



**BİYOPOLİMER İLE ETKİLEŞTİRİLMİŞ KİL/PONZA
TOZU KARIŞIMLARININ BAZI GEOTEKNİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Gamze GENCER

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK

2018

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİYOPOLİMER İLE ETKİLEŞTİRİLMİŞ KİL/PONZA TOZU
KARIŞIMLARININ BAZI GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Gamze GENCER

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**BİYOPOLİMER İLE ETKİLEŞTİRİLMİŞ KİL/PONZA TOZU
KARIŞIMLARININ BAZI GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK danışmanlığında, Gamze GENCER tarafından hazırlanan bu çalışma 29/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu (3./3)~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Semet ÇELİK

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şevki ÖZTÜRK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 20..../09..../2018.... tarih ve 37.../...17.....
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYOPOLİMER İLE ETKİLEŞTİRİLMİŞ KİL/PONZA TOZU KARIŞIMLARININ BAZI GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Gamze GENCER

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK

Killer geoteknik mühendisliğinde katı atık depolama alanlarında geçirimsiz şilte, barajlarda kil çekirdek, yol dolgularında geçirimsizlik elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak kil zeminler, su ile karşılaştıklarında su içeriklerinde meydana gelen değişimle birlikte kilin minerolojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak farklı şişme, oturma, dayanım ve geçirimsizlik özelliği gösterebilmektedir. Bu tür problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için kil zeminlerin çeşitli yöntem ve katkılarla iyileştirilmesine çalışılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, ponza katkılı kil zeminlerin biyopolimer ile etkileştirilmesi sonucu elde edilen numunelerin bazı geoteknik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla Erzurum yöresine ait bir kil, Bitlis'ten temin edilen ponza tozu ile belirli yüzdelerde karıştırılmış, daha sonra elde edilen ponza katkılı killere belirli yüzdelerde biyopolimer eklenmiştir. Deney sonuçları, biyopolimer katkılı kil-ponza karışımlarının likit limit değerlerinin doğal kile göre arttığını, numunelerin non-plastik özellik sergilediğini göstermiştir. Ayrıca biyopolimer yüzdesindeki artışla numunelerin serbest basınç mukavemetleri artmış, hidrolik iletkenlik değerlerinde azalma görülmüştür.

2018, 65 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyopolimer, geçirimsiz şilte, hidrolik iletkenlik, kil, ponza

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF SOME GEOTECHNICAL PROPERTIES OF CLAY / PUMICE POWDER MIXED BY BIOPOLYMER

Gamze GENCER
Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK

In geotechnical engineering, clays are frequently used as impermeable liner in landfills, as core material in earth dams, and as impermeable component in road embankments. However, depending on the mineralogical and chemical properties, clays may show different swelling, settlement, strength and permeability properties. To overcome these problems, clay soils are attempted to be improved with chemical additives. In this research, geotechnical properties of the specimens that had been obtained by interacting pumice-containing clay soils with biopolymers were studied. For this purpose, firstly, natural Erzurum clay was mixed with the pumice powder obtained from Bitlis at certain percentages to obtain pumice containing clays. Then, these pumice containing clays were interacted with biopolymer at certain percentages to produce biopolymer containing clay/pumice specimens. The experimental results showed that liquid limit values increase with the increase in the biopolymer percentage, and the specimens exhibit non-plastic characteristic. Furthermore, with the increase in biopolymer, the unconfined compressive strength values of the specimens increased and the hydraulic conductivity values decreased.

2018, 65 pages

Keywords: Biopolymer, impermeable liner, hydraulic conductivity, clay, pumice

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin her aşamasında değerli vaktini, tecrübelerini, bilgi ve birikimlerini hiçbir zaman benden esirgemeyerek beni cesaretlendiren değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK'a gösterdiği ilgi, sabır ve anlayıştan dolayı en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında bilgi ve tecrübeleri ile yardımcı olan Arş. Gör. Nur SUNAR'a, Arş. Gör. Fatih ARTUK'a ve İnş. Müh. Emrah TURAN' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bana yardımcı olan İnş. Müh. Sümeyye GÜNDÜZ'e, Yük. İnş. Müh. Payam MAJEDİ'ye, Teknisyen Mevlüt ALBAYRAK'a, Öğr. Gör. Seda YETKİN'e, ve Öğr. Gör. Mehmet Sait CENGİZ'e teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde en zor anlarımda yanımda olan ve yardımına koşan, destekleriyle başarılarımı temellendiren annem Hamiyet GENCER'e ve babam Ayetullah GENCER'e ayrıca Erzurum'da samimiyetleri ve emekleri ile öz ailemi aratmayan aile dostlarımız Nevin ÇAKMAK'a ve Fevzi ÇAKMAK'a sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Gamze GENCER

Ağustos 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Literatür Özeti	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1. Kil.....	8
2.2. Ponza	11
2.2.1. Ponzanın kullanım alanları.....	12
2.3. Polimerler	15
2.3.1. Biyopolimerler.....	16
2.3.2. Polisakkaritler.....	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal.....	21
3.1.1. Kil numuneler.....	21
3.1.2. Ponza tozu	25
3.1.3. Biyopolimer.....	27
3.2. Yöntem	27
3.2.1. Ponza katkılı kil numunelerin elde edilmesi	28
3.2.2. Biyopolimer katkılı numunelerin elde edilmesi	28
3.2.3. Özgül ağırlık deneyi	30
3.2.4. Kıvam limitleri deneyi.....	30
3.2.5. Kompaksiyon deneyi.....	32
3.2.6. Serbest basınç deneyi	33
3.2.7. Şişme basıncı deneyi	35

3.2.8. Hidrolik iletkenlik deneyi.....	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	38
4.1. Özgöl Ağırlık Deney Sonuçları.....	38
4.2. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları	38
4.3. Kompaksiyon Deney Sonuçları.....	40
4.4. Serbest Basınç Deneyi Sonuçları	47
4.5. Şişme Basıncı Deney Sonuçları	54
4.6. Hidrolik İletkenlik Deney Sonuçları	56
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

C	Kil
CH	Yüksek plastisiteli inorganik kil
CL	Düşük plastisiteli inorganik kil
c_u	Drenajsız mukavemet
I_p	Plastisite indisi
k	Hidrolik iletkenlik katsayısı
KBG	Keçiboynuzu gamı
MH	İnorganik siltler, mikalı ince kumlu ve siltli zeminler
ML	İnorganik silt, az plastik siltli veya killi ince kumlar
P	Ponza
q_u	Serbest basınç mukavemeti
SPT	Standart Proktor Testi
w_L	Likit limit
w_{opt}	Optimum su muhtevası
w_p	Plastik limit
XRD	X ışını difraksiyonu
XRF	X ışını fraksiyonu
γ_k	Kuru birim hacim ağırlığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kaolinitin yapısı	8
Şekil 2.2. Montmorillonit kilinin yapısı.....	9
Şekil 2.3. Asidik ve bazik karakterli bazı ponzaların kimyasal bileşenleri	12
Şekil 2.4. Türkiye’de ki illere göre ponza rezervinin dağılımı	14
Şekil 2.5. Bitlis ili maden haritası.....	15
Şekil 2.6. Galaktomannanların yapısı	19
Şekil 3.1. Doğal kil numune (a), öğütülmüş kil numune (b).....	21
Şekil 3.2. Los Angeles aşındırma cihazı.....	22
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan doğal kilin granülometri eğrisi	22
Şekil 3.4. Ponza öğütücü cihaz	25
Şekil 3.5. 40 No’lu elekten elenen ponza örneği	26
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan ponzanın granülometri eğrisi.....	26
Şekil 3.7. Keçiboynuzu gam	27
Şekil 3.8. Kil ile ponzanın kuru halde karıştırılması	28
Şekil 3.9. Keçiboynuzu gam manyetik karıştırıcı suda çözünürken.....	29
Şekil 3.10. Kil ve ponzanın özgül ağırlıklarının belirlenmesi	30
Şekil 3.11. Kil-ponza karışımının çözünmüş KBG ile karıştırılması	31
Şekil 3.12. Düşen koni yöntemi ile kıvam limitinin belirlenmesi.....	32
Şekil 3.13. Otomatik kompaktör ile kompaksiyon deneyi yapılırken	33
Şekil 3.14. Manuel hidrolik numune çıkarma krikosu ile serbest basınç numunesi alınırken.....	34
Şekil 3.15. Serbest basınç deney aleti.....	34
Şekil 3.16. Serbest basınç deneyinden çizilen Mohr Dairesi.....	35
Şekil 3.17. Şişme basıncı deney numunesinin hazırlanması.....	36
Şekil 3.18. Ödometre deney aletinde şişme basıncı deneyinin yapılışı	36
Şekil 4.1. Ponza yüzdesindeki artışla kıvam limitlerinde meydana gelen değişim.....	39
Şekil 4.2. Ponza yüzdesindeki artışla kilin sınıfında meydana gelen değişim	39
Şekil 4.3. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla likit limitlerde meydana gelen değişim.....	40

Şekil 4.4. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla optimum su muhtevasında meydana gelen değişim.....	42
Şekil 4.5. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla maksimum kuru birim hacim ağırlıklarda meydana gelen değişim	43
Şekil 4.6. Doğal kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri	43
Şekil 4.7. %5 ponza katkılı kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri	44
Şekil 4.8. %15 ponza katkılı kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri	44
Şekil 4.9. %25 ponza katkılı kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri	45
Şekil 4.10. KBG yüzdesine bağlı olarak optimum su muhtevastaki doygunluk derecelerinin değişimi	46
Şekil 4.11. KBG katkılı doğal kil numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri	47
Şekil 4.12. KBG katkılı doğal kil-%5 ponza numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri	48
Şekil 4.13. KBG katkılı doğal kil-%15 ponza numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri	48
Şekil 4.14. KBG katkılı doğal kil-%25 ponza numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri	48
Şekil 4.15. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen değişim	50
Şekil 4.16. Doğal kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri	52
Şekil 4.17. %5 ponza katkılı kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri.....	52
Şekil 4.18. %15 ponza katkılı kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri.....	53
Şekil 4.19. %25 ponza katkılı kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri.....	53

Şekil 4.20. Keçiboynuzu gam yüzdesine bağlı olarak şişme basınçlarında meydana gelen değişim	55
Şekil 4.21. Keçiboynuzu gam yüzdesine bağlı olarak artışla hidrolik iletkenlik katsayılarında meydana gelen değişim	58



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı kil minerallerinin tabaka yapıları ve tabaka yapılarının gösterimi.....	10
Çizelge 2.2. Bazı asidik ve bazik karakterli ponzaların kimyasal içerikleri.....	11
Çizelge 2.3. Suda çözünebilen gam çeşitleri	18
Çizelge 3.1. Kile ait bazı geoteknik özellikler	23
Çizelge 3.2. Doğal kile ait tüm kayaç analizi sonuçları.....	23
Çizelge 3.3. Doğal kile ait XRD mineral analizi	24
Çizelge 3.4. Doğal kil numunenin kimyasal bileşimi	24
Çizelge 3.5. Deney numuneleri.....	29
Çizelge 4.1. Kil ve ponza tozunun özgül ağırlık değerleri	38
Çizelge 4.2. Kompaksiyon deney sonuçları.....	41
Çizelge 4.3. SPT deney sonuçlarına göre optimum su muhtevsındaki doygunluk dereceleri.....	45
Çizelge 4.4. Numunelerin serbest basınç deneyi sonuçları.....	49
Çizelge 4.5. Numuneler üzerinde yapılan şişme basıncı deney sonuçları	54
Çizelge 4.6. Numuneler üzerinde yapılan hidrolik iletkenlik deney sonuçları.....	57

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Kil zeminler geoteknik mühendisliğinde pek çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle toprak dolgu barajlarda geçirimsizliği sağlayıcı kil çekirdek olarak, katı atık depolama alanlarında sızdırmazlığı sağlayıcı eleman olarak kil zeminlerden yararlanılmaktadır. Ponza, volkanik olaylar sonucunda meydana gelmiş olan boşluklu yapıya sahip bir kayadır (Whitham and Sparks 1986). İnşaat mühendisliği alanında yaygın olarak hafif yapı malzemesi üretiminde faydalanılmakta olan ponza, Türkiye’de pek çok yerde bulunmakta olup, yaygın olarak Bitlis ilinde mevcuttur. Bitlis’te 81.500.000 ton iyi kalitede ve kısmen yıkama işlemi gerektirmeyen ponza yatakları bulunduğu bilinmektedir (MTA 2010). Kil zeminler, su ile karşılaştıklarında su içeriklerinde meydana gelen değişimle birlikte minerolojik ve kimyasal yapılarına bağlı olarak farklı şişme, oturma, dayanım ve geçirimsizlik özelliği gösterebilmektedir. Literatürde, bu tür problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için kil zeminlerin diğer tür zeminlerle veya katkılarla karıştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, ponza katkılı kil zeminlerin biyopolimer ile etkileştirilmesi sonucu elde edilen numunelerin bazı geoteknik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla Erzurum-Oltu Yöresi’ne ait bir doğal kil öncelikle Bitlis-Ahlat’tan temin edilen ve öğütülen ponza tozu ile belirli yüzdelerde karıştırılmış ve ponza katkılı killeri elde edilmiştir. Daha sonra suyun içerisine belirli yüzdelerde biyopolimer (keçiyoynuzu gam) ilave edilerek solüsyonlar hazırlanmıştır. Ardından doğal kil ve ponza katkılı kil numunelerin su ve solüsyonlar ile etkileştirilmesi sonucunda biyopolimer katkılı doğal kil numuneleri ve biyopolimer katkılı kil/ponza numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen biyopolimer katkılı doğal kil numunelerine ait deney sonuçları, biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerine ait deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

Literatürde ponza katkılı kil zeminlerin mühendislik ve geoteknik özellikleri ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır (Çimen 2005; Kalay 2010; Saltan *et al.* 2011; Gökalp *et al.* 2012).

