Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 31(2), 261-266, 2025

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Sıvılaştırılmış PET şişe atıklarının ince taneli zeminlerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri

Effects of liquefied PET bottle wastes on physical properties of fine-grained soils

Ahmet Şahin ZAİMOĞLU[1], *Namenur İBİŞ*[1], *Meral OLTULU*[1], *Fatih ARTUK*[1*], *Sibel DUMAN*[2]

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi Erzurum, Türkiye.
zaimoglu@atauni.edu.tr, namenuribis@gmail.com, mroltulu@atauni.edu.tr, fatih.artuk@atauni.edu.tr
[2]Kimya Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye.
sduman@bingol.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 13.04.2023 Düzeltme Tarihi/Revision: 02.05.2024 doi: 10.5505/pajes.2024.26797
Kabul Tarihi/Accepted: 26.05.2024 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dünya'da çevresel sorunlara yol açan milyonlarca adet PET şişe atığı ortaya çıkmaktadır. PET şişe atığı katı formda farklı şekillerde katkı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Ancak PET şişe atıklarını katı halde değerlendirmek bazı alanlarda(geoteknik, yapı malzemesi) kullanılabilirliklerini sınırlı kılmaktadır. Bu nedenle çalışmada sıvılaştırılmış PET şişe atıklarının(SPŞA), ince taneli zeminin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Viskoz sıvı haline getirilen PET şişe atıkları ince taneli zeminin karışım sıvısına farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) ilave edilerek hazırlanan numuneler ile Atterberg Limitleri (wL, wP) ve serbest basınç mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Laboratuvarda yapılan deney sonuçlarından sıvılaştırılmış PET şişe atık malzemesinin %5 oranına kadar karışım suyuna ilave edilmesi serbest basınç mukavemetini artırdığını göstermiştir. Ayrıca karışım suyuna ilave edilen sıvılaştırılmış PET şişe atık oranının artması ile ince taneli zeminlerin işlenebilirliğinin arttığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: PET şişe, Atık, İnce taneli zemin, Atık değerlendirme.

Abstract

Millions of PET bottle wastes occur in the world. These wastes are used as additives in different ways in solid form in many areas However, using PET bottle waste in solid form limits their usability in some areas (geotechnics, building materials). In this study, the effect of liquefied PET bottle waste(LPBW) on some physical and mechanical properties of fine-grained soil was investigated. For this purpose, Atterberg Limits (wL, wP) and unconfined compressive strength tests were carried out with the samples prepared by adding different ratios (5%, 10%, 15% and 20%) to the mixing liquid of the fine-grained soil, which was turned into viscous liquid PET bottle wastes. From the results of the experiments carried out in the laboratory, it has been shown that adding liquefied PET bottle waste material to the mixing water at a rate of up to 5% increases the unconfined compressive strength. In addition, it was determined that the workability of fine grained soils increased with the increase of liquefied PET bottle waste added to the mixing water.

Keywords: PET bottle, Waste, Fine grained soil, Waste utilization.

