

CAM LİFİ KATKILI YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİNLERDE DOYGUNLUK DERECEİNİN MUKAVEMETE ETKİSİ

EFFECT OF DEGREE OF SATURATION ON THE STRENGTH OF FIBERGLASS- REINFORCED HIGH PLASTICITY CLAY SOILS

Mustafa YILDIZ¹, Tuba Özge NAKİPOĞLU², Şehnaz AYSU

ÖZET

Yüksek plastisiteli killeri geçirimsizliğin sağlanması amacıyla genellikle maden üretim ve atık sahalarında, katı atık depolarında sıklıkla kullanılmaktadır. Esas görevi geçirimsizlik olan kil zeminler aynı zamanda yüksek oranda yüke maruz kalabilirler. Bu kil zeminler suya doymun olduklarında, yüksek basınç durumlarında taşıma güçlerinde önemli problemler oluşmaktadır. Zeminlerin cam lifi kullanılarak taşıma gücünün artırılması günümüzde yeni kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, cam lifi katkıli yüksek plastisiteli kil zeminlerde doymunluk derecesinin mukavemet özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Kil miktarının %0, %0.25, %0.5, %0.75, %1, %1.25 ve %1.5 oranlarında cam lifi kullanılarak optimum su muhtevasında hazırlanan zemin örnekleri üzerinde serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Benzer şekilde aynı oranlarda optimum su muhtevasında hazırlanıp sıkıştırılan zemin örnekleri suya doymun hale getirilmiş ve aynı deneyler yapılmıştır. Doymun durumda olan zeminin, optimum su muhtevasında olan zemine göre mukavemeti değerlendirilmiştir. Deney sonucunda optimum su muhtevasında hazırlanan deney numunelerinde cam lifinin %0.75 oranına kadar eklenmesi ile zeminin mukavemet değerinin arttığı görülmüştür. Bu orandan sonra mukavemette azalma meydana gelmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılıp doymun hale getirilen zemin numunelerinin tüm cam lifi katkı oranlarında mukavemet değerlerinde, optimum su muhtevasında hazırlanan numunelere göre yaklaşık olarak %25-%30 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin stabilizasyonu, cam lifi, serbest basınç mukavemeti, kayma dayanımı

¹ Prof. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, myildiz@ktun.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Arş. Gör., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, todemiral@ktun.edu.tr

ABSTRACT

High plasticity clays are frequently used in mine production and dump areas and solid waste landfill sites to ensure impermeability. Clay soils whose main purpose of usage are impermeability, can also be exposed to high loads. When these soils are saturated, important problems occur in their bearing capacities in high pressure conditions. Increasing the bearing capacity of soils by using fiberglass is a new method nowadays. In this study, the effect of degree of saturation on the strength properties of fiberglass-reinforced high plasticity clay soils was investigated. Unconfined compression test and shear box tests were conducted on clay samples that prepared at optimum water content. Fiberglass weights are 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% and 1.5% of clay in the samples. At the same time, soil samples whose clay to fiberglass ratio are the same were prepared and compacted at optimum water content at first, then they were saturated and the same experiments were done. The strength of the saturated soil with respect to the soil with optimum water content was compared and evaluated. As a result of the experiments, it was observed that the strength of the soil prepared at optimum water content increased with the addition of fiberglass up to 0.75%. Over this ratio, there was a decrease in strength. For all fiberglass ratios the strength of saturated soil samples decreased by approximately 25% -30% compared to the samples prepared at optimum water content.

Keywords: *Soil stabilization, fiberglass, impermeability, unconfined compressive strength, shear strength*

1. GİRİŞ

Yüksek plastisiteli killeri geçirimsizliğin sağlanması amacıyla genellikle maden üretim ve atık sahalarında, katı atık depolarında sıklıkla kullanılmaktadır. Esas görevi geçirimsizlik olan kil zeminler aynı zamanda yüksek oranda yüke maruz kalabilirler. Bu kil zeminler suya doymun olduklarından, yüksek basınç durumlarında taşıma güçlerinde önemli problemler oluşmaktadır. Geçirimsizliğin sağlanması için oluşturulan kil zemin tabakası, aynı zamanda üzerine gelen yükü de güvenli bir şekilde taşımak zorundadır. Yüksek plastisiteli killerin su muhtevası arttığı zaman taşıma gücü azalmakta ve oturma potansiyeli artmaktadır. Killi zeminlerin kimyasal stabilizasyonunda kullanılan başlıca katkı maddeleri kireç, çimento ve uçucu küldür. Fakat bu uygulamalar genellikle yüksek plastisiteli kilin taşıma gücünü artırıp oturma potansiyelini azaltırken, geçirimsizliğini artırmaktadır. Zeminlerin cam lifi kullanılarak taşıma gücünün artırılması günümüzde yeni kullanılan bir yöntemdir. Cam lifler; sertlik, korozyona dayanıklılık, kimyasallarla fazla tepkimeye girmeme gibi tipik cam özelliklerini sergiler. Yüksek çekme mukavemetine sahip bu malzemelerin zemin içinde kullanıldıklarında, gerilmeleri üstlenip, dağıtma eğilimi oluşmaktadır.

