

Kiremit Tozu ve Biyopolimerle İyileştirilmiş Kil Zeminin Mukavemet Parametrelerinin İncelenmesi

İlkim ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ^{1,a}, Baki BAĞRIAÇIK^{1,b}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

^aORCID: 0009-0001-1729-2471; ^bORCID: 0000-0002-1860-2881

Makale Bilgileri

Geliş : 04.03.2024

Kabul : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560191

Sorumlu Yazar

İlkim ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ

iozbahceci@cu.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Zemin iyileştirme

Kiremit tozu

Serbest basınç mukavemeti

Donma-çözülme

Biyopolimer

Atf şekli: ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ, İ., BAĞRIAÇIK, B., (2024). Kiremit Tozu Ve Biyopolimerle İyileştirilmiş Kil Zeminin Mukavemet Parametrelerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 771-784.

ÖZ

Tarih boyunca insanların çeşitli temel ihtiyaçları bulunmaktadır. Bu ihtiyaçlar biz insanlar için hayati öneme sahiptir. İnşaat mühendisliği alanını ilgilendiren bölümü ise barınma probleminde dayanmaktadır. İnşaat mühendisliğinin bir alt disiplini olan geoteknik alanı ise hızla tükenen inşaat sahaları, verimli arazilerin imara açılması ile var olan alanları değerlendirme konusunda sorumluluk altındadır. Var olan alanlar genellikle bir yapıyı iyileştirme olmaksızın taşıma kapasitesine sahip değildir. Bu nedenle zeminlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu tip zeminleri iyileştirme amacı ile uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Son yıllarda en çok popüler olan yöntem atık madde ya da farklı maddeler kullanarak zeminin var olan mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Bu çalışmada inşaat alanlarından toplanmış kırık kiremit tozları ve biyopolimer olan Akasya Zamkı kullanılmıştır. Bu amaç ile doğal kil zeminin öncelikle endeks özellikleri belirlenmiş daha sonra ise zemine farklı yüzdelere de bu maddeler karıştırılarak serbest basınç deneyleri uygulanmıştır. Sonrasında ise zeminin donma-çözülme davranışını incelemek için 1, 3, 5 ve 10 döngü sonrası serbest basınç deneyi yapılmıştır. Donma-çözülme öncesi ve sonrası mukavemet parametreleri incelenmiştir. Sonuç olarak kiremit tozu ve biyopolimerin birlikte ve ayrı olarak kil zeminin dayanımını artırdığı, donma-çözülme sonrası ise kiremit tozu ve biyopolimer içeren kil zeminin dayanıma olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür.

Investigation of Strength Parameters of Clay Soil Improved with Tile Powder and Biopolymer

Article Info

Received : 04.03.2024

Accepted : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560191

Corresponding Author

İlkim ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ

iozbahceci@cu.edu.tr

Keywords

Soil improvement

Tile dust

Unconfined compressive strength

Freeze-thawing

Biopolymer

How to cite: ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ, İ., BAĞRIAÇIK, B., (2024). Kiremit Tozu Ve Biyopolimerle İyileştirilmiş Kil Zeminin Mukavemet Parametrelerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 771-784.

ABSTRACT

Throughout history, people have had various basic needs. These needs are vital for humans. The section concerning the field of civil engineering is based on the housing problem. The field of geotechnical engineering, which is a sub-discipline of civil engineering, is responsible for evaluating existing areas due to rapidly depleting construction sites and the development of efficient lands. Existing areas generally do not have the capacity to bear without improving a structure. Therefore, the improvement of the floors is necessary. There are many methods applied for the purpose of improving such types of surfaces. In recent years, the most popular method has been to improve the existing engineering properties of the ground by using waste materials or different substances. In this study, broken tile dust collected from construction sites and the biopolymer Acacia Gum were used. For this purpose, the index properties of the natural clay soil were first determined, and then different percentages of these materials were mixed into the soil, followed by the application of unconfined compression tests. Subsequently, to examine the freezing-thawing behavior of the ground, unconfined compression test was conducted after 1, 3, 5, and 10 cycles. The resistance parameters before and after freezing-thawing have been examined. As a result, it has been observed that both the brick powder and the biopolymer, whether used together or separately, enhance the strength of the clay soil. After freeze-thaw cycles, the clay soil containing brick powder and biopolymer also positively contributes to its strength.

1. GİRİŞ

İnsanların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan bazı temel ihtiyaçları vardır. Bu ihtiyaçlardan barınma ihtiyacı hızla artan dünya nüfusu ile büyük bir problem haline gelmiştir. Artan nüfusla birlikte barınma ihtiyacını karşılamak için yapılacak her türlü yapı için sağlam bir zemine sahip araziler günden güne azalmaktadır. İnsan hayatı için çok büyük bir önem arz eden bu sorun geoteknik alanında zemin iyileştirme konusunda birtakım çalışmaların yapılmasını zaruri kılmıştır. Yapılan bu çalışmalar günümüze kadar birçok şekilde deneme ve çalışmalar yapılarak kayda değer bir ilerleme sağlanmıştır. Bu çalışmaların tamamı zemin iyileştirme olarak adlandırılmıştır. Barınma ihtiyacının yanında dünyamızda bulunan geri dönüştürülemeyen, atıl olarak kalıp görüntü ve çevre kirliliğine sebep olan atıklarda dünyamız için son dönemde tehlikeli hale gelmiştir. Bu iki hayati konu geoteknik alanındaki uzmanlar tarafından birleştirilerek atıklar ile zemin iyileştirme çalışmaları başlamıştır.

Yapılmış olan bu çalışmada ise bina enkazlarından alınan kiremit kırıklarından elde edilmiş kiremit tozu (KT) kullanılmıştır. Kiremit tozunun çalışmaya dahil edilme nedeni inorganik bir madde olan KT'nin doğada kaybolmaması çevre düzeni ve sağlığı için risk oluşturmaktadır. Bu sebeple yeni kullanım alanları bulmak için çalışmada etkisi araştırılmıştır. Kiremit tozunun ana hammaddesi kildir. Kiremit tozuna ek olarak bir biyopolimer çeşidi olan Akasya Zamkı (AZ) da zeminde iyileştirme amacı ile kullanılmıştır. Akasya zamkı ise son dönemde popüler olan biyopolimerler olarak adlandırılan maddelerin bir türevidir. Bu madde gıdadan endüstriye, zemin iyileştirme çalışmalarına kadar uzanan geniş bir yelpazeye sahiptir.

