4. Ulusal
Genç Geoteknik Mühendisleri Sempozyumu

14 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN HAFİF DOLGU MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

UTILIZATION OF EXPANDED PERLITE AS A LIGHTWEIGHT FILL MATERIAL

İnş. Müh. Yusuf ÇİFTÇİ[1], Prof. Dr. Havvanur KILIÇ[2], Dr. Öğr. Üyesi Mustafa MERT[3]

ÖZET

Literatürde genellikle ısı yalıtımı ve hafif beton üretimiyle sınırlı olan genleştirilmiş perlitin geoteknik uygulamalardaki kullanım potansiyeli oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada, genleştirilmiş perlitin geoteknik projelerde yenilikçi bir hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel program kapsamında, ana zemin matrisi olarak seçilen S1 silis kumuna ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında genleştirilmiş perlit karıştırılarak kompozit dolgu numuneleri oluşturulmuştur. Deneyler, %10 ve %30 rölatif sıkılık derecelerinde gerçekleştirilmiş; S1 silis kumu ve perlit katkılı silis kumlu karışımlar üzerinde standart kesme kutusu deneyleri yapılarak kayma mukavemeti parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, %10 rölatif sıkılıkta S1 kumu için içsel sürtünme açısı 37° iken, %10 perlit katkılı numunede bu değer 32° olarak tespit edilmiştir. Buna karşın %30 rölatif sıkılıkta, S1 kumunun 42° olan içsel sürtünme açısı değerinin, %10 perlit ilavesiyle 44° seviyesine yükseldiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar, genleştirilmiş perlit katkılı kompozit malzemelerin hafif dolgu uygulamaları için gerekli olan kayma mukavemeti kriterlerini başarıyla karşıladığını ve mühendislik açısından kabul edilebilir bir performans sergilediğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: *Genleştirilmiş Perlit, S1 Silis Kumu, Hafif Dolgu, Kesme Kutusu Deneyi, Kayma Mukavemeti*

ABSTRACT

While the use of expanded perlite is widely documented in the fields of lightweight concrete production and thermal insulation, its application within geotechnical engineering remains relatively unexplored. This study aims to investigate the potential of expanded perlite as an innovative lightweight fill material for geotechnical projects. The experimental program involved the preparation of composite fill samples by blending S1 silica sand, designated as the primary soil matrix, with expanded perlite at ratios of 2%, 4%, 6%, 8%, and 10%. Direct shear tests were performed at relative densities of 10% and 30% to determine the shear strength parameters of both pure S1 silica sand and the perlite-modified mixtures. The findings revealed that at 10% relative density, the internal friction angle of pure S1 sand was 37°, which decreased to 32° for the 10% perlite-added sample. Conversely, at 30% relative density, the internal friction angle of 42° for pure S1 sand increased to 44° with a 10% perlite addition, which was identified as the optimum mixture ratio. The results demonstrate that expanded perlite-blended composite materials successfully meet the shear strength requirements for lightweight fill applications and exhibit an acceptable engineering performance.

Keywords: *Expanded Perlite, S1 Silica Sand, Lightweight Fill, Direct Shear Test, Shear Strength.*

[1] Yük. İnş. Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, ciftciyusuf1629@gmail.com (sorumlu yazar)
[2] Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, kilic@yildiz.edu.tr
[3] Dr. Öğr. Üyesi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, mmert@fsm.edu.tr

1. GİRİŞ

Altyapı mühendisliği projelerinde, zayıf taşıma gücüne sahip zeminler üzerinde gerçekleştirilen inşaat faaliyetleri; aşırı oturma, stabilite kaybı ve yanal toprak basıncı artışları gibi ciddi geoteknik problemlere yol açmaktadır. Bu zorluklar, yapısal yükleri zemine aktarmak amacıyla kullanılan geleneksel dolgu malzemelerinin yüksek birim hacim ağırlıkları sebebiyle daha da kritik bir hale gelmektedir. Bu bağlamda; zemine aktarılan düşey ve yanal yükleri önemli ölçüde minimize edecek, kütlesel olarak hafif ancak mekanik açıdan yeterli dayanımı sunacak yenilikçi dolgu malzemelerine olan ihtiyaç, geoteknik mühendisliğinde sürdürülebilir çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu probleme yönelik yenilikçi bir çözüm alternatifi olarak öne çıkan perlit; erimiş sodyum, potasyum ve alüminyum silikattan oluşan amorf yapılı doğal bir mineraldir (Rahat, 2024). Genleştirilmiş perlit, uygun şartlar altında 870 °C ve üzeri sıcaklıklara maruz bırakıldığında hacmini orijinal hacminin 4 ila 20 katına kadar çıkarabilmektedir (Özalp ve Sak, 2024). Orhun (1969)'a göre, ham perlit türüne bağlı olarak 750–1100 °C arasında ani ısıtıldığında, bünyesindeki suyun buharlaşmasıyla mısır gibi patlayarak 5–30 kat hacim artışı gösterir ve geriye gözenekli, hafif bir cam yapısı kalır.

Bu yenilikçi malzemenin inşaat ve mühendislik projelerinde sürdürülebilir bir alternatif olmasını sağlayan en önemli faktörlerden biri de hammadde tedarikinde sunduğu stratejik avantajdır. 2025 yılında dünya üretiminin %92'sini oluşturan önde gelen dört perlit üreticisi ülke, tahmini üretim miktarına göre çoktan aza doğru Çin, Türkiye, Yunanistan ve Amerika Birleşik Devletleri olmuştur. Çin lider üretici olmasına rağmen, perlit üretiminin büyük bir kısmının ülke içinde tüketildiği tahmin edilmektedir. Yunanistan ve Türkiye dünyanın önde gelen perlit ihracatçıları olmaya devam etmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun (USGS, 2026) güncel verilerine göre Türkiye, 2025 yılı itibarıyla dünya perlit üretiminin yaklaşık %28'ini karşılayarak küresel ölçekte en büyük ikinci üretici konumundadır. Yıllık 1,4 milyon tonluk üretim hacmiyle dikkat çeken Türkiye, aynı zamanda dünyanın önde gelen perlit ihracatçısı ülkelerinin başında gelmektedir.

