



Pomza, Perlit ve Cam Elyaf Katkılarının Yüksek Sıcaklık Altında Kum-Kaolin Karışımlarının Kayma Dayanımı Davranışına Etkisi

The Effect of Pumice, Perlite and Fiber Glass Additives on the Shear Strength Behavior of Sand-Kaolin Mixtures Under High Temperature

İsa Çirkin^{1*}, **Yeliz Yükselen Aksoy²**

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: isacirkin@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 14.09.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 15.01.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247128

Atıf şekli/How to cite: ÇIRKIN, İ., YÜKSELEN AKSOY, Y. (2022). Pomza, Perlit ve Cam Elyaf Katkılarının Yüksek Sıcaklık Altında Kum-Kaolin Karışımlarının Kayma Dayanımı Davranışına Etkisi. DEUFMD, 24(71), 657-663.

Öz

Günümüzde sayısı ve çeşitliliği artan enerji yapıları ile birlikte, bu yapıları çevreleyen zeminlerin yüksek sıcaklıklar ve termal döngüler altında mühendislik özelliklerinin değişiminin detaylı bir şekilde anlaşılması büyük önem arz etmeye başlamıştır. Zeminler yüksek sıcaklığa maruz kalsalar da uzun yıllar boyunca mühendislik özelliklerini tasarım aşamasındaki değerlerde koruyabilmelidir. Literatürdeki çalışmalarda yüksek sıcaklık altında zeminlerin sıkışabilirlik, kayma dayanımı, hidrolik iletkenlik gibi mühendislik özelliklerinin olumsuz etkilendiği rapor edilmektedir. Perlit, pomza ve cam elyaf ısı yalıtımında yaygın olarak kullanılan yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı malzemelerdir. Bu nedenle kum-kaolin karışımlarının yüksek sıcaklık altında mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabilirler.

Bu çalışmada kum-kaolin karışımlarının perlit, pomza ve cam elyaf katkıları varlığında kayma dayanımı davranışları incelenmiştir. Kesme kutusu deneyleri oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık (80°C) altında gerçekleştirilerek bu katkıların yüksek sıcaklık altındaki etkileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre katkısız kum-kaolin karışımının sıcaklık 80°C'ye çıkarıldığında kayma dayanımı artmaktadır. Kaolin karışımlarına perlit katkısı ilave edildiğinde ise tüm sıcaklıklar altında içsel sürtünme açısı genel olarak azalmıştır. Pomza ve cam elyaf katkısı ise her iki sıcaklıkta da içsel sürtünme açısı değerini artırmıştır. Perlit ve pomza katkıları hem oda sıcaklığı hem de yüksek sıcaklık altında kayma dayanımını azaltmıştır. Cam elyaf ise oda sıcaklığında kayma dayanımını arttırırken, yüksek sıcaklık altında kayma dayanımını azaltıcı etki göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Perlit, Pomza, Cam Elyaf, Yüksek Sıcaklık, Kum-Kaolin Karışımı, Kayma Dayanımı

Abstract

With increase in number and variety of energy structures, understanding of the changes in engineering properties of the soils surrounding energy geo-structures under high temperatures and

thermal cycles has gained great importance. Soils should be able to maintain their engineering properties at the design limits for many years under high temperatures. In the literature, it was reported that the engineering properties of soils such as compressibility, shear strength, hydraulic conductivity adversely affected under high temperatures. Perlite, pumice and fiber glass are materials that are resistant to high temperatures, which are widely used in thermal insulation. Therefore, they can be used to improve the engineering properties of sand-kaolin mixtures under high temperatures.

In this study, shear strength behavior of sand-kaolin mixtures in the presence of perlite, pumice and fiber glass additives was investigated. Shear strength tests were carried out under room temperature and high temperature (80°C) and the effects of additives under high temperature were compared. According to the results obtained, the shear strength of the additive-free sand-kaolin mixture increased when the temperature was increased to 80°C. When perlite additive was added to sand-kaolin mixtures, the angle of internal friction decreased in general under all temperatures. Pumice and glass fiber additives increased the angle of internal friction value at both temperatures. Perlite and pumice additives decreased the shear strength both at room temperature and at high temperature. However, fiber glass increased the shear strength at room temperature, while it decreased the shear strength under high temperature.