Bu çalışma taşıma gücü açısından zayıf olan bir zeminin nasıl dayanımının artırılacağı ve don olaylarına karşı zeminin katkılı ve katkısız hallerde nasıl davranış sergileyeceğini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

Poyraz ve Ural [1], çalışmalarında atık porselen karoları kullanarak kil zeminlerin geoteknik açıdan özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla kil zemine kontrol numunesi ve %5, %10, %15, %25 oranlarında atık porselen karoları ekleyerek endeks özellikleri incelenmiştir. Sonucunda ise limit değerlerinde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. Maksimum kuru birim hacim ağırlığında artış, su muhtevasında ise azalma meydana gelmiştir. CBR değeri ise %6 oranında artmıştır. Serbest basınç dayanımı %44 oranında artış göstermiştir. Konsolidasyon özellikleri incelendiğinde ise konsolidasyon katsayısında artış, hacimsel sıkışma katsayısında ise %90 oranında azalma meydana gelmiştir. Sonuç olarak atık porselen karosu kil zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme meydana getirmiştir.

Çimen ve arkadaşları [2], çalışmalarında yüksek plastisiteye sahip bir kilin inşaat atıkları ile mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimi incelemişlerdir. Bu amaç ile öncelikle inşaat atıkları ve kil numunenin kimyasal analizleri yapılmıştır. Farklı oranlarda inşaat atığı eklenen kil zemine kıvam deneyleri, kompaksiyon deneyleri, serbest basınç deneyi ve şişme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak %10-%20 aralığında inşaat atığı kil zeminde plastisite indisi azalmakta, maksimum kuru birim hacim ağırlığı artmakta ve optimum su muhtevası azalmaktadır. Şişme deneyi sonucunda ise sabit hacme sahip şişme basıncı azalmıştır. Serbest basınç mukavemetinde de artış meydana gelmiştir.

Devlet [3], yaptığı bu tez çalışmasında, kil zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde atık lastikler ve gaz beton atıklarının katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada, killi zemine değişik oranlarda toz lastik atık ve öğütülmüş gaz beton katılarak, serbest basınç deneyleri ve CBR deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, toz atık katkısının ve öğütülmüş gaz beton katkısının killi zeminlerde optimum oran olan %5 gaz beton + %2 lastik atığı katkılı numunenin serbest basınç değerinde katkısız numuneye göre %19,30 oranında artış ve CBR değerinde de %27,61 oranında artış ile Serbest basınç dayanımı 44,2 kPa, CBR değeri %27,17 olarak tespit edildiği görülmüştür.

Abd ve arkadaşları [4], killi zemini iyileştirmek için biyopolimer kullanmışlardır. Çalışmada biyopolimerin (karboxi metil selüloz) kil zeminin dayanımına katkısı incelenmiştir. Biyopolimer, zemine iki ayrı oranda (%0.5 ve %3) eklenmiştir. Kil zeminin dayanımı 42 kN/m² iken %3 biyopolimer ile 106 kN/m²'ye yükselmiştir. Ayrıca, 3% polimer içeriğinde, 0 günde 16 kN/m² olan serbest basınç dayanımının 7 günde 206 kN/m²'ye ve 28 günde 257 kN/m²'ye yükseldiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak biyopolimerin kil zeminin dayanımına katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Yarbaşı [5] yaptığı bu çalışmada, mermer tozu ve atık lastik parçalarıyla iyileştirilmiş düşük plastisiteli kırmızı killi birimin dayanımındaki değişimler incelenmiştir. Kırmızı kil birimine % 0,5, % 1, % 2 atık

lastik ve %5, %10, %15, %20 mermer tozu ilave edilerek 0 (3 saat), 1, 7, 28 gün ve +21°C'deki dayanımları belirlenmiştir. Bu verilerden 28 günlük kür sonrası %0.5 (2.00 mm) atık lastik ve %5 mermer tozu katkısıyla iyileştirilen killi birimin en yüksek dayanım değeri verdiği belirlenmiştir. Bu karışıma donma çözülme deneyi uygulanmıştır. Sonuçta, %0.5 atık lastik (2.00 mm) ve %5 mermer tozu ile iyileştirilen killi birimin dayanımında %5.1, ana malzeme olan kilde ise %28.7 oranında azalma meydana gelmiştir.

Tunç ve arkadaşları [6], çalışmalarında, akasya zamkı (AG) biyopolimeri ile iyileştirilen nehir kumu (NK) ve geri dönüştürülmüş kumun (GDK) serbest basınç dayanımları ve permeabilite özellikleri incelemişlerdir. AG biyopolimeri ile iyileştirilen GDK ve NK'nın serbest basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, NK'ya alternatif olarak bir malzeme olarak inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen GDK'nın kullanılabilmesi ve AG biyopolimerinin, her iki zeminin de mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Aysu [7] yüksek plastisiteli killi zeminlere cam lifi katkısının, zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon parametrelerine katkısını araştırmıştır. Uzunluğu 12 mm olan cam lifi, killi zeminler içerisinde belirli oranlarda (0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25 ve 1.50) ilave edilmiştir. Zemin mukavemetinde artış %0,75 oranındaki cam lifi katkısında en yüksek olduğu ve daha sonraki karışım oranlarında azalmaya başladığı tespit edilmiştir. Suya doymun numunelere yapılan serbest basınç deneylerinin sonucunda; doymunluğun farklı oranlardaki cam lifi katkılı zeminin mukavemetinde yaklaşık %25-%35 oranlarında azalma olduğu görülmüştür. Optimum su muhtevasında ve doymun durumunda, katkısız zemine kıyasla cam lifi katkısı, zeminin kayma mukavemetini %25 oranında artırdığı belirlenmiştir.

Alaryan [8] yaptığı bu çalışmada, yüksek ve düşük plastisiteli killerin iyileştirilmesi amacıyla numunelere farklı oranlarda katkı maddeleri; PKF (%5, %10, %15, %20), karşılaştırma yapmak için çimento (%5, %10) ve kireç (%5, %10) eklenmiştir. Yapılan çalışmada, yüksek ve düşük plastisiteli kil zeminlere belirli oranlarda ilave edilen PKF'nin zeminlerin basınç ve kayma mukavemetini artırıp oturma miktarını azalttığı tespit edilmiştir. PKF, başta killi zeminler olmak üzere çeşitli zeminlerde stabilizasyon (iyileştirme) maddesi olarak kullanılabilmesi ortaya konmuştur. Katkısız kil zemine göre her iki kil zeminin (farklı kür sürelerinde) serbest basınç mukavemetinde artış görülmüştür. %15 üzeri katkı ilavesinde mukavemette azalma tespit edildi. Katkılı yüksek plastisiteli kil zeminin, katkısız yüksek plastisiteli kil zemine göre basınç mukavemetindeki artış %97 olmuştur. Katkılı düşük plastisiteli kil zeminin, katkısız düşük plastisiteli kil zemine göre basınç mukavemetindeki artış %225 olmuştur.