Değişik katkılarla kil zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Özellikle kireç, çimento ve uçucu külün katkı malzemesi ve zemin stabilizasyon malzemesi olarak kullanımı çok yaygındır. Bunun dışında çeşitli kimyasallar ve endüstriyel atık maddelerde katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Beton ve diğer yapı malzemelerinin özelliklerinin iyileştirilmesinde cam lifinin kullanılması, zeminlerin mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesinde de kullanımını gündeme getirmiştir ve bu yönde çalışmalar yapılmıştır. Ayyappan vd. (2010) yaptıkları çalışmada, lif içerik ve uzunluklarının, lif takviyeli zemin- uçucu kül karışımlarının performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda

lif ilavesi ile kil zeminin, uçucu külün ve uçucu kül-kil zemin karışımlarında taşıma gücünü artırdığı sonucuna varılmıştır. Çetin ve Şenol (2011) yaptıkları çalışmada, zemine lif ve uçucu kül katkısının zeminin mukavemet ve kompaksiyon özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Polipropilen liflerinin eklenmesi, zemine süneklik kazandırmıştır. Süneklik davranışı, lif içeriğindeki artışla artmış ve lif etkisi, gerilme çatlaklarının daha da genişlemesini ve zemin deformasyonunu engellediği görülmüştür. Patel ve Singh (2016) yaptıkları çalışmada, cam lifinin zeminin sıkıştırma parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Tiwari vd. (2014) yaptığı çalışmada killi zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla taş tozu ve polipropilen liflerinin iyileştirici madde olarak kullanılmasının uygunluğunu bulmak için bir çalışma yapılmıştır. Mender (2015), Asadollahi ve Dabiri (2017), Mirzababaei vd. (2018) yaptıkları çalışmada, cam lifinin rasgele yerleştirilmesinin, killi zeminin taşıma kapasitesi, kayma dayanımı konsolidasyon ve permeabilite üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan tüm araştırmalarda kil-lif numunelerinde lif yüzdesinde artış, mukavemeti artırmıştır. Deneylerde, lif takviyeli zeminin süneklik davranışının lif katılımıyla arttığı görülmüştür.

Bu çalışmada, cam lifi katkılı yüksek plastisiteli kil zeminlerde doygunluk derecesinin mukavemet özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Kil miktarının %0, %0.25, %0.50, %0.75, %1.00, %1.25 ve %1.50 oranlarında cam lifi kullanılarak optimum su muhtevasında hazırlanan zemin örnekleri üzerinde serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Benzer şekilde aynı oranlarda optimum su muhtevasında hazırlanıp sıkıştırılan zemin örnekleri suya doygun hale getirilmiş ve aynı deneyler yapılmıştır. Doygun durumda olan zeminin, optimum su muhtevasında olan zemine göre mukavemeti değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Killer geçirimsizliği çok düşük olan zeminlerdir. Bu özelliğinden dolayı katı atık depolarında, maden atık sahalarında ve barajlarda geçirimsizliğin sağlanması için de kullanılmaktadır. Düzenli depolama sahalarının inşa edilmesindeki amaç; yer altı ve yüzey sularının kalitesinin korunması ve depolama işlemi bittiğinde sahanın kapatılarak tekrar kullanılmasıdır. Geçirimsizliği iyi sağlanmamış bir sahada atıklardan sızan sular, yer altı ve yüzey sularının kirlenmesine ve dolayısıyla insan sağlığına ve doğaya zarar vermektedir.