Ülke genelindeki bu nitelikli perlit yatakları; başta Ege Bölgesi (İzmir-Dikili, Bergama, Balıkesir, Manisa) olmak üzere, İç Anadolu (Nevşehir, Ankara, Eskişehir) ve Doğu Anadolu (Erzurum, Kars, Van, Erzincan) bölgelerini kapsayan geniş bir coğrafyaya yayılmıştır. Coğrafyamıza yayılan bu muazzam hammadde bolluğu ve bölgesel dağılım, genleştirilmiş perlitin dışa bağımlı olmadan, tamamen yerel kaynaklarla ve endüstriyel boyutta kesintisiz olarak üretilmesine olanak tanımaktadır.

Literatür incelendiğinde, genleştirilmiş perlitin farklı mühendislik özelliklerini ve zemin karışımlarındaki davranışlarını değerlendiren çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Malzemenin termal ve yapısal potansiyelini inceleyen Çelik ve ark. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; genleştirilmiş perlitin karakteristik ve fiziksel özellikleri farklı sıcaklıklarda (600 °C'ye kadar) analiz edilerek, yapı hammaddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İnşaat sektöründe yaygın olarak ısı yalıtımında kullanılan perlitin zemin karışımlarına entegrasyonuna yönelik olarak Güneri ve Aksoy (2022), perlitin kum-bentonit karışımlarına eklenmesiyle yüksek sıcaklığa dayanıklı yeni bir malzeme elde edilmesini amaçlamıştır. Perlitin zeminlerin fiziksel parametreleri üzerindeki etkisini inceleyen Rahat ve Tefçi (2023) ise, perliti kil ile karıştırarak yaptıkları deneylerde, perlit oranı arttıkça

maksimum kuru birim hacim ağırlığın ve optimum su içeriğinin azaldığını belirlemiştir. Malzemenin mekanik performansına odaklanan bir diğer çalışmada Çirkin ve Aksoy (2022), kum-kaolin karışımlarının kayma dayanımı davranışları üzerinde perlit, pomza ve cam elyaf katkılarının etkilerini araştırmıştır.

Ancak, literatürdeki mevcut çalışmalara rağmen genellikle yapı sektöründe ısı yalıtımı ve hafif beton üretimiyle sınırlı kalmış olan genleştirilmiş perlitin, spesifik olarak geoteknik mühendisliği uygulamalarındaki davranışı üzerine yapılan araştırmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada, sahip olduğu yüksek gözeneklilik ve düşük birim hacim ağırlığı avantajlarıyla genleştirilmiş perlitin, geoteknik projelerde yenilikçi bir hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel program kapsamında; ana zemin matrisi olarak seçilen S1 sınıfı referans silis kumuna, ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında genleştirilmiş perlit ilave edilerek kompozit dolgu numuneleri elde edilmiştir. Deneyler, çok gevşek (Dr = %10) ve gevşek (Dr = %30) rölatif sıkılık derecelerinde gerçekleştirilmiş olup; saf S1 silis kumu ve genleştirilmiş perlit katkılı kompozit karışımlar üzerinde standart doğrudan kesme kutusu deneyleri yapılarak, malzemenin kayma mukavemeti parametrelerindeki değişimler kapsamlı bir şekilde belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

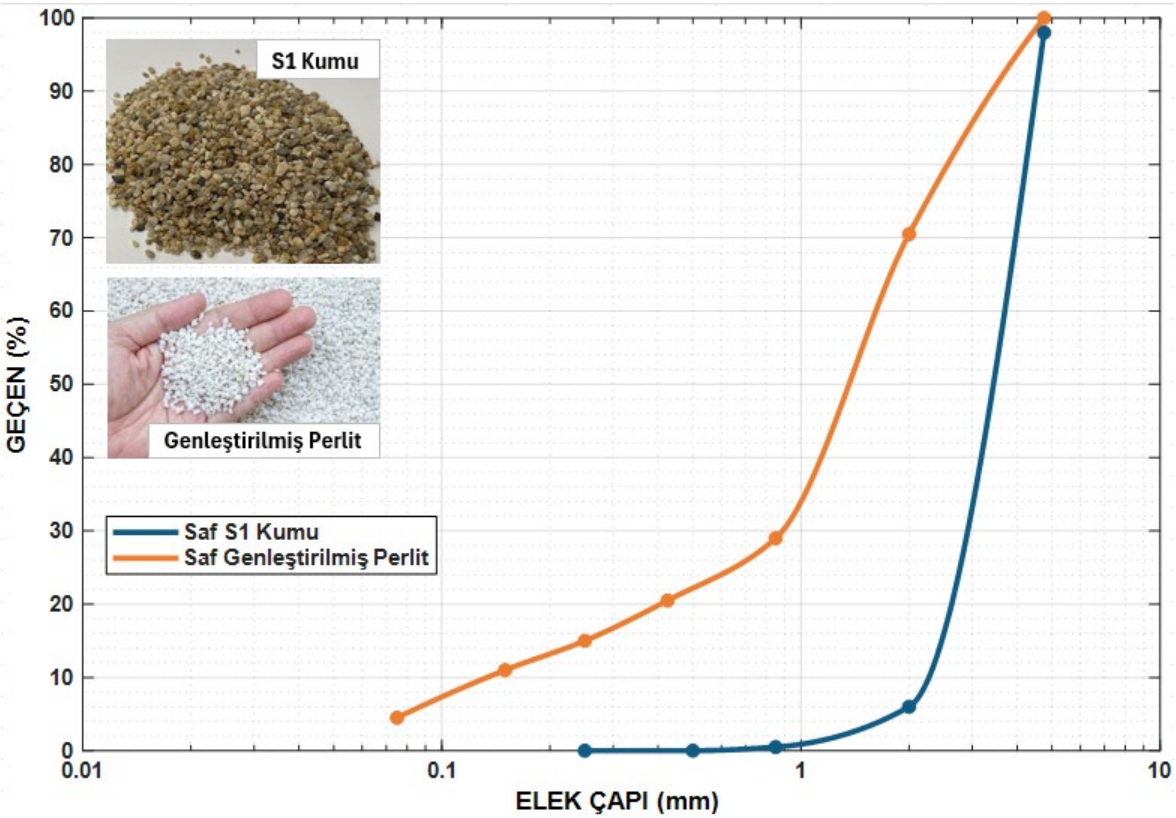
Deneysel program kapsamında, ana matrisi oluşturan S1 silis kumunun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yürütülen laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen mühendislik parametreleri Tablo 2.1'de detaylı olarak verilmiştir. Silis kumu için esas alınan deney standartları, genleştirilmiş perlit için de aynen uygulanarak malzemenin mühendislik özellikleri belirlenmiş ve elde edilen veriler Tablo 2.2'de sunulmuştur. Ayrıca, çalışmada kullanılan saf S1 silis kumu ve saf genleştirilmiş perlite ait dane boyu dağılımını ifade eden granülometri eğrileri Şekil 2.1'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.1. S1 Silis kumu fiziksel özellikleri