Keywords: *Perlite, Pumice, Fiber Glass, High Temperature, Sand-Kaolin Mixture, Shear Strength*

1. Giriş

Günümüzde her geçen gün artan dünya nüfusu ile birlikte gerekli olan enerji miktarında hızlı bir artış meydana gelmekte ve buna bağlı olarak enerji yapılarının sayısında ve çeşitliliğinde artış görülmektedir. Enerji yapıları etrafındaki zeminler yüksek sıcaklıklara ve termal değişikliklere maruz kalmaktadır. Bu nedenle son yıllarda enerji yapılarının performansı açısından yüksek sıcaklık varlığında zeminlerin davranışlarını inceleyen çalışmaların sayısında büyük bir artış meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalar zeminlerin yüksek sıcaklık altında mühendislik özelliklerinin değişkenlik gösterdiğini rapor etmektedir. Enerji yapıları etrafındaki zeminlerin mühendislik özelliklerini yüksek sıcaklık altında kaybetmesi durumunda insan sağlığı ve çevre açısından ciddi sorunlar meydana gelebilir. Bu nedenle yüksek sıcaklığa dayanıklı ve tasarım aşamasındaki mühendislik özelliklerini uzun yıllar koruyabilen zeminlere ihtiyaç duyulmaktadır. Zeminlerin mühendislik özellikleri yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir.

Perlit endüstride ısıya dayanıklılık ve ısı izolasyonu alanlarında yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir. Perlit yüksek su içeriğine sahip doğal olarak oluşan amorf bir volkanik bir camdır, yeterince ısıtıldığında büyük ölçüde genişleme özelliğine sahiptir[1]. İçeriğinde %71-75 SiO₂, %12.5-18.0 Al₂O₃, %4-5 K₂O, %1-4 Na₂O ve CaO ve az miktarda ise Fe₂O₃ içerir[2]. Perlit

inşaat, tarım, ilaç, kimya sektörlerinde, seramik ve cam sanayisi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Cam elyaf gerek ince ve dayanıklı yapısı gerek yüksek ısıya karşı dayanıklı yapısı ile birçok sektörde kullanılmaktadır. Cam elyaf kullanıldığında, zeminlerin statik ve dinamik yükleme koşullarında zemin davranışlarının iyileştiği gösterilmiş, statik yük altında cam elyaf eklenmiş zeminlerin pik dayanımlarının arttığı ve pik dayanımı sonrası azalmayı sınırlandırdığı rapor edilmiştir[3]. Bir başka çalışma cam elyaf katkısının kaolin kilinin pik basınç dayanımını ve sünekliğini arttırdığını göstermiştir[4]. Kullanılan cam elyafın uzunluğu arttığında ise maksimum basınç dayanımına etkisinin azaldığı ve hidrolik iletkenlik değerinin cam elyaf oranı arttırıldığında arttığı gözlemlenmiştir[4].

Pomza, asidik ve bazik karakterli volkanik faaliyetler sonucu oluşan volkanik bir cam yapısında olan volkanik bir kayadır[5]. Gözenekli yapıya sahiptir ve bu sayede birçok endüstride ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Pomzanın kimyasal bileşimi %60-70 SiO₂, %13-15 Al₂O₃, %1-4 Fe₂O₃, %1-2 CaO, %1-2 MgO, %2-5 Na₂O, %3-4 K₂O içerir ve ayrıca TiO₂, SO₃, ve Cl içerir [6]. Pomza katkısı eklenmiş zeolit-bentonit karışımının yüksek sıcaklık altında içsel sürtünme açısında ve kayma dayanımında artış olduğu rapor edilmiştir [7].