Altın madenciliğinde siyanürlü proses atıkları, atık barajlarında biriktirilir. Burada zararlı atıkların yeraltı suyuna sızmaması için atık barajlarının geçirimsizliği önemlidir. Ayrıca altın cevherinden altın elde edilmesi işleminde, tabanı geçirimsiz bir tabaka ile kaplanan bir alana bir yığın halinde serilen cevher üzerine dökülen siyanürlü suyun, yığın içinden geçirimsiz tabana doğru süzülürken içindeki siyanür tarafından liç çözeltisine alınan altın daha sonra kimyasal işlemlerle çözüldükten alınır. Bu yöntemde üretilen cevher, tabanı kil zemin ile geçirimsizleştirilmiş, hafif eğimli (3-8°) zemin üzerine yığılır. Yığın yükseklikleri yığının perkolasyon özelliğine göre 3 ile 15 m arasında değişir (Çetiner vd., 2006). Böyle bir durumda suya doygun kil zemin tabakasının taşıma gücünün yüksek, geçirimsizliğinin düşük olması gerekir. Bu işlem sırasında 6-30 t/m² basınca maruz kalan ve geçirimsiz tabana süzülen siyanürlü su killi zeminlerin taşıma gücünü etkilemektedir. Doygun hale gelmiş kil zemin tabakasının taşıma gücünde azalma meydana gelebilecektir.

Yol, havaalanı, toprak baraj, geçirimsizlik tabakası vb. toprak dolgu inşaatlarında zemin katkısız veya katkılı olarak optimum su muhtevasında sıkıştırılır, taşıma gücü ve oturma

parametrelerinin belirlenmesinde bu değerler kullanılır. Yapılan çalışmalar genelde killi zeminlerin optimum su muhtevasında katkı veya katkısız hazırlanan numunelerin mukavemet ve diğer özelliklerinin belirlenmesi şeklinde olmaktadır. Çalışmada bu numunelerin suya doymun hale geldiklerinde özelliklerinde ne tür değişikliklerin olduğu araştırılmıştır.

2.1. Deneysel Çalışma

Çalışma kapsamında kullanılan kil zemin ticari bir firmadan temin edilmiştir. Zemin üzerinde ASTM ve TS 1900-1 standartlarına göre Atterberg Limitleri, piknometre, ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. USCS zemin sınıflandırma sistemine göre zemin sınıfı yüksek plastisiteli kil (CH) olarak belirlenmiştir. Ayrıca kil zemin üzerinde kompaksiyon deneyi yapılmış, optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluk değerleri bulunmuştur. Kil zeminin fiziksel özellikleri ve kompaksiyon değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Killi zeminin fiziksel özellikleri

Likit limiti (w_L) (%)	66
Plastik limit (w_P) (%)	28
Plastisite indisi (I_P) (%)	38
USCS zemin sınıfı	CH
Tane yoğunluğu (ρ_s) (Mg/m^3)	2.64
İnce tane (kil+silt) yüzdesi (%)	100
Max. kuru yoğunluk (ρ_{kmax}) (Mg/m^3)	1.57
Optimum su muhtevası (%)	21

2.2. Kil-Cam Lifi Numunelerinin Hazırlanması

Etüvde kurutup öğütülen kil zemine, zemin kuru ağırlığının %0, %0.25, %0.50, %0.75, %1.00, %1.25, %1.50 oranlarında cam lifi eklendi. Kullanılan cam lifinin uzunluğu 12 mm’dir. Cam lifi zemine homojen olarak dağıtılarak karıştırılmıştır. Cam lifinin zemine ilavesinden sonra eklenecek su miktarı, kompaksiyon deneyi sonucu elde edilen optimum su muhtevası değerine göre belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında hazırlanan bu karışım standart Proktor deneyi yapılarak sıkıştırılmıştır. Serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri iki durum için değerlendirilmiştir. Birinci durumda zeminler belirlenen oranlardaki karışımlarda optimum su muhtevasında sıkıştırılıp, deney numuneleri standart numune alıcıların sıkıştırılmış zemine çakılmasıyla alınmıştır. İkincide ise, belirlenen oranlardaki karışımlarda optimum su muhtevasında sıkıştırılan zeminin kompaksiyon kalıbında suya koyularak doymun hale gelmesi sağlanmış (zeminin şişmesi engellenmiş) ve doymun zeminden deney numuneleri standart numune alıcıların zemine çakılmasıyla alınmıştır.

