

ÇİMENTO VE POLİPROPİLEN LİF KULLANARAK DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİNLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

İlham ŞAHBAZ *^{ID}
Yeşim S. ÜNSEVER *^{ID}

Alınma: 01.10.2020; düzeltme: 16.11.2020; kabul: 05.12.2020

Öz: Zemin iyileştirme, zeminin zayıf mühendislik özelliklerinin çeşitli yöntemler kullanılarak iyileştirilmesidir. Bu çalışmada, yüzeysel zemin stabilizasyonu kapsamında çimento ve polipropilen lif ile stabilizasyon ele alınmıştır. Bursa Uludağ Üniversitesi kampüsünden alınan zemine ilk olarak elek analizi, hidrometre, özgül ağırlık ve kıvam limit deneyleri yapılarak zemin sınıflandırılması yapılmıştır. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre düşük plastisiteli kil olarak sınıflandırılan doğal zemine zemin iyileştirilmesi amacıyla %5, %10 oranlarında çimento ve %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında polipropilen lif katılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu karışımların kompaksiyon deneyi ile optimum su içerikleri ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiş ve bu değerlere göre hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç (1, 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde), CBR ve şişme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda doğal zemine ilave edilen katkı maddeleri zeminin mühendislik özelliklerini çeşitli oranlarda iyileştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, çimento, polipropilen lif, düşük plastisiteli kil, laboratuvar deneyleri

Improvement of Low Plasticity Clay Soils Using Cement and Polypropylene Fiber

Abstract: Soil stabilization is the improvement of the soil's weak engineering properties by different methods. In this study, surface soil stabilization with cement and polypropylene fiber is discussed. First of all, sieve analysis test, hydrometer test, specific gravity test and Atterberg limit tests were performed on the soil, taken from Bursa Uludag University campus, to classify the soil according to United Soil Classification System, which is classified as low plasticity clay. Then, 5%, 10% cement and 0.5%, 1.0% and 1.5% polypropylene fiber are added to this soil to prepare various test specimens. These test specimens' optimum water contents and maximum dry unit weights are obtained by Proctor compaction tests. After that, the samples are prepared according to their optimum water contents and Unconfined Compression tests, California bearing ratio (CBR) tests and swelling tests are performed on these samples. The results of the experiments show that additives added to the low plasticity clay soil improves the soil's engineering properties in different manners.

Keywords: Soil improvement, cement, polypropylene fiber, low plasticity clay, laboratory experiments

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

İletişim Yazarı: unsever@uludag.edu.tr

1. GİRİŞ

Tüm mühendislik yapıları temelleri vasıtasıyla zemine yük iletirler. Zeminin yeterli mukavemete sahip olması durumunda bu yükleri emniyetle taşıyabilesi söz konusudur. Buna ek olarak, zeminin diğer mühendislik özellikleri de yapıya uygun olmalıdır. Ancak çoğu zaman zeminler, üzerine inşa edilecek yapılar için gereken zemin koşullarını karşılayamamaktadır. Bu durumda mevcut zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle, yetersiz temel ortamının kullanılma zorunluluğu ve sağlam zemin bölgelerinin azalması ile yapıların boyutlarının artması sonucu yarattıkları büyük gerilmeler nedeniyle zeminlerin iyileştirilmesi ihtiyacı doğmuştur (Kızılçelik, 2010).