Zeminlerde sıcaklık artışı kayma dayanımı davranışına etki etmektedir. Zemin tipi, su içeriği, yoğunluğu ve mineralojik ve kimyasal bileşimi bu etkinin büyüklüğünü değiştirmektedir [8]. Sıcaklığı ölçmek ve kontrol etmek için modifiye edilen üç eksenli basınç deney aletiyle yapılan çalışmada örselenmiş ve doğal killi zeminlerin termal davranışları incelenmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre danelerin hacim değişimlerinin pozitif (artan), hacimsel deformasyonlarının ise negatif veya pozitif olabileceği görülmüştür [9]. Normal olarak konsolide edilmiş kilin kesme dayanımının zemin sıcaklığı arttıkça veya bir sıcaklık geçişine tabi tutulduktan sonra arttığı gözlenmiştir[10]. Bu çalışmada yüksek sıcaklık altında daha yüksek pik kayma dayanımı elde edilirken rezidüel kayma dayanımında benzerlik elde edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, %20 kum-kaolin karışımlarının yüksek sıcaklık (80°C) altında %5-10 perlit, %5-10 pomza ve %0.5-1.0 cam elyaf katkıları varlığında kayma davranışındaki değişimin incelenmesi ve günümüzde artan enerji yapıları etrafında kullanılabilir yüksek sıcaklığa dayanıklı bir karışım elde etmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan kum, kaolin, perlit ve pomza numunelerinin fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 2' de ise cam elyaf katkısının mekanik özellikleri verilmektedir.

Numuneler isimlendirilirken kum "S", kaolin "K", perlit "PE", pomza "PU" ve cam elyaf "FG" olarak kısaltılmıştır. Karışımlar hazırlanırken, toplam kuru ağırlığın %10'u pomza, kalan kısmın toplam ağırlığının %20'si kaolin ve %80'i kum olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Örneğin, 10PU-18K-72S karışımı %10 pomza, %18 kaolin ve %72 kum içerir.

Tablo 1. Kum, kaolin, perlit ve pomzanın fiziko-kimyasal özellikleri

	Kum	Kaolin	Perlit	Pomza
Özgül ağırlık	2.63	2.67	1.50	2.50
Likit limit(%)	-	34.9	375.1	37.1
Plastik limit(%)	-	NP*	NP*	NP*
pH	-	-	8.96	8.86

*NP: Plastik özelliği göstermeyen

2.1. Kompaksiyon Deneyleri

Bu çalışmada, Standart Proctor kompaksiyon deneyleri ASTM-D 698-12 (2012) standardına

Tablo 2. Cam elyaf mekanik özellikleri[11]

	Cam Elyaf
Özgül ağırlık	2.60
Elyaf çapı (mikron)	13-15
Elyaf uzunluğu (mm)	3.0 ve 10.0
Çekme Dayanımı (MPa)	3400

uygun olarak yapılmıştır. Karışım için numuneler kuru halde geniş bir kap içerisinde homojen hale getirilmiştir. Belirlenen su içeriği için gerekli olan su püskürtme yöntemi ile ilave edilmiş ve su ilave edilirken yavaş yavaş karıştırılmıştır. Su eklendikten sonra topraklanmalar giderilerek homojen bir karışım elde edilmiştir. Hazırlanan karışım su içeriğinin değişmemesi için plastik bir poşet içerisinde konularak 24 saat bekletilmiştir.

2.3. Kesme Kutusu Deneyleri

Numunelere eklenecek katkı malzemeleri oranları perlit ve pomza için %5-10, cam elyaf katkısı için %0.5-1.0 olarak belirlenmiştir. Kum ve kaolin numuneleri öncelikle 105°C etüvde ve 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Perlit ve pomza numuneleri ise etüvde kurutulmamış ve doğal su içerikleri numune hazırlanırken dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Kesme kutusu deneyleri oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık altında ASTM 3080 (2018) standardına uygun gerçekleştirilmiştir. Kesme kutusu deneyleri için kullanılacak maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği kompaksiyon deneyleri sonuçlarından elde edilmiştir. Numuneler $w_{opt} + \%2$ su içeriğinde ve bu değere karşılık gelen kuru birim hacim ağırlık değerinde hazırlanmıştır. Karışımlar 6x6x2 cm'lik kalıplar içerisinde homojen olarak hazırlanmış, kalıp içerisinde üç tabaka şeklinde sıkıştırılmıştır. Numuneler kalıplar içerisinde su seviyesi altında kalacak şekilde geniş bir kaba yerleştirilerek üzerine şişmenin engellenmesi için ağırlıklar konulmuştur. Numuneler bu şekilde 24 saat bekletilmiş ve deneye hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan numuneler üzerinde oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık altında üç farklı normal gerilme altında kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklıkta deneylerin gerçekleştirilebilmesi için özel olarak imal edilmiş

