 80 °C.

### Özgünlük (Originality)

Kum-bentonit karışımlarına pomza katkısı ilave edilmesi literatür açısından bir yeniliktir. / The addition of pumice additives to sand-bentonite mixtures is novel in the literature.

### Bulgular (Findings)

Pomza katkısı, toplam deformasyonu arttırmasına rağmen, içsel sürtünme açısını yüksek sıcaklıkta arttırmıştır./ Although pumice additive increased the total deformation, it increased the internal friction angle at 80 °C.

### Sonuç (Conclusion)

Pomza içeriği arttıkça düşey deformasyon değerleri artmıştır ve 80 °C'de kum-bentonit karışımlarına ilavesi içsel sürtünme açısını arttırmıştır./ As the pumice content increased, the vertical deformation values increased and its addition to sand-bentonite mixtures at 80 C increased the internal friction angle.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Pomza Katkısı Varlığında Kum-Bentonit Karışımlarının Hacimsel Deformasyon ve Yüksek Sıcaklık Altında Kayma Davranışlarının İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Esra GÜNERİ\*, Yeliz YÜKSELEN AKSOY**

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 30.09.2019 ; Kabul/Accepted : 11.02.2020)

## ÖZ

Zeminlerin ısı varlığında davranışları üzerine yapılan çalışmalar, son yıllarda enerji yapılarının sayısı ve türündeki artış nedeniyle önem kazanmıştır. Enerji yapılarının etrafındaki zeminler, sıcaklık artışlarına karşı tasarım aşamasındaki mühendislik özelliklerini koruyabilmelidir. Pomza, endüstride malzemelerin termal etkilere karşı dayanımını artırmak için kullanılan bir malzemedir. Bu nedenle pomzanın kum-bentonit karışımlarına eklenmesi bu karışımların termal etkiler altında dayanımının artmasını sağlayabilir. Bu çalışmada bentonit-kum karışımlarına %10 ve %20 oranlarında pomza katkısı eklenmiş, kompaksiyon ve konsolidasyon davranışları incelenmiştir. Ayrıca %10 bentonit-kum karışımlarının oda sıcaklığı ve 80°C altında %10 ve %20 pomza katkısı varlığında kayma davranışı incelenmiştir. Konsolidasyon deneylerinin sonuçlarına göre, karışımda pomza içeriği arttıkça toplam düşey deformasyonun arttığı görülmüştür. Yapılan direk kesme deney sonuçlarına göre oda sıcaklığı ve 80°C altında pomza katkısının, %10 bentonit-kum karışımlarının içsel sürtünme açısını arttırdığı görülmüştür. Özellikle yüksek sıcaklık (80°C) altında katkısız numunenin içsel sürtünme açısı, %20 pomza katkısı eklendiğinde artış göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bentonit-kum karışımları, kayma dayanımı, pomza, sıcaklık etkisi, konsolidasyon.

## Investigation of Volumetric Deformation and Shear Behavior Under High Temperature of Sand-Bentonite Mixtures in the Presence of Pumice Additive

### ABSTRACT

The number of studies on the thermal behavior of soils have increased because of increase in number and type of energy structures in last decades. The soils around energy structures must retain without any changes at their engineering properties against temperature changes or thermal cycles. Pumice is used for increasing strength of materials against high temperature. It is expected that when the pumice is added to the soil, it may increase the strength of the sand-bentonite mixtures under high temperatures. For that reason, 10% and 20% pumice were added to sand-bentonite mixtures and compaction, consolidation behaviors at room temperature were investigated. In addition, the shear strength behavior of 10% bentonite-sand mixtures in the presence of 10% and 20% pumice additive under room temperature and 80°C was investigated. According to the results of the consolidation tests, the total vertical strain increased as the pumice content in the mixture increased. According to the results of direct shear test, it was observed that pumice additive under room temperature and 80°C increased the internal friction angle of 10% bentonite-sand mixtures. Especially under high temperature (80°C), the internal friction angle of the sample increased when 20% pumice additive was added.

**Keywords:** Bentonite-sand mixtures, shear strength, pumice, temperature effect, compaction.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zeminlerde bazı enerji yapıları sebebi ile örneğin; jeotermal tesisler, ısı kazıkları, nükleer atık depo sahaları, vb. ısısal değişimler (yüksek ısı ve ısısal döngüler) meydana gelmektedir. Son yıllarda enerji kazıkları, jeotermal enerji tesisleri ve nükleer atık depo sahaları sayısında oluşan artış nedeniyle bu enerji yapılarını çevreleyen zeminlerin yüksek sıcaklık ve sıcaklık döngüleri altındaki davranışları önem kazanmıştır.