Zemin	Su Muhtevası – w (%)	G_s	e_{max}	e_{min}	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)
S1	27	2.65	0.73	0.57	2.1	2.57
Zemin	D_{50} (mm)	D_{60} (mm)	C_u	C_c	Dane Çapı, (mm)	Zemin Sınıfı
S1	3.03	3.37	1.6	0.93	2 - 4.75	SP

Tablo 2.2. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri

Zemin	Su Emme-W (%)	Min. Doygun yoğunluğu (ρ_{sat}), g/cm^3	G_s	e_{max}	e_{min}	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)
Genleştirilmiş Perlit (GP)	341.97	1.05	2.2	24.66	7.63	0.17	0.96
Zemin	D_{50} (mm)	D_{60} (mm)	C_u	C_c	Dane Çapı, (mm)	Zemin Sınıfı	
Genleştirilmiş Perlit (GP)	1.61	1.69	9.71	3.1	0-3	SW	



Şekil 2.1. Saf S1 kumu ve saf genleştirilmiş perlite ait karşılaştırmalı gronülometri eğrisi

Şekil 2.1'de, deneysel çalışmalarda kullanılan saf S1 silis kumu ve saf genleştirilmiş perlit malzemelerine ait dane boyu dağılımı granülometri eğrileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Grafikteki dik ve dar aralıklı dağılımdan da anlaşılacağı üzere, saf S1 kumu Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre SP kötü derecelenmiş kum sınıfında yer almaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek tüm kompozit zemin deneylerinde malzeme gradasyonunun standart tutulması ve yapısal tutarlılığın sağlanması amacıyla S1 kumu özel olarak elenmiş; yalnızca 4.75 mm elekten geçen ve 2.00 mm elek üzerinde kalan dane fraksiyonu kullanılmıştır.

Diğer yandan, inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilen formda temin edilen saf genleştirilmiş perlit malzemesi, S1 kumuna kıyasla çok daha geniş bir dane çapı aralığına yayılmış olup daha yatık bir granülometri eğrisi sergilemektedir. Bu dengeli dağılım neticesinde, genleştirilmiş perlit Şekil 2.1'deki veriler ışığında SW iyi derecelenmiş kum

sınıfına girmektedir. Grafikte de açıkça görüldüğü üzere, S1 kumunun tekdüze yapısına karşın genleştirilmiş perlitin farklı boyuttaki daneleri içeren iyi derecelenmiş yapısı, kompozit karışımlar oluşturulurken perlit danelerinin S1 kumunun boşluklarına etkin bir şekilde yerleşmesine ve zemin matrisi içerisinde hedeflenen yapısal stabilitenin ve mekanik etkileşimin sağlanmasına büyük avantaj sunmaktadır.

2.2. Yöntem

Bu çalışmanın temel amacı; S1 silis kumuna farklı oranlarda genleştirilmiş perlit ilave edilerek elde edilen kompozit numunelerin, yenilikçi bir hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmaktır. Bu doğrultuda hazırlanan doğrudan kesme kutusu deney programı Tablo 2.3'te detaylandırılmıştır.

Tablo 2.3. Kesme kutusu deney programı

Deneyler	Rölatif Sıkılık Dr, (%)	Uygulanan Normal Gerilmeler, (kPa)	Deney Sayısı
S1 kumu	10 – 30	55 – 109 – 218 – 409	8
%2 G.Perlit - Silis kumu	10 – 30	55 – 109 – 218 – 409	8
%4 G.Perlit - Silis kumu	10 – 30	55 – 109 – 218 – 409	8
%6 G.Perlit - Silis kumu	10 – 30	55 – 109 – 218 – 409	8
%8 G.Perlit - Silis kumu	10 – 30	55 – 109 – 218 – 409	8
%10 G.Perlit - Silis kumu	10 – 30	55 – 109 – 218 – 409	8

Tablo 2.3'te verilen karışım oranlarının hazırlanmasında, 60×60×25 mm boyutlarındaki direkt kesme kutusunun iç hacmi esas alınmıştır.

Kesme kutusu deneylerinde %10 ve %30 rölatif sıkılık (D_r) değerlerine standart biçimde ulaşmak için kütle-hacim kontrollü numune hazırlama yöntemi kullanılmıştır. Önceden saptanan maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıklar ($\gamma_{d,max}$ ve $\gamma_{d,min}$) kullanılarak, 90 cm³'lük sabit test hacmi için gereken spesifik kuru malzeme kütlesi hesaplanmış ve tartılmıştır. Yapısal homojenliği sağlamak adına numuneler kesme kutusuna üç eşit tabaka halinde serilmiş ve kontrollü tokmaklamayla sıkıştırılarak hedeflenen rölatif sıkılık değerlerine ulaşılmıştır.

Direkt kesme kutusu deneyleri sonucunda, uygulanan her bir normal gerilme (σ) değerine karşılık gelen maksimum kayma gerilmesi (τ) değerleri dijital ortamda kaydedilmiştir. Elde edilen bu veriler, normal gerilme – kayma gerilmesi grafiğine işlenmiştir. İlgili veri noktalarına lineer regresyon analizi uygulanarak Mohr-Coulomb Yenilme Zarfı oluşturulmuş; bu doğrultuda zeminin kayma mukavemeti parametreleri olan içsel sürtünme açısı ($\emptyset$) ve kohezyon (c), Denklem 2.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\tau = c + \sigma \times \tan(\emptyset) \tag{2.1}$$

Burada; τ: Kayma gerilmesi, σ: Normal gerilme, c: Kohezyon, $\tan(\emptyset)$: Doğrunun eğimini (içsel sürtünme açısının tanjantı) ifade etmektedir.