Keskin (1996) çalışmasında yüksek plastisiteli killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde ponzanın kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kile % 10, % 15, % 20, %30 ve % 40 oranlarında ponza karıştırılıp kıvam limitleri, kompaksiyon, konsolidasyon, şişme basıncı ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Kıvam limitleri deneyi için 40 no.lu elek altı, kompaksiyon ve konsolidasyon deneylerinde 4 no.lu elek altı ponza kullanılmıştır. Kompaksiyon deney sonuçlarına göre şişme, konsolidasyon ve serbest basınç deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre ponza oranı arttıkça karışımın plastisitesi azalmakta, maksimum kuru birim hacim ağırlık artmakta buna karşılık optimum su muhtevası azalmakta ayrıca serbest basınç mukavemeti artmaktadır. Karışımlardaki ponza oranı arttıkça şişme basıncı ve hacimsel sıkışma katsayısı az miktarda düşmüştür. Ponzanın tek başına iyi bir zemin iyileştirme malzemesi olmadığı bir miktar toz kireç ile karıştırılarak zemin stabilizasyonunda kullanılmasının daha uygun olacağı önerisinde bulunulmuştur.

Keskin ve Çimen (1997) çalışmalarında ponzanın killi zeminlerin iyileştirmesinde kullanılmasını araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda ponza katkılı düşük plastisiteli kil zemin numunelerin serbest basınç mukavemeti değerlerinde önemli bir değişim olmadığını ponza katkılı yüksek plastisiteli kil zemin numunelerinin serbest basınç mukavemeti değerlerinin arttığını, plastisite indisinin ve şişme basıncının azaldığını belirtmişlerdir. İdeal kil-ponza karışım oranını %20-%30 olarak belirlemişlerdir.

Kavlak (2008) Isparta Gelincik ponzası ile karayolunun esnek üst yapısının taban zemininin iyileştirilmesini incelemiştir. İlk olarak ponzanın fiziksel özelliklerini incelemiştir. Ardından ponza üzerinde kıvam limitleri, dona karşı dayanıklılık,

sağlamlık (aşınma) ve Kaliforniya Taşıma Gücü (CBR) deneyleri yapılmıştır. Kıvam limitleri deney sonuçlarına göre ponzanın plastik olmayan bir malzeme olduğunu belirtmiştir. Dona karşı dayanıklılık, sağlamlık (aşınma) deney sonuçlarına göre sağlamlık (aşınma) değeri açısından yol taban zemini standartları içinde % 29 değerinde, dona karşı dayanımının % 46,51 değerinde ve CBR deney sonucunun ise standart sınır değerden çok yüksek bulunması (CBR=% 26,52>% 10) sonucunda ponzanın stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceğini ifade edilmiştir.

Kalay (2010) yüksek plastisiteli bir kile % 5, % 10, % 15, % 20, % 25, % 30 ve % 35 oranlarında Isparta Gelincik ponzası ilave edilerek elde edilen karışımlar üzerinde kıvam limitleri, standart kompaksiyon ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, ponzanın kilin likit limitinde, plastik limitinde ve plastisite indisinde azalma meydana getirdiğini göstermiştir. Ponza yüzdesindeki artış ile plastisite indisinde meydana gelen azalma da artmıştır. Deneyler, ponza yüzdesinin artması ile maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının arttığını, optimum su muhtevalarının azaldığını ve serbest basınç mukavemeti değerlerinde artışın meydana geldiğini göstermiştir. Sonuç olarak ideal kil-ponza karışım oranı % 20-30 olarak belirtilmiştir.

Saltan *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada yol kaplamalarında bulunan sorunlu kil katmanlarını Isparta Gelincik bölgesinde mevcut olan ponza ile iyileştirilmesini araştırmışlardır. Hafif agrega malzemesi olan ponzanın fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ponza çeşitli oranlarda yüksek plastisiteli kil ile karıştırılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre Isparta Gelincik ponzasının yol kaplamalarındaki sorunlu kil katmanlarının stabilizasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir.

Gökalp *et al.* (2012) yapmış oldukları çalışmada ponza bentonit karışımının geçirimsizlik özelliklerini kum bentonit karışımının geçirimsizlik özellikleri ile karşılaştırılmışlardır. Kayseri’de bol miktarda bulunan doğal bir malzeme olan ponzayı kil zeminlerin stabilizasyonu için yaygın olarak kullanılan kum ile karşılaştırmak amacıyla, ponza bentonit ve kum bentonit karışımlarının geçirimsizlik özellikleri tayin edilmiş ve sonuçlar

karşılaştırılmıştır. Karışımların hidrolik iletkenliklerini belirlemek için dört farklı bentonit oranı (% 15, % 20, % 25 ve % 30) ve üç farklı tane boyutlu (2,00 ile 1,00; 1,00 ile 0,50; 0,50 ile 0,25mm) ponza ve kum kullanılmıştır. İnce daneli zeminlerin hidrolik iletkenliğini belirlemek uzun zaman aldığından kolayca belirlenen bazı geoteknik özellikler arasında ampirik denklemler geliştirilmiştir. Ponza bazlı karışımların, kum bazlı karışımlar ile hemen hemen aynı geçirimsilik değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Be nedenle yerel olarak bol miktarda bulunmakta olan ponzanın, kumun bir alternatifi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Literatürde biyopolimer ile etkileştirilmiş zeminlerin geoteknik özelliklerinin araştırılmasına dair çalışmalar mevcuttur (Ayhan 2011; Taytak *et al.* 2012; Akbulut and Cabalar 2014; Chang and Cho 2014; Kurt and Akbulut 2014; Cabalar *et al.* 2017; Qureshi *et al.* 2017).

Araştırmacılar biyopolimer ile etkileştirilmiş zeminlerin mekanik özelliklerini araştırmışlar ve biyopolimerlerin mukavemeti genel olarak artırdığını belirlemişlerdir (Khatami and O’Kelly 2013; Chang *et al.* 2015; Smitha and Sachan 2016; Viswanath *et al.* 2017). Biyopolimerler zemin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Biju and Arnepalli (2016) ve Aminpour and O’Kelly (2015) çalışmalarında zemin iyileştirmesi için biyopolimerleri kullanmışlardır. Nanokil-kompozit üretiminde ise jel dayanımını artırıcı olarak biyopolimerlerden yararlanılmaktadır (Maier *et al.* 1993; Kurt Albayrak 2014; Kurt and Akbulut 2017).

Etemadi *et al.* (2003) çalışmalarında beş farklı biyopolimer kullanarak zemin stabilizasyonu için ideal olan kombinasyonu bulmayı amaçlamışlardır. Kullanılan biyopolimerlerin tamamının geçirimsiliği azalttığını, kumun kayma mukavemetini arttırdığını belirtmişlerdir. Kumlu zemin içerisindeki Cu^{2+} iyonlarını, ksantan gam ve guar gam biyopolimerleri kullanılmıştır.

Ayhan (2011) çalışmasında biyopolimer katkılı kil zeminlerin mühendislik özelliklerini araştırmıştır. Bu amaç ile kıvam limitleri, konsolidasyon, şişme basıncı ve geçirimsilik

deneyleri yapılmıştır. Çalışmada endüstri alanında çoğunlukla kullanılan, doğada bol miktarda bulunan ksantan gam ve kitosan biyopolimerleri kullanılmıştır. Biyopolimerler % 0,25, % 0,5 ve % 0,75 oranlarında kullanılarak elde edilen çözeltiler ile deneyler yapılmıştır. Kullanılan biyopolimerlerin killerin likit limit değerlerini arttırdığı, şişme potansiyelini düşürdüğü, ksantan gam oranı arttıkça kil numunelerin konsolidasyon ve geçirimsizlik katsayılarının aynı yük kademesinde azaldığı sonucuna varılmıştır. Barajlarda geçirimsiz kil bariyer oluşturmak ve çöp depolama alanlarının altındaki sızdırmayı engelleyen kil bariyerlerde biyopolimerlerin kullanılabileceğini ve biyopolimerlerin likit limit değerleri arttırdığı için sanayi alanında kullanılabileceği önerisinde bulunulmuştur.

Wisniewski *et al.* (2013) çalışmalarında kum ile bir biyopolimer çeşidi olan ksantan gamını karıştırarak karışımların geçirimsizliklerini laboratuvar ortamında araştırmışlardır. Kumlu zemin örneğine zemin ağırlığının % 0,5, % 1,0 ve % 1,5 oranlarında biyopolimer eklenmiştir. Biyopolimer kullanılarak kumlu zeminlerde sızıntıyı engelleyen bariyerler oluşturmak amaçlanmıştır. Çalışmada, ksantan gamın çevreye zarar vermeden zeminin hidrolik iletkenliğini önemli ölçüde azaltabildiğinden, herhangi bir etkileşime girmediğinden bahsedilmiştir. Polisakkaritler viskos bir süspansiyon oluşturmak için su ile güçlü etkileşirler. Yapılan deneyler sonucunda zeminlere uygulanan biyopolimerin diğer iyileştirme yöntemlerine göre çevre kirliliğini azaltma yönünde ümit verici olduğu belirtilmiştir. Biyopolimerlerin çevre dostu olmaları ve ticari amaçla üretildiklerinde fazla maliyetli olmamaları zeminlerin stabilizasyonunda kullanılmalarına olan ilgiyi arttırmaktadır.

Chang and Cho (2014) çalışmalarında, biyopolimerlerin canlı organizmalar tarafından üretilen faydalı özellikleri nedeniyle tıp, kozmetik, gıda, sanayi vb. alanlarda kullanılabilen polimer olduğuna değinmişlerdir. Biyopolimerler son zamanlarda zemin stabilizasyonunda, zeminlerin geoteknik özelliklerin araştırmada kullanılmaktadır. Çalışmalarında β -1,3/1,6-glukon biyopolimerini kullanmışlardır. Zeminin geoteknik özelliklerini tayin etmek için birkaç zemin laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Numunelerdeki biyopolimer oranı arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında,

optimum su muhtevalarında, kıvam limitlerinde, şişme indeksi parametrelerinde artış görüldüğü belirtilmiştir.

Wiszniewski and Cabalar (2014) çalışmalarında biyopolimer ile etkileştirilmiş zeminlerin hidrolik iletkenliğini araştırmışlardır. Deneylerde kaba kum (1,18-2,00 mm) ve orta kum (0,075-1,00 mm) olmak üzere iki farklı zemin örneği ksantan gamı ile karıştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre hidrolik iletkenlik değerleri, biyopolimerin konsantrasyonuna, zeminin dane çapı dağılımına bağlı olarak önemli derecede değişmektedir. Yeni bir iyileştirme tekniği olan bu uygulamanın geoteknik alanında sızdırmayı engellemek amacıyla kullanılabileceği ve tekniğin geliştirilmesi için farklı zemin cinslerinde farklı biyopolimer çeşitleri kullanılarak daha fazla çalışmaya gerek olduğu önerisinde bulunulmuştur.

Chang *et al.* (2015) çalışmalarında bir biyopolimer türü olan genellikle gıda maddelerinde kıvam arttırıcı olarak kullanılan ksantan gamını zemini iyileştirmek için kullanmışlardır. Farklı zemin çeşitleri ve farklı biyopolimer konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. Ksantan gamı ince daneli zeminler ile daha iyi etkileşime girmekte ve zemin mukavemetini belirli oranlarda arttırmaktadır. Biyopolimerin yüksek konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde, yüksek viskozite karıştırma zorluğuna sebebiyet verdiğiinden beklenen sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle yüksek oranda ksantan gamdan kaçınılması gerektiği, zemin için ideal ve ekonomik konsantrasyonun % 1-% 1,5 olacağı düşünülmektedir.

Cabalar *et al.* (2017) çalışmalarında kumlu bir zemin örneğini biyopolimer ile etkileştirerek zeminin geoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada 0,075-1,0 mm boyutlarındaki kum zemin % 0, % 0,5, % 1 ve % 1,5 oranlarında ksantan gam biyopolimeri ile karıştırılarak konsolidasyon, geçirimsizlik, kompaksiyon ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Ksantan gamının çevreye zarar vermeden zeminin geçirimsizliğini, sıkışabilirliğini ve mukavemet özelliklerini etkilediği belirtilmiştir. Deney sonuçlarına göre biyopolimerin sıkışabilirliği önemli ölçüde azalttığı,

geçirirnililięi dūřūrdūęū ve zemin dayanımını arttırdıęı kanısına varıldıęından bahsedilmiştir.