Bentonit veya bentonit-kum karışımları geçirimsiz bariyer uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Karışımdaki bentonit oranının, göz ardı edilemeyecek ölçüde bariyer davranışını etkilediği vurgulanmıştır [1]. Nükleer atık depo sahalarında tampon (buffer) olarak kullanılan bentonit veya bentonit-kum karışımlarının yüksek sıcaklık altında hidrolik iletkenlik ve şişme potansiyeli vb. özelliklerini dizayn aşamasında öngörülen değerlerde muhafaza etmesi gerekmektedir.

Zeminlerin mühendislik davranışları termal koşullara bağlı olarak değişmektedir. Killi zeminlerin sıcaklığa maruz kalmasının bir sonucu olarak, mevcut kil

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : esra\_cetinorgu@hotmail.com

bileşenleri genişler ve kil tabakaları arasındaki mesafelerde artışa neden olur [2; 3; 4] ve ayrıca boşluk hacmi sıcaklık etkisi ile artar [5]. Daha önce yapılan çalışmalar, suya doygun ince daneli zeminlerin sıcaklığının suyun kaynama noktasından daha düşük bir seviyeye yükseltilmesinin, hidrolik iletkenliği, konsolidasyon (sıkışma) ve kayma dayanımını etkilediğini göstermiştir [6]. Termal etkilerin kayma mukavemeti ve göçme davranışı üzerindeki etkileri hacim değişikliğine bağlanabilir [7]. Kayma dayanımı konusunda yapılan önceki çalışmalar, üç eksenli basınç deneyinde yüksek sıcaklıklarda numunelerin daha yüksek pik deviator gerilmeye ulaştıklarını göstermiştir. Ayrıca yüksek deformasyonlarda, zeminin deviator gerilme değeri sıcaklıktan bağımsızdır. Normal konsolide killerin kayma dayanımı, zeminin sıcaklığının artmasıyla artar. Önceki çalışmalar, kayma dayanımı zarfının eğiminin sıcaklıktan bağımsız olduğunu göstermiştir [8].

Pomza, volkanik püskürmeler sırasında oluşan volkanik bir kayadır [9]. Yapısında Si, Al, K, Na ve Fe oksitleri bulunur ve az miktarda Ca, Mg, Mn ve Ti oksitleri içerir [10]. Volkanik faaliyetlerin sonucu olarak ortaya çıkan pomza, inşaat, tekstil, tarım, kimya, endüstri, filtrasyon ve tuğla-seramik üretimi gibi birçok uygulamada kullanılan bir hammadDEDİR. Pomza oldukça gözenekli bir malzemedir ve genellikle bu gözenekler arasında bağlantı yoktur. Bu nedenle, düşük geçirgenliğe sahip bir malzemedir. Özgül ağırlık değeri 2.5'dir, gözenekliliği %45 ile %70 arasındadır. Pomzanın pH değeri yaklaşık 7.0, ortalama ergime sıcaklığı 1343 °C'dir [11]. Pomza 760°C'nin altında hacim değişikliğine uğramaz. Doğada asidik ve bazik olmak üzere iki şekilde bulunur. Asitli pomza beyaz veya kirli beyaz renktedir, bazik pomza kahverengi veya siyah renktedir. Asidik pomzanın yoğunluğu, bazik pomzadan daha düşüktür.

Pomza, ısı yalıtımında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Pomzanın kimyasal yapısındaki alüminyum oksitinin, ısı karşısında dayanım sağladığı bilinmektedir [12]. Pomza daneleri, tek başına çok dayanıklı olmasa da, duvar imalatı vb. imalatlarda durabilitesi yüksek bir malzemedir [13]. Pomzanın ısı etkiler karşısında bu yapısal özelliklere sahip olması, ısıya dayanıklı zemin malzemesinde katkı malzemesi olarak kullanılması öngörüsünü desteklemektedir.