1 Giriş

Taşıyıcı eleman olarak kullanılan zemin ortamları mekanik ve fiziksel açıdan her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilir. Tarih boyunca zeminlerin istenilen özellikleri kazanabilmesi amacıyla çok farklı iyileştirme yöntemleri kullanılmıştır. Son yıllarda zemin iyileştirme yöntemlerindeki anlayış; hem zemine istenilen özelliklerin kazandırılması hem de çevreye zarar veren ve faydalı alan kullanımını sınırlayan atıkların kullanılması doğrultusunda gelişmektedir. Bu amaçla literatürde farklı atık malzemelerle zemin iyileştirmesi ile ilgili birçok çalışmada yer almaktadır. Çeşitli oranlarda polipropilen lif katkılı donma çözülme çevrimlerine maruz kalan ince taneli zemin numunelerini inceleyen Zaimoğlu, artan lif içeriğinin zemin numunelerinin serbest basınç mukavemet değerlerini artırdığı sonucuna varmıştır [1]. Donma-çözülme davranışının etkisinin araştırılması üzerine yapılan bir başka çalışmada ise atık lastik parçaları kil zemine eklenerek donma-çözülme öncesi ve sonrası serbest basınç mukavemet değişimi Yarbaşı tarafından belirlenmiştir. Yapılan deney sonucu olarak çevrim öncesi atık lastik parçalarının mukavemeti artırdığı çevrim sonrası ise serbest basınç mukavemetinin azaldığı belirlenmiştir[2]. İnşaat atıklarının yüksek plastisiteli kilin mühendislik özelliklerine etkisini araştıran Çimen ve diğ. bir seri deneyler yapmışlardır. Deneylerde inşaat atığı katkısının artmasıyla kilin plastisite indisinin azaldığını, sabit hacimli şişme basıncını ve serbest basınç mukavemetininin arttığını belirlemişlerdir [3]. Donma çözülme çevrimlerinin liflerle(polipropilen ve bazalt lifi) güçlendirilmiş çimento ile stabilize edilmiş zemin numuneleri üzerindeki etkilerini araştıran Sahlabadi ve diğ. çimento içeriğinin ve kür süresinin artması ile mukavemet değerinin de arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca polipropilen liflerle güçlendirilmiş zemin numunelerinin mukavemet değerlerinin bazalt lifi ile güçlendirilen numunelere göre daha yüksek mukavemet değerleri gösterdiklerini belirtmişlerdir [4]. Yüksek plastisiteli kil (CH), düşük plastisiteli kil (CL) ve kötü derecelendirilmiş kum (SP) numunelerine öğütülmüş atık gaz beton katkısı ekleyerek zemin iyileştirmesi ile ilgili bir çalışma yapan Alpyürür ve Şenol atık gaz betonun zemin iyileştirilmesinde kullanılabilir olduğu sonucuna varmıştır [5]. 1999 depreminden kalan inşaat yıkıntı atıkları, kireç ve kil zemin içerisine farklı oranlarda ilave edip CBR değerlerinin inceleyen Vural çalışmasının sonucunda artan katkı oranlarının CBR

*Yazışılan yazar/Corresponding author

değerini de artırdığını belirtmiştir [6]. Ayrıca yapılan benzer bir çalışmada ise Diallo ve Ünsever kireç ve inşaat yıkıntı atıklarının zeminin optimum su muhtevasını azalttığını ve zeminin bazı mühendislik özelliklerini artırdığını elde etmişlerdir [7]. Sıvı haldeki melamin formaldehit polimer katkısını kaolen kile su yerine farklı oranlarda ekleyip küre tabi tutan Saygılı kür süresi sonucunda numunelerin mukavemetinde ciddi artışlar olduğunu ve bu katkının killi zeminlerde zemin iyileştirmede kullanılabilir olduğu sonucuna varmıştır [8]. Biyolojik iyileştirme alanında çalışma yapan Lim ve diğ. bir tür mantar olan Rhizopus oligosporus'un gevşek kum zeminlerde kesme mukavemetini artırdığı sonucuna varmışlardır [9]. Plastik, cam tozu ve e-atık katkılarını zemin iyileştirmede kullanılabilirliğini araştıran Rai ve diğ. kullandıkları atıkların zemin iyileştirmede iyi bir alternatif olduğu sonucunu ifade etmişlerdir [10]. Uçucu kül, polisaj ve kireç kullanarak kil ile numuneler üreten Öntürk, bu katkıların zeminin mukavemetini artırdığı sonucunu elde etmişlerdir [11].