Zemin iyileştirilmesi, zeminlerin belirli özelliklerinin çeşitli yöntemlerle iyileştirilmesidir ve çok sayıda zemin stabilizasyon yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden biri de zemine katkı maddeleri karıştırarak, bazı fiziksel özelliklerini değiştirerek zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Katkı maddeleri olarak kireç, çimento, bitüm, uçucu kül, polimer gibi maddeler zemin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Farklı katkı maddeleri ile zemin iyileştirilmesi üzerine birçok araştırma mevcuttur. Bunlardan birkaçı şu şekildedir; Türköz (2006), Tüylüce (2010), Ghabae (2015), Vural (2019) çalışmalarında kil bir zeminin mühendislik özelliklerinin kireç ile iyileştirilmesini incelemiştir. Tüylüce (2010), kireç ile iyileştirilen deniz kilinin mukavemetinin serbest basınç deney sonuçlarına göre beş kata kadar, CBR deney sonuçlarına göre ise yedi kata kadar arttığını belirtmiştir. Ghabae (2015) deneysel çalışmalarının sonucunda, yüksek plastisiteli bentonitin mukavemetinin farklı yüzdelerde kullanılan kireç ve kür süresiyle arttığını saptamıştır. Vural (2019) ise şişme potansiyeli yüksek olan kaolen kili, inşaat yıkıntı atığı ve kireci birlikte kullanarak deneyler yapmıştır. Bu deneylerde kireç oranını %5 ile sabit tutarken çeşitli oranlarda inşaat yıkıntı atığı kullanarak en yüksek mukavemeti sağlayacak inşaat yıkıntı atığı oranını %23 olarak tespit etmiştir. Türköz (2006) çalışmasında, yüksek şişme potansiyeline sahip Meşelik killerin kireç katkısı ile stabilizasyonunu araştırmıştır. Araştırmada kil zemine sönmüş kireç katkısı ile zeminin şişme potansiyelinin nasıl değişeceği incelenmiştir. Deneyler sonunda, sönmüş kireç katkısının killerin şişme potansiyeline pozitif etki ettiği, %3 seviyesinden sonra ise daha etkili olduğu görülmüştür. Kılıç (2008), Karaçoban (2018) ise katkı malzemesi olarak çimento kullanımı üzerine deneyler yapmıştır. Kılıç (2008) çalışmasında, farklı oranlarda çimento ilavesiyle hazırlanan numunelere veyn, üç eksenli basınç ve serbest basınç deneyleri yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çimento ile yapılan iyileştirmede kilin drenajsız kayma mukavemeti değerlerini arttığı görülmüştür. Karaçoban' ın (2018) çalışmasında, İzmir Körfezi'nden zemin örnekleri alınmış, kireç ve çimento kimyasal katkı malzemeleri farklı oranlarda eklenerek tarama malzemesinin geoteknik amaçlı muhtemel dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. En yüksek oranda iyileştirme %9 kireç eklenmiş zemin karışımlarında gözlenmiştir. Kalıpcılar ve diğ. (2015) ve Mardani-Aghabaglou ve diğ. (2016) çimento ile stabilizasyonda sülfat etkisini çalışmıştır. Kalıpcılar ve diğ. (2015) çalışmasında, stabilizasyon için Portland çimentosu kullanımının sülfat etkisine maruz kalmış zeminlere etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çimento içeriğinin ve kür süresinin artışı ile birlikte dayanımda artış, kloriyon geçirimsizliğinde azalma meydana gelmiştir. Mardani-Aghabaglou ve diğ. (2016), çimento ile stabilize edilmiş kaolinin sülfat saldırısına maruz kalması durumundaki şişme davranışını incelemiştir. Deney sonucunda, sülfata dayanıklı çimento kullanılarak iyileştirilmiş killerde, Portland çimentosu ile iyileştirilmiş killere göre daha az şişme gözlemlenmişlerdir. Aytekin ve Nas (1997) çalışmalarında, sarı, kahverengi ve kırmızı renkli zeminlerin dayanımının arttırılması için değişik oranlarda kireç ve çimento katkıları ile iyileştirilmesini araştırmıştır. Numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deneylerinden, kireç katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda, basınç dayanımındaki artışın belli bir katkı oranının (%15) üzerinde olması halinde etkili olmadığı görülmüştür. Çimento katkılı numunelerde ise çimento oranının arttırılması ile serbest basınç dayanımında sürekli artışlar gözlenmiştir. Öztürk (2007), Yılmaz ve Sevcen (2010), Çetin (2011), Çetinkaya (2012), Etminan (2012) polimerin zemin iyileştirme üzerindeki etkisini araştırmıştır. Öztürk (2007)

çalışmasının amacı, kaolin zeminlere liflerin eklenmesinin zemin kayma mukavemetine olan etkilerini araştırmaktır. Zemine propilen liflerin eklenmesi kayma açısı, kohezyon, basınç dayanımı, CBR değerlerini artırmış, büzülme oranını ise düşürmüştür. Yılmaz ve Sevcen (2010) çalışmasında ise lif ilavesinin serbest basınç dayanımında düşme eğilimine neden olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarda, en önemli artış %0,5 ila %1 lif eklenmesiyle görülmüştür. Çetin (2011) çalışmasında, yüksek plastisiteli yumuşak bir kilin, yüzeysel zemin iyileştirmesi kapsamında, C tipi uçucu kül, eskitilmiş kopolimer ve ağ yapılı polipropilen liflerin katkısıyla taşıma gücünün artırılmasına yönelik bir deneysel çalışma yapmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda, hazırlanan farklı birleşimlerin, yüksek plastisiteli kilin mukavemetini farklı yüzdelerde arttırdığı saptanmıştır. Çetinkaya (2012) çalışmasında yüksek plastisiteli kilin zeminlerin mühendislik özelliklerinin uçucu kül ve lif katkısı yardımıyla iyileştirilmesini araştırmıştır. Yapılan deneysel sonucunda uçucu kül ve polipropilen lifin zemin CBR ve serbest basınç değerlerinde önemli oranda artışa neden olduğu tespit edilmiştir. En uygun karışım ise eşit miktarda kil-uçucu kül karışımı ve %1,0 polipropilen lif olarak belirlenmiştir. Etminan (2012) çalışmasında yüksek ve düşük plastisiteli yumuşak kil zeminlere uçucu kül, kopolimer, polipropilen ve VHP lifler ekleyerek zeminin taşıma gücünün artırılmasını amaçlamıştır. Bu malzemelerin farklı oranlardaki karışımları ile hazırlanan numunelere kompaksiyon, serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, kullanılmış bütün alternatif malzemelerin zeminin kil zeminin mukavemetini arttırdığı görülmüştür. Yüksek plastisiteli ve düşük plastisiteli killi zeminlerde ise mukavemet artışlarının farklı yüzdelerde olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde yapılan araştırmalarda görüldüğü üzere, zemin iyileştirilmesi üzerine yapılan bir çok çalışma yüksek plastisiteli killer üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada ise, çimentonun polipropilen lif ile birlikte düşük plastisiteli kil zeminlerin stabilizasyonu üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bursa kentinde, Bursa Uludağ Üniversitesi bölgesinden alınan kil zemin numunesine çeşitli oranlarda portland çimentosu ve polipropilen lif ilave edilerek oluşturulan stabilize malzemenin özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla yalın numune ile elek analizi, hidrometre, Atterberg limitleri, özgül ağırlık, Proktor (kompaksiyon) deneyleri yapılmış, zeminin sıkışabilirlik ve mukavemet özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra alternatif malzeme olarak kullanılan çimento ve polipropilen lif, killi zemine kuru zemin ağırlığının farklı oranlarında karıştırılarak serbest basınç deneyleri, CBR ve şişme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda çimentonun ve polipropilen lif katkısının düşük plastisiteli killi zeminlerin mühendislik özelliklerini nasıl etki ettiği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE METOD