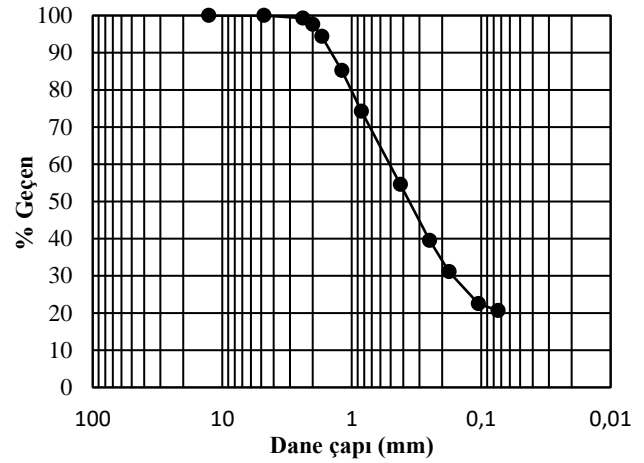
Katı atık depolama ve nükleer atık alanlarında geçirimsiz bariyer olarak bentonit-kum karışımları kullanılmaktadır. Bunun sebebi, bentonitin düşük hidrolik iletkenliğe ve yüksek su tutma kapasitesine sahip bir malzeme olmasıdır. Bentonit şişme potansiyeli yüksek bir kildir ve kurduğunda büzülür. Bu nedenle, nükleer ve katı atık depolama alanlarında kum ile karıştırılarak kullanılır. Bentonit-kum karışımlarının sıcaklık artışına karşı mühendislik özelliklerini iyileştirmek için yüksek sıcaklığa dayanıklı bir malzeme olan pomza kullanılabilir. Bu nedenle, bu çalışmada %10 ve %20 pomza katkısı varlığında bentonit-kum karışımlarının kompaksiyon ve konsolidasyon davranışları incelenmiştir. Ayrıca bentonit-kum karışımlarının pomza

katkısı varlığında kayma dayanımı davranışları oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık altında yapılan deneylerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Böylece pomza katkısının yüksek sıcaklık varlığında bentonit-kum karışımlarına mukavemet kazandırıp-kazandırmayacağı deneylerle belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Malzeme Karakterizasyonu (Material Characterization)

Deneylerde kullanılan kum-bentonit karışımlarındaki sodyum-bentonit numunesi Eczacıbaşı Esan Madencilik Şirketinden temin edilmiştir. Pomza numunesi, Pomza Export Madencilik Şirketinden sağlanmıştır. Elek analizi sonuçlarına göre kullanılan kumun % 20.7'si No.200 elek altına geçmektedir (Şekil 1). Elek analizi ASTM D6913 (2017) [14]'e göre yapılmıştır. Kum numunesi deneylerde No.6 elekten elenerek kullanılmıştır. Bentonit ve pomza numuneleri ise, No.40 elekten elenmiştir. Kum ve bentonit numuneleri 24 saat boyunca 105°C'de etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır.



Şekil 1. Kumun dane büyüklüğü dağılım eğrisi (Grain size distribution curve of sand)

Karışım isimlerinin kısaltılmış halleri için bentonit için "B", kum için "S" ve pomza için "PU" kısaltmaları kullanılmıştır. Örneğin; 8B-72S-20PU numunesinin içeriğinde %20 pomza, %8 bentonit ve %72 kum bulunmaktadır. Deneylerde %10 bentonit-kum ve %20 bentonit-kum karışımları sırasıyla 10B-90S ve 20B-80S olarak adlandırılmıştır. Pomza, kum-bentonit karışımlarına kurutulmadan ilave edilmiştir. Ancak, pomzanın başlangıç su içeriği her deneyin başında belirlenmiş ve hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Pomzanın doğal su içeriği değeri deneyler boyunca %2-5 arasında değişmiştir. Pomza numunesinin ASTM D698 (2012) [15] standardına uygun olarak yapılan Standart Proctor deneyi ile kuru birim hacim ağırlık değeri 12.98 kN/m<sup>3</sup> ve optimum su içeriği %30 olarak belirlenmiştir. Pomzanın özgül ağırlık değeri 2.50'dir. Deneylerde

kullanılan malzemelerin fiziko-kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Malzemelerin fiziko-kimyasal özellikleri (Physico-chemical properties of materials)

Özellik	Numune		
	Bentonit	Kum	Pomza
Özgül ağırlık	2.70	2.63	2.50
Likit limit (%)	476.0	-	37.1
Plastik limit (%)	70.10	-	NP

## 2.2. Deneysel Yöntemler (Experimental Methods)

Kuru ağırlıkça %10 ve %20 oranında pomza, %10 ve %20 kum-bentonit karışımlarına eklenmiştir. Bu karışımlarda ağırlıkça toplam karışım miktarının %10 ve %20'si pomza miktarı olarak hesaplanmıştır. Karışımın kalan miktarı %10 bentonit-kum ve %20 bentonit-kum miktarı olarak hazırlanmıştır. Dört farklı su içeriğinde numuneler hazırlanmıştır ve karışım homojen olarak karıştırılmıştır. Su içeriğinin homojenliğini sağlamak için numuneler 24 saat kapalı bir kapta tutulmuştur.