Geçkil ve arkadaşları [9], killi zemine kireç ilavesinin dayanım üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kireç, killi zemine ağırlıkça farklı oranlarda eklenmiştir. Hazırlanan karışımlarda kilin ağırlığının %2,5, %5, %7,5, %10, %15 ve %20'si oranında kireç eklenerek farklı oranlarda hazırlanan numuneler homojen karıştırılarak sıkıştırılmış ve serbest basınç ve Kaliforniya taşıma oranı testleri yapılmıştır. Deneyler sonuçları, karışımdaki kireç içeriğinin artışıyla plastisite indeksi ve maksimum kuru yoğunluğun azaldığı, optimum su içeriğinin ise arttığını göstermiştir. Kür süreleri (7 ve 28 gün) sonucunda serbest basınç dayanımı değeri, en yüksek %5 ile kireçten elde edilmiştir. Ayrıca kürlenmiş numunelerin Kaliforniya taşıma gücü oranı değerleri 7 ve 28 günlük kürlerin sırasıyla katkısız killi zemine göre 1.37 ve 2,08 kat daha yüksek bulunmuştur.

Vural [10], yaptığı bu çalışmada, inşaat yıkıntı atığı, kireç ve kaolini karışım haline getirerek bu karışımların 1, 7 ve 28 günlük CBR değerleri ölçülmüştür. İyileştirme yapılacak zemin olarak kaolin kili kullanılmıştır. Karışımlarda birinci, yedinci ve yirmi sekizinci gün için en düşük CBR değerleri sırasıyla 26.3, 28.65 ve 33.13 olarak %3 Yıkıntı atığı, %5 Kireç ve %92 Kaolin kullanıldığında, en yüksek CBR değeri ise 33.52, 34.70 ve 34.95 ile %23 yıkıntı atığı, %5 kireç ve %72 kaolin kullanıldığında elde edilmiştir.

Literatür araştırması sonucunda zemin iyileştirme adına birçok organik ya da inorganik maddenin kullanıldığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada kullanılacak kiremit tozu ve biyopolimerin bir arada zeminin mukavemet parametresine ve donma-çözülme davranışına olan etkisinin incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle iki madde yardımı ile zeminin donma-çözülme öncesi ve sonrasında dayanımında meydana gelen değişimler incelenecektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan Kil Zemin (KZ) numuneleri, Adana ilinden alınmıştır. Alınan kil numune ise Şekil 1’de sunulmuştur.

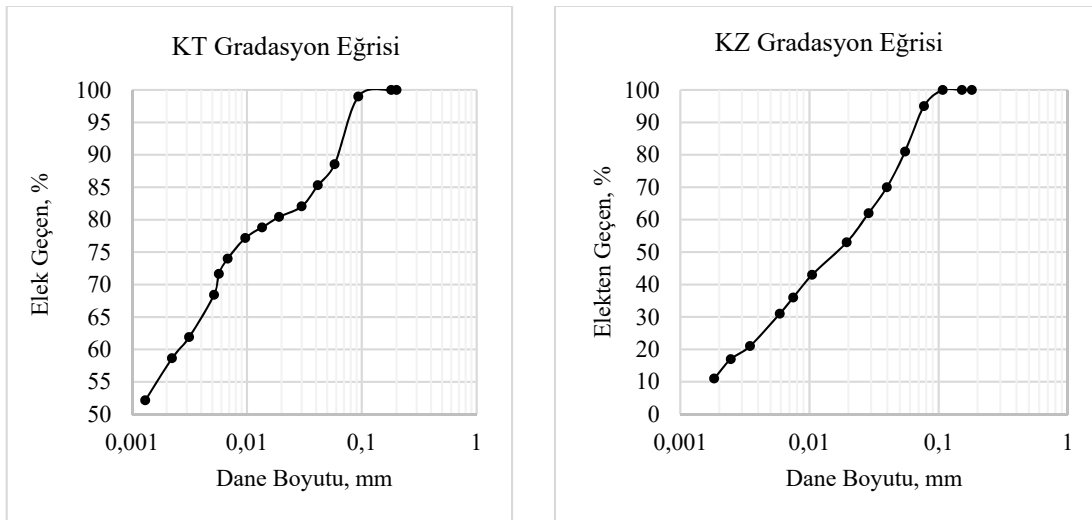


Şekil.1 Doğal kil numunesi öğütülmemiş hal

Adana ilinden alınan kil zemin numunesinin TS 1900-1 standardına uygun olarak yapılan deneyler ile birim hacim ağırlığı $2,63 \text{ kg/cm}^2$, maksimum kuru birim hacim ağırlığı $1,69 \text{ kg/cm}^2$, optimum su içeriği %21 olarak bulunmuştur. Numunenin likit limiti %51, plastik limiti %28 olarak bulunmuştur. Zemin sınıfı ise birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi ile CH yani yüksek plastisiteli kil olarak saptanmıştır.

Çizelge 1. Plastik limit, likit limit ve plastisite indisi

Parametreler	Veriler
CH	Yüksek plastisiteli kil
$W_L(\%)$	51
$W_p(\%)$	28
$I_p(\%)$	23



Şekil 2. Kil zemin ve kiremit tozu için dane çapı dağılım eğrisi

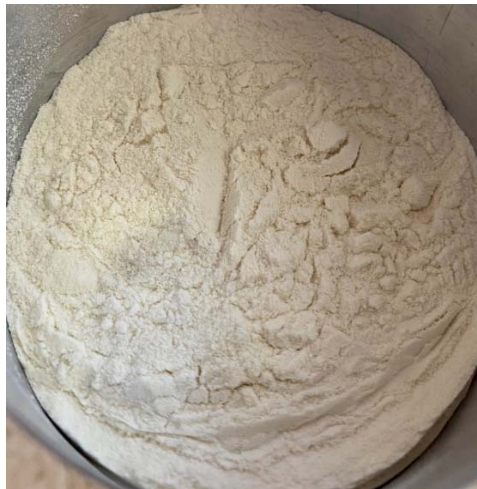
Çizelge 1’de kil zemine ait likit limit, plastik limit değerleri, Şekil 2’de ise KZ ve KT’ye ait granülometri eğrileri verilmiştir. Kz için %94.4 oranında 200 numaralı elekten numune geçtiği için Cassagrande Plastisite Kartı kullanılarak sınıflama yapılmıştır.