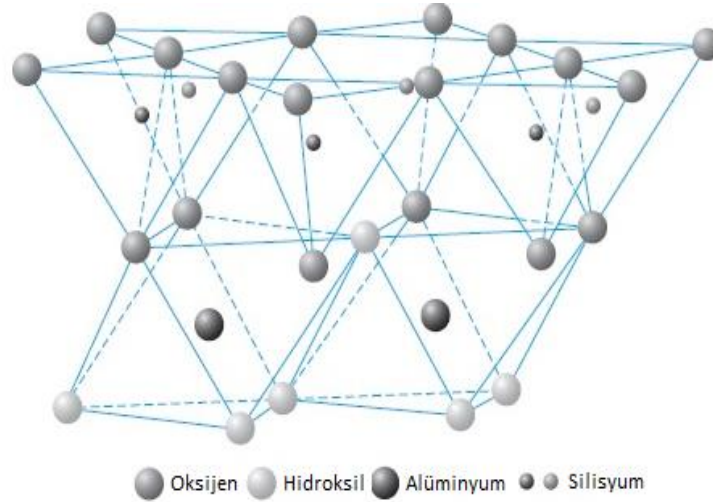


2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kil

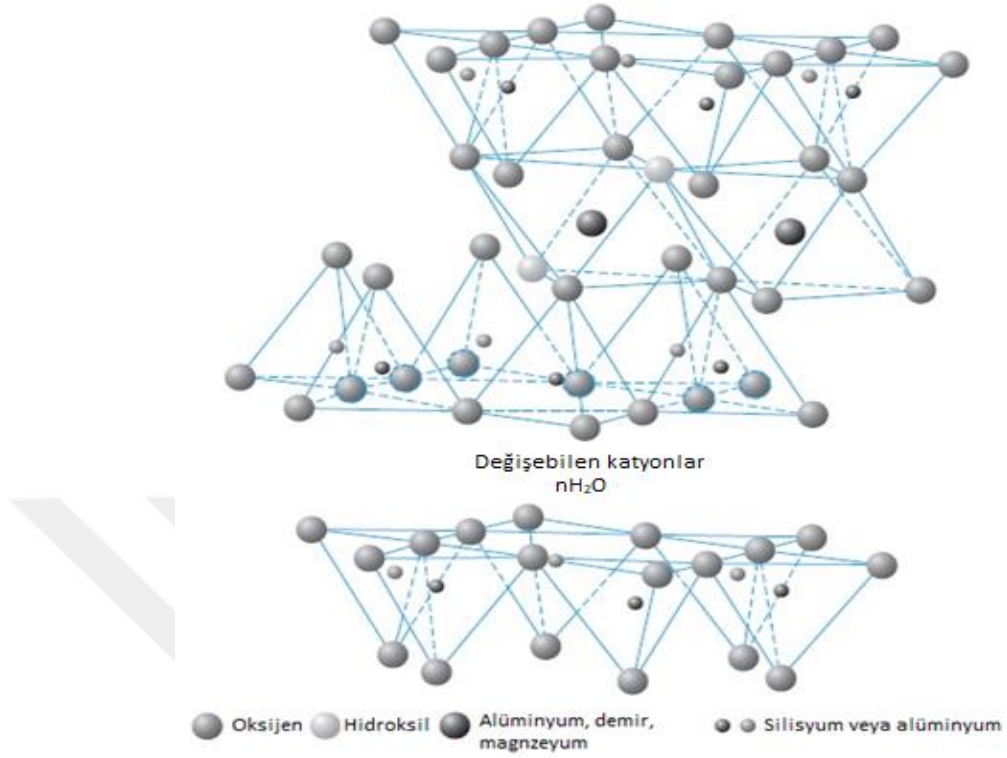
Killer, kayaçların kimyasal ayrışmalarıyla oluşmuş, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan doğal bir ikincil minerallerdir. Kristalimsi yapıya sahip olan killer yalnızca elektron mikroskobu ile görülebilirler (Holtz and Kovacs 1981). Kil mineralleri aktif elektrokimyasal olan partiküller içerdiğinden zeminde az miktarda bulunsalar dahi zeminin mühendislik özellikleri üzerinde etkili olurlar. Kil minerallerinin çoğu asitte çözünmez, hidrofiliktir ve ıslakken elastiktir (Cernica 1995). Birçok kil minerali mevcuttur. Bunlardan bazıları; kaolinit, montmorillonit, illit ve klorittir.

Kaolinit; bir dörtyüzlü (silika) ve bir sekizyüzlü (alümina ve gibsit) levhasının tekrarlanan katmanlarından meydana gelmektedir (Şekil 2.1). İki levhanın birer tanesinin bir katman oluşturmasından dolayı kaolinit 1:1 minerali olarak isimlendirilir (Holtz and Kovacs 1981).



Şekil 2.1. Kaolinitin yapısı (Das and Sobhan 2014)

Montmorillonit; smektit grubunun en çok bilinen mineralidir. 2:1 tabakalıdır. Bu tabakalı yapı, iki dörtyüzlü (silika) levhanın ve bir sekizyüzlü (alümina) levhasının birleşiminden oluşur (Şekil 2.2).

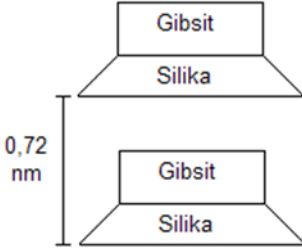
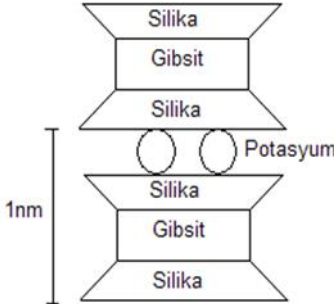
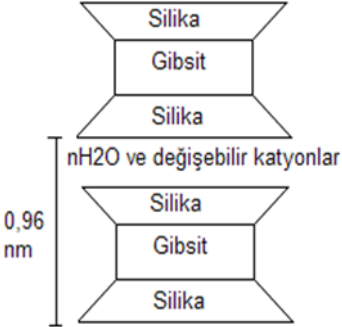
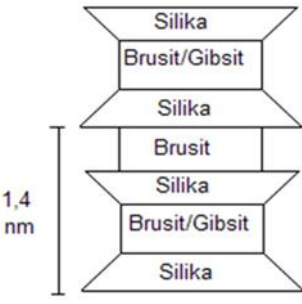


Şekil 2.2. Montmorillonit kilinin yapısı (Das and Sobhan 2014)

Katmanlar arasına su ve değişebilen iyonlar girerek levhaları ayırabildiğinden montmorillonit kristalleri çok küçük boyutta olabilmektedir. Bu durum da suya karşı eğilimlerini arttırmaktadır ve sonuç olarak şişmeye müsaittirler. İllit mineralleri de 2:1 tabaka yapıları ile montmorillonitlere benzerdir. İllit mineralinde her tabaka arasında potasyum iyonları mevcuttur (Holtz and Kovacs 1981).

Klorit minerali silika levhası, alümina levhası, başka bir silika levhası ve gipsit (Al^{+++}) veya brisit (Mg^{++}) levhasından oluştuğundan 2:1:1 minerali olarak da adlandırılmaktadır. Bazı klorit minerallerinin brisit ya da gipsit levhaları eksik olabilmekte ve bu durum şişmeye karşı hassasiyeti arttırmaktadır. Klorit, illit ve montmorillonit minerallerine göre daha az aktiftir (Holtz and Kovacs, 1981). Çizelge 2.1’de bazı kil minerallerinin tabaka yapılarının gösterimi ve kimyasal formülleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı kil minerallerinin tabaka yapıları ve tabaka yapılarının gösterimi (Cernica 1995; Mitchell and Soga 2005; Kurt Albayrak 2014)

Kil minerali	Tabaka yapısı	Tabaka yapısının gösterimi	Kimyasal formülü
Kaolinit	1:1		$(OH)_8Al_4Si_4O_{10}$
İllit	2:1		$(OH)_4K_y(Al_4Fe_4Mg_4)(Si_{8-y}Al_y)O_{20}$ (y:1’den 1,5’e kadar değer alabilir)
Montmorillonit Smektit	2:1		$(OH)_4Al_4Si_8O_{20}.nH_2O$
Klorit	2:1:1		2:1 tabakası: $(OH)_4(SiAl)_8(Mg.Fe)_6O_{20}$ Ara tabaka: $(MgAl)_6(OH)_{12}$

2.2. Ponza

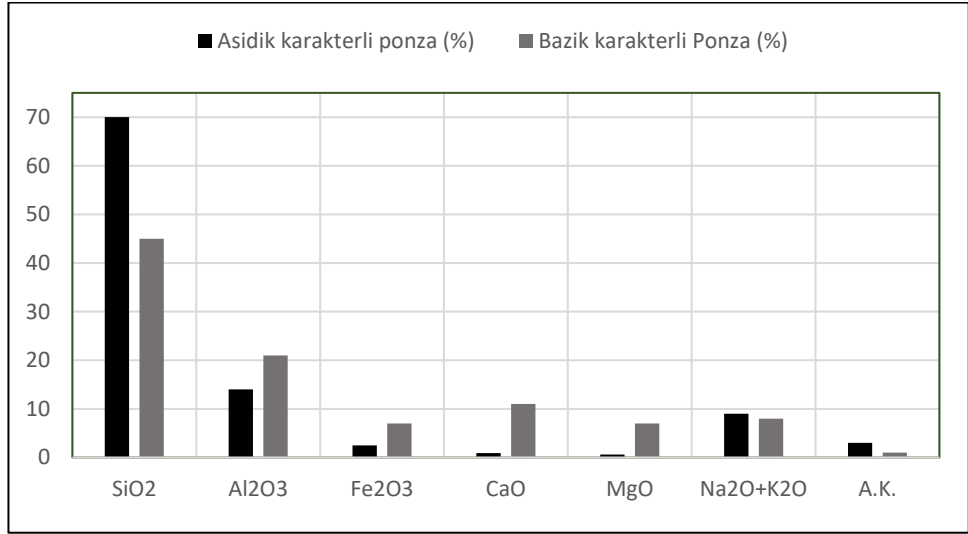
Ponza ya da diğer bir deyişle pomza adı İtalyanca'dan Türkçe'ye girmiştir. Türkçe'de süngertaşı, hışırtaşı, küveki taşı, topuktaşı olarakta bilinmektedir (Öz 2007).

Ponza volkanik olaylar sonucu oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli bir kayadır. Ponza, oluşumu esnasında içerisindeki gazların ani olarak bünyesini terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle gözenekli yapıya sahiptir. Ponza volkanik oluşumlar ve kayacın yapısına göre asidik ve bazik ponza olarak iki farklı grupta değerlendirilir. Asidik ponzanın bazik ponzaya göre yoğunluğu daha düşüktür. Ponzanın kimyasal bileşiminde silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum mevcuttur. Kimyasal bileşimdeki silis oranı arttıkça ponzanın rengi beyaza yakın renk alır. Asidik karakterli ponzalar kirli beyaz, açık gri ve grimsi renklerde. Bazik karakterli ponzalar ise koyu renkli, kahverengimsi ve siyahımsı renklerde olabilmektedir (Gündüz vd 1998).

Asidik ponza yeryüzünde en çok kullanılan türdür. Asidik ve bazik özellik gösteren ponza oluşumlarının kimyasal bileşimlerine örnek Çizelge 2.2 ve Şekil 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı asidik ve bazik karakterli ponzaların kimyasal içerikleri (Gündüz vd 1998)

Bileşim	Asidik karakterli ponza (%)	Bazik karakterli ponza (%)
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2.5	7
CaO	0.9	11
MgO	0.6	7
Na ₂ O+K ₂ O	9	8
A.K.	3	1



Şekil 2.3. Asidik ve bazik karakterli bazı ponzaların kimyasal bileşenleri (Soğancı 2011)

2.2.1. Ponzanın kullanım alanları

Ponzanın günümüzde kullanım alanları çok geniş olmakla beraber yoğunlukla inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Ponzanın kullanıldıkları alanlar 5'e ayrılır (Reyhanoğlu 1988). Bunlar:

- İnşaat alanı
- Tarım alanı
- Tekstil alanı
- Kimya alanı
- Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlardır.