Konsolidasyon deneyinde kullanılan numuneler, Standart Proctor testlerinden elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde ve optimum su içeriğinin %2 ıslak tarafında hazırlanmıştır. Numunelerin ıslak tarafta hazırlanması, kompaksiyon sırasında daha az enerji ile maksimum sıkıştırma sağlamaktadır. Bu durum aynı zamanda malzemenin geçirgenliğinin azalmasını sağlayarak kullanılacak tampon zemin karışımının işlevini gerçekleştirmesine katkı sağlamaktadır. Konsolidasyon deneyleri ASTM D2435 (2011) [16] standardına göre yapılmıştır. Konsolidasyon örnekleri ahşap tokmaklarla sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra 6.86 kPa basınç altında suya batık halde 24 saat bekletilmiştir. Yük artış oranı 1.0 olacak şekilde yüklemeler arttırılmıştır (24.5 kPa, 49 kPa, 98 kPa, 196 kPa, 392 kPa ve 784 kPa). Deformasyon artışlarında önemli bir değişiklik olmadığında, bir sonraki yüklemeye geçilmiştir. Deneyin yükleme aşamasının tamamlanmasından sonra boşaltma aşaması başlatılmıştır. Boşaltma 784 kPa gerilme değerinden 196 kPa değerine ve 196 kPa seviyesinden 49 kPa değerine düşürülecek şekilde iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Direk kesme deneyleri ASTM 3080 (2018) [17]'e göre yapılmıştır. Hazırlanan karışımlar, 3 tabaka halinde sıkıştırılarak 6cm×6cm boyutlarındaki metal kalıba yerleştirilmiştir. Kalıplar 24 saat boyunca su dolu bir kap içinde, numunelerin şişmesini önlemek amacıyla üzerine ağırlık konularak bekletilmiştir. Daha sonra numuneler kesme kutusuna içerisine yerleştirilmiş ve hücre su ile

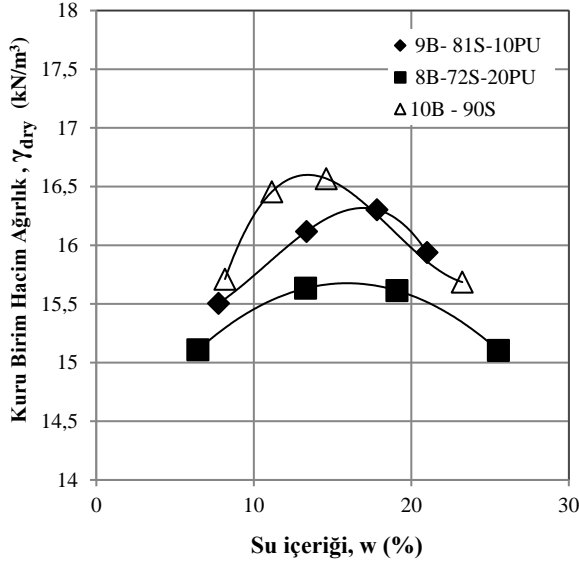
doldurulmuştur. Direk kesme deneyleri üç farklı normal gerilme (49, 98, 196 kPa) altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde numuneler 0.5 mm/dk kesme hızı ile kesilmiştir. Direk kesme deneyleri oda sıcaklığı ve 80°C olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sıcaklık artışı, kesme kutusu içine uygun özel olarak tasarlanmış ısı çubuğu ile sağlanmıştır. Isı çubuğu kesme kutusu içerisine yerleştirilerek hücre suyunun ısınması ve dolayısıyla zeminin ısınması sağlanmıştır. Termostat aracılığı ile hücre içerisinde suyun sıcaklığının 80°C'de kalması sağlanmıştır. Suyun ve zeminin sıcaklığı ayrı ayrı iki adet termokupl ve bir dijital termometre vasıtasıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Zeminin sıcaklığı, direk kesme deney hücresi içerisinden geçirilerek zemine doğrudan temas eden K-tipi termokupl yardımı ile ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü için birçok yöntem vardır. Ancak en çok kullanılan sensörlerden birisi termokupldur. Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanmasından oluşan, sıcaklık ölçmeye yarayan bir alettir. Tek noktada kaynakla birleştirilen iki metal arasında oluşan sıcaklık farkından dolayı gerilim oluşur ve bu gerilim voltaj ile mV seviyesinde ölçülür.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH FINDINGS)