2.1. Malzeme

Bursa Uludağ Üniversitesi kampüsünden alınan zemin numunesi birleşmiş zemin sınıfına göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak tanımlanmıştır. Stabilizasyonda katkı malzemesi olarak ise çimento ve polipropilen lif kullanılmıştır. Tablo 1 'de kil, çimento ve lifin kimyasal içerikleri verilmiştir. Çalışmada kullanılan çimento CEM I 42,5R Portland çimentosudur. Portland çimentosu üretebilmek için, önce kalker ve kil karışımı yüksek sıcaklıkta pişirilerek klinker adı verilen bir ürün elde edilir. Daha sonra klinkere %3-6 oranında alçıtaşı ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) katılarak birlikte öğütülmektedir.

Polipropilen lif olarak F12 tipi (12 mm uzunluğunda) fibrilli lif malzeme kullanılmıştır. Polipropilen lif, ağ yapılı, renksiz, doku olarak yumuşak ve pürüzsüz yapıya sahip bir malzemedir. Deforme edildiği takdirde açılarak genişlemekte ve ağ yapısı ortaya çıkmaktadır. Çalışmada kullanılan bu malzemelerin özgül ağırlıkları Tablo 2 'de verilmiştir. Şekil 1 'de ise doğal zemin ve stabilizasyon çalışmasında kullanılan çimento ve polipropilen lif görülmektedir.

Tablo 1. Malzemelerin kimyasal bileşimleri

	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%SO ₃	%Na ₂ O	%K ₂ O	%KK
Kil	53,43	8,83	3,44	14,72	2,48	0,04	0,52	1,32	16,35
Çimento	21,24	5,10	3,03	63,29	1,21	2,75	0,56	0,70	3,23

Tablo 2. Malzemelerin özgül ağırlıkları

	Doğal zemin	Çimento	Polipropilen Lif
Özgül ağırlık, G _s	2,53	3,15	0,91



Şekil 1:
Sırasıyla doğal zemin, çimento ve polipropilen lif görüntüleri

2.2. Metod

Bu çalışmada doğal zemine ağırlıkça %5, %10 çimento, %0,5, %1, %1,5 polipropilen lif ilavesiyle zemin stabilizasyonu yapılmış ve bu katkı malzemelerinin zeminin mühendislik özelliklerini nasıl etkilediğine bakılmıştır. Bu amaçla 12 farklı karışım üzerinde birçok zemin deneyleri yapılmıştır. İlk olarak, zemin sınıflandırması için doğal zemin üzerinde, elek analizi, hidrometre analizi ve kıvam limit deneyleri yapılmıştır ve birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasına göre zemin sınıflandırılmıştır. Zemin iyileştirme işlemi için ise laboratuvarında önceden belirlenmiş oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılmış ve karışımların kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içerikleri belirlenmiştir. Bulunan optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyi, taşıma oranı tayini (CBR) deneyleri ve şişme deneyleri yapılmış ve bulunan sonuçlar doğal zemin ile karşılaştırılmıştır.

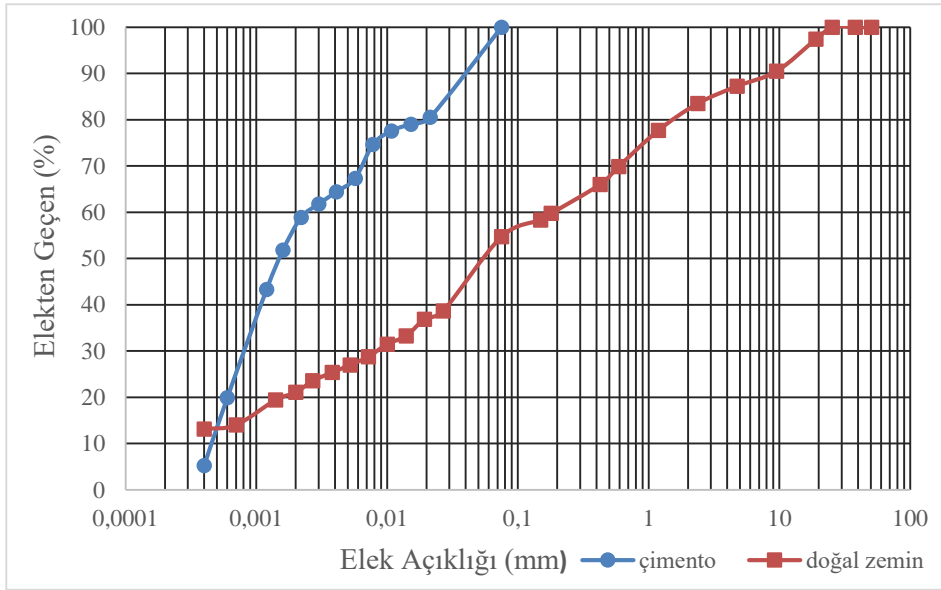
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