2.3. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi ASTM D2166/D2166M-16 standardına göre yapılmıştır. Optimum su muhtevası belirlenen kil zemine %0, %0.25, %0.5, %0.75, %1.0, %1.25, %1.5 oranlarında cam lifinin eklenmesiyle karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım kompaksiyon kalıplarına standart Proktor deneyi yapılarak (%21) optimum su muhtevasında sıkıştırılmıştır. Hazırlanan numuneler iki durum için incelenmiştir. İlk durumda, zemin optimum su oranında hazırlanıp ve sıkıştırılmış zemine 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde silindir tüpler çakılmıştır. Her cam lifi oranı için kompaksiyon kalıbına 3 tüp çakılıp numune

alınmıştır. Alınan numuneler 1 gün desikatörde bekletilmiş ve numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. İkinci durumda ise belirli oranlarında cam lifinin eklenmesiyle hazırlanan karışım yine optimum su muhtevasında hazırlanıp sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan bu karışım doymuş hale gelmesi için 5 gün boyunca suda bekletilmiş ve zeminin şişmesi engellenmiştir. Kompaksiyon kalıplarında doymuş hale gelen sıkıştırılmış zemine 38 mm çapında 76 mm yüksekliğinde silindir tüpler çakılarak serbest basınç deneyi için numuneler hazırlanmıştır.

2.4. Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyi ASTM D6528 – 17 standardına göre yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme kutusu kalıpları 60×60 mm kesitli ve 25 mm yüksekliğindedir. Deney numuneleri serbest basınç deneyinde olduğu gibi (%21) optimum su muhtevasında %0, %0.25, %0.50, %0.75, %1.00, %1.25, %1.50 oranlarında hazırlanan kil-cam lifi karışımlarının standart Proktor deneyiyle sıkıştırılıp, kesme kutusu kalıplarının çakılıp alınmasıyla elde edilmiştir. Aynı şekilde belirlenen oranlarında hazırlanan kil-cam lifi karışımlarının standart Proktor deneyiyle sıkıştırılıp doymuş duruma getirilen zemine kesme kutusu kalıpların çakılmasıyla numuneler alınmıştır. Deney ile zeminin kohezyon değeri (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) bulunmuştur.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

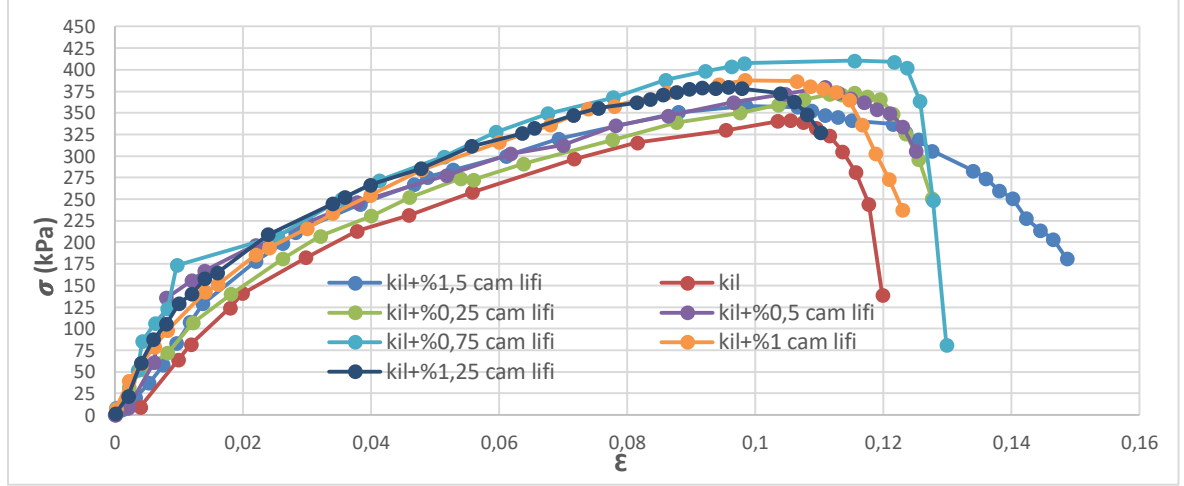
3.1. Serbest Basınç Deney Sonuçları

Kil zemine katkısız ve cam lifi katkılı serbest basınç deneyleri iki durum için yapılmıştır. Birinci durum optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler ile ikinci durum ise optimum su muhtevasında hazırlanıp suya doymuş hale getirilen numunelerin serbest basınç deney sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2’de verilen optimum su muhtevasında hazırlanan ve doymuş hale getirilen numunelerin serbest basınç deney sonuç grafikleri Şekil 1’de verilmiştir.