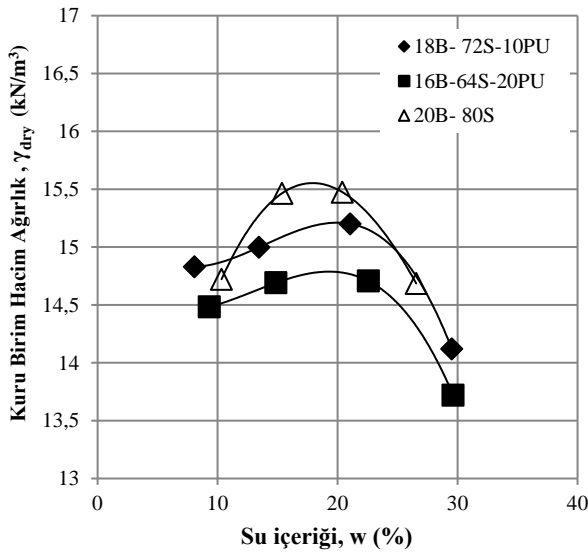
Bu çalışmada, %10 ve %20 pomza varlığında %10 ve %20 bentonit-kum karışımlarının kompaksiyon ve konsolidasyon davranışları, ayrıca %10 bentonit-kum karışımlarının oda sıcaklığı ve 80°C altında kayma davranışı incelenmiştir.

### 3.1. Pomza Katkısının Kompaksiyon (Sıkıştırılabilirlik) Üzerindeki Etkisi (Effect of Pumice Additive on the Compaction Parameters)

10B-90S ve 20B-80S karışımlarının kompaksiyon eğrileri, sırasıyla Şekil 2 ve 3' de verilmiştir. Şekil 2'den görülebileceği gibi, 10B-90S karışımının maksimum kuru birim hacim ağırlığı 16.6 kN/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. %10 ve %20 oranında pomza katkısı eklendiğinde bu değer sırasıyla 16.3 kN/m<sup>3</sup> ve 15.6 kN/m<sup>3</sup> değerine azalmıştır. Pomzanın maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerini azalttığı ancak optimum su içeriği değerlerini önemli ölçüde etkilemediği gözlenmiştir. Pomzanın maksimum kuru birim hacim ağırlığa olan etkisi, 10B-90S ve 20B-80S karışımları için benzerdir. Pomzanın birim hacim ağırlık değerinin (12.98 kN/m<sup>3</sup>), kullanılan kum ve bentonitin birim hacim ağırlık değerlerine göre daha düşük olduğu için karışımın birim hacim ağırlığının azalması beklenen bir durumdur.



Şekil 2. Pomza ilavesinin %10 bentonit-kum karışımlarının kompaksiyon davranışına etkisi (The effect of pumice addition on the compaction behavior of 10% bentonite-sand mixtures)



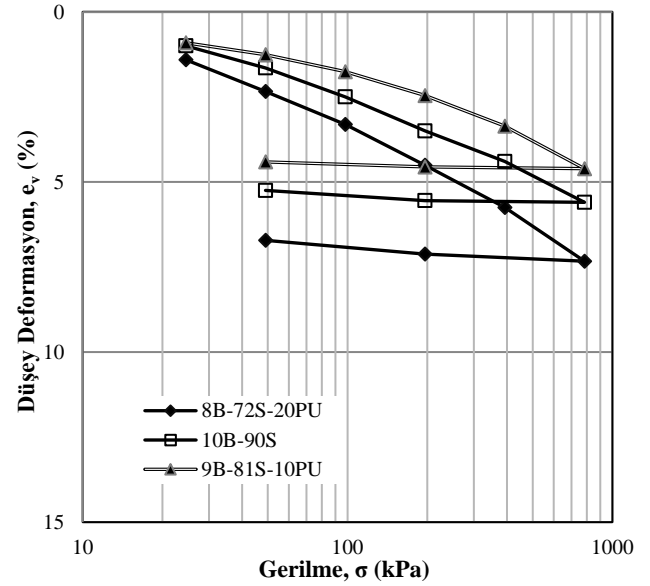
Şekil 3. Pomza ilavesinin %20 bentonit-kum karışımlarının kompaksiyon davranışına etkisi (The effect of pumice addition on the compaction behavior of 20% bentonite-sand mixtures)

### 3.2. Pomza Katkısının Konsolidasyon (Sıkışma) Davranışı Üzerindeki Etkileri (Effects of Pumice Additive on the Consolidation Behavior)