Son yıllarda atık miktarında önemli artış görülen PET şişeler de bu atık malzemelerden birisidir. PET esaslı katı atıklar, dünyadaki katı atık miktarının ağırlıkça %8 ve hacimce %12'sini oluşturmaktadır. Doğaya karışan 125 bin ton pet şişe atığının maliyeti yıllık olarak 70 milyon dolardır [12]. PET şişe atıklarının kazanılmasıyla ilgili literatür incelendiğinde, katı halde PET şişe ve mermer tozu kullanarak beton üzerinde deneyler yapan Çınar ürettiği kompozit malzemenin birçok açıdan olumlu sonuçlar verdiğini görmüştür [13]. Asfalt beton karışımına agrega yerine katı halde PET atık kullanan Hassani ve diğ. PET kullanımının 625 ton doğal kaynağı koruduğu sonucuna varmıştır [14]. Farklı oranlarda katı haldeki PET atığının asfaltın mekanik özellikleri üzerine etkisini inceleyen Movılla-Quesada ve diğ. bir dizi deney sonucunda deformasyona karşı dirençte artış olduğunu görmüşlerdir [15]. Gevşek kum ve siltli kil numunelerine atık katı plastik şişe ekleyerek deneyler yapan Farah deneyler sonucunda kumda içsel sürtünme açısında artış olduğunu kilde ise serbest basınç mukavemetini azalttığını ifade etmiştir [16]. Zukri ve diğ. yaptıkları çalışmada PET ve PP elyaflarının killi zeminlerin stabilizasyonu için takviye malzemesi olarak başarıyla kullanılabileceği sonucuna varmıştır [17]. Atık katı plastiğin zemin iyileştirme hususunda çalışma yapan Peddaiah ve diğ. çalışmalarının sonucunda atık plastiklerin bertaraf problemlerine çözüm sunduğu sonucuna varmışlardır [18]. Ilieş ve diğ. yaptıkları çalışmada killi bir zeminin polietilen atık maddesi ile karıştırılmasının, sıkıştırma özellikleri için yararlı olduğunu, atıkların karıştırıldığı zaman zeminin deformasyonunun azaldığını kanıtlamıştır [19]. Polimer harç üretmek için atık katı PET kullanan Vidales ve diğ. yaptıkları çalışmada polimer harç üretmek için doymamış polyester reçinesi (UPER) ve atık PET parçacıkları uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır [20].

Literatürde görüldüğü üzere PET atıklar ile yapılan çalışmalarda PET atığı katı halde çokça kullanılırken, PET atıklarının sıvı halde kullanımını konu alan bir çalışma yok denecek kadar azdır. Bu nedenle çalışmada sıvılaştırılmış PET şişe atıkları (SPŞA) ince taneli zeminin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. PET atıkları bu halde değerlendirmek hem yeni bir depolama alanı hem de çevreci bir uygulama olacaktır. Çalışmada seçilmiş olan yöntem literatürde bulunmamakla birlikte malzemeler, karışım oranları, üretim metodu ile literatürde öncü bir çalışma olduğu ve sonraki yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

2 Materyal ve yöntem

2.1 İnce taneli zemin

Deneylerde kullanılan ince taneli zemin; Erzurum'un kuzeyinde yer alan Oltu bölgesinden temin edilmiştir. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda etüvde kurutulmuş, tanelenmiş ve 40 nolu elekten geçirildikten sonra bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Zemine ait bazı özellikler.

Table 1. Some properties of the soil.

Özellikler	Değerler
Likit Limit (w_L)	95%
Plastik Limit (w_P)	44.38%
Plastisite İndisi (PI)	50.62%
Zemin Sınıfı*	MH
Optimum Su İçeriği**	25.20%
Maksimum Kuru Yoğunluk**	1.38 Mg/cm^3

*: USCS. **: Harvard Minyatür Kompaksiyon.

Kullanılan ince taneli zemin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ne göre Yüksek Plastisiteli Silt (MH) olduğu belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan ince taneli zemin Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deneyde kullanılan ince taneli zemin.

Figure 1. Fine-grained soil used in the experiment.

2.2 PET şişe atıkları

Deneylerde kullanılan farklı hacimlerdeki (0.5 ve 1.5 litre) PET şişeler Şekil 2(a) atık olarak toplanmış, ambalaj ve kapaklarından ayrılmıştır. Daha sonra yıkanıp kurutulup, makas aracılığı ile küçük parçalara (0-4 mm) bölünerek deneye hazır hale getirilmiştir Şekil 2(b).