ısı çubukları kullanılmıştır. Hücre içerisindeki suyun sıcaklığının 80°C'de sabit tutulması için termostat kullanılmıştır. Deney süresince numune ve suyun sıcaklık ölçümleri K-tipi termokupl yardımıyla yapılmıştır. Deney sonunda numuneler 105°C'deki etüvde 24 saat bekletilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kompaksiyon Deney Sonuçları

20K-80S karışımının %5-10 perlit, %5-10 pomza ve %0.5-1.0 cam elyaf katkısı varlığında kompaksiyon deney sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3' de görüldüğü üzere 20K-80S karışımına %5 ve %10 perlit katkısı eklendiğinde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri azalırken, optimum su içeriğinde artış gözlenmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerindeki azalma perlit katkısının özgül ağırlık değerinin (1.50) kum ve kaolin malzemelerinin özgül ağırlık değerlerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Optimum su içeriğinde artışın nedeni ise perlitin yüksek su tutma kapasitesi ve yüksek likit limit değeridir. 20K-80S karışımına %5 pomza katkısı ilave edildiğinde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde önemli ölçüde değişiklik gözlenmezken, optimum su içeriğinde az miktarda artış gözlenmiştir. %10 pomza katkısı ilave edildiğinde ise maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinde ve optimum su içeriğinde azalma meydana gelmiştir. Kum-kaolin karışımına %0.5-1.0 cam elyaf katkısı ilave edildiğinde ise maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriğinde değişim gözlenmemiştir.

Tablo 3. Karışımların kompaksiyon parametreleri

Karışımlar	γ_{dmax} (kN/m ³)	W_{opt} (%)
20K-80S	18.9	11.2
5PE-19K-76S	15.3	16.5
10PE-18K-72S	13.1	27.2
5PU-19K-76S	19.0	11.5
10PU-18K-72S	18.5	11.0
0.5FG-19.9K-79.6S*	18.9	11.2
1FG-19.8K-79.2S*	18.9	11.2
0.5FG-19.9K-79.6S**	18.9	11.2

*3 mm uzunluğunda cam elyaf, **10 mm uzunluğunda cam elyaf

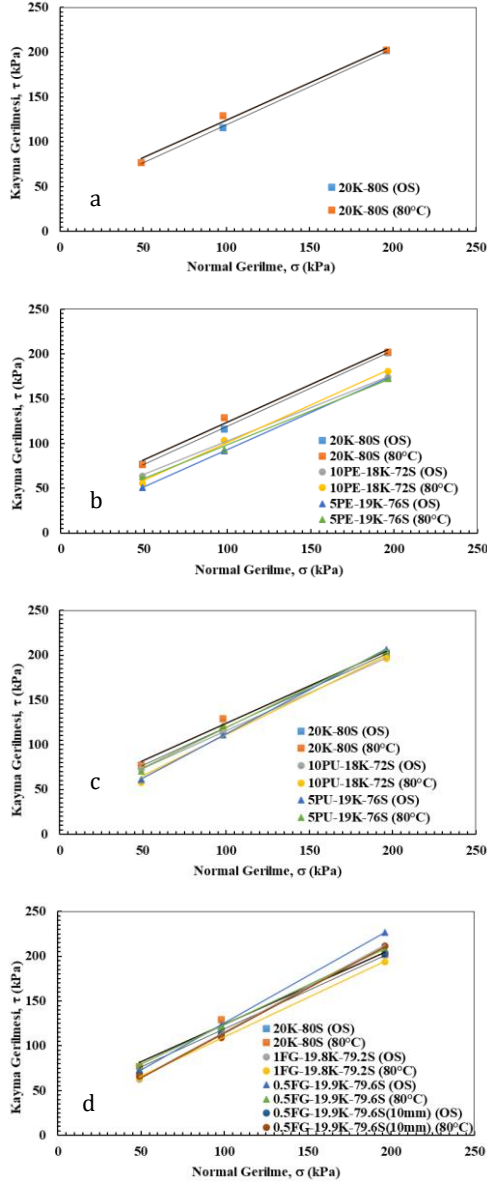
3.2. Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Kum-kaolin karışımlarının perlit, pomza ve cam elyaf katkı malzemeleri varlığında kayma dayanımı parametrelerindeki değişim oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık (80°C) altında belirlenmiştir. Karışımların kayma dayanımı parametreleri katkılar varlığında oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık altında sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'de gösterilmektedir. 20K-80S karışımı için sıcaklık 80°C'ye çıkarıldığında içsel sürtünme açısında çok fazla değişiklik gözlenmezken kohezyon değeri 34.3 kPa değerinden 40.0 kPa değerine artmıştır. Yılmaz (2011) [12] yaptıkları çalışmada 100°C sıcaklıkta kaolinin likit limit ve plastik limit değerlerinde azalma olduğunu göstermiştir. Bu bulgu kaolin-kum karışımının kayma mukavemeti parametrelerindeki iyileşme ile paralellik göstermektedir. %5 perlit, %5 pomza ve cam elyaf (3mm) katkılı karışımlar incelendiğinde oda sıcaklığındaki değerlere göre sıcaklık arttırıldığında içsel sürtünme açısı azalırken, kohezyon değeri artmıştır. Ancak %10 perlit, %10 pomza ve 10 mm uzunluğunda %0.5 cam elyaf katkılı karışımlarda içsel sürtünme açısında artış gözlenirken, kohezyon değerinde azalma görülmüştür.