Ponza, dünyada ve ülkemizde yoğun olarak inşaat alanında kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen ponzanın %90'ı yurt içinde inşaat alanında kullanılmaktadır. Perlitin kullanıldığı sektörlerin genellikle tümünde ponza kullanılabilir. Genleştirmek için enerjiye ve yatırıma ihtiyaç duymadığından ponzanın inşaat sektöründe kullanımı perlite göre son zamanlarda hızla artmıştır. Ponza inşaat sektörü dışında sanayi sektöründe abrazif

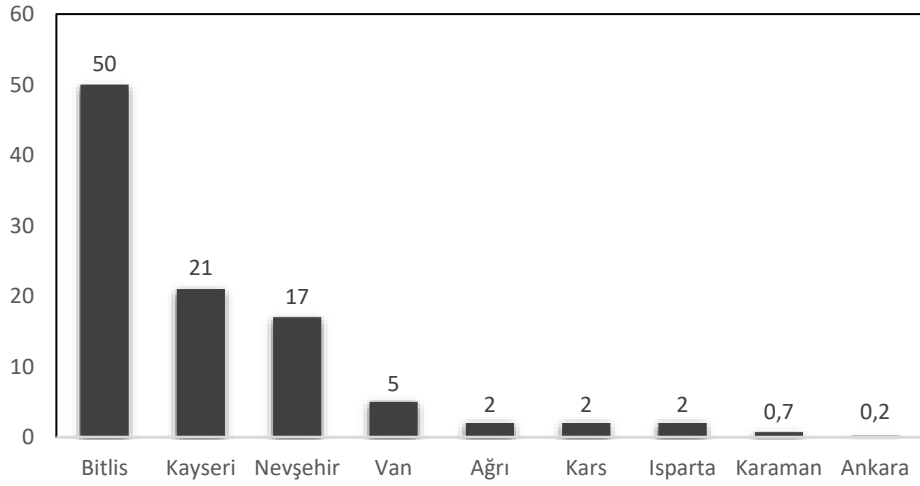
sanayinde de yaygın kullanılmaktadır. Sanayi sektöründe abrazif sanayi dışında aşağıda verilen sanayi alanlarında da kullanılmaktadır;

- **Boya sanayi sektöründe:** İzolatif duvar boyasında, pürüzlü kaplamada, motifli boya için astar macunu düzeltmede,
- **Kimya sanayi sektöründe:** Kimyasal taşıyıcı ve filtrasyon malzemesi olarak,
- **Metal ve plastik sanayi sektöründe:** Temizleme ve cilalama, titreşim özelliği olan malzemelerin yapımında, elektriksel kaplama, taş basma kalıplarının temizlenmesinde,
- **Cam sanayi sektöründe:** Cam cilalama da, kesik cam tamamlama malzemesinde,
- **Mobilya sanayi sektöründe:** Cilalama da ve resim çerçevelerine motif vermede,
- **Elektronik sanayi sektöründe:** Devre plaketlerini temizleme işleminde,
- **Tekstil sektöründe:** Kot kumaşının ağartılmasında, yumuşatılmasında, renklerinin açılmasında,
- **Tarım sektöründe:** Toprak ıslahında ve suni gübrenin topaklaşmasını önlemek için anti-kek olarak (MTA 2018).

Ponza yol inşaatlarında hem taban malzemesi olarak hem de yol zemininin mukavemetini arttırmak amacıyla kullanılan bir malzemedir (Soğancı 2011).

Dünya genelinde tahmini 18 milyar m³ ponza kaynağı olduğu bilinmektedir. Ponza yatakları yaygın olarak ABD, Türkiye ve İtalya'da bulunmaktadır. Türkiye'deki ponza kaynağı ise tahmini 2,8 milyar m³'tür. Buna göre ülkemizdeki ponza kaynaklarının Dünya ponza kaynaklarının %15,8 ini oluşturduğu düşünülmektedir (Dinçer vd 2015).

Türkiye’de bulunan ponza rezervlerinin illere göre dağılımı Şekil 2.4’te sunulmuştur.



Şekil 2.4. Türkiye’de ki illere göre ponza rezervinin dağılımı (Gündüz 2005)

Bitlis’te yaklaşık 81.500.000 ton iyi kalitede ve kısmen yıkama işlemi gerektirmeyen ponza yatakları bulunduğu bilinmektedir (MTA 2010; Kurt Albayrak ve Gencer 2017). Şekil 2.5’te Bitlis ilinde bulunan maden yatakları gösterilmiştir. Maden haritasından da görüleceği gibi Bitlis’te ponzanın yanı sıra perlit de yaygın olarak bulunmaktadır.

2.3.1. Biyopolimerler

Biyopolimerler doğal olarak var olan, yaşayan organizmalar tarafından oluşturulmuş; polimerlerin özel bir çeşididir (US Cota 1993; Petersson and Oksman 2006). Biyopolimerler yararlı özelliklerinden dolayı sağlık, gıda, kozmetik, ilaç sektörleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda zemin stabilizasyonunda biyopolimerler kullanılmaktadır (Chang and Cho 2014). Ayrıca nanokil-kompozit üretiminde jel dayanımını artırıcı olarak biyopolimerlerden yararlanılmaktadır (Maier *et al.* 1993; Kurt and Akbulut 2017).

Son zamanlarda artan ham petrol ve küresel ısınma sebebiyle biyopolimerler daha çevre dostu tüketiciler tarafından artan bir ilgi görmektedir. Biyopolimerler, doğal olarak oluşan tüm canlı organizmalarda bulunan polimerlerdir. Dolayısıyla biyopolimerlerin yenilenebilir kaynaklardan oluştuğu ve biyolojik olarak bozunabileceği söylenmektedir. Sonuç olarak da biyopolimerlerin kullanımları petrol esaslı materyallere kıyasla çevre üzerinde daha az olumsuz bir etkiye neden olmaktadır (Van de Velde and Kiekens 2002; Petersson and Oksman 2006).

Polimer ile biyopolimer arasındaki ayırıcı özellik yapılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Her ikisi de monomerlerin birbirine bağlanması ile oluşmasına rağmen biyopolimerlerin kendine özgü bir yapısı vardır. Ayrışabilir olmaları, yenilenebilir olmaları, bol miktarda bulunmaları ve düşük maliyetle elde edilmeleri biyopolimerlerin polimerlere göre avantajlarıdır (Mohanty *et al.* 2005).

Biyopolimerlerin sınıflandırılması

Biyopolimerler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Bozkurt 2012);

-Doğal Biyopolimerler

- Proteinler
- Polisakkaritler

- Mikrobiyal poliestерler
- Polinükleotitler

- Sentetik Biyopolimerler

- Poliestерamidler
- Poliortoesterler
- Polianhidritler
- Polialkilsiyonoakrilatlar
- Poliiminokarbonatlar

2.3.2. Polisakkaritler

Polisakkaritler, suda çözünerek, şişerek; kolloit niteliğinde, yüksek oranda viskoz çözeltiler ve plastik yada psödoplastik tipte akış özellikleri göstermektedirler. Bu tip davranışları polisakkaritlerin; kıvam arttırma, su tutma veya bağlama, jelleştirme, süspansiyonların stabilizasyonu ve emülsiyonların stabilizasyonu gibi işlevsel özelliklerini oluşturmaktadır. Bu sebeple polisakkaritler genellikle jelleştirici ve/veya kıvam arttırıcı ajanlar, stabilizörler, su bağlayıcılar ve doldurucular olarak tanımlanmaktadır. Polisakkaritler için daha kapsamlı olarak ‘gamlar’ terimi kullanılmaktadır (Kayran 2009).

Gam ilk olarak yapışkan, zamlımsı ve bitkilerden sıızan doğal maddeler için kullanılmış bir terimdir. Günümüzde ise suda çözünebilen, jelleştirici ve kıvam arttırıcı ajanlar için kullanılmaktadır. Gamin teknik olarak kabul gören tanımı ise, kıvam arttırıcı veya jelleştirici etki vermek gayesiyle suda çözünebilen veya dağılabilen polimerik maddeler şeklindedir. Bu tür maddeler kolloidal yapıda ve hidrofilik özelliklere sahip oldukları için ‘hidrokolloidler’ olarak da adlandırılmaktadır (Kayran 2009).

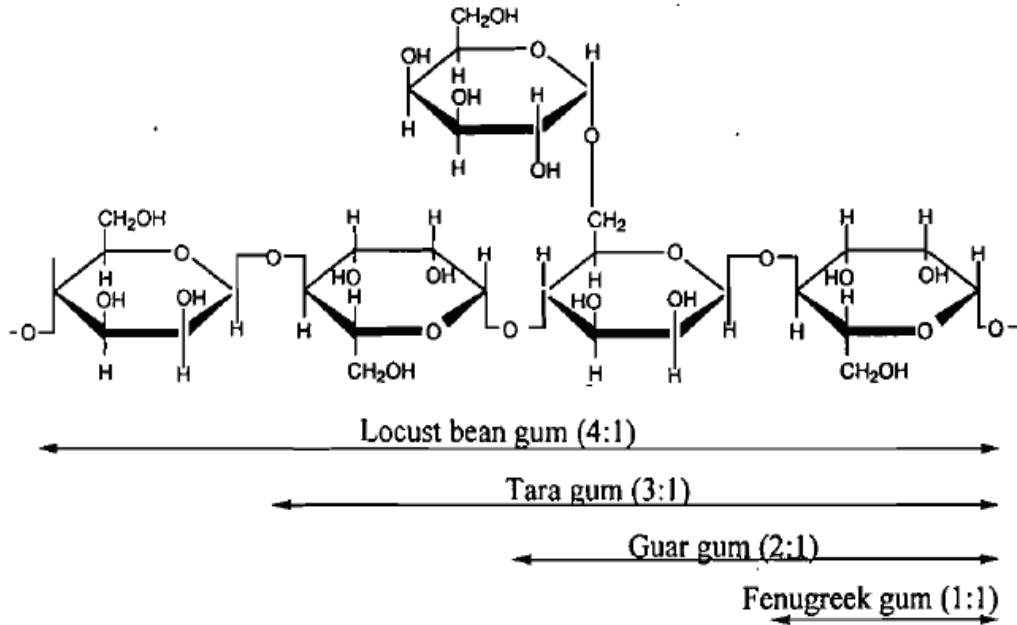
Galaktomannanlar

Galaktomannanlar, D-mannoz ve değişen oranlarda D-galaktoz moleküllerinden oluşan gamlardır. Suda     nebilir polisakkarit   eřidir (K   2006). Çizelge 2.3'te suda     nebilir gam   eřitleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Suda     nebilir gam   eřitleri (Ward and Andon 1993)

Tip	Kaynak
Reçine gamları	
Gam arabik	Acacia sp.
Karaya	Sterculia sp.
Tragakant	Astragalus sp.
Deniz yosunu ekstraktları	
Karragenan	Chondrus, Eucheuma spp.
Agar	Gracilaria, Gelidium spp.
Aljinat	Laminaria, Macrocystis spp.
Tohum ekstraktları	
Guar	Cyamopsis tetragonolobus
Keçiboynuzu gamı	Ceratonia siliqua
Mikrobiyel gamlar	
Ksantan gam	Xanthomonas compestris
Gellan gam	Pseudomonas clodea
Bitki ekstraktları	
Pektinler	Elma, turunçgil kabukları
Konjac unu	Amorphophallus sp.
Modifiye gamlar	
Selüloz gam	Sodyum karboksimetil selüloz
Selüloz jel	Mikrokristalin selüloz
Metil selüloz	metil selüloz
HPMC	hidroksipropilmetil selüloz

Galaktomannanlar değişik lagünlerin çekirdek besidokusundan elde edilirler. (1-4) bağı ile bağlı D-monopiranosil omurgaya ara ara değişen (1-6) bağı ile bağlı α -D galaktopiranosiller şeklinde bir kimyasal yapıya sahiptirler. Galaktomannanlardan tara gam, guar gam ve keçiboynuzu gamı (locust bean gum) iyonik olmayan bir yapıya sahiptirler. Bu gamlardan keçiboynuzu gamı ve guar gam endüstride en çok kullanılan çeşitlerdir. Bunlarda mannozun galaktoza oranı yaklaşık olarak keçiboynuzu gamında 3,5 guar gamda ise 1,8'dir (Kök 2006). Şekil 2.6'da galaktomannanların yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Galaktomannanların yapısı (Williams and Phillips 2000)

Keçiboynuzu gam (KBG)

Keçiboynuzu gam carob gam olarak da adlandırılmaktadır (Lopes da Silva *et al.* 1994). Keçiboynuzu gamı *Ceratonia siliqua* isimli keçiboynuzu tohumlarından elde edilen nötral bir galaktomannan polimeridir. Yalnızca soğuk suda çözünür. Keçiboynuzu gamı solüsyonları diğer hidrokolloitler gibi görünür plastiktir. Diğer gamlarla beraber kullanıldığında jellerin, jel dayanımını ve elastikiyetini artırır (Maier *et al.* 1993).