3. BULGULAR

3.1. Kompozit Karışımların Birim Hacim Ağırlık ve Kütlesel Hafifleme Karakteristikleri

Kompozit numunelerin hafif dolgu potansiyelini değerlendirmek amacıyla, %10 ve %30 rölatif sıkılık (D_r) durumlarında kütlesel hafifleme karakteristikleri analiz edilmiştir. Kesme kutusunun sabit iç hacmi referans alınarak, her bir karışımın kuru birim hacim ağırlığı (γ_d) ve bileşen kütleleri hesaplanmıştır. Saf S1 silis kumuna kıyasla, artan genleştirilmiş perlit oranlarının toplam numune kütlesinde sağladığı oransal azalmalar belirlenerek sırasıyla Tablo 3.1'de sunulmuştur. Veriler, perlit oranının artmasıyla kompozit malzemenin kuru birim hacim ağırlığında sistematik bir düşüş yaşandığını ve dış stabilite açısından büyük avantaj sağlayan hedeflenen hafiflik kriterine başarıyla ulaşıldığını göstermektedir.

Tablo 3.1. %10 ve %30 Rölatif sıkılık dereceleri için kompozit karışımların kütlesel dağılımları, kuru yoğunlukları ve hafifleme oranları

%10 Rölatif Sıkılık					
Ağırlıkça GP ve Silis Kumu Oranları (%)	Numunenin Kuru Birim Hacim Ağırlığı γ_d (g/cm³)	Numunedeki S1 kumu Kütlesi (g)	Numunedeki Genleştirilmiş Perlit (GP) kütlesi (g)	Toplam Kuru Numune Kütlesi (g)	Kütlesel Hafifleme Oranı (%)
%100 S1 Kumu	1.54	138.57	0.00	138.57	0.00%
%100 GP	0.09	0.00	8.22	8.22	94.07%
%2 GP - %98 S1 Kumu	1.51	135.8	0.16	135.96	1.88%
%4 GP - %96 S1 Kumu	1.48	133.02	0.33	133.35	3.77%
%6 GP - %94 S1 Kumu	1.45	130.25	0.49	130.74	5.65%
%8 GP - %92 S1 Kumu	1.42	127.48	0.66	128.14	7.53%
%10 GP - %90 S1 Kumu	1.39	124.71	0.82	125.53	9.41%
%30 Rölatif Sıkılık					
%100 S1 Kumu	1.57	141.28	0.00	141.28	0.00%
%100 GP	0.11	0.00	9.58	9.58	93.22%
%2 GP - %98 S1 Kumu	1.54	138.46	0.19	138.65	1.86%
%4 GP - %96 S1 Kumu	1.51	135.63	0.38	136.01	3.73%
%6 GP - %94 S1 Kumu	1.48	132.8	0.57	133.37	5.60%
%8 GP - %92 S1 Kumu	1.45	129.98	0.77	130.75	7.45%
%10 GP - %90 S1 Kumu	1.42	127.15	0.96	128.11	9.32%

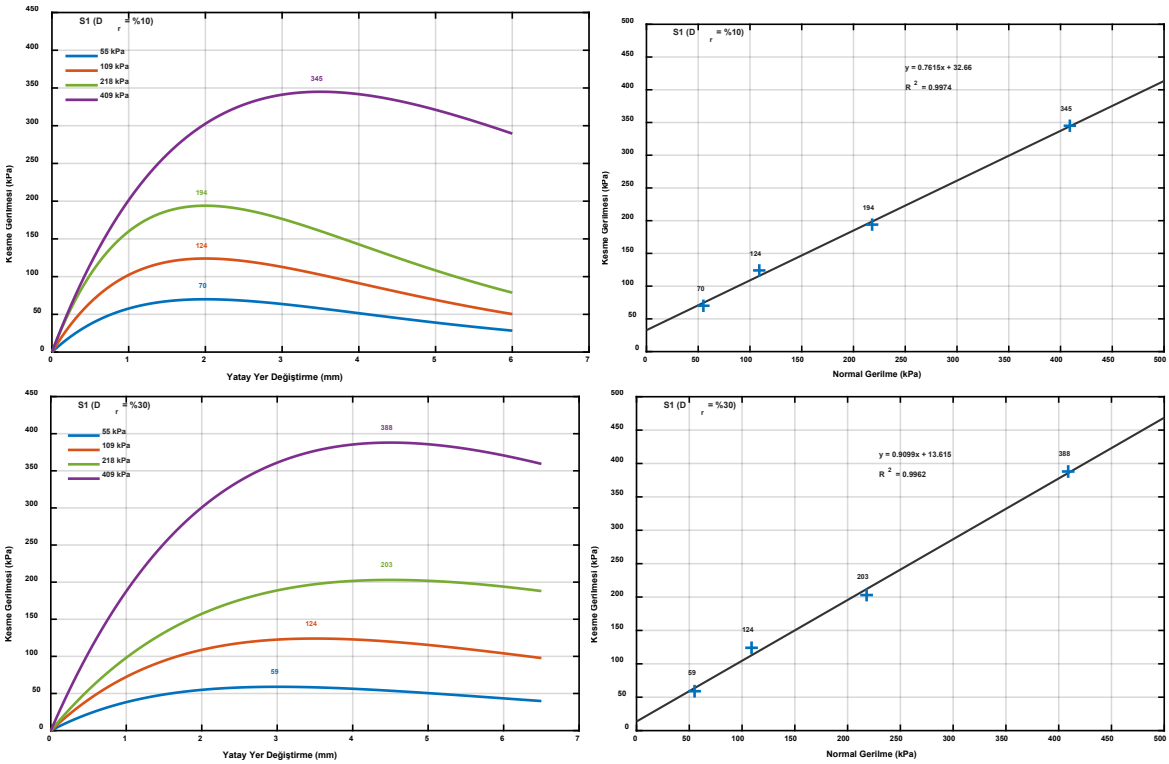
3.2. S1 Silis Kumu ve Genleştirilmiş Perlit Karışımları için Kesme Kutusu Deneylerinden Elde Edilen Kayma Direnci Parametreleri

Bu bölümde, yenilikçi bir hafif dolgu malzemesi olarak tasarlanan kompozit zeminlerin kayma davranışlarını ve göçme mekanizmalarını incelemek amacıyla yürütülen doğrudan kesme kutusu deneylerinin bulguları sunulmaktadır. Deneysel program kapsamında; S1 sınıfı referans silis kumuna ağırlıkça %2 ile %10 arasında değişen oranlarda genleştirilmiş perlit ilave edilerek çok gevşek (Dr = %10) ve gevşek (Dr = %30) rölatif sıkılıklarda hazırlanan numuneler ve bu numunelerin kayma gerilmesi-yatay yer değiştirme ilişkileri değerlendirilmiştir.