(a) (b)

Şekil 2(a): Atık PET şişe. (b): Küçük parçalara ayrılan PET şişeler.

Figure 2(a): Waste PET bottle. (b): PET bottles broken into small pieces.

2.3 Trikloroasetik asit ve diklorometan kimyasalı

Trikloroasetik asit ve Diklorometan kimyasalı özel bir firmadan temin edilmiştir. Üretici firmadan alınan kimyasallara ait görüntüler Şekil 3'te, özellikler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kimyasalların özellikleri.

Table 2. Properties of chemicals.

Ürün Adı	Kimyasal Formül	CAS No	Formül Ağırlığı/Yoğunluk	Asidimetrik	Saflık	Görünüş
Trikloroasetik asit	$C_2HCl_3O_2$	76-03-9	163.38 g/mol	≥99.5%	-------	--------
Diklorometan	CH_2Cl_2	75-09-2	1.31-1.33 gr/cm³	≤0.0005 meq/gr	≥99.5%	Clear/Berrak



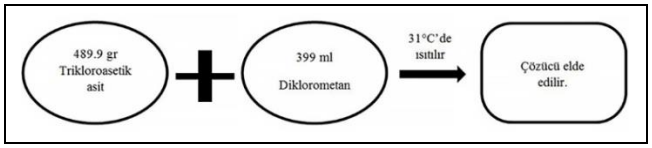
(a) (b)

Şekil 3(a): Trikloroasetik asit. (b): Diklorometan.

Figure 3(a): Trichloroacetic acid. (b): Dichloromethane.

2.4 Sıvılaştırılmış atık Pet şişe üretimi

Sıvılaştırılmış atık PET şişe üretimi Bingöl Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. PET şişe atıklarından viskoz sıvı elde etmek için önce Trikloroasetik asit ve Diklorometan kimyasalları ile çözücü hazırlanmıştır. Hazırlanan çözücü içerisine parçalanmış 135 g atık PET şişe ilave edilerek PET şişelerin tamamen çözülüp şeffaf ve viskoz sıvı formunda çözelti elde edilinceye kadar beklenilmiştir. Çözücü için gerekli malzeme miktarları ve uygulanan prosesi Şekil 4'te, parçalara ayrılmış atık PET şişelerin çözücüde çözünmesi ile elde edilen sıvılaştırılmış PET şişe üretimi ise Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çözücü sıvısının hazırlanma aşamaları.

Figure 4. Preparation stages of the solvent liquid.



Şekil 5. Sıvılaştırılmış PET şişe üretimi.

Figure 5. Production of liquefied PET bottles.

2.5 Atterberg limitleri deneyleri

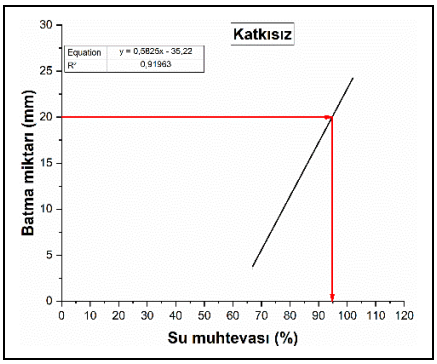
Deneylerde Atterberg Limitleri (Likit limit ve Plastik limit) TS 1900-1 Standardına uygun olarak düşen koni deney aleti ile belirlenmiştir [21]. Atterberg limitleri belirlenirken karışım sıvısı olarak damıtık su kullanılmıştır. Sıvılaştırılmış PET şişe atığının ince taneli zeminlerin Atterberg limitleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla karışım suyuna farklı oranlarda(%5, %10, %15 ve %20) sıvılaştırılmış PET şişe atığı ilave edilerek deneyler tekrar edilmiştir. Likit limit ve plastik limitin belirlenmesine ait görüntü Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6(a): Likit limitin deneyi. (b): Plastik limit deneyi.