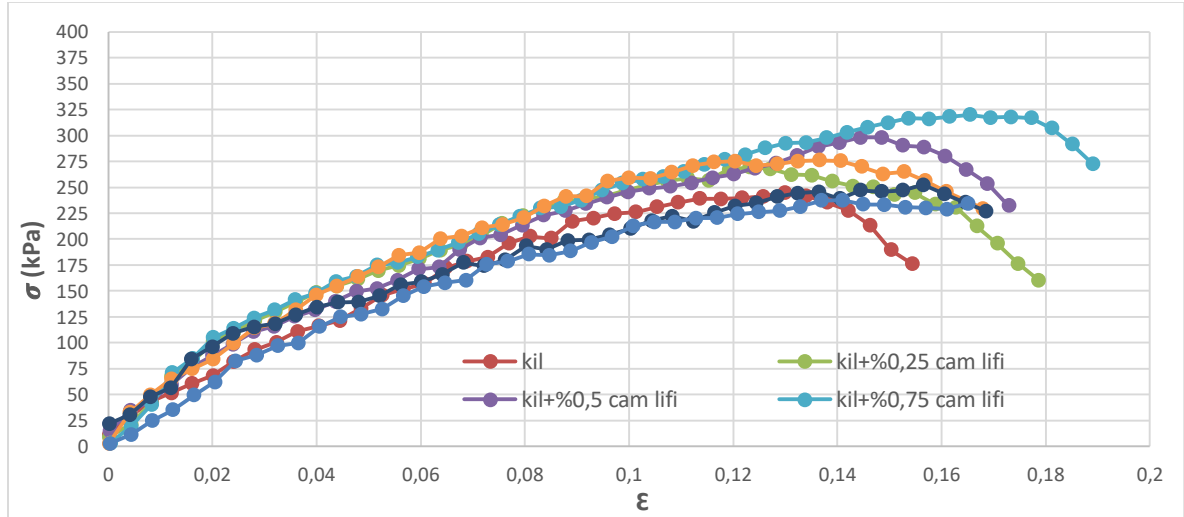
Tablo 2. Optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin suya doymuş hale gelmesiyle mukavemetinde meydana gelen azalma yüzdeleri

Tasarım No	Cam Lifi Oranı	Serbest Basınç Mukavemeti (kN/m ²)		Serbest Basınç Mukavemetinde Azalma (%)
		Optimum Su Muhtevasında	Suya Doymuş Durumda	
1	%0	340	245	28
2	%0.25	370	269	27.3
3	%0.50	380	298	21.6
4	%0.75	415	320	22.9
5	%1.00	390	276	29.2
6	%1.25	380	246	35.3
7	%1.50	360	237	34.2

Birinci durum, optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin deney sonucuna göre zemin numunesinin serbest basınç mukavemeti %0.75 cam lifi katkısında en yüksek değere ulaşılmıştır. Mukavemetin bu değerden sonra düşmeye başladığı görülmüştür. Deney sonuçları literatürde olan çalışmalarla benzerlik göstermiştir.



a)



b)

Şekil 1. Serbest basınç deney sonuçları (a) Optimum su muhtevası ve b) suya doymun

İkinci durumda ise, optimum su muhtevasında hazırlanıp suya doymun hale getirilen numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri, optimum su muhtevası durumunda bulunan numunelere kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. Mukavemet değerleri tüm cam lifi oranlarda yaklaşık olarak %25-%35 arasında azalmıştır. Doygun durumda olan zemin numunelerinde sünme meydana gelmiştir. Kil zeminlerde deformasyonun arttığı durumlarda kırılma mukavemeti değeri, numune boyunun %15-%20 deformasyon değerine karşılık gelen gerilme değeri dikkate alınmıştır.

3.2. Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Kil zemine katkısız ve cam lifi katkılı kesme kutusu deneyleri iki durum için yapılmıştır. Birinci durum optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler ile ikinci durum ise optimum su muhtevasında hazırlanıp suya doygun hale getirilen numunelerden, 60×60 mm kesitli ve 25 mm yüksekliğinde hazırlanan numunelerin kesme kutusu deney sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te suya doygun numunelerin optimum durumda olan numunelere kıyasla kohezyon ve içsel sürtünme açısında meydana gelen azalma yüzdeleri verilmiştir.