Sonuçlar incelendiğinde, perlit katkısı oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık altında genel olarak içsel sürtünme açısında azalmaya sebep olmuştur. Pomza ve cam elyaf katkıları ise hem oda sıcaklığı hem de yüksek sıcaklık altında içsel sürtünme açısında artışa neden olarak bir iyileşmeye sebep olmuştur. Perlit, pomza ve cam elyaf katkıları hem oda sıcaklığı hem de yüksek sıcaklık altında kohezyon değerlerini azaltmıştır.

Kesme kutusu deneyi sonunda elde edilen kayma gerilmesi-normal gerilme grafikleri Şekil 1'de, maksimum kayma gerilmesi değerleri Tablo 6'da ve Şekil 2' de gösterilmiştir. Tablo 6'dan görüldüğü üzere 20K-80S karışımının sıcaklığı arttırıldığında maksimum kayma dayanımı 116.1 kPa değerinden 128.0 kPa değerine artmıştır. Kayma dayanımında her iki sıcaklık için de pomza ve perlit katkıları varlığında azalma görülmüştür. Cam elyaf katkısı (3mm) %0.5 oranında eklendiğinde kayma dayanımında artış görülürken, cam elyaf uzunluğu 10 mm'ye çıkarıldığında ise kayma dayanımında azalma görülmüştür. Tüm karışımlar incelendiğinde ise sıcaklığın artması ile beraber cam elyaf katkılı karışımlar hariç

maksimum kayma dayanımında artış görülmüştür.



Şekil 1. Kum-kaolin karışımlarının oda sıcaklığı ve 80°C'de kayma gerilmesi-normal gerilme grafikleri a)katkısız, b)perlit, c)pomza, d)cam elyaf

Cam elyaf katkılı karışımlarda ise sıcaklığın artması ile maksimum kayma gerilmesi (τ_{max}) azalmıştır. Şekil 2' de görüldüğü gibi en yüksek τ_{max} değeri 20K-80S karışımının yüksek sıcaklık

altında gerçekleştirilen deneyde elde edilmiştir. En düşük τ_{max} değeri ise %5 perlit katkılı karışımın oda sıcaklığında elde edilmiştir.