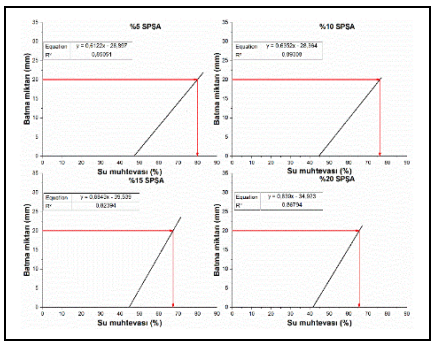
Figure 6(a): Liquid limit test. (b): Plastic limit test.

Damıtık su ve damıtık su içerisine %5, %10, %15 ve %20 sıvılaştırılmış PET şişe atığı ilave edilerek yapılan Likit limitlerin belirlenmesi için çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkileri sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Su muhtevası-batma miktarı ilişkisi (Damıtık su ile hazırlanan).

Figure 7. Water content-sinkage relationship (prepared with distilled water).



Şekil 8. Su muhtevası-Batma miktarı ilişkisi (%5, %10, %15 ve %20 SPŞA).

Figure 8. Relationship between water content and sinking amount (5%, 10%, 15% and 20% LPBW).

2.6 Serbest basınç deneyi

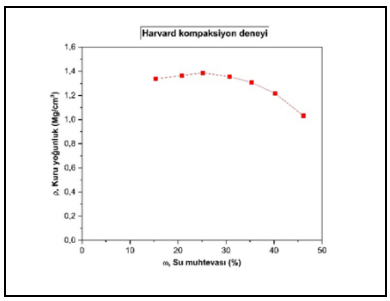
Serbest basınç deneylerinde kullanılacak numuneleri üretmek için ASTM D4647/D4647M standartına uygun Harvard Minyatür Kompaksiyon deney aleti kullanılmıştır (Şekil 9), [22]. Deneylerde ince taneli zemine ait w_{opt} ve ρ_{kmak} elde edilmiştir(Şekil 10). Belirlenen optimum su içeriğine farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) sıvılaştırılmış PET şişe atığı ilave edilerek numuneler üretilmiştir.



Şekil 9. Harvard minyatür kompaksiyon deney düzeneği.

Figure 9. Harvard miniature compaction test rig.

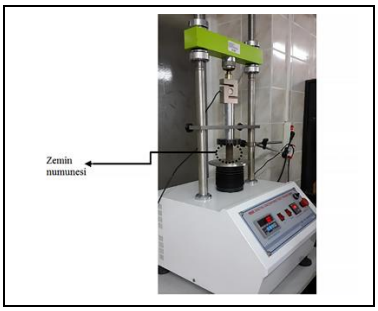
Zeminin optimum su muhtevası w_{opt}=%25.2 ve optimum su muhtevasına karşılık maksimum kuru yoğunluk değeri ise ρ_{kmak}=1.38 Mg/cm3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 10. Su muhtevası-Maksimum kuru yoğunluk ilişkisi

Figure 10. Water content-Maximum dry density relationship

Harvard minyatür kompaksiyon deney aleti ile hazırlanan her bir numunenin serbest basınç mukavemetlerini belirlemek için ASTM D2166/D2166M standardına uygun olarak serbest basınç deneyi yapılmıştır [23]. Serbest basınç deney aletine ait görüntü Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Serbest basınç deney aleti.

Figure 11. Unconfined compressive test apparatus.