3.1. Çalışmada Kullanılan Zeminin Özellikleri

Bursa Uludağ Üniversitesi' nin kampüsünden alınan sarımtırak renkli kil zeminin çimento ve polipropilen lif ile belli oranlarda karıştırılması ile zeminin taşıma gücü oranında ve şişme potansiyelindeki değişime bakılmıştır. Doğal zemine ait bazı özellikler laboratuvarında belirlenmiş ve Tablo 3'te özetlenmiştir. Doğal zemin 40 No'lu elekten geçirildikten sonra deneylerde kullanılmıştır. Doğal zemine ve çimentoya ait dane boyutu dağılımı eğrisi ise Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 3. Doğal zeminin özellikleri

USCS sınıflandırma	CL
Özgül ağırlık	2,53
Maksimum kuru birim hacim ağırlık (g/cm ³)	1,645
Optimum su içeriği (%)	18
Likit limit (%)	47
Plastik limit (%)	28
Plastisite indisi (%)	19
Serbest basınç dayanımı (kg/cm ²)	2,72
CBR (%)	3,7
Şişme yüzdesi (%)	1,336
Renk	Sarımtırak

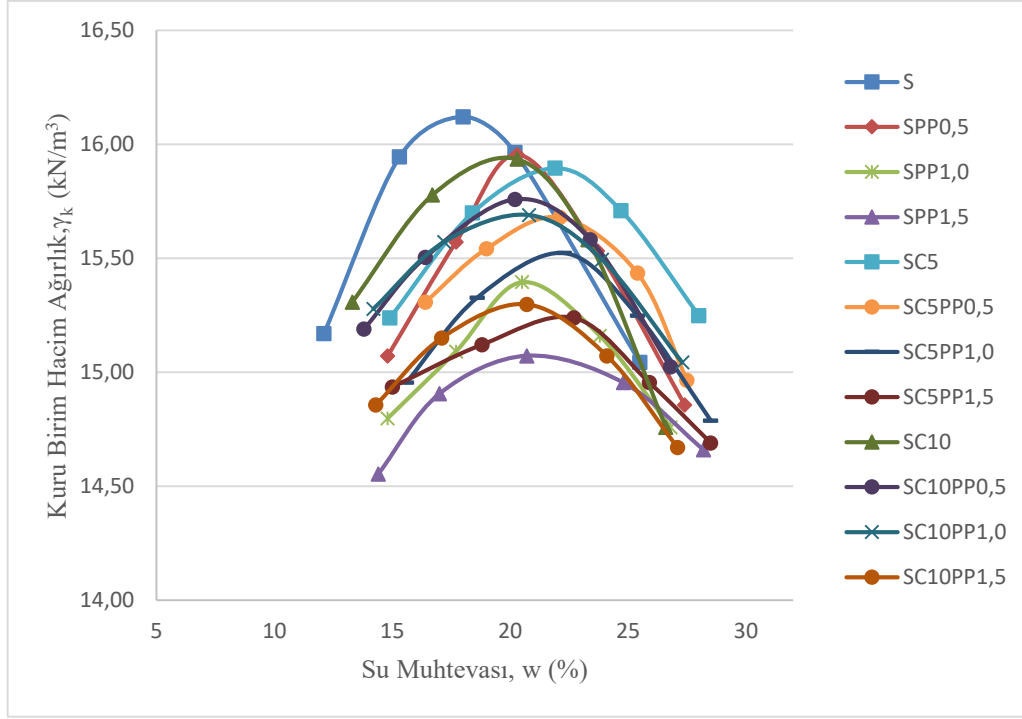


Şekil 2:
Zemine ve çimentoya ait granülometri eğrileri

3.2. Standart Proktor Deneyi

Kompaksiyon; zeminin, tabakalar halinde serilerek, silindirle, titreşim vererek (vibrasyon), tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına denir. Proktor deneyi, standart ve modifiye proktor deneyi olarak yapılmaktadır. Bu çalışmada standart proktor deneyleri yapılmıştır (TS 1900-1). Bu deneyde, kuru yoğunluğun (sıkıştırmanın) maksimum olduğu su muhtevasının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Doğal zemine belli oranlarda çimento ve polipropilen lif eklenerek hazırlanan karışımlara kuru birim hacim ağırlık (γ_k) ve bunlara karşılık gelen su muhtevası (w) değerlerini belirlemek üzere kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Karışımların ve doğal zeminin standart proktor deneyi sonuçları Şekil 3' te verilmiştir. Eklenen katkı maddeleri genel olarak kuru birim hacim ağırlıkta düşüşe neden olmuştur. Deney sonuçlarına baktığımız zaman katkılı numunelerin

maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri 15,07-15,95 kN/m³ arasında değişim göstermiştir. En yüksek kuru birim hacim değeri doğal zeminde (16,12 kN/m³), en düşük ise doğal zemine %1,5 polipropilen eklenen, SPP1,5 karışımında (15,07 kN/m³) görülmüştür. Kuru birim hacim ağırlıktaki düşüşün nedeninin çimentonun ve polipropilen lifin zemin numunesi içerisinde boşluklar oluşturmasının olabileceği düşünülmektedir. CBR, Serbest basınç deneyi ve şişme deneyi numuneleri, standart Proktor deneyi ile belirlenen optimum su muhtevası değerlerine göre hazırlanmıştır.