Keiboyunu zu tohumunun  kısmı vardır. Bunlar; tohum kabuğu, besidokusu ve embriyodur. Keiboyunu zu gamı keiboyunu zu tohumunun besidoku kısmının öğütülmesiyle elde edilen krem si beyaz bir tozdur. Çeşitli sektörlerde kıvam arttırıcı olarak kullanılmaktadır. Keiboyunu zu gamın sahip olduğu non-iyonik yapıdan dolayı pH'dan, tuzlardan ve ısıdan etkilenmedikleri bilinmektedir (Barak and Mudgil 2014). Molekül yapısı Şekil 2.6'da gösterilen keiboyunu zu gamının yapısı guar gamın yapısına çok benzemektedir, tek farklılık az sayıda D-galaktoz yan zincirine sahip olmasıdır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kil numuneler

Bu çalışmada, Erzurum-Oltu yöresinden getirilen kil numune (C) kullanılmıştır. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'na getirilen killeri etüvde 24 saat 105°C'de kurutulup Los Angeles aşındırma cihazında öğütülmüştür. Şekil 3.1'de doğal kil numune ve Los Angeles aşındırma cihazında öğütülmüş olan kil numune görülmektedir. Şekil 3.2'de Los Angeles aşındırma cihazı görülmektedir.



a



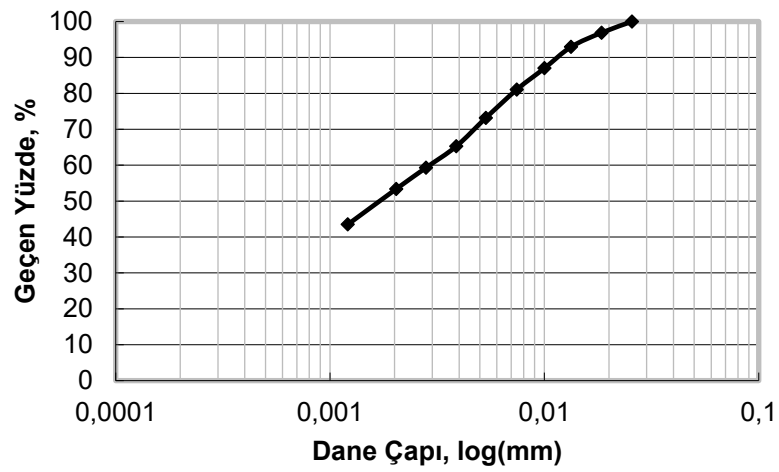
b

Şekil 3.1. (a) doğal kil numune, (b) öğütülmüş kil numune



Şekil 3.2. Los Angeles aşındırma cihazı

Doğal kile ait bazı geoteknik özellikler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Hidrometre analizleri ASTM D 422'ye göre yapılmış olup analiz sonuçlarında kile ait dane çapı dağılım eğrisi Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Şekil 3.3'deki eğriye göre numunenin 2 mikrondan (0,002 mm) küçük dane miktarı %54 olarak bulunmuştur. Çizelge 3.1'de kile ait bazı geoteknik özellikler verilmiştir.



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan doğal kilin granülometri eğrisi

Çizelge 3.1. Kile ait bazı geoteknik özellikler

Geoteknik Özellikler	Doğal Kil
< 0,002 mm, (%)	54
Dane birim hacim ağırlığı, (kN/m ³)	26,09
Likit limit, (%)	72
Plastik limit, (%)	33
Plastisite indisi, (%)	39
Zemin Sınıfı, (USCS)	CH

Doğal kile ait tüm kayaç analizi sonuçları Çizelge 3.2’de, X-ışını difraksiyon analizi (XRD) sonuçları Çizelge 3.3’te verilmiştir. Tüm kayaç analizi sonuçlarına göre malzemenin, %69’unun kil minerallerinden, %31’inin ise kil olmayan minerallerden oluştuğu görülmüştür. Malzemenin, kil olmayan minerallerinin, %17 Kalsit, %8 Feldispat ve %6 Kuvars minerali olduğu belirlenmiştir. Ayrıca XRD analiz sonuçlarına göre %69 olan kil minerali yüzdesinin %45’ini smektit mineralinin oluşturduğu görülmüştür (Kurt 2009).

Çizelge 3.2. Doğal kile ait tüm kayaç analizi sonuçları (Akbulut vd 2011; Akbulut ve Kurt 2012; Kurt Albayrak 2014)

Doğal kil	(%)
Kil	69
Kalsit	17
Feldispat	8
Kuvars	6

Çizelge 3.3. Doğal kile ait XRD mineral analizi (Akbulut vd 2011; Akbulut vd 2012; Kurt 2014)

Doğal kil	(%)
Smektit	45
Kaolin	18
İllit	10
Klorit	27

Doğal kile ait X-ışını fraksiyon (XRF) analizi sonucunda elde edilen kimyasal bileşenler Çizelge 3.4'te verilmiştir (Kurt 2009; Akbulut vd 2011).

Çizelge 3.4. Doğal kil numunenin kimyasal bileşimi

Sembol	Doğal kil
Na ₂ O	0,20
MgO	8,10
Al ₂ O ₃	12,22
SiO ₂	41,48
K ₂ O	1,23
CaO	11,14
TiO ₂	0,53
Fe ₂ O ₃	9,88
LOI	13
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3,39
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	4,19
SiO ₂ /MgO	5,12
SiO ₂ /CaO	3,72

3.1.2. Ponza tozu

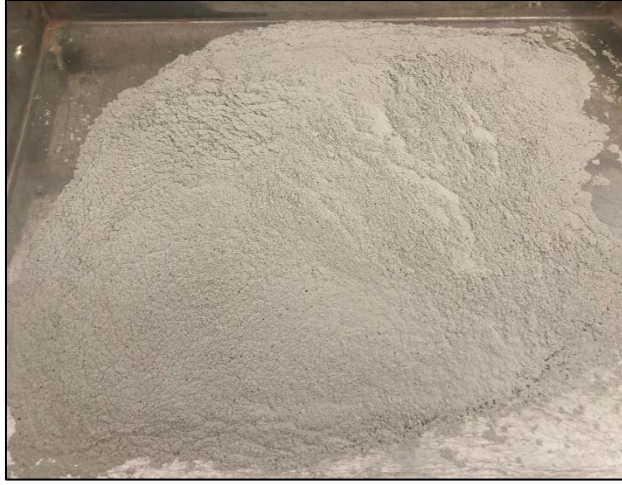
Çalışmada Bitlis-Ahlat'tan temin edilmiş olan asidik bir ponza (P) kullanılmıştır. Asidik ponza, beyaz ve kirli beyaz renkte olup Mohs skalasına göre sertliği 5-6, yoğunluğu 0,5-1 gr/cm³'tür (Varol 2016).

Ocaktan getirilen ponza Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu'nun atölyesinde bulunan öğütücü cihaz ile öğütülmüş ve ponza tozları elde edilmiştir. Öğütücü Şekil 3.4'te görülmektedir.



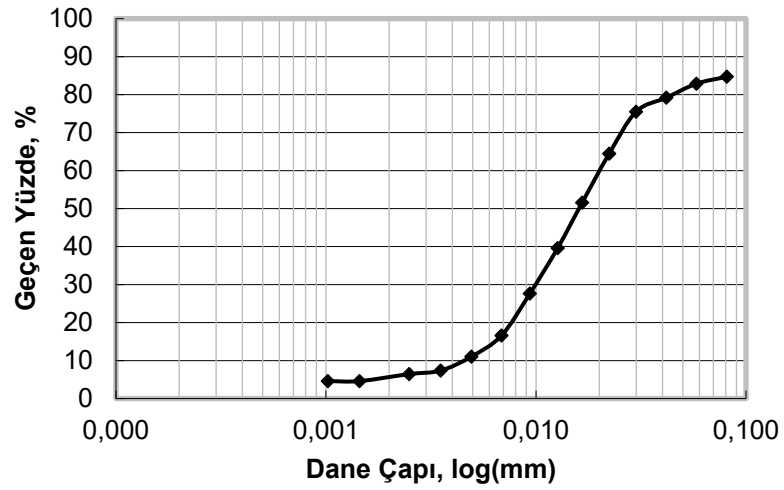
Şekil 3.4. Ponza öğütücü cihaz

Deneylerde ponza tozları 40 No'lu elekten (elek çapı: 0,425 mm) elenerek kullanılmıştır. Şekil 3.5'te öğütülmüş ve 40 No'lu elekten elenmiş ponza örneği görülmektedir.



Şekil 3.5. 40 No'lu elekten elenen ponza örneği

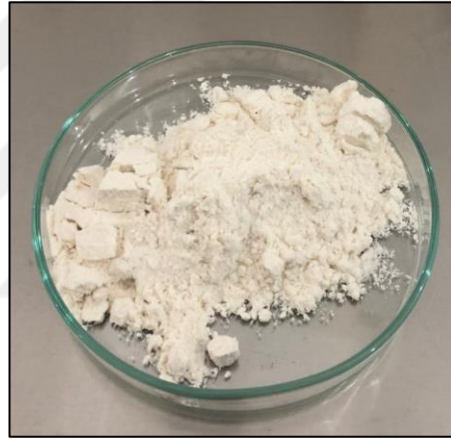
Ponzaya ait bazı geoteknik özellikler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Hidrometre analizleri ASTM D 422'ye göre yapılmış olup analiz sonuçlarında ponzaya ait dane çapı dağılım eğrisi de Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan ponzanın granülometri eğrisi

3.1.3. Biyopolimer

Çalışmada bir biyopolimer türü olan keçiyoynuzu gamı kullanılmıştır. Kullanılan keçiyoynuzu gamın pH'ı 5-7 arasında, vizkozitesi 2000-3500 arasındadır. Kimyasal içeriği hidrokolloidlerin bir türü olan Galaktomannan'dır. Bu özellikler, üretici firmadan (Smart Kimya) temin edilen analiz sertifikasından alınmıştır (Kurt Albayrak 2014). Bir biyopolimer olan keçiyoynuzu gamın kıvam artırıcı, jelleştirici ve dengeleyici özellikleri vardır (Dey *et al.* 2012). Şekil 3.7'de deneylerde kullanılan keçiyoynuzu gam görülmektedir.



Şekil 3.7. Keçiyoynuzu gam

3.2. Yöntem

Bu bölümde öncelikle ponza katkılı kil numunelerin ve biyopolimer katkılı numunelerin elde edilmesi anlatılmış, ardından sırasıyla özgül ağırlık deneyi, hidrometre deneyi, kıvam limitleri deneyleri, kompaksiyon deneyi, serbest basınç deneyi, şişme basıncı deneyi ve hidrolik iletkenlik deneyi açıklanmıştır.

3.2.1. Ponza katkılı kil numunelerin elde edilmesi

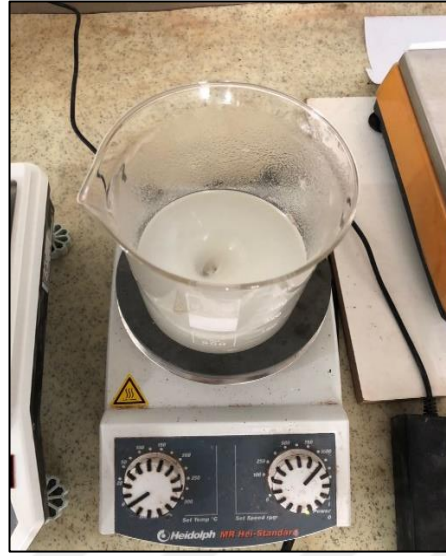
Ponza katkılı kil numuneler, öğütülmüş ve elenmiş doğal kile, önceden belirlenen ağırlıkça yüzdelerde (%5, %15, %25) ponzanın kuru halde karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 3.8’de kil ile ponza kuru halde karıştırılırken görülmektedir.



Şekil 3.8. Kil ile ponzanın kuru halde karıştırılması

3.2.2. Biyopolimer katkılı numunelerin elde edilmesi

Biyopolimer katkılı numuneler elde edilirken, keçiyoynuzu gam miktarı suyun yüzdesi cinsinden (% 0,5, % 1, % 1,5) hesaplanarak, suya katılmış, mekanik karıştırıcıda 1000 rpm hızda çözünene kadar karıştırılmış ve solüsyonlar elde edilmiştir (Şekil 3.9). Deneylerde su ve su-keçiyoynuzu gam solüsyonları doğal kil numunelerine ve ponza katkılı kil numunelere ilave edilmiş ve geoteknik deneyler yapılmıştır. Şekil 3.9’da keçiyoynuzu gam manyetik karıştırıcıda suda çözünürken görülmektedir.



Şekil 3.9. Keçiboynuzu gam manyetik karıştırıcıda suda çözünürken

Deneylerde kullanılan malzemeler ve kullanıldıkları yüzdeler Çizelge 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.5. Deney numuneleri

Numune Adı	Kil (ağırlıkça %)	Ponza (ağırlıkça %)	KBG (ağırlıkça suyun %)
C-%0KBG	100	-	-
C-%0,5KBG	100	-	0,5
C-%1KBG	100	-	1
C-%1,5KBG	100	-	1,5
C-%5P-%0KBG	95	5	-
C-%5P-%0,5KBG	95	5	0,5
C-%5P-%1KBG	95	5	1
C-%5P-%1,5KBG	95	5	1,5
C-%15P-%0KBG	85	15	-
C-%15P-%0,5KBG	85	15	0,5
C-%15P-%1KBG	85	15	1
C-%15P-%1,5KBG	85	15	1,5

Çizelge 3.6. (devam)

C-%25P-%0KBG	75	25	-
C-%25P-%0,5KBG	75	25	0,5
C-%25P-%1KBG	75	25	1
C-%25P-%1,5KBG	75	25	1,5

3.2.3. Özgöl ağırlık deneyi

Bu çalışmada kullanılan kil ve ponzanın özgül ağırlıkları ASTM D 854'e göre belirlenmiştir. Şekil 3.12'de numuneler üzerinde gerçekleştirilen özgül ağırlık deneyi görülmektedir.