3 Bulgular ve tartışma

Sıvılaştırılmış PET şişe atıklarının ince taneli zeminin fiziksel özelliklerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada kıvam deneyleri, kompaksiyon deneyi ve serbest basınç deneyi standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

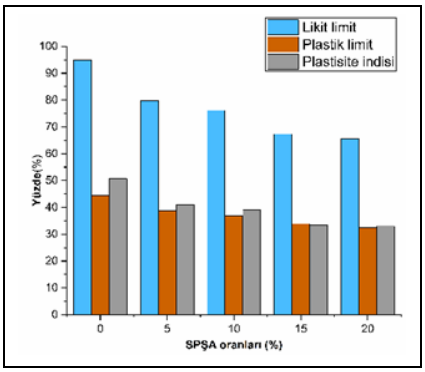
Damıtık su ve damıtık suya farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) SPŞA ilave edilerek yapılan Atterberg Limitleri deneyleri sonucunda elde edilen likit limit ve plastik limit değerleri Tablo 3'te toplu halde verilmiştir.

Tablo 3. Likit limit ve plastik limit değerleri.

Table 3. Liquid limit and plastic limit values.

SPŞA Oranları	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
%0	95	44.38	50.62
%5	79.8	38.79	41.01
%10	76.1	36.92	39.18
%15	67.3	33.88	33.42
%20	65.5	32.56	32.94

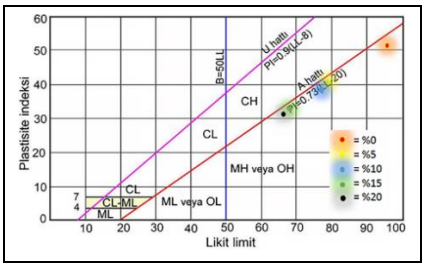
Tablo 3'teki veriler kullanılarak elde edilen likit limit, plastik limit ve plastisite ilişkisi ise Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Likit limit-plastik limit-plastisite indisi grafiği.

Figure 12. Liquid limit-Plastic limit-Plasticity index graph.

Tablo 3 ve Şekil 12 incelendiğinde SPŞA oranı arttıkça likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinin azaldığı görülmektedir. SPŞA oranının artması işlenebilirliğin arttığını göstermektedir. Tablo 3'ten elde edilen sonuçlara göre zemin sınıfları Şekil 13'teki plastisite kartında gösterilmiştir.



Şekil 13. SPŞA oranları ile zemin sınıfları arasındaki ilişki.

Figure 13. Relationship between LPBW ratios and soil classes.

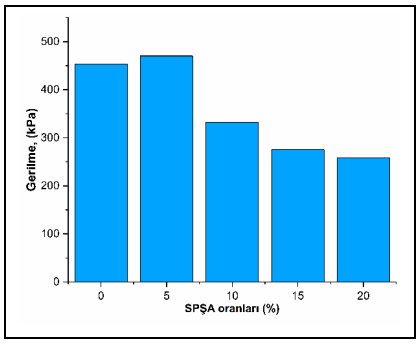
SPŞA oranı artırılması zemin sınıfının değişmesinde önemli rol oynamadığı Şekil 13'te açıkça görülmektedir.

Serbest basınç deneyi sonucunda elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri toplu olarak Tablo 4'te verilmiştir. Bu değerlere ait çubuk grafik ise Şekil 14'te verilmiştir.

Tablo 4. Serbest basınç mukavemeti değerleri.

Table 4. Unconfined compressive strength values.

SPŞA Yüzdesi	Numune No	Gerilme (kPa)
0%	1	453.05
5%	2	470.26
10%	3	332.62
15%	4	275.27
20%	5	258.07



Şekil 14. Her bir yüzdeye karşılık gelen gerilme değerleri.

Figure 14. Stress values corresponding to each percentage.

Tablo 4 ve Şekil 14 incelendiğinde serbest basınç mukavemeti değeri %5'e (SPŞA oranı) kadar arttığı %5'den sonra azaldığı görülmektedir. Yazarlar sıvılaştırılmış Pet şişe atıklarının %5'e kadar kullanılabileceğini bu orandan sonra kullanılmasının önerilmediği sonucuna varmışlardır.