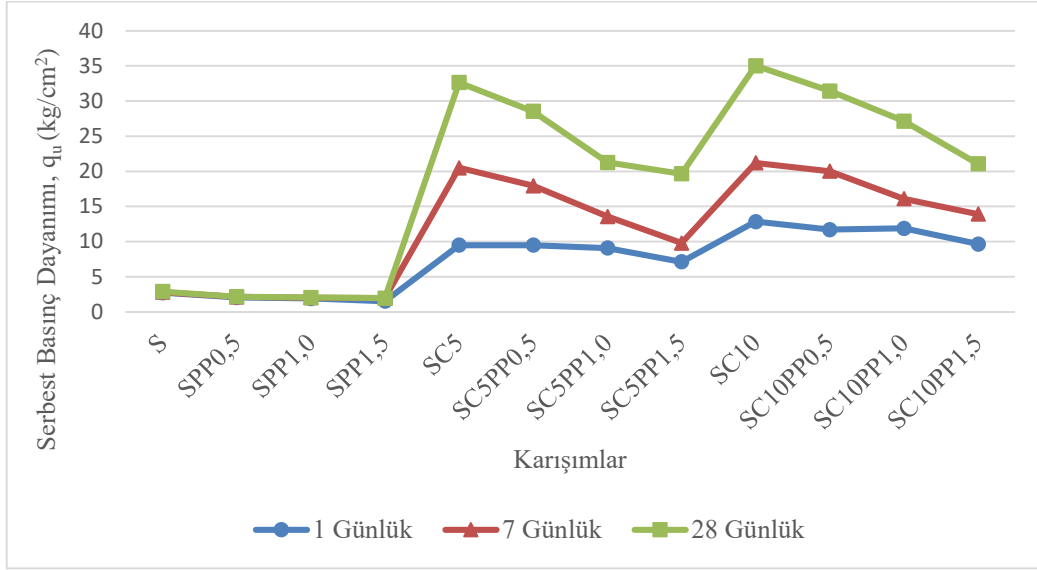
Şekil 3:
Karışımların Proktor (kompaksiyon) deney sonuçları

3.3. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi, temel zeminlerin üzerine gelecek yük karşısında gösterecekleri direnci tanımlamak amacıyla yapılan bir deneydir. Deneyler TS 1900-2 standardında göre yapılmış ve buna göre değerlendirilmiştir. Serbest basınç deneyinde zemin numunesine yalnızca aksel doğrultuda yükleme yapılmaktadır. Bu yük artışları altında numunenin boy kısalması ölçülmekte ve bu değerlere göre gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilmektedir. Aksel gerilmenin göçme kabul edilecek şekil değiştirme seviyesine karşılık gelen değeri zeminin serbest basınç değeri (q_u) kabul edilmektedir.

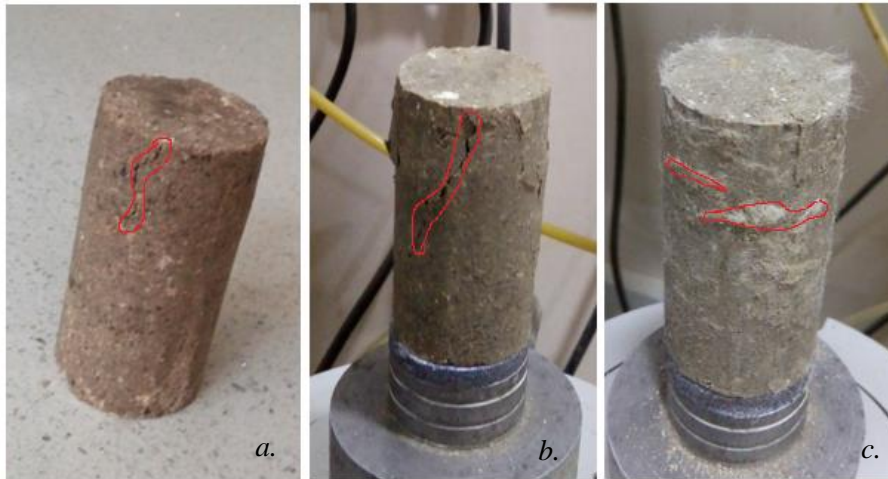
Bu çalışmada, optimum su muhtevalarında hazırlanan ve 1, 7 ve 28 günlük kür sonrasındaki numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Kür süresi boyunca numuneler su muhtevalarını kaybetmemeleri için desikatörde bekletilmiştir. Karışımların katkı maddesi eklenmesiyle ve kür süreleri ile serbest basınç dayanımındaki değişimler Şekil 4' te verilmiştir. Şekil 4'e baktığımızda, genel olarak, çimento ilavesinin serbest basınç değerlerinde ciddi bir artışa neden olduğu, polipropilen lif ilavesinde ise polipropilen lif yüzdesi arttıkça serbest basınç değerinde azalma olduğu görülmektedir. Bu düşüşe lifli numuneler hazırlanırken sıkıştırma sırasında topaklaşma olmasının neden olabileceği düşünülmektedir. Zemin iyileştirmede, çimento stabilizasyonunun etkili bir yöntem olduğu bilinmektedir. Çimento, silikat stabilizasyonu için zorunlu olan gerekli puzolanik malzemeleri içermektedir. Çimento, beton taneleri gibi toprak