Şekil 3.10. Kil ve ponzanın özgül ağırlıklarının belirlenmesi

3.2.4. Kıvam limitleri deneyi

Su ve su-keçiboynuzu gam solüsyonlarının doğal kil ve ponza katkılı killere etkileştirilmesi sonucu katkısız ve biyopolimer katkılı kil/ponza numuneleri elde edilmiş olup bu numuneler üzerine likit limit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.10'da kil-ponza karışımının çözünmüş keçiboynuzu gam ile karıştırılması görülmektedir.

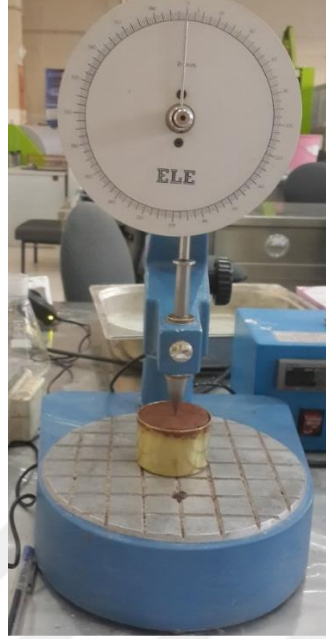


Şekil 3.11. Kil-ponza karışımının çözünmüş KBG ile karıştırılması

Kıvam limiti deneylerinden likit limit BS 1377, Part 2, 1990'a göre yapılmıştır. Numunelere ait likit limit, düşen koni yöntemi ile belirlenmiştir. Deney prosedürüne göre, 40 No'lu elekten elenen zemin numunesi üzerine su eklenerek homojen olarak karıştırılan numune, penetrasyon kalıbına içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde yerleştirilerek, yüzeyi düzeltildikten sonra penetrometre tabanına konulur. Koni düşürülerek 5 saniye sonundaki batma miktarları bulunur. Bu işlem artan su muhtevalarında tekrar edilir. Deney sonunda her batma için bulunan su muhtevası değerleri hesaplanarak 20 mm lik batmaya denk gelen su içeriği değeri likit limit değeri olarak belirlenir. Şekil 3.11'de düşen koni yöntemi ile likit limit deneyinin yapılışı görülmektedir.

Plastik limiti belirlemek için ise TS 1900 ve ASTM D 4318 esas alınmıştır. Zemin numunesine bir miktar su eklenerek yoğrulmuş, yoğrulan zemin numunesinden bir miktar alınarak cam bir yüzey üzerinde 3 mm çapında kopmaların çatlamların olduğu çubuklar elde edilinceye kadar elle yuvarlanmıştır. Kılcal çatlamların elde edildiği çubuğun su muhtevası belirlenmiştir. Belirlenen bu su muhtevası değeri plastik limit değeri olarak alınmıştır. Deneyler üçer kez tekrarlanmıştır.

Killerin en önemli fiziksel özelliklerinden biri olan plastisite indisi, likit limit değerinden plastik limit değerinin çıkarılması ile elde edilmektedir.



Şekil 3.12. Düşen koni yöntemi ile kıvam limitinin belirlenmesi

3.2.5. Kompaksiyon deneyi

Su ve su-keçiboynuzu gam solüsyonlarının doğal kil ve ponza katkılı killere etkileştirilmesi sonucu katkısız ve biyopolimer katkılı kil/ponza numuneleri elde edilmiş olup bu numuneler üzerine kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kompaksiyon parametreleri, ASTM D 698'e göre yapılan Standart proktor deneyi ile belirlenmiştir. Numuneler 117 mm yüksekliğinde 102 mm çapındaki metal silindir kompaksiyon kalıbında üç tabaka halinde yerleştirilmiş, her tabakaya 25'er vuruş yapılarak sıkıştırma gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda yatay ekseninde su muhtevaları, düşey ekseninde kuru birim hacim ağırlıkların yer aldığı kompaksiyon eğrilerinden her numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası değerleri belirlenmiştir. Şekil 3.13'te deneylerde kullanılan otomatik kompaktör görülmektedir.



Şekil 3.13. Otomatik kompaktör ile kompaksiyon deneyinin yapılışı

3.2.6. Serbest basınç deneyi

Numuneler üzerinde ASTM D 2166 esas alınarak serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Numunelerin serbest basınç mukavemetlerini belirlemek için kompaksiyon deneyleri sonucu elde edilen optimum su muhtevaları kullanılarak zemin numuneleri hazırlanmıştır. Standart Proktor enerjisinde sıkıştırılan zemin numunelerinden 35 mm çapında, 70 mm yüksekliğindeki metal silindirik tüplere serbest basınç numuneleri alınmış ve manuel hidrolik numune çıkarma krikosu yardımıyla çıkarılan numuneler serbest basınç deney aletine yatay plakalar arasına yerleştirilmiştir. Şekil 3.14’te manuel hidrolik numune çıkarma krikosu ile serbest basınç numunesinin alınışı, Şekil 3.15’te serbest basınç deney aleti gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Manuel hidrolik numune çıkarma krikosu ile serbest basınç numunesinin alınışı



Şekil 3.15. Serbest basınç deney aleti

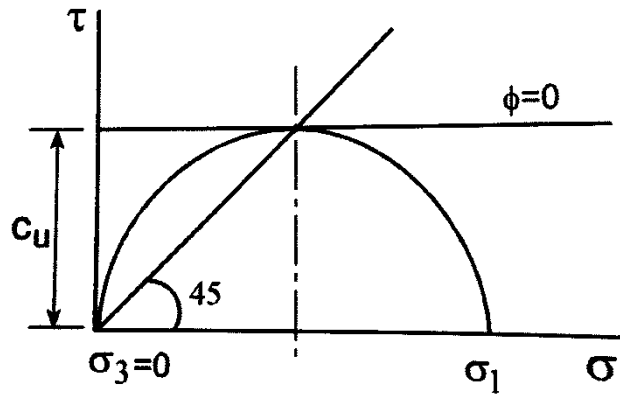
Deney aletine yerleştirilen numunelere düşey yönde basınç uygulanmış ve yük halkasından kırılma anındaki en yüksek basınç değeri okunmuştur.

$P_{\max}$ en yüksek basınç değerlerini, A_f zemin numunelerin kırılma anındaki en kesit alanlarını ifade etmekte olup, serbest basınç mukavemeti değerleri (q_u) Eşitlik 3.2 ile hesaplanmaktadır.

$$q_u = P_{\max} / A_f \quad (3.2)$$

Şekil 3.16'da serbest basınç deneyi için Mohr Dairesi verilmiş olup, numunelerin kohezyon değerleri (c_u) serbest basınç mukavemetinin yarısına eşittir (Eşitlik 3.3).

$$c_u = q_u / 2 \quad (3.3)$$



Şekil 3.16. Serbest basınç deneyinden çizilen Mohr Dairesi (Yılmaz vd 2016)

3.2.7. Şişme basıncı deneyi

Şişme basıncı deneyleri ASTM D 4546 standardında belirtilmiş olan Metot C esas alınarak zemin numunelerinin bir boyutlu şişme potansiyellerini belirlemek için yapılmıştır. Zemin numunesinin şişmesini engellemek için uygulanan basınç şişme basıncı olup şişme basıncı deneyi aşağıda anlatıldığı gibi gerçekleştirilmiştir. Deneyler ödometre deney aletinde 50 mm çaplı konsolidasyon halkaları kullanılarak yapılmıştır.

Numuneler optimum su muhtevalarında standart kompaksiyon kalıbında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler 50 mm çapında, 20 mm yüksekliğindeki kalıplara alınmıştır. Hazırlanan zemin numuneleri ödometre deney aletine yerleştirilip suya doygun hale getirilmiştir. Şekil 3.17’de şişme basıncı deneyi için hazırlanmış olan numune ve konsolidasyon hücresi, Şekil 3.18’de ise şişme basıncı deneyinin yapılışı görülmektedir.



Şekil 3.17. Şişme basıncı deney numunesinin hazırlanması



Şekil 3.18. Ödometre deney aletinde şişme basıncı deneyinin yapılışı

3.2.8. Hidrolik iletkenlik deneyi

Hidrolik iletkenlik deneyleri düşen seviyeli hidrolik iletkenlik deney düzeneği kullanılarak ASTM D 5856'ya göre gerçekleştirilmiştir. Bir zeminin hidrolik iletkenliği, içinden sıvı geçebilme kapasitesinin ölçümüdür. Numunelerin hidrolik iletkenlik katsayı değerleri için standart proktor deneyi sonucu elde edilen optimum su muhtevası değerleri kullanılarak hidrolik iletkenlik kalıbına sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Zemin numuneleri doygun hale geldikten sonra çeşitli zaman aralıklarında okumalar alınmıştır. Zeminin hidrolik iletkenlik katsayısı (k) Eşitlik 3.4'e göre hesaplanmıştır;

$$k = \frac{a * L}{A * t} * \ln \frac{H_0}{H_1} \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4'te, a; cam borunun kesit alanı, L; zemin içinden geçen suyun akış yolu uzunluğu, A; zemin numunesinin kesit alanı, H₀; deney başlangıcında cam tüpteki su yüksekliği, H₁; deney sonunda cam tüpteki su yüksekliği olup, bu bağıntıdan numunelerin hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri bulunmuştur (Uzuner 2014).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, doğal kil numune, ponza katkılı kil numuneler ile bunların keçiboynuzu gam ile etkileştirilmesi sonucu elde edilmiş olan biyopolimerli numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş deney sonuçları sunulmuştur. Biyopolimer katkılı doğal kil numunelerine ait deney sonuçları, biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerine ait deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

4.1. Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

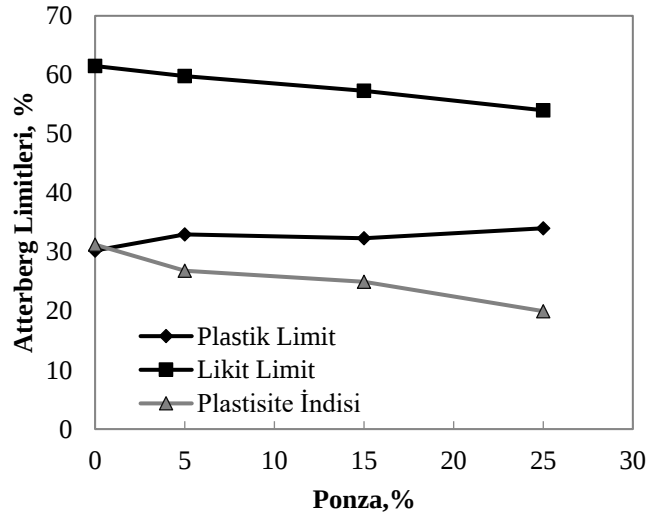
Kil ve ponza tozunun özgül ağırlıkları ASTM D 854'e belirtilen piknometre deney yöntemiyle bulunmuş, sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kil ve ponza tozunun özgül ağırlık değerleri

Numune adı	Özgül ağırlık
Kil	2,61
Ponza Tozu	2,39

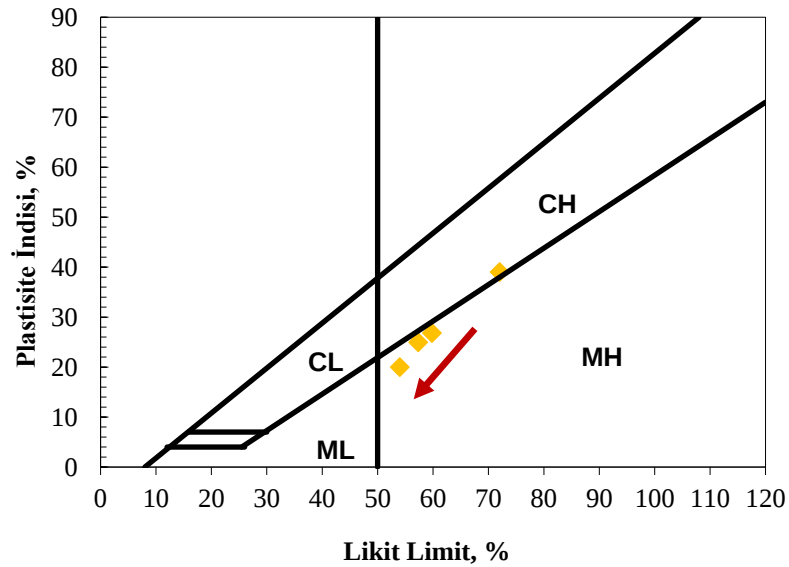
4.2. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

Numuneler üzerinde yapılmış olan kıvam limit deney sonuçlarına göre ponza yüzdesindeki artışla likit limit, plastik limit ve plastisite indislerinde meydana gelen değişim Şekil 4.1'de görülmektedir. Şekil 4.1'e göre ponza yüzdesindeki artışla birlikte likit limit değerleri azalmış, plastik limit değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmezken, plastisite indisi değerleri de azalmıştır. Benzer şekilde Çimen (2005)'te yaptığı çalışmada yüksek plastisiteli bir kil ile ponzayı çeşitli yüzdelerde karıştırarak elde ettiği numunelerde ponza yüzdesindeki artışla plastisite indisinin azaldığını söylemiştir (Çimen 2005).