Zemine atık madde olarak inşaatların yıkımı sonrası atıl hale gelen kiremitlerin tozları kullanılmıştır. Kullanılan kiremit tozunun ham maddesi kilden oluşmaktadır. Kiremit üretiminde kullanılan killen genel olarak montmorillonit ve kaolin cinsi killerdir. Isıya dayanıklı bu killen 900-920°C sıcaklıkta pişirilerek kullanıma hazır hale gelmektedir. Isıl işleme birlikte kil mineralleri arası bağlar güçlenmekte ve dayanımını artırmaktadır. Bu çalışmada kullanım amacı da dayanımı artırılmış bir karışım kil olan kiremit tozunun doğal kil zeminin mühendislik özelliklerine etkisini gözlemlemektir. Şekil 3’te kiremit tozunun öğütme sonrası hali verilmiştir.



Şekil 3. Kiremit tozu

Kullanılan diğer bir madde ise polimerlerin alt dalı olarak bilinen biyopolimerlerden Akasya zımkı kullanılmıştır. Akasya zımkı aynı zamanda Senegal zımkı veya Arabic Gum olarakta bilinmektedir. Senegal zımkı olarak bilinmesinin sebebi ise Senegal’de yetişen Acacia ağacından elde edilen maddenin kurutulmuş toz hale getirildikten sonra elde edilmesinden kaynaklıdır. Birçok biyopolimerin olduğu gibi Akasya zımkıda birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir: Boya, tutkal ve mürekkep üretimi. Hap ve pastil üretimi, kozmetik ürünlerde ise viskoziteyi sağlamak amacı ile kullanılır. Su ile aktiveleşen biyopolimer hidrojel haline gelmektedir. Hidrojel zemin içerisinde bulunan boşlukları kapatarak dayanımda artışa neden olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle kiremit tozu ve biyopolimer hem ayrı hem de birlikte kil zeminin dayanım parametresine etkisi incelenmiştir. Şekil 4’te Akasya zımkının toz hali verilmiştir.



Şekil 4. Akasya zımkı

2.2. Metot

Doğal kil zemine kiremit tozu ve biyopolimer farklı oranlarda eklenmiştir. Kiremit tozu %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında; biyopolimer ise %0,5, %0,75, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında doğal kil zemin içerisine eklenmiştir. Hazırlanmış olan numuneler ile yapılan deney sonucu seri deneylerde kullanılacak optimum kiremit tozu ve biyopolimer yüzdesi belirlenmiştir. Optimum madde miktarları belirlendikten sonra her iki malzemenin karışımından elde edilen numune üzerinde serbest basınç deneyi yapılmıştır. Sonrasında ise optimum miktarda madde içeren numuneye en uygun kür süresinin belirlemek için SBD numuneleri hazırlanıp 1, 5, 15, 25 günlük kür süresi verilmiştir. Doğal kil zemin numunesinin optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler, 50 mm çapında, boyu çapının iki katı ve yüzeyleri pürüzsüz olacak şekilde TS 1900 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Zemin numunesi SBD için özel olarak oluşturulmuş mold, yaka ve tokmaktan oluşan düzeneğe ile numuneler hazırlanmıştır. Bu SBD düzeneği Şekil 5’de sunulmuştur.



Şekil 5. Serbest basınç aleti ve kil numunesi

Bu düzeneğe ile hazırlanan deney numuneleri 5 günlük kür süresi ile desikatörde bekletilmesi sonrasında serbest basınç deneyine tabi tutularak dayanımlar belirlenmiştir. Deneylerde, zemin numunesi, SBD aletinin alt plakasının orta noktasına yerleştirildikten sonra üst başlık numunenin üst yüzeyine değecek şekilde fakat yük verilmeden yerleştirilmiştir. Bu işlemler ilgili standartta belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, optimum madde miktarları elde edilmiş ve bu orana bağlı numuneler üstünde SBD yapılarak optimum kür süresi belirlenmiştir. Optimum miktar içeren numuneye ve doğal kil zemine ayrıca donma-çözülme davranışını incelemek için donma-çözülme döngüleri uygulandıktan sonra serbest basınç deneyleri yapılmıştır.

2.2.1. Islak Karışım Yöntemi ile Biyopolimerin Aktif Hale Getirilmesi

Biyopolimerlerin zemin iyileştirme alanında kullanılmaya başlanması ile farklı uygulama yöntemleri geliştirilmiştir. Islak karışım yöntemi, kuru karışım ve termal karışım yöntemleri yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışmada kullanılan Akasya Zamkı ıslak karışım yöntemi ile hazırlanmıştır. Islak karışım yöntemi biyopolimerin optimum su içeriği ile yüksek devirli karıştırıcı yardımı ile jelimsi hale gelene kadar karıştırılması sonucu elde edilmektedir.

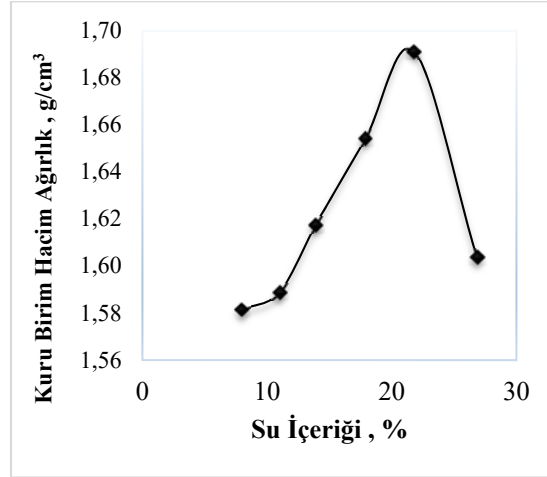
2.2.2. Donma-Çözülme Numunelerinin Hazırlanması

TS-1900 standartları ile hazırlanan serbest basınç numuneleri streç film yardımı ile hacimleri sabit kalacak şekilde donma-çözülme kabineye yerleştirilmiştir. Numuneler streç filme sarılarak donma olayı esnasında numunede meydana gelecek fiziki değişimler ile dağılması amaçlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Optimum Su İçeriğinin Belirlenmesi

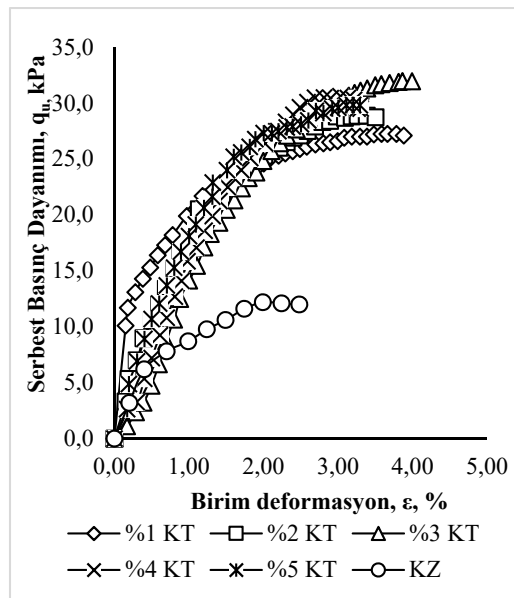
Standart kompaksiyon deneyi TS1900-2 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Doğal kil zemin numunesinin optimum su miktarı belirlenmiş ve bu değere bağlı kalınarak zeminin kendi su içeriğinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deney ile kil zeminin optimum su muhtevası %21 olarak saptanmıştır. Tüm deneylerde doğal kil zemine ait optimum su muhtevası değeri ile numuneler hazırlanmıştır. Bulunan optimum su muhtevası emsal teşkil eden kil zemin su muhtevaları ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Optimum su muhtevası grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Kompaksiyon eğrisi