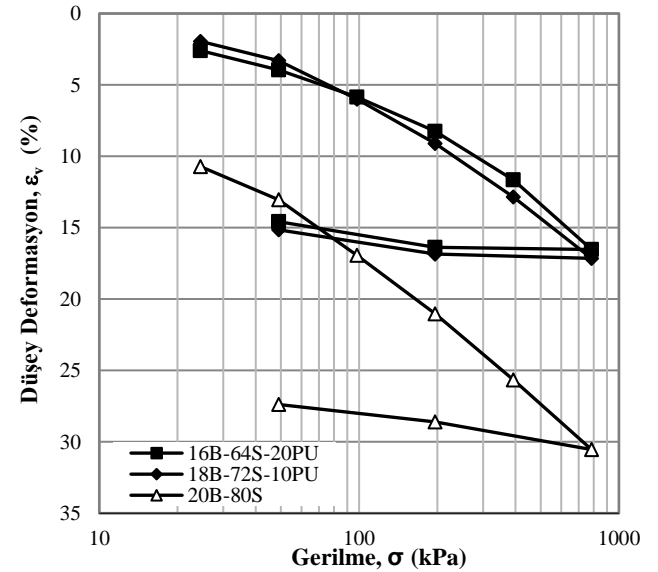
10B-90S ve 20B-80S karışımlarının konsolidasyon davranışı %10 ve %20 pomza katkısı varlığında belirlenmiştir. Şekil 4'te 10B-90S karışımlarının gerilme-deformasyon ilişkisi gösterilmektedir. Şekil 4'den görüleceği gibi, %10 pomza varlığında 10B-90S karışımının düşey deformasyon değeri %3.4' tür ve %20 pomza varlığında bu değer %5.9'a yükselmiştir. Pomza içeriği arttıkça, karışımların toplam düşey deformasyon değerleri artmıştır. 20B-80S karışımı için, pomza yüzdesi

%10'dan %20'ye yükseldiğinde deformasyon miktarında önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir (Şekil 5).

Şişme davranışı incelendiğinde, %10 pomza varlığında 10B-90S karışımı için şişme miktarı %0.2' dir ve %20 pomza varlığında bu değer %0.6' ya yükselmiştir. %10 pomza varlığında 20B-80S karışımı için şişme miktarı % 2.0' dir ve %20 pomza varlığında bu değer %1.95 olarak azalış göstermiştir. Karışım içerisinde pomza yüzdesi arttıkça 20B-80S karışımı için şişme miktarında önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür.



Şekil 4. 10B-90S karışımlarının pomza katkısı ile sıkışma eğrileri (Compression curves of the 10B-90S mixtures with pumice additive)



Şekil 5. 20B-80S karışımlarının pomza katkısı ile sıkışma eğrileri (Compression curves of the 20B-80S mixtures with pumice additive)

Çizelge 2’de karışımlara ait hacimsel sıkışma katsayıları ( $m_v$ ) ve sıkışma indeksleri ( $C_c$ ) verilmiştir. 10B-90S karışımında %10 pomza katkısı hacimsel sıkışma katsayısı değerini (98 kPa gerilme seviyesinde) düşürürken, %20 pomza katkısı ile bu değer artmıştır. 20B-80S karışımında ise %10 ve %20 pomza katkısının her ikisi de hacimsel sıkışma katsayısını azaltmıştır. Bu durum 20B-80S karışımlarında pomza katkısı ile sıkışma miktarının azaldığını göstermektedir. Ayrıca karışımların bentonit miktarı %10’dan %20’ye yükseldikçe sıkışma indeksleri artmış dolayısıyla sıkışma miktarları da artmıştır.

**Çizelge 2.** Karışımlara ait hacimsel sıkışma katsayıları ( $m_v$ ) ve sıkışma indeksleri ( $C_c$ ) (Coefficient of volume compressibility ( $m_v$ ) and compression index ( $C_c$ ) of the mixtures)

Karışım	$m_v$ (cm <sup>2</sup> /kg)*	$C_c$
10B- 90S	0.009	0.056
9B-81S-10PU	0.006	0.056
8B-72S-20PU	0.010	0.080
20B- 80S	0.046	0.226
18B-72S-10PU	0.028	0.236
16B-64S-20PU	0.020	0.252