Tablo 4. Karışımların oda sıcaklığında içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri

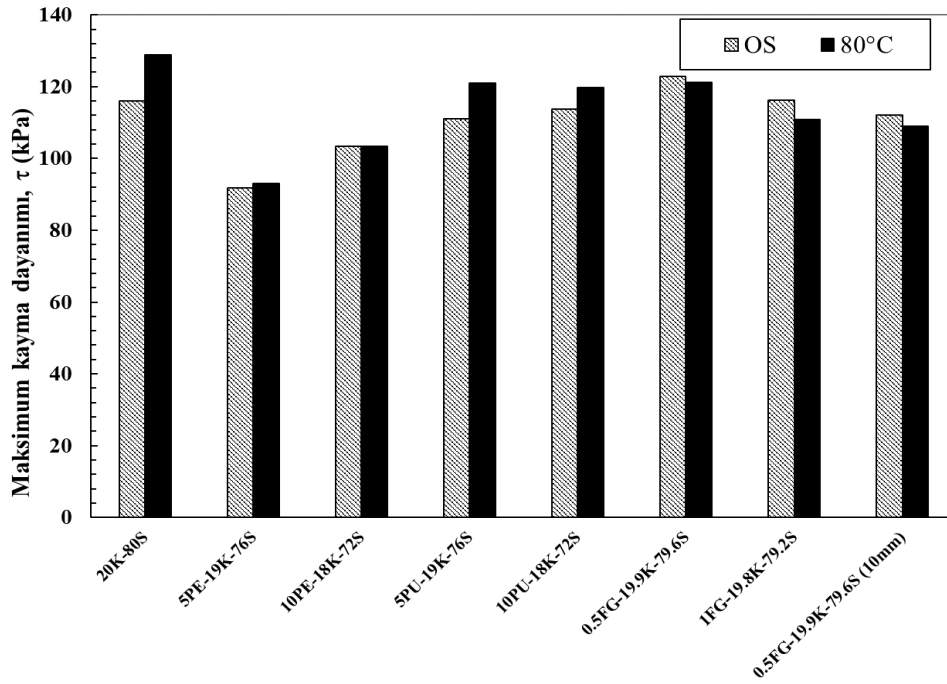
Karışımlar	Oda Sıcaklığı	
	ϕ' (°)	c' (kPa)
20K-80S	40.4	34.3
5PE-19K-76S	39.7	10.3
10PE-18K-72S	36.7	28.2
5PU-19K-76S	44.6	13.5
10PU-18K-72S	40.3	30.9
0.5FG-19.9K-79.6S(3mm)	46.4	20.8
1FG-19.8K-79.2S(3mm)	45.3	14.7
0.5FG-19.9K-79.6S(10mm)	42.1	24.6

Tablo 5. Karışımların yüksek sıcaklık altında içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri

Karışımlar	Oda Sıcaklığı	
	ϕ' (°)	c' (kPa)
20K-80S	40.0	40.0
5PE-19K-76S	37.0	23.4
10PE-18K-72S	40.0	17.2
5PU-19K-76S	42.0	28.8
10PU-18K-72S	42.5	19.6
0.5FG-19.9K-79.6S(3mm)	41.4	35.5
1FG-19.8K-79.2S(3mm)	41.3	22.4
0.5FG-19.9K-79.6S(10mm)	45.0	14.5

4. Sonuçlar

Bu çalışmada perlit, pomza ve cam elyaf katkıları kum-kaolin karışımlarının yüksek sıcaklık altında kayma dayanımı parametrelerinin iyileştirilmesi için kullanılmıştır. 20K-80S karışımının %5-10 perlit, %5-10 pomza ve %0.5-1.0 cam elyaf katkıları varlığında kompaksiyon ve kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesme kutusu deneyleri hem oda sıcaklığı hem de yüksek sıcaklık (80°C) altında yapılarak elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Kompaksiyon deneyi sonuçlarına göre, perlit katkısı maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinde azalmaya sebep olurken, optimum su içeriğinde ise artışa sebep olmuştur. %5 pomza katkılı



Şekil 2. Karışımların maksimum kayma dayanımı değerleri

Tablo 6. Karışımların maksimum kayma gerilme değerleri

Karışımlar	Maksimum Kayma Gerilmesi* (kPa)	
	Oda Sıcaklığı	80°C
20K-80S	116.1	128.9
5PE-19K-76S	91.7	93.0
10PE-18K-72S	103.4	103.4
5PU-19K-76S	111.0	120.9
10PU-18K-72S	113.8	119.7
0.5FG-19.9K-79.6S**	122.9	121.3
1FG-19.8K-79.2S**	116.2	110.9
0.5FG-19.9K-79.6S***	112.2	109.1

* 98 kPa normal gerilme altında

** 3 mm uzunluğunda, ***10 mm uzunluğunda

karışımın maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ve optimum su içeriği artarken, %10 karışım için iki değer de azalma görülmüştür. Cam elyaf katkısı ise iki parametrede de değişikliğe sebep olmamıştır.