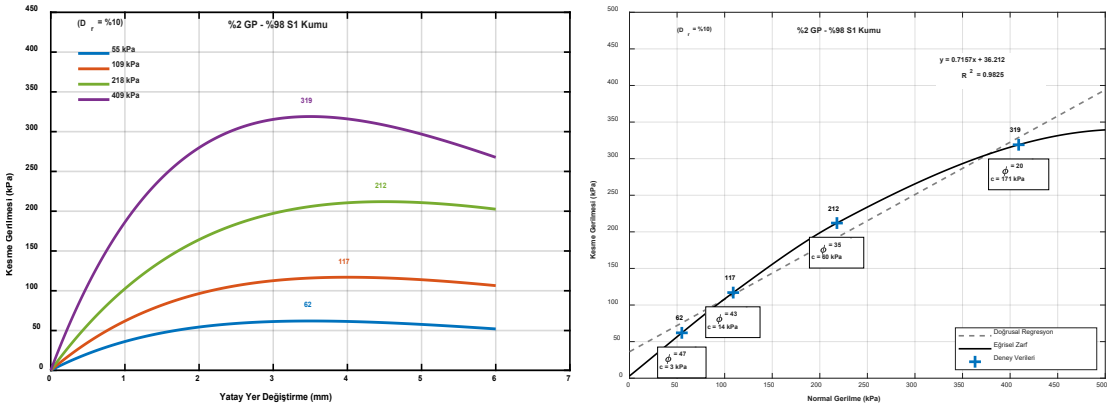
Uygulanan farklı normal gerilmeler altında elde edilen tepe (pik) kayma gerilmesi değerleri kullanılarak, test edilen her bir karışım oranı ve sıkılık durumu için Mohr-Coulomb yenilme

zarfları oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, artan genleştirilmiş perlit katkı oranının kompozit zemin matrisinin temel kayma mukavemeti parametreleri olan içsel sürtünme açısı (Ø) ve görünür kohezyon (c) değerleri üzerindeki etkileri, saf S1 silis kumu numunelerinden elde edilen referans verilerle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

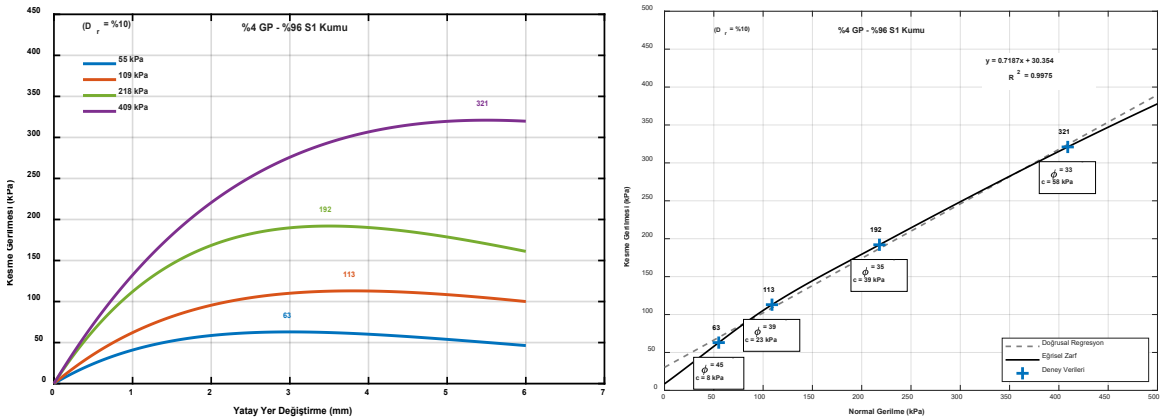
Yürütülen mekanik testler neticesinde; %10 ve %30 rölatif sıkılık durumlarındaki referans saf S1 silis kumuna ait kayma gerilmesi-yatay yer değiştirme eğrileri, Mohr-Coulomb göçme kriterini temsil eden yenilme zarfları eğrileri Şekil 3.1'de sunulmuştur. S1 silis kumuna önceden belirlenen oranlarda genleştirilmiş perlit ilave edilmesiyle elde edilen kompozit numunelere ait doğrudan kesme kutusu deney verileri ise sıkılık derecelerine göre sunulmuştur. Şekil 3.2 – Şekil 3.6'da %10 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve genleştirilmiş perlit karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı eğrileri sunulmuştur.



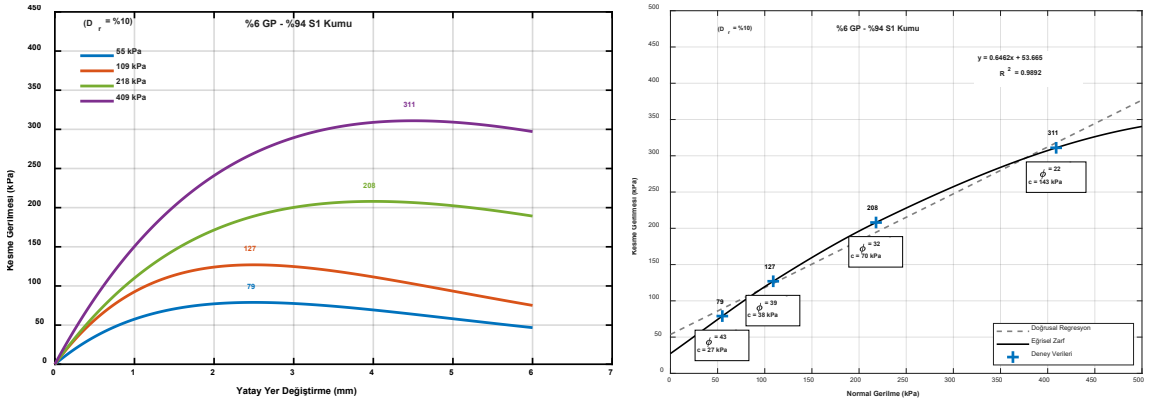
Şekil 3.1. %10 ve %30 rölatif sıkılıktaki S1 silis kumuna ait yenilme zarfı ve kayma davranışı grafikleri