Şekil 4.1. Ponza yüzdesindeki artışla kıvam limitlerinde meydana gelen değişim

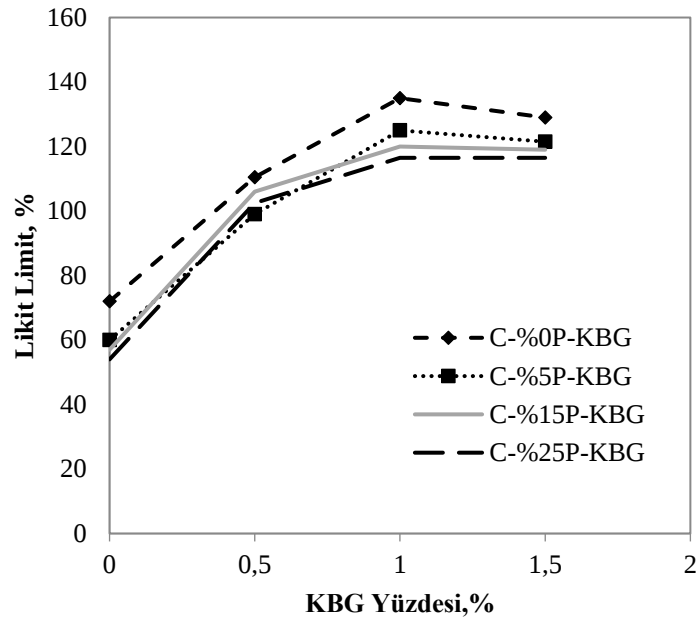
Ponza katkılı numunelerin kıvam limitleri Casagrande Plastisite Grafiği'nde yerine konduğunda, CH (yüksek plastisiteli kil) olan doğal kilin sınıfının, ponza katkısıyla MH (yüksek plastisiteli silt) sınıfına doğru gittiği görülmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Ponza yüzdesindeki artışla kilin sınıfında meydana gelen değişim (Casagrande Plastisite Grafiği)

Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla katkısız ve ponza katkılı kil numunelerin likit limitlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.3' te görülmektedir. Likit limit değerleri

incelendiğinde, keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla, numunelerin likit limitlerinin arttığı görülmektedir. Benzer şekilde Ayhan (2011) yapmış olduğu çalışmada, biyopolimerlerin (zantan gam ve kitosan), killerin likit limitlerini arttırdığını bulmuş ve bunun nedeninin kullanılan biyopolimerlerin saf suda veya seyreltilmiş asetik asit çözeltisinde çözündükleri zaman ortaya çıkardıkları hidroksil (OH^-) gruplarının kilin yüzeylerine tutunmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Keçiboynuzu gam katkıli numuneler üzerinde plastik limit deneyleri gerçekleştirilememiştir. Keçiboynuzu gam katkıli numuneler non-plastik özellik göstermiştir.



Şekil 4.3. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla likit limitlerde meydana gelen değişim

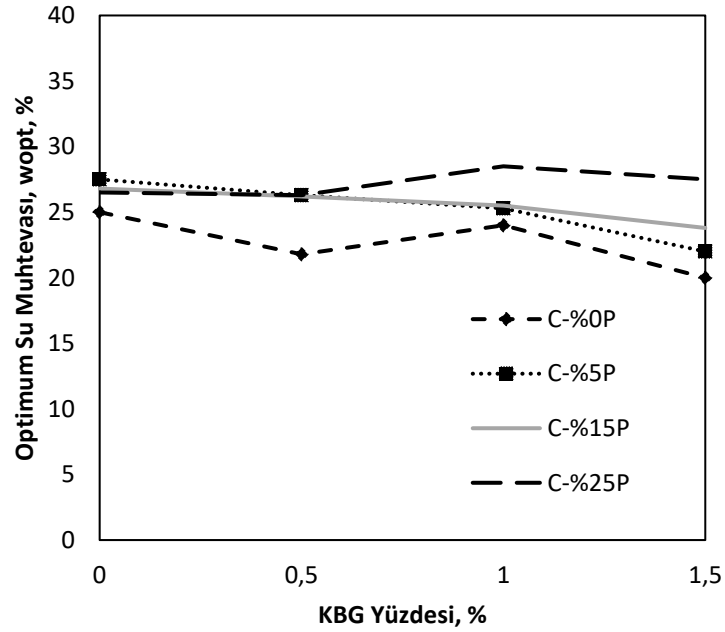
4.3. Kompaksiyon Deney Sonuçları

Numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olan standart proktor deneyleri sonucunda elde edilen optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kompaksiyon deney sonuçları

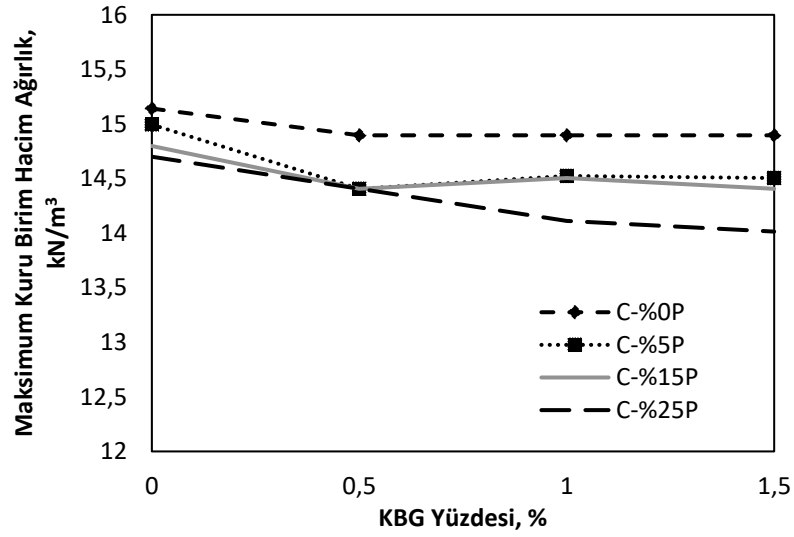
Numune adı	Optimum su muhtevası, w_{opt} , %	Maksimum kuru birim hacim ağırlık, γ_{kmax} , kN/m ³
C-%0KBG	25	15,14
C-%0,5KBG	21,8	14,89
C-%1KBG	24	14,90
C-%1,5KBG	20	14,90
C-%5P-%0KBG	27,5	14,99
C-%5P-%0,5KBG	26,3	14,40
C-%5P-%1KBG	25,3	14,52
C-%5P-%1,5KBG	22	14,50
C-%15P-%0KBG	26,8	14,79
C-%15P-%0,5KBG	26,2	14,40
C-%15P-%1KBG	25,5	14,50
C-%15P-%1,5KBG	23,8	14,40
C-%25P-%0KBG	26,5	14,70
C-%25P-%0,5KBG	26,3	14,40
C-%25P-%1KBG	28,5	14,11
C-%25P-%1,5KBG	27,5	14,01

Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla doğal kilin ve ponza katkılı kil numunelerin optimum su muhtevası değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.4'te görülmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde keçiboynuzu gam yüzdesinde meydana gelen artışla ponza katkılı numunelerin optimum su muhtevalarında kısmi bir değişim meydana geldiği görülmüştür. Taytak *et al.* (2012) bentonit-kum-kaolin karışımlarına farklı yüzdelerde biyopolimer katarak gerçekleştirdikleri kompaksiyon deneyleri sonucu optimum su muhtevalarında biyopolimer yüzdesindeki değişimle önemli bir değişim meydana gelmediğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.4. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla optimum su muhtevasında meydana gelen değişim

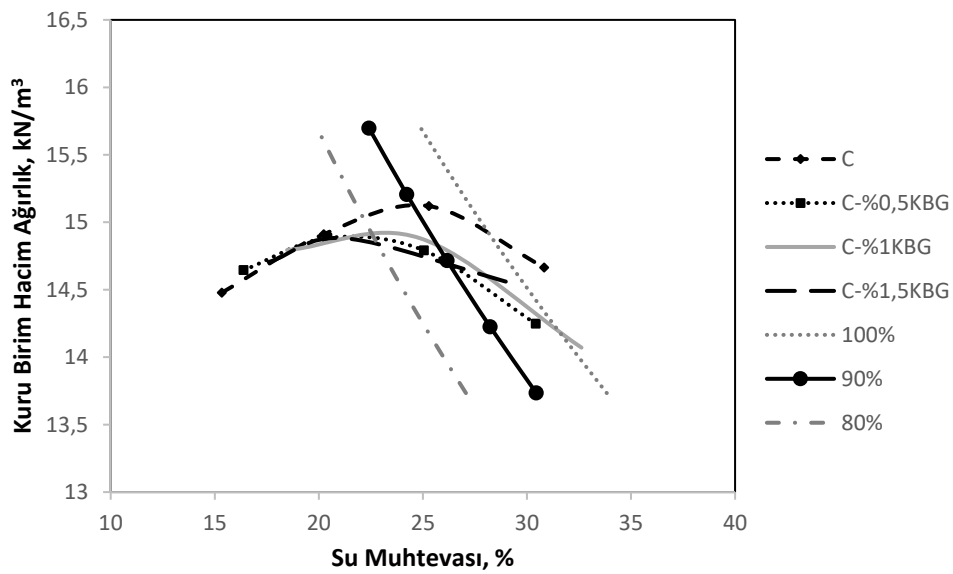
Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla doğal kil ve ponza katkılı kil numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında meydana gelen değişim Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde keçiboynuzu gam oranı arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde genellikle azalma meydana geldiği görülmüştür. Bunun nedeninin, biyopolimer solüsyonunun vizkozitesinde meydana gelen artıştan ve zemin partiküllerinin solüsyonun viskoz yapısına bağlı olarak daha dispers bir yapıya kavuşmuş olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Ayeldeen *et al.* 2017). Benzer şekilde Saltan *et al.* (2011) çalışmalarında ponza katkısındaki artışla kilin maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir.



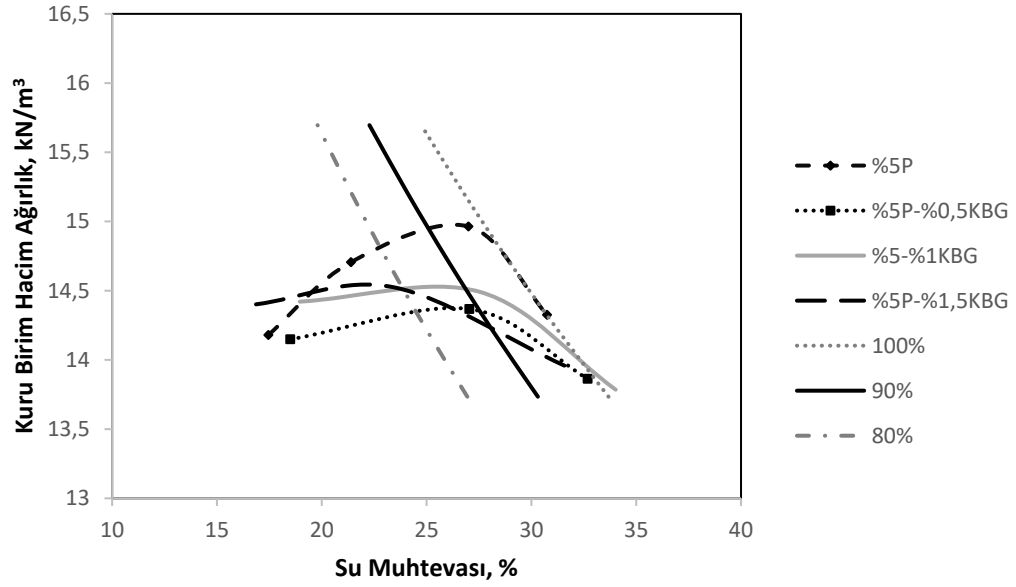
Şekil 4.5. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla maksimum kuru birim hacim ağırlıklarda meydana gelen değişim

Katkısız ve katkılı numunelerin kompaksiyon eğrileri

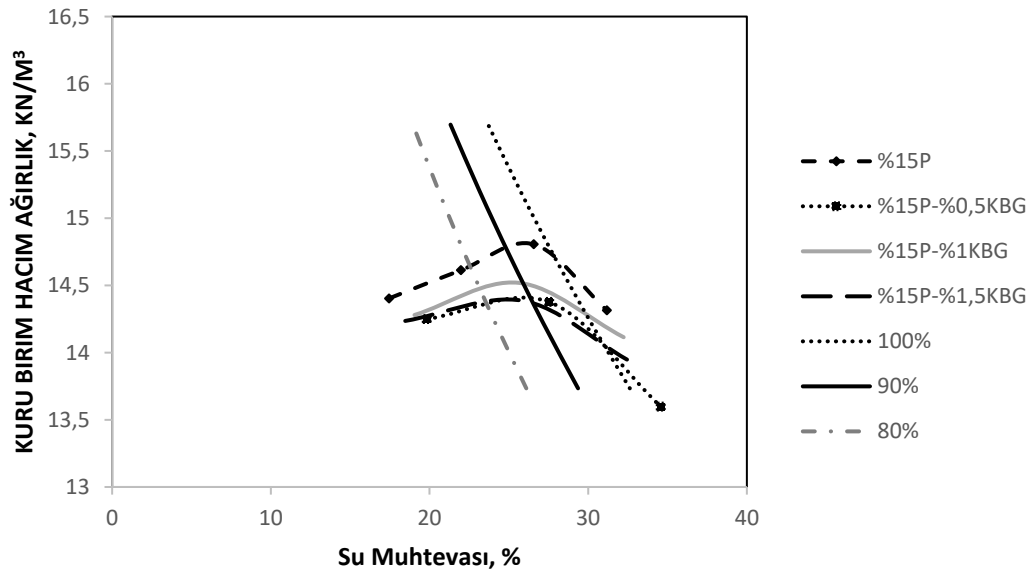
Standart proktor deneyi sonucu çizilmiş kompaksiyon eğrileri keçiboynuzu gam katkılı doğal kil, %5 ponza katkılı kil, %15 ponza katkılı kil ve %25 ponza katkılı kil için sırasıyla Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.