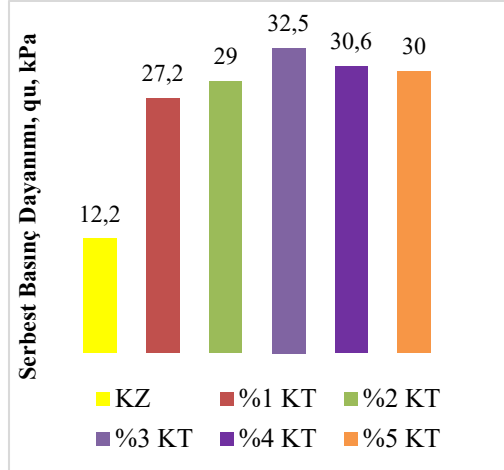
3.2. Kiremit Tozu ve Biyopolimerin Optimum Oranlarının Belirlenmesi

Doğal kil zemine ve KT, AZ katkılı kil zemine 5 günlük referans kür süresi sonrası serbest basınç deneyleri yapılmıştır. KT; %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında, AZ; %0.5, %0.75, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında doğal kil zeminin ıslak karışımına eklenmiştir. Sonucunda %3 oranında KT ve %1 oranında AZ optimum madde miktarı olarak belirlenmiştir. Seçilen değerler her maddenin maksimum dayanım değeri olarak seçilmiştir. %3 KT 32.5 kPa, %1 AZ 26.2 kPa dayanıma sahiptir. Doğal kil zemine (KZ) ve kiremit tozu katkılı zemin numunelerine ait dayanım değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. KZ ve farklı KT oranları için serbest basınç mukavemetleri

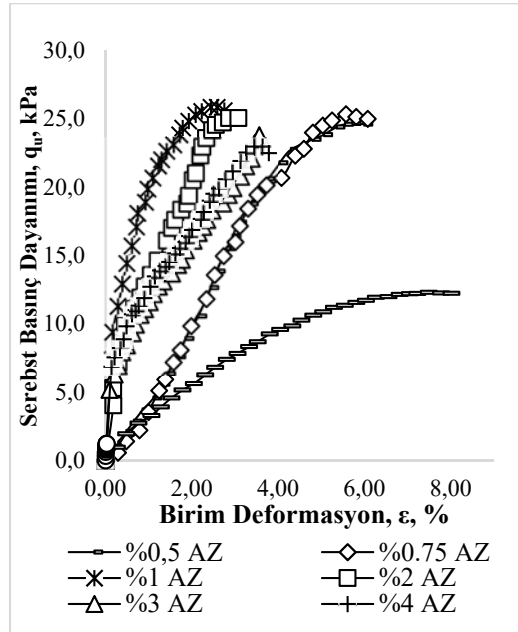
Şekil 7, incelendiğinde doğal kil zemine ait serbest basınç dayanımı 12.2 kPa olarak bulunmuştur. KT içeren doğal kil zemin numunelere ait dayanımların doğal kil zemine oranla %166'ya kadar dayanımda artış meydana gelmiştir. Kiremit tozunun ana maddesi olan kil minerallerinin pişirim esnasında kil mineralleri arasında bulunan zayıf Van Der Waals bağlarının güçlenerek mukavemetinin arttığı söylenebilir. Mukavemeti artan bu madde doğal kil zeminle hazırlanan karışımında mukavemetinin sonuç olarak artış gösterdiği düşünülmektedir. Şekil 8'de ise KT'ye ait sütun grafiği verilmiştir. Sütun grafikte görüldüğü üzere %3 oranında KT içeren kil zemin numunesi maksimum dayanım değerine sahiptir. 32.5 kPa değeri ile optimum oran olarak seçilmiştir.



Şekil 8. KT'ye ait dayanım değerleri

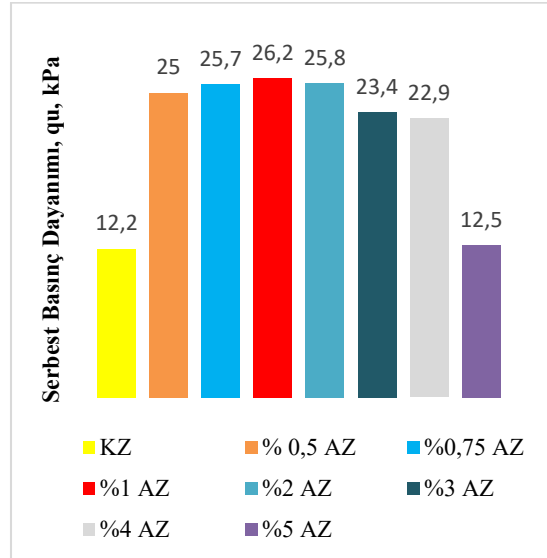
Yapılan bir diğer serbest basınç deneyi ise AZ'ye ait optimum oranların belirlenmesidir. Deney başlangıcında %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında numuneler deneye tabi tutulmuş fakat deney sonucunda maksimum dayanıma sahip oran %1 çıktığı için %0.5 ve %0.75 oranlarında eklenerek optimum oran tam olarak belirlenmiştir. Şekil 9'da AZ'ye ait serbest basınç deney eğrisi verilmiştir.

Biyopolimer eklenmiş doğal kil zemin numunesine yapılan serbest basınç deneyinde 7 farklı yüzde için dayanım değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlerden %1 oranında AZ içeren numune 26,2 kPa değeri ile en büyük dayanıma sahiptir. Bu nedenle optimum oran olarak seçilmiştir. %5 oranında biyopolimer içeren numunenin dayanımı diğer oranlara göre oldukça düşmüştür. Düşüşün sebebi jel kıvamında olan biyopolimerin kil zeminin fiziksel yapısını bozarak çamurumsu bir hale gelmesiyle birlikte dayanımını da oldukça düşürmüştür.