Kesme kutusu deneyi sonuçlarına göre, kum-kaolin karışımlarına perlit katkısı ilave edildiğinde tüm sıcaklıklar altında içsel sürtünme açısı genel olarak azalmıştır. Pomza ve cam elyaf katkısı ise her iki sıcaklıkta da içsel sürtünme açısı değerini arttırmıştır. Perlit, pomza ve cam elyaf katkıları ise kohezyon değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Yüksek sıcaklık altındaki maksimum kayma gerilme değerleri incelendiğinde perlit, pomza ve cam elyaf katkıları kayma dayanımını azaltmıştır. Oda sıcaklığında ise sadece %0.5(3mm) cam elyaf katkısı maksimum kayma gerilme değerini arttırmıştır.

Bu çalışma sonunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde perlit, pomza ve cam elyaf katkılarının kum-kaolin karışımlarının termal etkiler altında kayma dayanımı parametrelerini iyileştirmek için çok etkili olmadığı belirlenmiştir. Kaolin-kum karışımının ısıtıldığında kayma gerilmesi değerleri arttığından iyileştirme için ısıtma uygulanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 217M553 nolu proje tarafından desteklenmektedir. TÜBİTAK'a verdiği destek için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] <https://www.perlite.org/> (Erişim Tarihi: 18.08.2021)
- [2] Samar M., Saxena Shweta P. 2016. Study of Chemical and Physical Properties of Perlite and Its Application in India. *International Journal of Science Technology and Management*, Cilt. 5, s. 70–80. ISSN 2394-1537
- [3] Gray, D.H., Ohashi, H. 1983. Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, Cilt. 109(3), s. 335-353, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(335)
- [4] Maher, M.H., Ho, Y.C. 1994. Mechanical Properties of Kaolinite/Fiber Soil Composite. *Journal of Geotechnical Engineering*, Cilt. 120(8), s. 1381-1393. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:8(1381)
- [5] Kartal, G., Sarıgan, O., Baş, H., Ergül, H., İlgün, F. 1988. Türkiye Pomza Yatakları, Türkiye Pomza Taşı Semineri, İstanbul, s. 5-11.
- [6] İlhan, S., Özdağ, H. 1997. Pomza Partiküllerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, Cilt. 36(3), s. 25-34.
- [7] Alpaydin, S.G., Güneri, E., Yukselen-Aksoy, Y. 2022. Improvement of Shear Strength of Zeolite-Bentonite Liner Material Under High Temperatures with Tincal and Pumice. *Teknik Dergi*, Cilt. 33(5), in press. DOI: 10.18400/tekderg.788422
- [8] Mitchell, J.K., 1969. Temperature Effects on the Engineering Properties and Behavior of Soils. *Proceeding of International Conference on the Effects of Temperature and Heat on Engineering Behaviour of Soils*, Cilt. 9(6), s. 9–28.
- [9] Burghignoli, A., Desideri, A., Miliziano, S., A. 2000. Laboratory Study on the Thermomechanical Behaviour of Clayey Soils. *Canadian Geotechnical Journal*, Cit. 37(4), s.764–780. DOI: 10.1139/cgj-37-4-764
- [10] Abuel-Naga, H. M., Bergado, D. T., Ramana, G. V., Grino, L., Rujivipat, P., Thet, Y. 2006. Experimental Evaluation of Engineering Behavior of Soft Bangkok Clay Under Elevated Temperature. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Cilt. 132(7), s. 902-910. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:7(902)
- [11] <https://www.kompozit.net/cam-elyaf-kirpilmis-3mm-1-kg> (Erişim Tarihi: 18.08.2021)
- [12] Yılmaz, G. 2011. The Effects of Temperature on the Characteristics of Kaolinite and Bentonite. *Scientific Research and Essays*, Cilt. 6(9), s. 1928-1939. DOI: <https://doi.org/10.5897/SRE10.727>