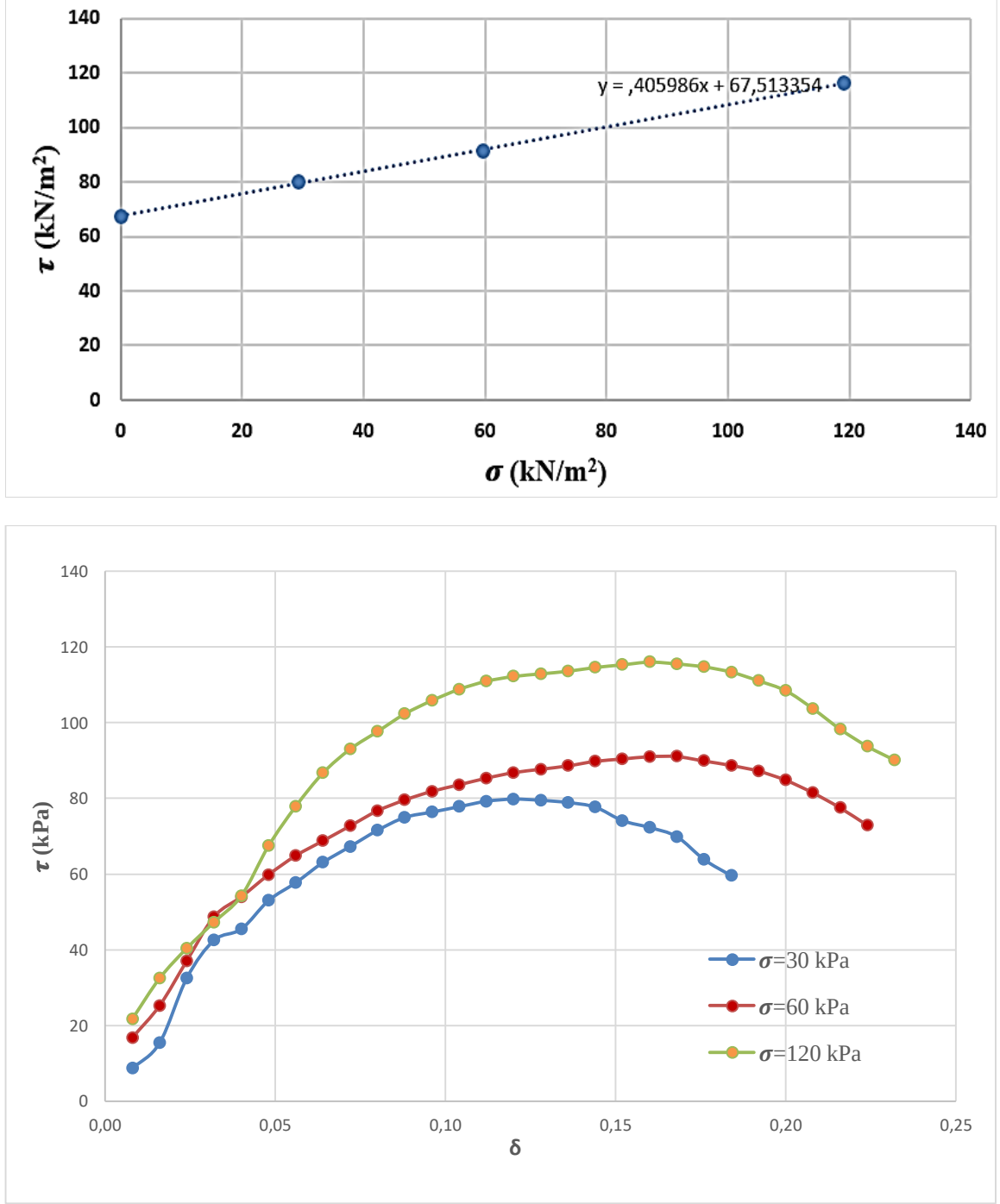
Tablo 3. Doygun durumda bulunan numunelerin kohezyonlarında meydana gelen azalma yüzdeleri

Kesme Kutusu Deneyi				
Tasarım No	Cam Lifi Oranı	Optimum Su Muhtevası	Suya Doygun Durumda	Kohezyonda Azalma (%)
		Kohezyon (c)	Kohezyon (c)	
1	%0	51	38	25.5
2	%0.25	56	50	10.7
3	%0.50	67	55	17.9
4	%0.75	68	56	17.6
5	%1.00	62	51	17.7
6	%1.25	58	50	13.8
7	%1.50	50	48	4

Tablo 4. Doygun durumda bulunan numunelerin içsel sürtünme açısında meydana gelen azalma yüzdeleri

Kesme Kutusu Deneyi				
Tasarım No	Cam Lifi Oranı	Optimum Su Muhtevası	Suya Doygun Durumda	İçsel Sürtünme Açısında Azalma (%)
		İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	
1	%0	34	27	20.6
2	%0.25	35	28	20
3	%0.50	40	34	15
4	%0.75	41	33	19.5
5	%1.00	41	32	21.9
6	%1.25	41	32	21.9
7	%1.50	36	30	16.6