4 Sonuç

Çalışmada, PET şişe atıklarının, ince taneli zeminin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Viskoz sıvı haline getirilen PET şişe atıkları ince taneli zeminin karışım sıvısına farklı oranlarda ilave edilerek hazırlanan numuneler ile Atterberg Limitleri (WL, WP) ve serbest basınç mukavemeti deneyleri yapılmıştır ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Sıvılaştırılmış PET şişe atığı zeminin sınıfını değiştirmemiştir (MH olarak kalmıştır). Fakat zeminin işlenebilirliğini artırmıştır. Bu olumlu bir etkidir.

Zeminin işlenebilirliğinin arttığını, zeminin plastisitesinin azalmasıyla alakalı olduğunu söyleyebiliriz. Pet şişe atık miktarının artmasıyla plastisite indisi azalmıştır.

Katkı miktarının artışı ile likit limitte ve plastik limitte düşüş meydana gelmiştir.

Zeminin serbest basınç deneyi sonucunda %5 SPŞA oranlı zeminin en yüksek gerilmeye sahip olduğu fakat oran arttıkça bu değerin düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bunun anlamı ise fazla SPŞA oranı zeminin taşıma gücüne olumsuz etki ettiğidir. Bu olumsuzluk, atığın sıvı formda olması ile alakalı olabilir.

Bu deney silt zemin üzerinde uygulanmıştır. Deney kil ve kum zeminler üzerinde farklı sonuç vereceği düşünülmektedir.

Atık oranları (özellikle %5 oranından daha düşük oranlarda) ve atığın zemine ilave ediliş biçimleri konusunda yeni kombinasyonlar denenebilir. Bu kombinasyonlar; viskoz sıvının önce zemin ile karıştırılıp ardından suyun eklenmesi, viskoz sıvının su ile karıştırılıp zemin numunesine eklenmesi şeklindedir. Bahsedilen hususların deney sonuçlarını etkileyeceği ve değiştireceği düşünülmektedir.

5 Conclusions

In this study, the effect of PET bottle waste on some physical and mechanical properties of fine-grained soil was investigated. Atterberg limits (WL, WP) and unconfined compressive strength tests were carried out with the samples prepared by adding viscous liquid PET bottle waste to the mixing liquid of fine-grained soil at different rates, and the following results were obtained.

The liquefied PET bottle waste did not change the class of the soil (remains as MH). However, it has increased the workability of the soil. This is a positive effect.

It can be said that the workability of the soil increased, which is related to the decrease in the plasticity of the soil. The plasticity index decreased with the increase of the amount of pet bottle waste.

As the amount of additives increased, the liquid limit and plasticity limit decreased.

As a result of the unconfined pressure test of the soil, it is seen that the soil with 5% SPŞA ratio has the highest stress, but this value tends to decrease as the ratio increases. This means that the excessive SPSA ratio has a negative effect on the bearing capacity of the soil. This negative effect may be related to the fact that the waste is in liquid form.

This test was performed on silty soil. It is assumed that the test on clay and sand soils will give different results.

New combinations can be tried in terms of the amount of waste (especially at less than 5%) and how the waste is added to the soil. These combinations are: First mix the viscous liquid with the soil and then add water, then mix the viscous liquid with water and add to the soil sample. It is assumed that the above points will influence and change the test results.

6 Teşekkür

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından FHD-2020-8399 No.lu Proje ile desteklenmiştir.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Ahmet Şahin ZAİMOĞLU fikrin oluşması, sonuçların incelenmesi ve makalenin kontrol edilmesi kısımlarında; Namenur İBİŞ literatür taraması, deneylerin yapılması ve makale yazımında; Meral OLTULU fikrin oluşması, tasarımın yapılması ve yazım denetiminde; Fatih ARTUK deneylerin yapılması, makale yazımında ve grafik ve teknik çizimlerin yapılmasında; Sibel DUMAN deneylerin yapımı ve yazım denetiminde katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur"

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

9 Kaynaklar

[1] Zaimoglu AS. "Freezing–thawing behavior of fine-grained soils reinforced with polypropylene fibers". *Cold Regions Science and Technology*, 60(1), 63-65, 2010.