tanelerini bağlar. Betondan farklı olarak, zemin stabilizasyonlarında çok düşük miktarda çimento kullanmak yaygındır. Grafikten görüldüğü üzere, en yüksek basınç dayanımı %10 çimento eklenen, SC10 karışımı ile 28 günlük numunesinde ($35,04 \text{ kg/cm}^2$), en düşük basınç dayanımı ise SPP1,5 karışımı 1 günlük numunesinde ($1,52 \text{ kg/cm}^2$) görülmüştür. Çimentolu karışımların deney sonunda boy kısalması azalmış, çok az deforme olmuştur ve kırılma şekilleri de gevrek bir şekilde olmuştur (Şekil 5). Polipropilen lif eklenmesiyle deney sonundaki boy kısalması artmış yani kırılmadan önce daha fazla deforme olmuştur, eklenen polipropilen lif katkısı zeminin elastikliğini arttırmıştır. Ayrıca kür süresinin beklenildiği üzere çimentolu karışımların basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür.



Şekil 4:

Karışımların katkı madde eklenmesiyle ve kür süreleri ile serbest basınç dayanımındaki değişimler



Şekil 5:

Numunelerinin kırılma şekilleri;

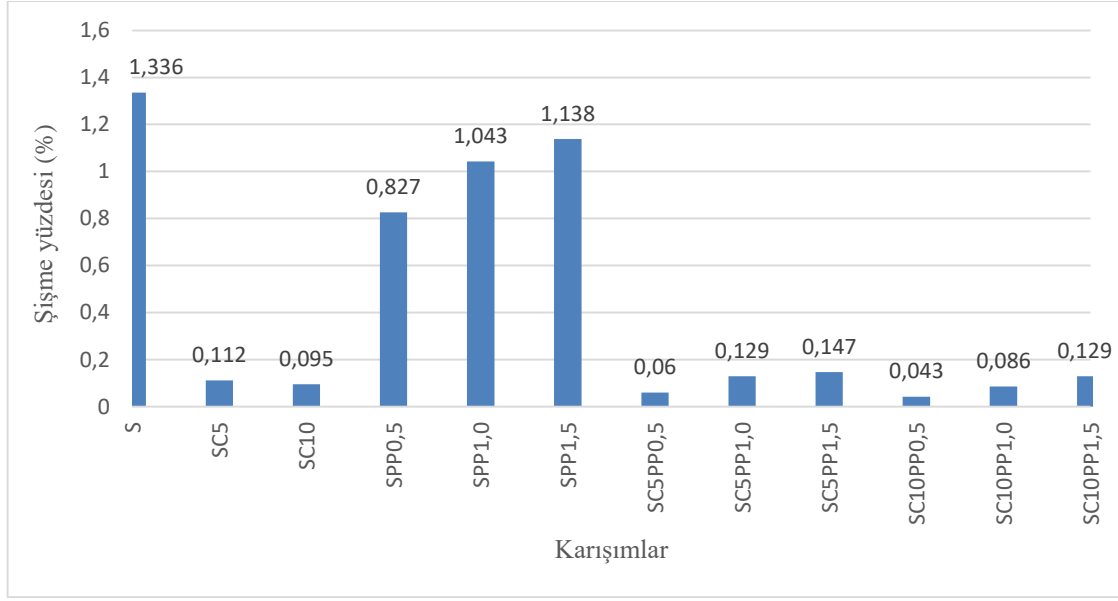
a. Doğal zemin b. çimento katkılı c. polipropilen lif katkılı

3.4. CBR ve Şişme Deneyleri

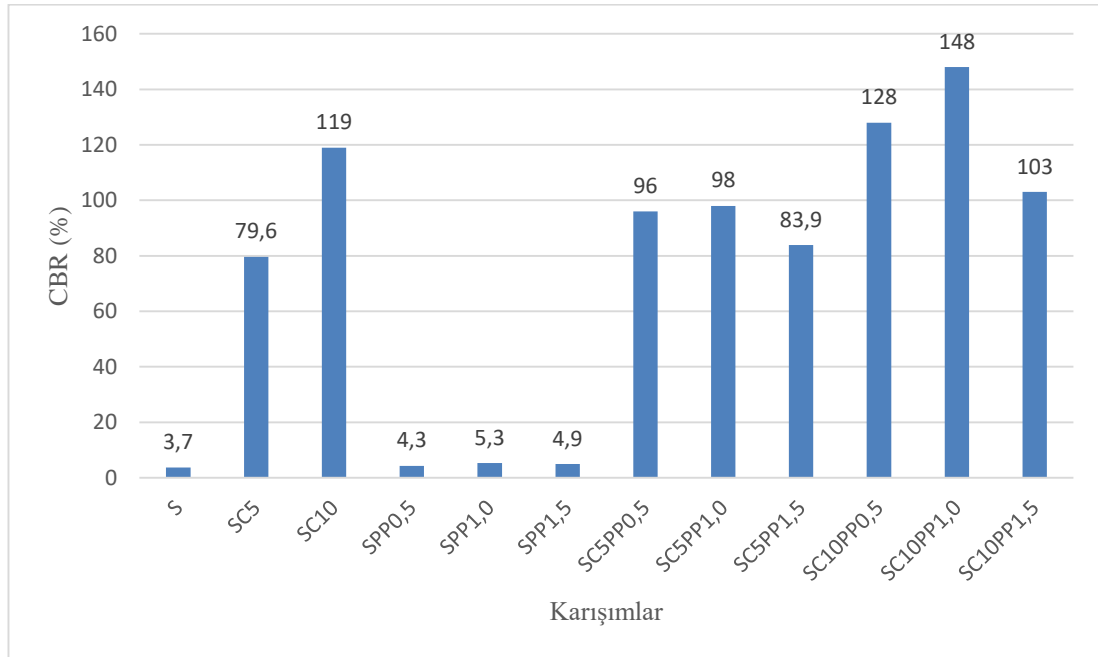
Kaliforniya Taşıma Oranı, alanı 1935 mm² olan pistonun belirlenmiş bir hızda zemine itilmesiyle elde edilen yük - penetrasyon bağıntısını kullanarak taşıma oranının bulunmasıyla ilgilidir. CBR kalıplarına sıkıştırma işleminde dinamik sıkıştırma metot 1 (TS 1900-2) seçilmiş olup numune 5 eşit tabaka halinde ve kütlesi 2,5 kg olan tokmak kullanılarak her tabakaya 56 vuruş denk gelecek şekilde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılmış numuneler tümüyle suya boğulmuş ve normal ıslanma süresini (96 saat) tamamlamaya bırakılmıştır. Suda bekleme zarfında üzerine 0,01mm bölüntülü ve 30 mm kapasiteli bir kompaktör saati yerleştirilerek şişme miktarı ölçülmüştür. Katkı maddelerinin eklenmesiyle doğal zeminin CBR ve şişme değerlerinin iyileştiği görülmüştür.