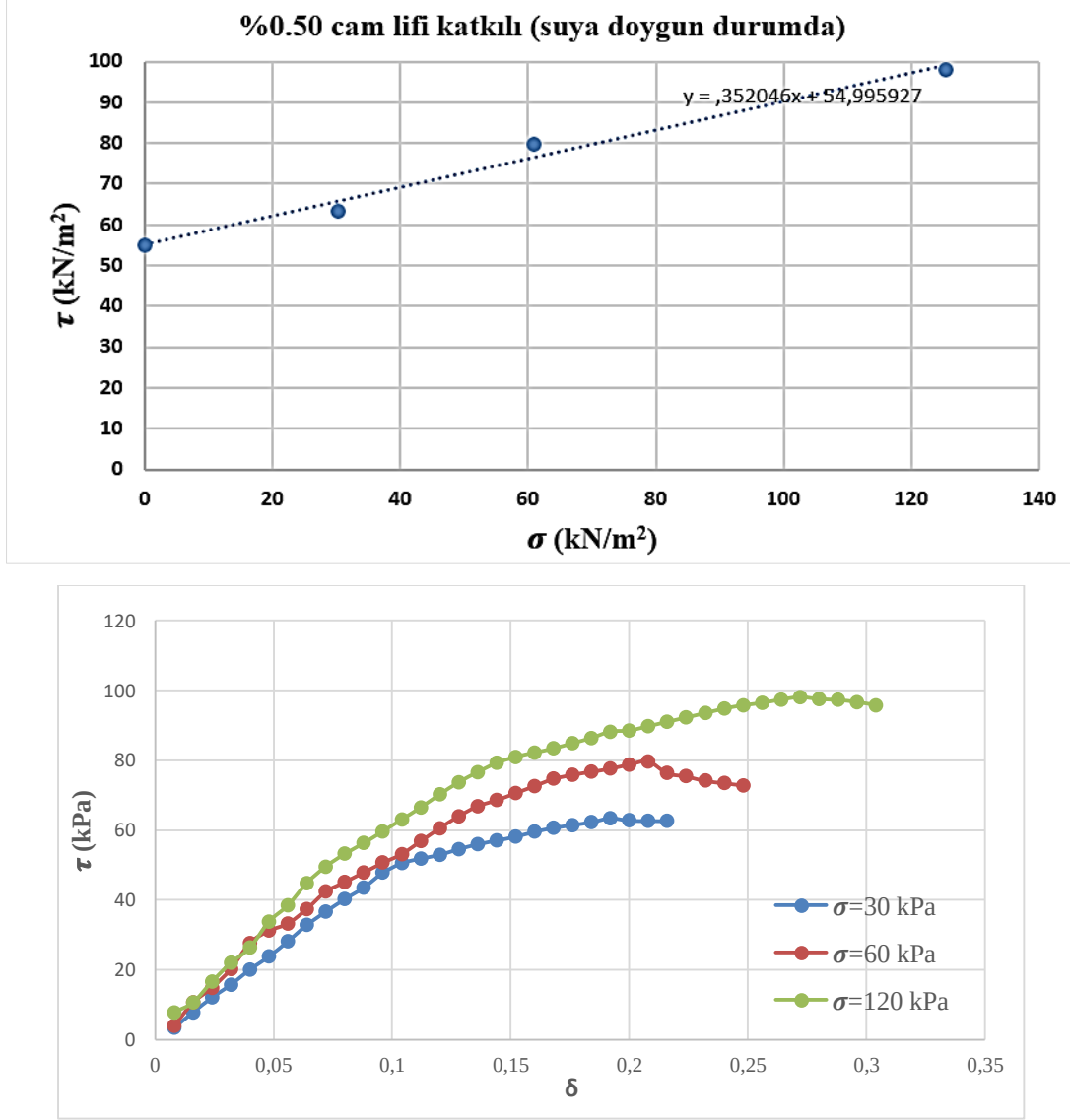
Cam lifi eklenen ve optimum su muhtevasında hazırlanan kil zeminin kayma dayanımında belirli miktarlarda artışlar meydana gelmiştir. Zeminin yatay yönde deformasyon miktarını artırarak daha sünek davranmasını sağlamıştır. Cam lifi katkısı killi zeminde bir nevi donatı işlevi görmüştür. En yüksek kayma dayanımı %0.75 katkı oranında elde edilmiştir. Katkısız duruma göre yaklaşık %25-%30 oranında iyileştirme meydana gelmiştir. Cam lifi katkısı kil zeminde donatı görevi yaptığı için zeminin kohezyonunu ve içsel sürtünme açısını da artmıştır.