[2] Yarbaşı N. "Atık lastik parçaları ile güçlendirilmiş killi zeminlerin donma-çözülme davranışı". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 22(6), 559-562, 2016.

[3] Çimen Ö, Günaydın Hİ, Keskin, SN. "Yüksek plastisiteli kil zeminin mühendislik özelliklerine inşaat atıklarının etkisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 23(3), 250-253, 2017.

[4] Hadi SS, Bayat M, Mousivand M, Saadat M. "Freeze–thaw durability of cement-stabilized soil reinforced with polypropylene/basalt fibers". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(9), 04021232, 2021.

[5] Alpyürür M, Şenol A. "Yüzeysel zemin iyileştirmesinde yeni bir malzeme olarak atık gazbeton kullanımı". *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 9(2), 168-178, 2018.

[6] Vural İ. "İnşaat yıkıntı atıklarının zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliği". *Academic Platform Journal of Engineering and Science,* 7(1), 1-6, 2019.

[7] Diallo ML, Ünsever YS. "İnşaat yıkıntı atığı ve kireçle kil zeminin stabilizasyonu üzerine deneysel bir çalışma". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 26(6), 1030-1034, 2020.

[8] Saygılı A. "Kaolen türü killi zeminlerin dayanım özelliklerinin melamin formaldehit sıvı polimeri kullanarak iyileştirilmesi". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 133-139, 2018.

[9] Lim A, Atmaja PC, Rustiani S. "Bio-mediated soil improvement of loose sand with fungus". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12(1), 180-187, 2020.

[10] Rai AK, Singh G, Tiwari AK. "Comparative study of soil stabilization with glass powder, plastic and e-waste: A review". *Materials Today: Proceedings*, 32, 771-776, 2020.

[11] Öntürk K. Zemin İyileştirmesinde Polisaj, Kireç ve Uçucu Külün Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2011.

[12] Tayyar AE, Üstün, S. "Geri kazanılmış Pet'in kullanımı". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 16(1), 53-62, 2010.

[13] Çınar ME. Atık Pet ve Mermer Tozunun Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2016.

[14] Hassani A, Ganjidoust H, Maghanaki AA. "Use of plastic waste (poly-ethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement". *Waste Management & Research,* 23(4), 322-327, 2005.

[15] Movilla-Quesada D, Raposeiras AC, Olavarría J. "Effects of recycled polyethylene terephthalate (PET) on stiffness of hot asphalt mixtures". *Advances in Civil Engineering*, 2019. https://doi.org/10.1155/2019/6969826

[16] Farah RE. Performance Evaluation of Problematic Soils Reinforced with Plastic Wastes. MSc Thesis, Eastern Mediterranean University, Antalya, Türkiye, 2015.

[17] Zukri A, Nazir R, Mender FN. "An experimental study on stabilization of Pekan clay using polyethylene and polypropylene". *IGNITE-AICCE'17*, Penang, Malaysia, 8-9 August 2017.

[18] Peddaiah S, Burman A, Sreedeep S. "Experimental study on effect of waste plastic bottle strips in soil improvement". *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(5), 2907-2920, 2018.

[19] Ilieş NM, Farcaş VS, Mureşan OC, Gherman MC, Chiorean VF. "Soil Improvement with Polyetylene Waste Materials in order to Improve Mechanical Parameters". *SGEM 2017 International Multidisciplinary Scientific GeoConference*, Albena, Bulgaria, 29 June-5 July 2017.

[20] Vidales JMM, Hernández LN, López JIT, Flores EEM, Hernández LS. "Polymer mortars prepared using a polymeric resin and particles obtained from waste pet bottle". *Construction and Building Materials*, 65, 376-383, 2014.

[21] Türk Standardları Enstitüsü. "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini". Ankara, Türkiye, TS 1900-1, 2006.

[22] ASTM International. "Standard Test Methods for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test". West Conshohocken, PA, USA, ASTM D4647/D4647M-13, 2020.

[23] ASTM International. "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil". West Conshohocken, PA, USA, ASTM D2166/D2166M-16, 2016.