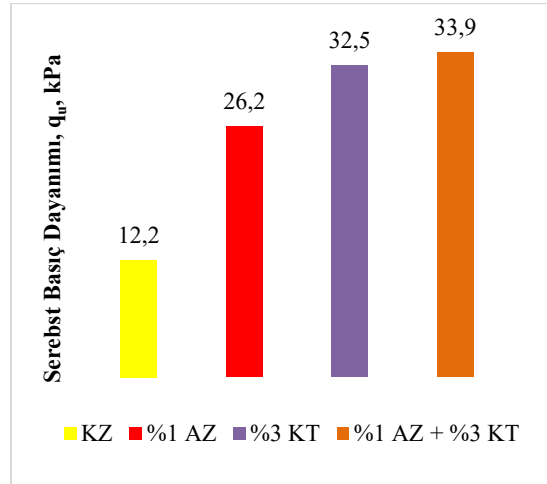
Şekil 9. KZ ve farklı AZ oranları için serbest basınç mukavemetleri

Biyopolimerin kil zeminin dayanımını artırma sebebi jelimsi yapısından dolayı doğal kil zeminde bulunan boşlukları doldurmasıdır. Şekil 10'da AZ'ye ait maksimum dayanım değerleri sütun grafiği halinde verilmiştir.



Şekil 10. AZ'ye ait serbest basınç dayanım değerleri

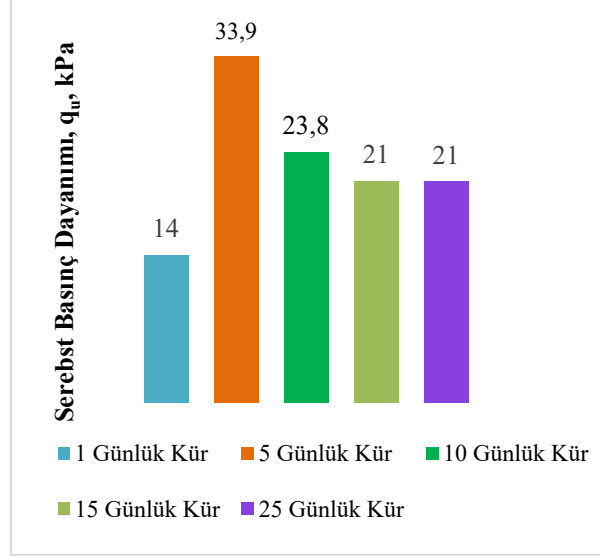
Optimum oranları bulunan KT ve AZ maddelerinin karışımlarından elde edilen numuneye serbest basınç deneyi yapılarak iki maddenin birlikte çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Bu amaçla 5 günlük referans kür süresi ile serbest basınç deneyi yapılmış ve maksimum dayanım değerinin doğal kil zemine, KT'ye ve AZ'ye oranları karşılaştırılmıştır. Şekil 11'de KZ, KT, AZ ve karışıma ait dayanım değerleri verilmiştir. KZ, KT, AZ ve karışıma ait maksimum dayanım değerlerine bakıldığında karışıma ait dayanım değeri diğer numunelere oranla yüksektir. Bu sonuçta kiremit tozu ve akasya zankının bir arada kullanıldığında zeminin mukavemet parametresine olumlu yönde katkı sağladığı söylenebilir. Optimum oranlarla hazırlanmış karışımın dayanım değeri 33,9 kPa'dır.



Şekil 11. KZ, KT, AZ ve karışımın maksimum dayanım değerleri

3.3. %3 KT + %1 AZ Karışımının Kür Süresinin Belirlenmesi

Optimum oranlar kullanılarak hazırlanan karışımın kür süresinin belirlemek amacı ile farklı kür süreleri verilerek desikatörde bekletilmiş ve serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur. Şekil 12'de karışıma ait kür sürelerine bağlı dayanım değerleri verilmiştir.

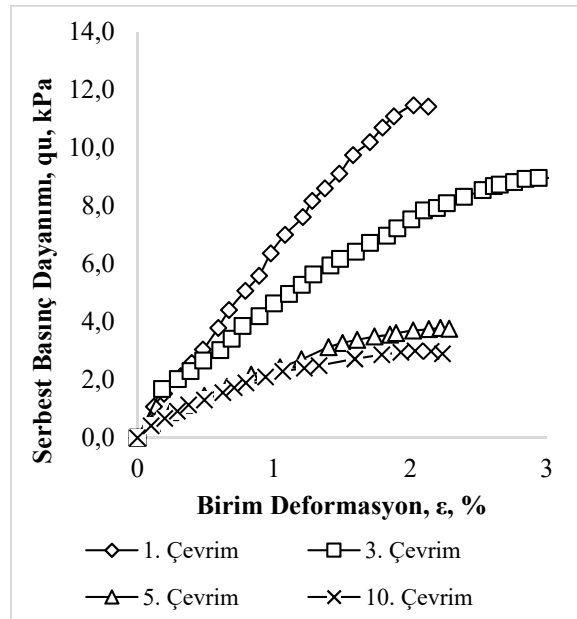


Şekil 12. Karışımın kür süresine bağlı dayanım değerleri

Belirlenen oranlarda maddelerin karıştırılması ile elde edilen numunenin optimum kür süresini belirlemek amacı ile yapılan serbest basınç deneyi sonucunda numuneler doğal kil zeminin dayanımına göre dayanımda artış göstermiştir. Fakat 5 günlük kür süresi sonrası en yüksek dayanım değeri elde edilmiştir. 5. günden sonra dayanımda ani bir düşüş yaşanmıştır. Bu ani düşüş araştırılmaya açık bir konudur.

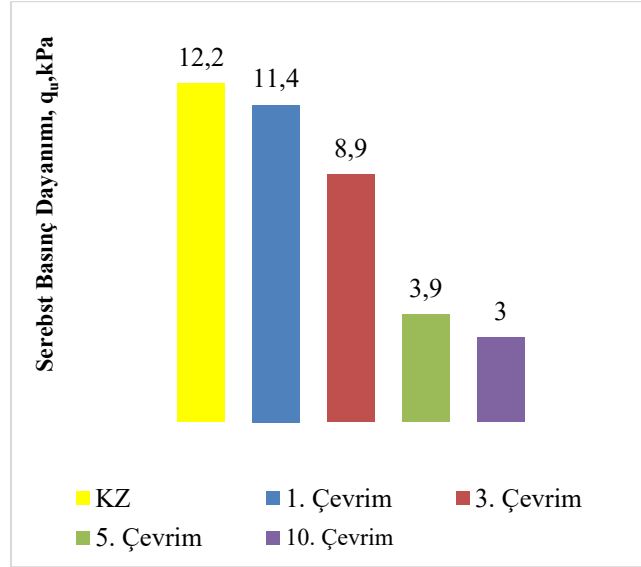
3.4. Doğal Kil Zemin ve Karışımın Donma-Çözülme Sonra Dayanım Değerlerinin Değişimi