\* 98 kPa gerilme seviyesinde

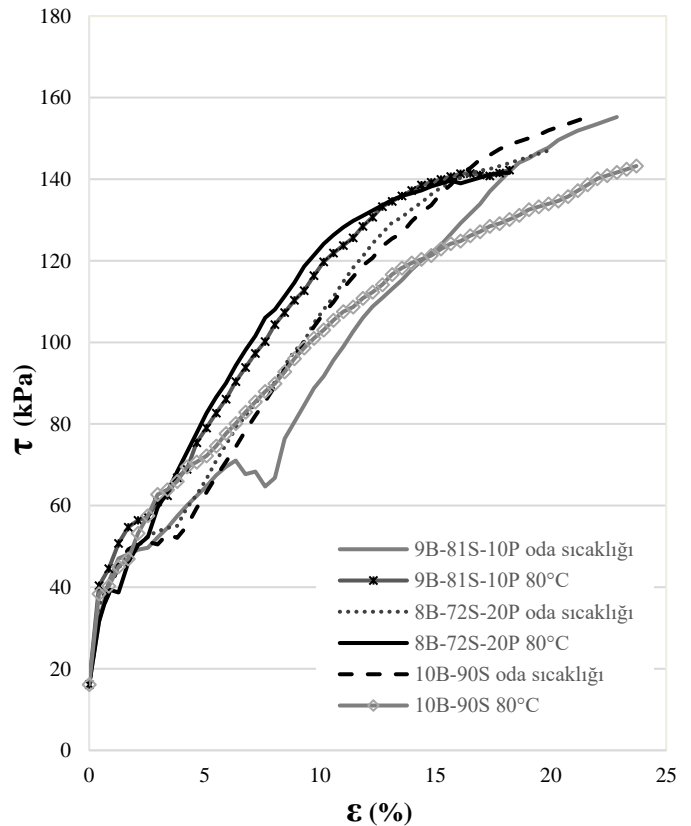
### 3.3. Pomza Katkısının Oda Sıcaklığı ve Yüksek Sıcaklık Altında Kayma Dayanımı Davranışına Etkileri (Effects of Pumice Additive on the Shear Strength Behavior Under Room and High Temperatures)

Bu çalışmada %10 bentonit-kum karışımlarının %10 pomza katkısı varlığında oda sıcaklığı ve 80°C altında direk kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3’de görüleceği üzere, %10 bentonit-kum karışımının oda sıcaklığında %10 pomza katkısı ile içsel sürtünme açısı 33.1°’den 32.4°’e düşmesine rağmen %20 pomza katkısı ile 36.7° değerine yükselmiştir. 80°C altında pomza katkısız bentonit-kum karışımının içsel sürtünme açısı 32.2° iken, %10 pomza katkısı ile bu değer 33.8° ve %20 pomza katkısı ile 35.1° değerine yükselmiştir. Diğer yandan oda sıcaklığında kohezyon değeri %10 bentonit-kum karışımı için 66.5 kPa iken, %10 pomza katkısı ile 75.8 kPa değerine yükselmiş ancak %20 pomza katkısı ile 51.9 kPa değerine düşmüştür. Yüksek sıcaklık altında gerçekleştirilen deneylerde de kohezyon değeri bu duruma benzer bir davranış göstermiştir. Şekil 6’da görüleceği gibi, maksimum kayma gerilmesi en büyük değerini oda sıcaklığında 10B-90S ve 9B-81S-10PU karışımı için almıştır. Oda sıcaklığı ve 80°C altında gerçekleştirilen deneylerde %10 bentonit-kum karışımına ilave edilen %10 pomza katkısı karışımın kayma gerilmesi değerini değiştirmemiştir. Bununla birlikte, %20 pomza katkısı ilavesi ile maksimum kayma

gerilmesi değeri oda sıcaklığı için bir miktar azalırken, 80°C altında değişiklik göstermemiştir.

**Çizelge 3.** Karışımlara ait içsel sürtünme açıları ( $\phi$ ), kohezyon ( $c$ ) ve  $\tau_{max}$  değerleri (Internal friction angles ( $\phi$ ), cohesion ( $c$ ) and  $\tau_{max}$  values of the mixtures)

Karışım	Oda Sıcaklığı		80°C altında	
	$\phi$ (°)	$c$ (kPa)	$\phi$ (°)	$c$ (kPa)
10B- 90S	33.1	66.5	32.2	54.5
9B-81S-10PU	32.4	75.8	33.8	59.6
8B-72S-20PU	36.7	51.9	35.1	50.7
	$\tau_{max}$ (kPa)		$\tau_{max}$ (kPa)	
10B- 90S	155.26		143.24	
9B-81S-10PU	155.24		142.25	
8B-72S-20PU	146.25		141.56	