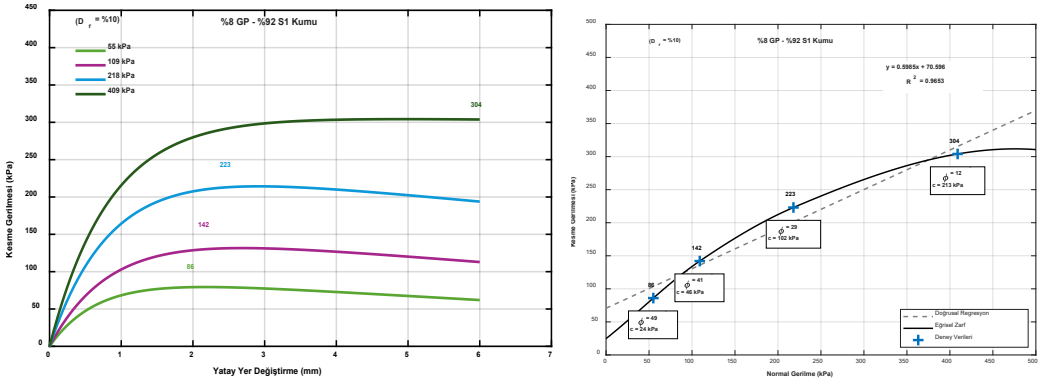
Şekil 3.2. %10 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %2 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı grafikleri



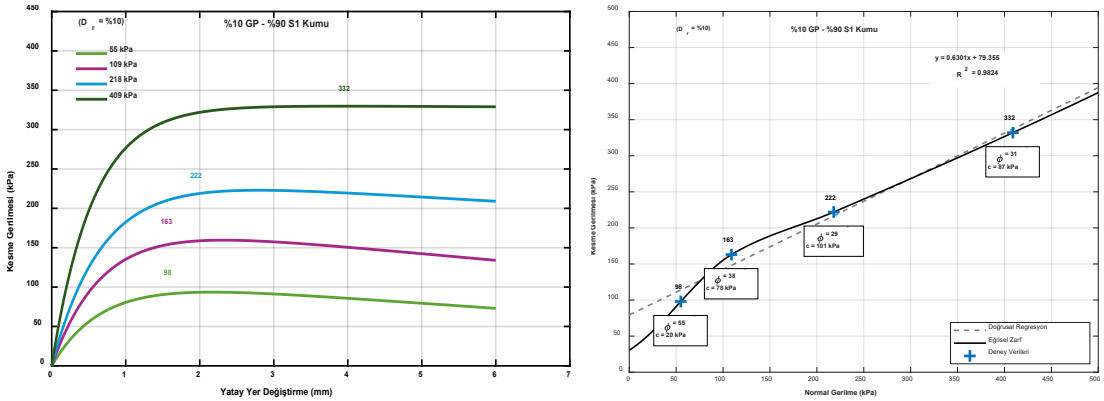
Şekil 3.3. %10 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %4 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı grafikleri



Şekil 3.4. %10 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %6 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı grafikleri



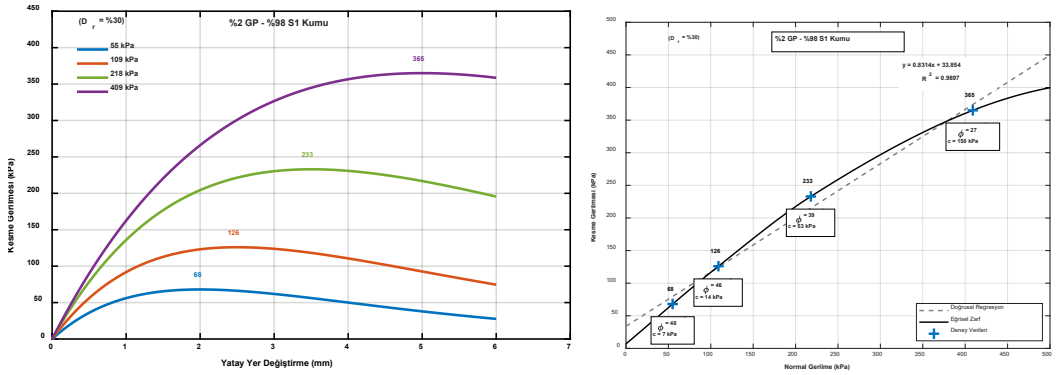
Şekil 3.5. %10 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %8 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı grafikleri



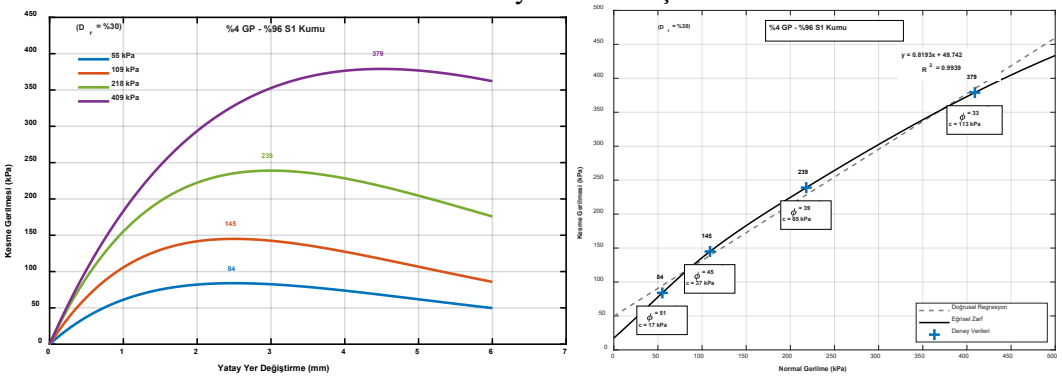
Şekil 3.6. %10 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %10 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı grafikleri