Kil zeminin iklim koşullarına bağlı olarak donma-çözülme olayı karşısında mukavemetinde nasıl bir değişim meydana geleceğini görmek amacıyla donma-çözülmeyle ilgili serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Donma-çözülme olayı ile birlikte kil zeminin fiziksel ve kimyasal anlamda meydana gelebilecek değişimlerden dolayı dayanım değerlerinde de azalma meydana gelebileceği bilinmektedir. Doğal kil zemine uygulanan donma-çözülme çevrimleri sayesinde seçilen kil zeminde meydana gelen dayanım değişimleri incelenmiştir. 1, 3, 5 ve 10 çevrim sayısı ile her döngü 6 saat sürecek şekilde 3 saat -5°C 'de, 3 saat $+25^{\circ}\text{C}$ 'de donma-çözülme kabini içinde bekletilmiştir. Döngüyü tamamlayan numuneye serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Şekil 13 ve Şekil 14'te KZ'ye ait donma-çözülme sonrası dayanım değerleri, Şekil 15 ve Şekil 16'da ise %3 KT + %1 AZ katkılı numuneye ait dayanım değerleri verilmiştir.



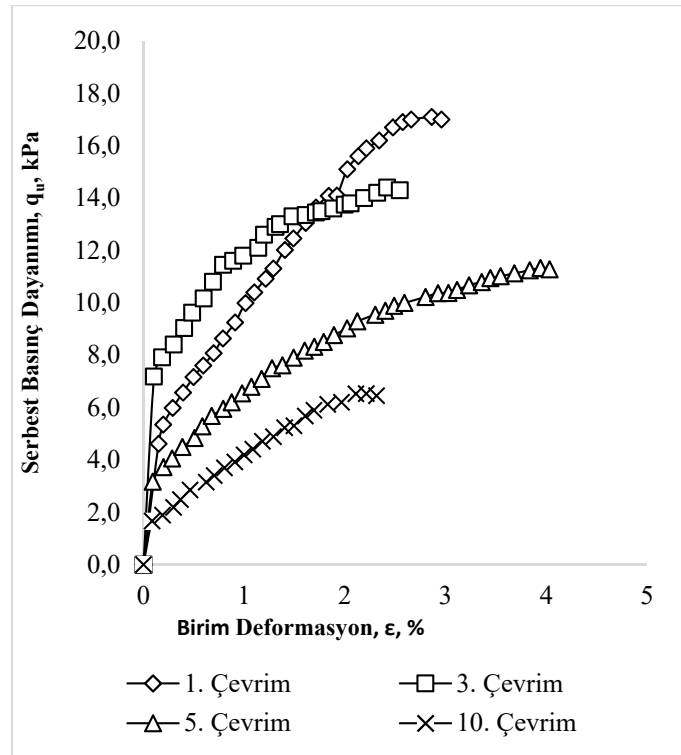
Şekil 13. KZ'ye ait donma-çözülme SBD eğrileri

Doğal kil zemin donma-çözülme sonrasında 1. çevrimden itibaren dayanımda büyük oranda düşüş meydana gelmiştir. Doğal kil zemin ile 10. çevrim arasında ise yaklaşık %75-%80 oranında dayanımda kayıp yaşanmıştır. Dayanımda yaşanan düşüşlerin sebebi donma esnasında numunede boşluk oranının artması ile hacimde olan değişiklerden kaynaklı olabilir.

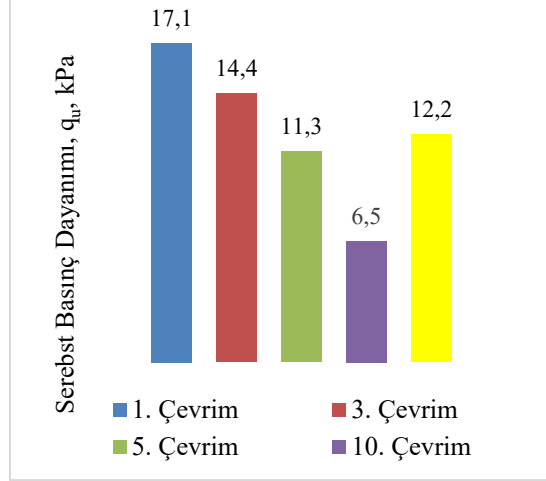


Şekil 14. KZ ve KZ donma-çözülme karşılaştırma grafiği

Şekil 15'de ise %3 KT + %1 AZ katkılı zeminin donma-çözülme sonrası dayanım değerleri verilmiştir.



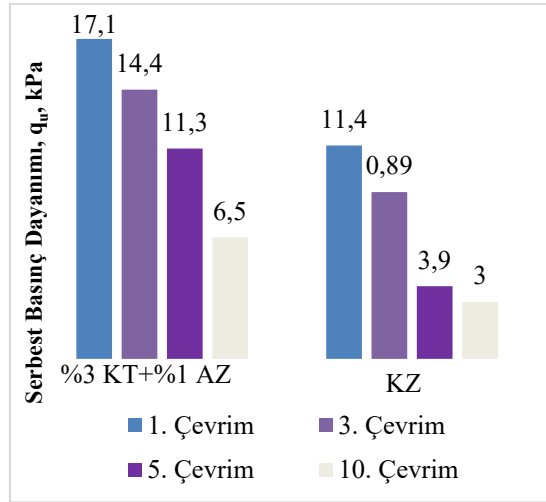
Şekil 15. %3 KT + %1 AZ karışımının donma-çözülme sonrası dayanım değerleri



Şekil 16. %3KT+ %1 AZ numune ve KZ (doğal hal) donma-çözülme değerleri

Şekil 15 ve Şekil 16’da verilen değerlere bakıldığında karışımın doğal kil zemine kıyasla serbest basınç dayanımı %46 oranında azalmıştır.

Şekil 17’de doğal kil zemin ve karışımın dayanım değerleri sütun grafik halinde verilmiştir.



Şekil 17. Doğal kil zemin ve karışımın donma-çözülme sonrası dayanım değerleri

Hem doğal kil zeminde hem de karışım içeren numunenin dayanımında donma-çözülme sonrası düşüş meydana gelmiştir. Bunun iki sebebi olabileceği düşünülmektedir. İlki donma-çözülme esnasında boşluklarda bulunan suyun donmasıyla numune yatay ve düşey kılcal çatlaklar meydana gelerek hacminde artış yaşanmış ve bu sebeple dayanımda düşüş yaşanmış olabilir. Bir diğer neden ise killerin iyon değiştirme özelliği sayesinde numune hazırlama aşamasında kil mineralleri arasında bulunan bağlarla su molekülleri yer değiştirmiş ve donma-çözülme olayı sırasında kil mineralleri arasında bulunan su molekülleri parçalanarak numunenin kimyasal yapısında bozulmaya neden olarak dayanımı düşürmüş olabilir. Kil zeminler donma-çözülme esnasında plastiklik özelliklerini kaybederler. Dayanımlarında buna bağlı olarak düşüş gösterir.