**Şekil 6.** Pomza katkılı kum-bentonit karışımlarının  $\tau$ -  $\epsilon$  ilişkisi (The pumice added sand-bentonite mixtures  $\tau$ -  $\epsilon$  relationship)

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, %10 ve %20 bentonit-kum karışımlarının kompaksiyon ve konsolidasyon davranışları, %10 ve %20 pomza varlığında incelenmiştir. Ayrıca bentonit-kum karışımlarının yüksek sıcaklık altında kayma dayanımı davranışları belirlenerek oda sıcaklığındaki davranışla karşılaştırması yapılmıştır. Genellikle, pomza varlığında karışımların maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığı ancak su içeriğinde önemli ölçüde bir değişimin olmadığı gözlenmiştir. Konsolidasyon deney sonuçlarına göre, karışımda pomza içeriği arttıkça, toplam düşey deformasyonun her iki karışım için de arttığı belirlenmiştir. Yapılan direk kesme deney sonuçlarına göre, yüksek sıcaklık altında pomza katkısının içsel sürtünme açısını arttırdığı görülmüştür. Kohezyon değeri yüksek sıcaklık altında ve oda sıcaklığında benzer davranış göstererek %10 pomza katkısı ile artıp, %20 pomza katkısı ile azalmıştır. Pomza katkısı, karışımların kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azalmasına ve toplam deformasyon miktarlarının arttırmasına rağmen, kayma dayanımı parametresi olan içsel sürtünme açısını yüksek sıcaklık altında arttırmıştır.

Bu çalışmada, pomza katkısının yüksek sıcaklık altında (80°C) kum-bentonit karışımlarının içsel sürtünme açısını arttırdığı belirlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) (Proje no: 217M553) tarafından desteklenmektedir. Yazarlar bu destek için minnettardır.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Çabalar A.F., Demir S., Akbulut N., “Kil-kum karışımlarının bazı geoteknik özellikleri”, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(2): 871-879, (2018).
- [2] Laloui L., Cekerevac C. & Vulliet L., “Thermo-mechanical modelling of the behaviour of MC clay”, *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics*, ed. C. S. Desai, I: 829-835, (2001).
- [3] Fleureau J, M., “Influence d’un champ thermique ou électrique sur les phénomènes d’interaction solide-liquide dans les milieux poreux”, *Doctoral thesis*, Ecole Centrale de Paris, (1979).
- [4] Robinet, J.C., Rahbaou, A., Plas, F. & Lebon, P., “A Constitutive Thermomechanical model for saturated clays”, *Engineering Geology*, 41(1-4):145-169, (1996).
- [5] Kakali, G., Perraki, T., Tsivilis, S., Badogiannis, E., “Thermal treatment of kaolin: the effect of mineralogy on the pozzolanic activity”, *Appl Clay Sci.*,20(73–80): (2001).
- [6] Laloui, L., “Thermo-mechanical behavior of soils”, *Revue Française de Genie Civil.*,5(6), 809-843, (2001).
- [7] Abuel-Naga, H. M., Bergado, D. T., & Lim, B. F., “Effect of temperature on shear strength and yielding behavior of soft Bangkok clay”, *Soils and Foundations*, 47(3), 423–436, (2007).
- [8] Abuel-Naga, H. M., Bergado, D. T., Ramana, G. V., Grino, L., Rujivipat, P., & Thet, Y. “Experimental evaluation of engineering behavior of soft Bangkok clay under elevated temperature”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(7), 902–910, (2006).
- [9] Witham, A.G. and Sparks, R.S.J., “Pumice”, *Bulletin of Volcanology*, 48, 209-223, (1986).
- [10] Liguori, V., Sciorta, R., and Ruisi, V., “The pumice aggregates of Lipari Island (Aeolian Isles-Italy)”, *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 30, 431–434, (1984).
- [11] Chang, L.L.Y., “Industrial mineralogy, minerals, processes and uses”, *Prentice-Hall*, Inc., New Jersey, (2002).
- [12] Depci T, Kul AR, Onal Y, “Adsorption of crystal violet from aqueous solution on activated carbon derived from Gölbashi lignite”, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, (2012).
- [13] Kul AR, Benek V, Selçuk A, Onursal N “Using natural stone pumice in van region on adsorption of some textile dyes ”, *Journal of the Turkish Chemical Society*, Section A: Chemistry , (2017).
- [14] ASTM D 6913, “Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis”, (2017).
- [15] ASTM D 698, “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort ”, (2012).
- [16] ASTM D 2435, “ Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading ”, (2011).
- [17] ASTM D 3080, “ Standard Test Methods for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions ”, (2018).