Referans olarak test edilen S1 silis kumunun aynı sıkılık durumu altındaki içsel sürtünme açısının 37° olduğu göz önüne alındığında, karışıma eklenen perlit miktarının artmasıyla birlikte malzemenin kayma mukavemetinde genel bir düşüş eğilimi gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, özellikle %10 perlit katkılı karışımdan elde edilen 32°'lik içsel sürtünme açısı, malzemenin geoteknik dolgu uygulamalarında hedeflenen hafif dolgu kriterlerini başarıyla sağlarken aynı zamanda mühendislik tasarımları için son derece kabul edilebilir bir dayanım performansı sergilediğini ortaya koymaktadır.

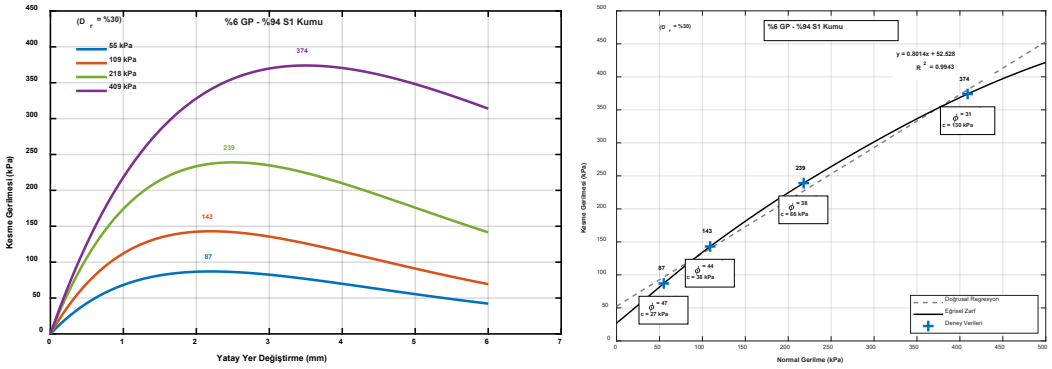
Şekil 3.7 – Şekil 3.11'de %30 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve genleştirilmiş perlit karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı eğrileri sunulmuştur.



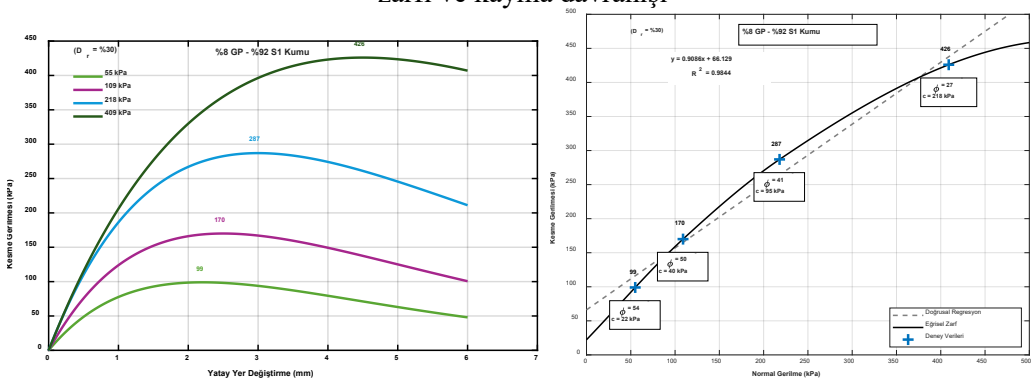
Şekil 3.7. %30 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %2 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı



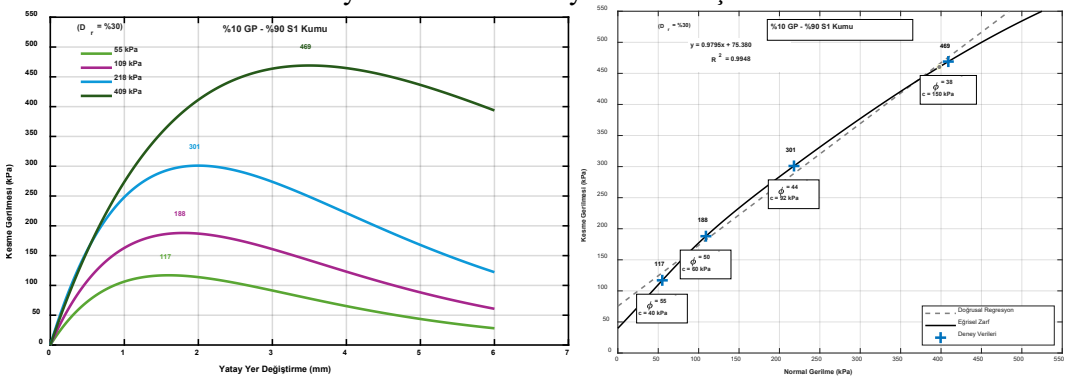
Şekil 3.8. %30 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %4 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı



Şekil 3.9**.** %30 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %6 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı



Şekil 3.10. %30 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %8 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı



Şekil 3.11. %30 rölatif sıkılıktaki S1 kumu ve %10 genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait yenilme zarfı ve kayma davranışı

Referans olarak test edilen saf S1 silis kumunun aynı sıkılık durumu altındaki içsel sürtünme açısının 42° olduğu göz önüne alındığında, kompozit numunelerin kayma mukavemetinde son derece dikkat çekici bir davranış modeli saptanmıştır. Çok gevşek durumdaki karışımlarda perlit ilavesiyle gözlemlenen genel dayanım düşüşünün aksine, gevşek zemin matrisinde %6 perlit oranına kadar yaşanan sınırlı azalmaların ardından %8 ve %10 perlit ilavelerinde içsel sürtünme açısı çok ciddi bir sıçrama gerçekleştirerek 44° seviyesine ulaşmıştır.