Şekil 2. % 0.50 cam lifi katkılı-optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerin kesme kutusu deney sonuçları

Farklı oranlarda farklı yöntemler uygulanarak yapılan araştırmaların çoğu lif katkısının zemini gevrek olması durumundan uzaklaştırıp daha sünek olmasını sağladığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar literatür sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Doygun durumda olan numunelerin yatay deformasyon yapma miktarı artmıştır. Kayma mukavemeti değerleri optimum su muhtevasında olan numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Cam lifi katkısı genel olarak suya doymuş numunelerin kohezyonlarında ve içsel sürtünme açılarında optimum su muhtevasında olan numunelere göre bir azalma meydana gelmiştir. Tablo 3 ve

Tablo 4'te verilen optimum su muhtevasında hazırlanan ve doymun hale getirilen (%0.50 cam lifi katkılı) numunelerin kesme kutusu deney sonuç grafikleri Şekil 2 ve 3'te örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3. % 0.50 cam lifi katkılı-suya doymun durumda hazırlanan numunelerin kesme kutusu deney sonuçları

4. SONUÇLAR

Çalışmada, yüksek plastisiteli kil zeminin stabilizasyonunda (iyileştirilmesinde) cam lifi kullanımı araştırılmıştır. Yapılan çalışmada cam lifi katkısının kil zeminin serbest basınç, kayma dayanımı özelliklerine etkisi araştırılmış, optimum su muhtevasında hazırlanıp doymun hale getirilen kil zeminin, optimum su muhtevasında bulunan zemine göre mukavemet ve kayma direnci oranları karşılaştırılmıştır.

Deney sonucunda optimum su muhtevasında hazırlanan deney numunelerinde cam lifinin %0.75 oranına kadar eklenmesi ile zeminin mukavemet değerinin arttığı görülmüştür. Bu

artış katkısız zemine göre yaklaşık %25 oranında olmuştur. Cam lifi katkısının zeminin deformasyon yapma özelliğini artırıp gevrek kırılmayı azalttığı sonucu elde edilmiştir. %0.75 oranından sonra mukavemette azalma meydana gelmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılıp doymun hale getirilen zemin numunelerinin tüm cam lifi katkı oranlarında (%0, %0.25, %0.50, %0.75, %1.00, %1.25, %1.5), mukavemet parametrelerinde, optimum su muhtevasında hazırlanan numunelere göre yaklaşık olarak kohezyonda (c) %4-%26, içsel sürtünme açısı (ϕ) de %15-%22 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Geçirimsizlik ve taşıma gücünün önemli olduğu yüksek plastisiteli kil zemin tabakalarında bu durum dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- ASTM D2166/D2166M-16 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D6528 – 17 Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils, American Society for Testing and Materials, USA.
- Asadollahia, F., Rouzbeh Dabiri, R., 2017, "Effects Of Glass Fiber Reinforced Polymer On Geotechnical Properties Of Clayey Soil", Journal Of Structural Engineering And Geotechnics, 7 (2), 73-83.
- Ayyappan, S., Sundaram, M., Hemalatha, K., 2010, "Investigation of Engineering Behavior of Soil, Polypropylene Fibers and Fly Ash -Mixtures for Road Construction", International Journal of Environmental Science and Development, 1 (2), 171,175.
- Çetiner, E., Ünver, B., ve Hindistan, M.A., 2006, "Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye", Madencilik, 45 (1): 23-34.
- Mender, F., N., B., 2015,"Stabilization Of Clayey Soil Using Polyethylene And Polypropylene", Faculty Of Civil Engineering And Earth Resources University Malaysia Pahang, 1-13.
- Mirzababaei, M., Arulrajah, A., Haque, A., Nimbalkar S., Mohajerani A., 2018, "Effect of fiber reinforcement on shear strength and void ratio of soft clay", Geosynthetics International.
- Patel, S., C., Singh, B., 2016, "Investigation Of Glass Fiber Reinforcement Effect on the CBR Strength Of Cohesive Soil", Indian Geotechnical Conference, India.
- Tiwari, A., Mahiyar, H., K., 2014, "Experimental Study On Stabilization Of Black Cotton Soil By Fly Ash, Coconut Coir Fiber & Crushed Glass", International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering, 4 (11), 330-333.
- TS 1900-1, 2006, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, TSE, Ankara.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
w_L	Likit limiti, (%)	ρ_s	Tane yoğunluğu (Mg/m^3)
w_P	Plastik limit (%)	ρ_{kmax}	Max. Kuru yoğunluk Mg/m^3)
I_P	Plastisite indisi (%)	τ	Kayma gerilmesi
c	Kohezyon (kPa)	σ	Normal gerilme
ϕ	İçsel Sürtünme Açısı (°)		