Tüm deneyler ele alındığında doğal kil zeminin Akasya Zamkı ve biyopolimerle birlikte dayanımında yüksek oranda artış meydana geldiği görülmüştür.

Ok ve arkadaşları [11], çalışmalarında Guar Gum kullanarak kohezyonlu bir zemini iyileştirmeye çalışmışlardır. Zemine belli oranlarda (%1, %2 ve %3) guar gum eklenerek karışımlar hazırlamışlardır. Çalışmada Guar Gum’un karışım oranı ile kür süresi ve donma çözülmenin serbest basınç dayanımı ve

şişme basıncı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, biyopolimer malzemesinin kohezyonlu bir zeminin serbest basınç mukavemetinde 5.7, 4.6 ve 3.9 kata varan artışlar meydana geldiği görülmüştür.

Kahiyah [12], biyopolimer katkısının kil zeminin mühendislik özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında dört farklı biyopolimer malzeme kullanılmıştır. Deneysel kilin ağırlıkça % 1, % 2, % 3'ü oranlarında biyopolimer malzemeler kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 1, 7, 14 ve 28 gün küre bırakılmıştır. Kür sonrası numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu tez çalışması sonucunda kil zeminlerde biyopolimer kullanımının zemin mukavemet özelliklerinde iyileştirme meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada ise %3 KT ve %1 AZ en yüksek dayanım değerini vermiştir. KZ'nin dayanım değeri 12.2 kPa, karışımın ise 33.9 kPa'dır. Sonuçlara göre KZ'ye oranla karışımın dayanımı 2.77 kat artmıştır. Donma çözülme sonrasında ise dayanım karışım açısından KZ'ye oranla azalma olmamıştır. Aksine KZ'ye oranla donma-çözülme sonrası da daha yüksek dayanıma sahiptir. Fakat donma-çözülme sonrası belli çevrim sayısından sonra dayanım 1, 3 çevrimleri için kil zemine oranla 1.4, 1.18 kat artmış, 5, 10 çevrim sayıları için 1.07, 1.87 kat dayanım değeri düşmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kiremit tozu ve Akasya Zamkının killi zeminlerin mukavemet değerlerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Doğal kil zeminin zemin sınıfı CH yani yüksek plastisiteli kil olarak belirlenmiştir.
- Kompaksiyon deneyi sonucunda optimum su muhtevası %21, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.69 g/cm³ olarak bulunmuştur.
- Kıvam deneyleri ile likit limit değeri %51, plastik limit değeri ise %27 olarak bulunmuştur.
- Doğal kil zeminin dayanımı 12.2 kPa'dır.
- Kiremit tozu katkılı numunelerin %1, %2, %3, %4 ve %5 katkı değerleri ile sırası ile dayanım değerleri 27.2, 29, 32.5, 30.6 ve 30 kPa'dır. Kiremit tozu içeren numuneler doğal kil zemine oranla %166 oranında dayanımda artış meydana gelmiştir. Kiremit tozu doğal kil zeminin dayanımını arttırmada tek başına kullanılabileceği görülmüştür.
- Akasya Zamkı içeren numuneler ise %0.5, %0.75, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında eklenmiştir. Dayanım değerleri ise 25, 25.7, 26.2, 25.8, 23.4, 22.9 ve 12.5 kPa'dır. Doğal kil zemine oranla dayanım yaklaşık %115 civarında artmıştır. Biyopolimer eklenen kil zeminin dayanımında gerçekleşen artış Akasya Zamkı ile kil zeminin dayanımının arttığını göstermektedir.
- Optimum oranları belirlenen numunelerden karışım hazırlanmış dayanım değeri 33.9 kPa olarak bulunmuştur. Karışımın kür süresi ise referans kür süresi seçilen 5 gün ile aynı değer elde edilmiştir.
- Donma-çözülme sonrası dayanım değerleri doğal kil zeminde 1, 3, 5 ve 10 çevrim sayıları için sırası ile 11.4, 8.9, 3.9 ve 3 kPa olarak bulunmuştur.
- Kiremit tozu katkılı zemin için ise 1, 3, 5 ve 10 çevrim sayısı için sırası ile 17.1, 14.4, 11.3 ve 6.5 kPa dayanım değerleri bulunmuştur.

Sonuç olarak kiremit tozunun hem tek başına hem de Akasya Zamkı ile birlikte zeminin mukavemet parametresine donma-çözülme öncesi ve sonrasında olumlu yönde etki ettiği sonucuna varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Poyraz, S., Ural, N., 2022. Atık porselen karonun (apk) kil zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 771–782.
2. Çimen, Ö., Günaydın, H., Keskin, S., 2017. Yüksek plastisiteli kil zeminin mühendislik özelliklerine inşaat atıklarının etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 250-253.
3. Devlet, H., 2020. Killi zeminler üzerinde atık lastik ve gazbetonun etkilerinin değerlendirilmesi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(1), 1-9.
4. Abd, T.A., Fattah, M.Y., Aswad, M.F., 2021. Improvement of soft clayey soil by bio-polymer. Engineering and Technology Journal, 39(8), 1301-1306.

5. Yarbaşı, N., 2018. Mermer tozu ve atık lastik ile iyileştirilen düşük plastisiteli killi zeminlerin dayanım özellikleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 162-170.
6. Tunç, U., Bağrıaçık, B., Aslan, H., Altay, G., Şenol, A., 2022. Arabik gam katkılı doğal kil zeminin konsolidasyon sonuçlarının değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(3), 731-740.
7. Aysu, Ş., 2020. Yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisi. *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Dergisi*, 2507, 1-9.
8. Alaryan, M., 2022. Konya şeker fabrikası atık kireç çamuru (PKF)'nin geoteknik mühendisliğinde kullanımının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 186.
9. Geçkil, T., Sarıcı, T., Yıldırım, E., 2019. Kireç katkısı ile kil bir zeminin dayanımının iyileştirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 171-179.
10. Vural, İ., 2019. İnşaat yıkıntı atıklarının zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliği. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(1), 1-6.
11. Ok, B., Bağrıaçık, B., 2022. Guar gum ile iyileştirilen kil zeminlerin donma çözülme etkisinde mukavemet ve şişme basınçlarının araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(3), 589-600.
12. Kahiyah, M.T.M.A., 2020. Investigation of engineering properties of clayey soils improved with biopolymers. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 89.