3.3. Deneylerin Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde, önceki kısımlarda sunulan S1 silis kumu ve genleştirilmiş perlit karışımlarına ait bulguların genel bir değerlendirmesi ve karşılaştırması yapılmaktadır. Çok gevşek ve gevşek durumları temsil eden %10 ile %30 rölatif sıkılık derecelerindeki tüm

kompozit numunelere ve S1 kumu referans malzemesine ait içsel sürtünme açıları ile göreceli kohezyon değerleri Tablo 3.2'de toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 3.2. %10 ve %30 rölatif sıkılık durumundaki S1 silis kumu ve genleştirilmiş perlit (GP) karışımlarına ait göreceli kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri

	%10 Rölatif Sıkılık		%30 Rölatif Sıkılık	
Mukavemet Parametreleri	Göreceli Kohezyon, (c) kPa	İçsel Sürtünme Açısı, Ø (°)	Göreceli Kohezyon, (c) kPa	İçsel Sürtünme Açısı, Ø (°)
%100 S1 Kumu	33	37	14	42
%100 Genleştirilmiş Perlit (GP)	14	21	7	30
%2 GP - %98 S1 Kumu	36	36	34	40
%4 GP - %96 S1 Kumu	30	36	50	39
%6 GP - %94 S1 Kumu	54	33	53	39
%8 GP - %92 S1 Kumu	71	31	66	42
%10 GP - %100 S1 Kumu	79	32	75	44

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında, S1 Silis kumu ile genleştirilmiş perlit (GP) malzemesinin öncelikle saf hallerine ait mühendislik indeks özellikleri belirlenmiş; ardından silis kumu matrislerine %10 ve %30 rölatif sıkılık derecelerinde, ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında genleştirilmiş perlit ilave edilerek geoteknik uygulamalarda kullanılabilecek yeni bir kompozit zemin malzemeleri için kesme kutusu deneyleri yapılarak kayma mukavemeti parametreleri belirlenmiştir. Genleştirilmiş perlitin hafif dolgu malzemesi olarak zemin mekaniği özelinde sergilediği performansa ve kompozit sistemlerin taşıma kapasitelerine dair elde edilen temel bulgular aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Genleştirilmiş perlitin 1,05 g/cm³ gibi oldukça düşük bir minimum doygun yoğunluğa sahip olması, malzemenin ana iskeleti olan silis kumlarına kıyasla sistemi hafiflettiğini kanıtlamıştır.
- Direkt kesme kutusu deneylerine göre, kompozit zemin numunelerinin başlangıç rölatif sıkılık derecelerinin %10 seviyesinden %30 seviyesine çıkarılmasının, zemin matrisinin mekanik kilitlenme kapasitesini güçlendirdiği; bu durumun genel kayma mukavemeti parametrelerinde ve özellikle malzemenin içsel sürtünme açısı değerlerinde belirgin bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir.
- Direkt kesme kutusu deneyleri sonucunda, referans saf silis kumlarında ortalama 40° olarak ölçülen içsel sürtünme açıları, %2 ile %10 oranlarında genleştirilmiş perlit ilavesiyle ortalama 38° bandına gerilemiştir. Düşük dayanımlı perlit hacminden kaynaklanan bu hafif düşüşe rağmen elde edilen 38° seviyesindeki yüksek direnç, kompozit malzemenin kayma mukavemeti açısından yapısal bütünlüğünü koruduğunu ve güvenli bir hafif dolgu materyali olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.
- Geleneksel kum malzemesine kıyasla elde edilen bu belirgin hafifleme, özellikle düşük taşıma kapasitesine sahip zayıf zeminler üzerine inşa edilecek mühendislik dolgularının dış stabilitesi açısından hayati bir önem taşımaktadır. Bilindiği üzere, geleneksel ağır toprak dolgular zemin tabanında yüksek sürşarj yükleri yaratarak taşıma gücü yenilmelerine, şev kaymalarına ve uzun dönemli aşırı oturma problemlerine yol açmaktadır. Ancak genleştirilmiş perlit katkısıyla birim hacim ağırlığı düşürülen bu kompozit dolgular; zayıf zemin profiline aktarılan düşey efektif gerilmeleri ve aynı zamanda dayanma yapılarına etkiyen aktif yanal toprak basınçlarını ciddi oranda

minimize etmektedir. Bu sayede elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri (32° - 44°) de göz önüne alındığında; geliştirilen perlit katkılı kompozit malzemenin, zayıf zeminlerin taşıma gücü sınırlarını aşmadan, yüksek kayma direnci ve düşük kütle ile güvenli, stabil ve sürdürülebilir bir mühendislik dolgusu alternatifi oluşturduğu açıkça görülmektedir.

5. KAYNAKÇA

Çelik, A., Kılıç, A. ve Çakal, G. (2013), "Expanded perlite aggregate characterization for use as a lightweight construction raw material", Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii - Physicochemical Problems of Mineral Processing, 49, 689-700.

Çirkin, İ. ve Aksoy, Y.Y. (2022), "Pomza, Perlit ve Cam Elyaf Katkılarının Yüksek Sıcaklık Altındaki Kum-Kaolin Karışımlarının Kayma Dayanımı Davranışına Etkisi", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 24(71), 657-663.

Güneri, E. ve Aksoy, Y.Y. (2022), "Kum-Bentonit Karışımlarının Hacimsel Deformasyon ve Yüksek Sıcaklık Altındaki Kayma Dayanımı Davranışının Perlit Katkısı Varlığında İncelenmesi", *[Not: Metninde bu makalenin yayınlandığı dergi adı eksik kalmış, buraya derginin adını ve sayfa numaralarını eklemelisin]*.

Özalp, F. ve Sak, Ö.F. (2024), "Genleştirilmiş Perlit ve Poliüretan Atık Agregaların Hafif Betonların Mekanik Davranış ve Geçirimlilik Özelliklerine Etkileri", Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 2(2), 31-45.

Rahat, E. (2024), "Geoteknik mühendisliğinde sürdürülebilir yapılar için yeni bir stabilizasyon önerisi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Rahat, E. ve Eskişar Tefçi, T. (2023), "Perlit içeren geopolimer zeminin geoteknik özellikleri", 9. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul.

U.S. Geological Survey (2024), "Perlite", Mineral Commodity Summaries 2024, 132-133.