Doğal zemin üzerinde yapılmış olan likit limit ve plastik limit deneylerinde elde edilen verilere göre orta derece şişme değerleri vermesi beklenmektedir. Yapılan deney sonuçlarına göre doğal zeminin şişmesi %1,336 olarak belirlenmiştir. Doğal zemine çimento ilavesiyle hazırlanan karışımların şişme yüzdesi değeri büyük ölçüde düşmüştür. Deney sonuçlarına göre şişme yüzdesinin değişimi Şekil 6' da verilmiştir. Doğal zeminin şişme yüzdesi %1,336 iken, %5 çimento ilavesiyle %0,112'ye, %10 çimentolu karışımda ise %0,095'e düşmüştür. Doğal zemine polipropilen lif ilavesiyle hazırlanan karışımlarda da şişme yüzdesi doğal zemine göre düşük değerler almıştır. %0,5 polipropilen lif eklenmesiyle şişme yüzdesi, %0,827'ye düşmüş, daha sonra polipropilen yüzdesi arttıkça şişme yüzdesi değerleri de artmıştır. Bu şişme yüzdesindeki artışa lif yüzdesinin artmasıyla numune içinde oluşan boşlukların artmasının neden olduğu düşünülmektedir. En yüksek şişme değeri doğal zeminde görülürken, en düşük şişme değeri doğal zemine %10 çimento ve %0,5 polipropilen lif eklenmiş olan SC10PP0,5 karışımında görülmüştür. Bu karışımda %1,336 olan şişme yüzdesi değeri %0,043'e düşmüştür. Çimento ve polipropilen lif eklendikten sonra zeminin şişmesinin önemli ölçüde düştüğü görülmüştür.

CBR deneyi sonuçları Şekil 7' de verilmiştir. Yapılan taşıma oranının tayini deneylerinde her iki katkı malzemesinin de zeminin CBR değerini artırdığı görülmüştür, çimento ilavesiyle hazırlanan karışımlarda bu artış daha fazla olmuştur. Öyle ki, %3,7 olan doğal zeminin CBR değeri, SC5 karışımında %79,6, SC10 karışımında %119 gibi bir değer almıştır. Polipropilen lif ilavesi de doğal zeminin CBR değerini bir miktar artırmıştır. Bu artış %1 lif yüzdesine kadar devam etmiş ve pik yapmış, %1,5 lif yüzdesinde ise düşüş göstermiştir. Belirlenen oranlarda çimento ve polipropilen lifin zemine birlikte ilavesiyle hazırlanan karışımların da CBR değerleri doğal zemine göre artmıştır. Polipropilen lif çimentoyla kullanıldığı zamanda da lif yüzdesi %1 olduğunda maksimum değerine ulaşmıştır. En büyük CBR değeri %10 çimento ve %1,0 polipropilen lif içeren SC10PP1,0 karışımında %148 olarak bulunmuştur. Bu durumda, yalnız polipropilen lif kullanımının zemin iyileştirmede çok anlamı olmasa da çimento ile birlikte kullanımının çimentonun etkisini artırdığı ve pozitif yönde etkilediği söylenebilir.



Şekil 6:
Karışımların şişme yüzdesi değişimleri



Şekil 7:
Karışımların CBR değerindeki değişimleri

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, çimento ile birlikte polipropilen lif katkı malzemelerinin zemin stabilizasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla düşük plastisiteli kil bir zemin olan doğal zemine ağırlıkça %5, %10 çimento, %0,5, %1, %1,5 polipropilen lif ve bunların korelasyonlarının ilavesiyle 12 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlara kıvam limitleri, özgül ağırlık, serbest basınç, CBR ve şişme deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda çimento doğal zeminin basınç dayanımı, CBR değeri ve şişme potansiyeli üzerinde pozitif etki gösterirken, polipropilen lif CBR değeri ve şişme potansiyelini kısmen iyileştirmiş, basınç dayanımında ise azalmaya neden olmuştur. Bu davranışın nedeninin zemin içine karıştırılan lifin zemin içinde boşluklar oluşturması ve topaklaşmanın neden olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmadan çıkan deney sonuçlarının çimento ve polipropilen lif ile daha önce yapılmış çalışmalarla uyumlu olduğu söylenebilir. Öztürk (2007), Çetin (2011), Etminan (2012), Çetinkaya (2012) çalışmalarına polipropilen lif ilavesiyle serbest basınç deneylerinde ve CBR deneylerinde dayanımda artış görmüşlerdir; Yılmaz ve Sevcen (2010) çalışmasında ise lif ilavesinin serbest basınç dayanımında düşme eğilimine neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca geçmiş çalışmalarda, en iyi etkinin %0,5 ile %1 lif eklenmesiyle elde edildiği belirtilmiştir.

Sonuç olarak çimentonun düşük plastisiteli killi zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabileceği, polipropilen lifin ise tek başına zemin iyileştirmesinde fazla etkili olmamasına rağmen çimentoyla birlikte düşük yüzdelerle (iyileştirilecek zemin parametresine bağlı olarak %0,5 ile %1,0 arasında) kullanımının çimentonun etkisine pozitif yönde katkısı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısı ile çimento ile polipropilen lifin uyumunun iyi olduğu ve zemin iyileştirmesinde birlikte kullanılabileceği söylenebilir. İleriki çalışmalarda, zemin iyileştirmesinde kullanılan çimentonun sülfata karşı dayanımı, kür süresinin uzun vadeli etkisi, farklı kür koşullarının etkisi ve katkı malzemelerinin farklı özelliklere sahip killer üzerindeki etkisi ve farklı lif boylarının zemin stabilitesine etkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR

Zemin deneylerini gerçekleştirmede sağladıkları katkılardan dolayı Protest Yapı Araştırma ve Test Merkezi' ne ve lif temini için Atlas1 Yapı ve Mühendislik firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Aytekin, M., Nas, E. (1997) Zeminlerin katkı maddeleri ile stabilizasyonu. *TMMOB İnşaat Mühendisliği Odası 14. Teknik Kongresi*, İzmir, 825-836.
2. Coşkun, Y. (2015) Katkı malzemeleri ile zemin iyileştirilmesinin üç eksenli basınç deneyleri kullanılarak değerlendirilmesi. *Y. Lisans Tezi*, ASÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray.
3. Çetin, A.Y. (2011) Yüksek plastisiteli kil zeminlerin alternatif malzemeler ile yüzeysel zemin stabilizasyonu. *Y. Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
4. Çetinkaya, M. (2012) Polipropilen liflerin uçucu kül zemin karışımlarında geoteknik özelliklere etkisi. *Y. Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
5. Demiröz, A. ve Karaduman, M. (2009) Zemin iyileştirme metotları. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 8(3): 176-191.
6. Etminan, E. (2012) Soft soil stabilization using fly ash, polypropylene, copolymer and VHP. *M. Sc. Thesis*, ITU Graduate School of Science Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, İstanbul.
7. Ghabaee, S. (2015) Kireç ile stabilize edilmiş bentonitin kür süresinin mukavemet üzerindeki etkisi. *Y. Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

8. Kalıpcılar, İ., Mardani-Aghabaglou, A., İnan Sezer, G., Sezer, A. ve Altun, S. (2015) Çimento stabilize kilin sülfat etkisi altında dayanım ve geçirimsizlik özellikleri. *6. Geoteknik Sempozyumu*, 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana. doi: 10.5505/2015geoteknik.s069
9. Karaçoban, H. P. (2018) Stabilization of dredged material of İzmir Bay soil using cement and lime mixture. *M. Sc. Thesis*. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, Department of Civil Engineering, Geotechnics Program, İzmir.
10. Kılıç, G. (2008) Çimento ile zemin stabilizasyonu. *Y. Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
11. Mardani-Aghabaglou, A., Kalıpcılar, İ., Altun, S., İnan Sezer, G. ve Sezer, A. (2016) Comparison of undimensional expansion levels of kaolinite stabilized with different types of cements. *2. Uluslararası Sempozyum*, 2015, 151-160.
12. Öztürk, S. (2007) Engineering properties of kaolinite clay reinforcement with polypropylene fibers. *M. Sc. Thesis*, BÜ Graduate School of Science Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, Istanbul.
13. TS-1900-1. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, Bölüm 1, Fiziksel Özelliklerin Tayini Mart 2006.
14. TS-1900-2. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, Bölüm 2, Mekanik Özelliklerin Tayini, Mart 2006.
15. Türköz, M. (2006) Şişen killerin kireç katkısı ile stabilizasyonu ve Eskişehir-Meşelik killerine uygulanması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 19(2): 76-88.
16. Tüylüce, F. (2010) Deniz killerinin kireç stabilizasyonu ile iyileştirilmesi. *Y. Lisans Tezi*, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
17. Yılmaz, Y., Sevençan, Ü. (2010) Polipropilen fiber ve uçucu kül katkılı ankara kilinin bazı geoteknik özelliklerinin araştırılması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 133-142.
18. Vural, İ. (2019) İnşaat yıkıntı atıklarının zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliği. *Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(1): 1-6. doi: 10.21541/apjes.437288