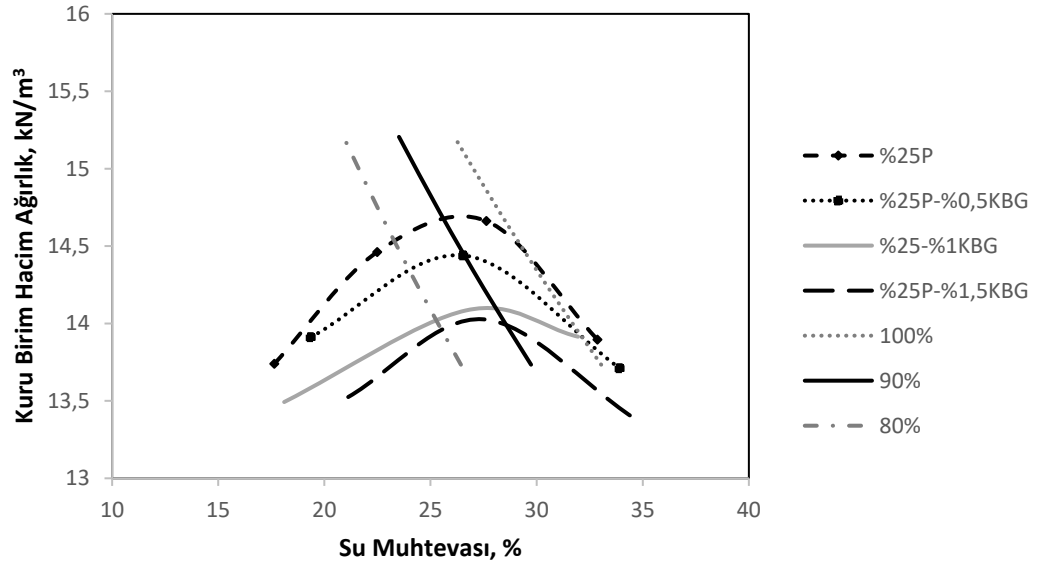
Şekil 4.6. Doğal kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri



Şekil 4.7. %5 ponza katkılı kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri



Şekil 4.8. %15 ponza katkılı kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri



Şekil 4.9. %25 ponza katkılı kilde KBG yüzdesine bağlı olarak elde edilen kompaksiyon eğrileri ve doygunluk çizgileri

Standart proktor deneyi sonuçlarına göre optimum su muhtevasındaki doygunluk dereceleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

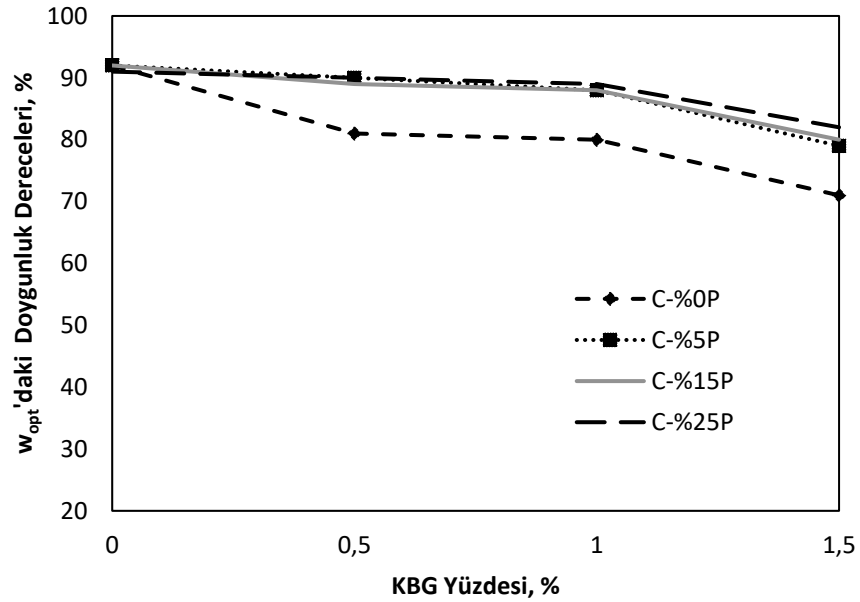
Çizelge 4.3. SPT deney sonuçlarına göre optimum su muhtevasındaki doygunluk dereceleri

Numune adı	Optimum su muhtevasındaki doygunluk dereceleri
C-%0KBG	92
C-%0,5KBG	80
C-%1KBG	81
C-%1,5KBG	71
C-%5P-%0KBG	92
C-%5P-%0,5KBG	90
C-%5P-%1KBG	88
C-%5P-%1,5KBG	79

Çizelge 4.3. (devamı)

C-%15P-%0KBG	92
C-%15P-%0,5KBG	89
C-%15P-%1KBG	88
C-%15P-%1,5KBG	80
C-%25P-%0KBG	91
C-%25P-%0,5KBG	90
C-%25P-%1KBG	89
C-%25P-%1,5KBG	82

Keçiboynuzu gam yüzdesine bağlı olarak doğal kil ve ponza katkılı kil numunelerin optimum su muhtevsındaki doygunluk derecelerinin değişimine göre oluşturulan grafik Şekil 4.10'da verilmiştir.



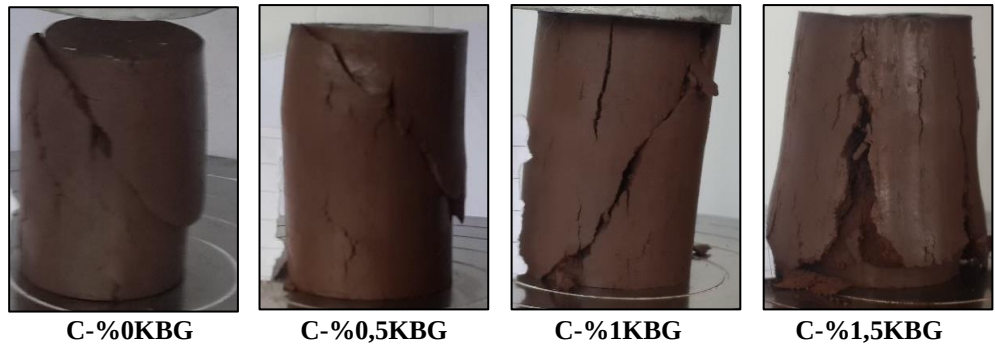
Şekil 4.10. KBG yüzdesine bağlı olarak optimum su muhtevsındaki doygunluk derecelerinin değişimi

Çizelge 4.3 incelendiğinde, doğal kil numunenin optimum su muhtevsındaki doygunluk derecesi %92 iken, %1,5 KBG katkılı kil numunede bu değer %71'e düşmüştür. Benzer şekilde ponza katkılı kil numuneler de keçiboynuzu gam ile etkileştirildikleri zaman

optimum su muhtevalarındaki doygunluk dereceleri düşmüştür. Doygunluk derecesi zemindeki su hacminin boşluk hacmine oranı olup, zemindeki boşlukların hangi oranda su ile dolu olduğunu yansıtmaktadır. Kompaksiyon eğrisinin tepe noktasında doygunluk değerinin yüksek olması sıkıştırmanın iyi yapıldığı anlamına gelmektedir (Uzuner 2014). Buna göre, keçiboynuzu gam ile etkileştirilmiş doğal kil ve ponza katkılı kil numuneler keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla daha az sıkıştırılabilmektedir.

4.4. Serbest Basınç Deneyi Sonuçları

Su ve su-keçiboynuzu gam solüsyonlarının doğal kil ve ponza katkılı killerle etkileştirilmesi sonucu katkısız ve biyopolimer katkılı numuneler elde edilmiş olup bu numuneler üzerinde ASTM D 2166'ya göre serbest basınç deneyi yapılmıştır. SPT' ye göre optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelerden 3'er adet serbest basınç numunesi alınmıştır. Numunelerin serbest basınç deney sonucu oluşan kırılma şekilleri Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir. Serbest basınç deney sonuçları Çizelge 4.4'te, keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla doğal kilin ve ponza katkılı kil numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.15'te sunulmuştur.



Şekil 4.11. KBG katkılı doğal kil numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri



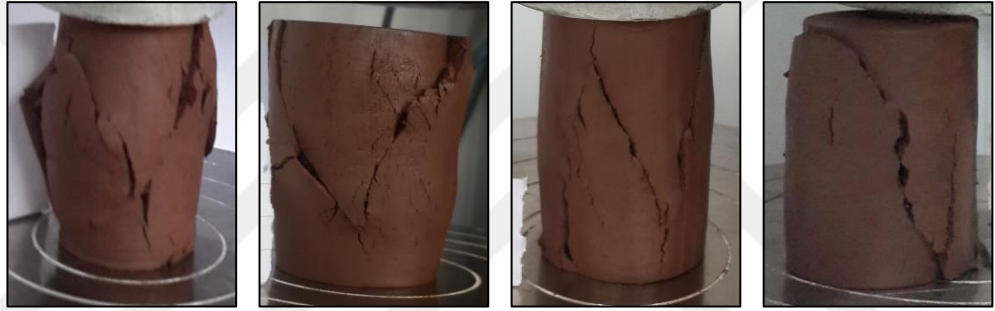
C-%5P-%0KBG

C-%5P-%0,5KB

C-%5P-%1KBG

C-%5P-%1,5KBG

Şekil 4.12. KBG katkılı doğal kil-%5 ponza numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri



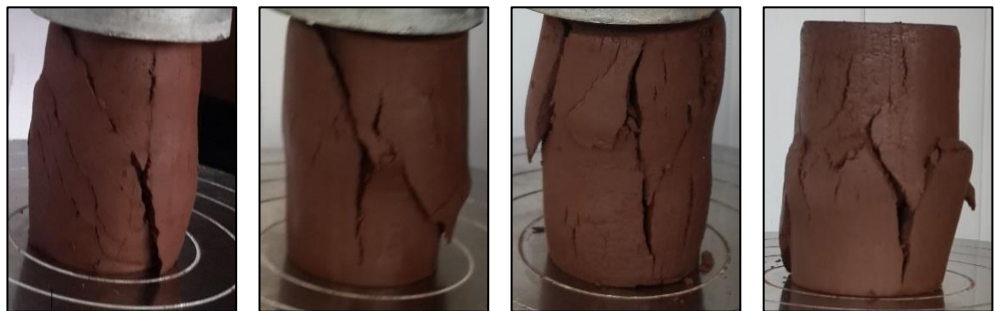
C-%15P-%0KBG

C-%15P-%0,5KBG

C-%15P-%1KBG

C-%15P-%1,5KBG

Şekil 4.13. KBG katkılı doğal kil-%15 ponza numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri



C-%25P-%0KBG

C-%25P-%0,5KBG

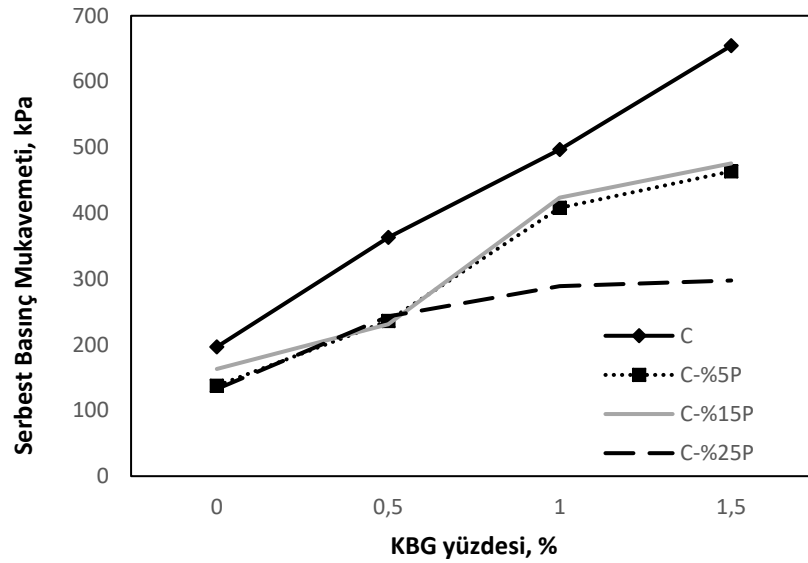
C-%25P-%1KBG

C-%25P-%1,5KBG

Şekil 4.14. KBG katkılı doğal kil-%25 ponza numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu meydana gelen kırılma şekilleri

Çizelge 4.4. Numunelerin serbest basınç deneyi sonuçları

Numune adı	Serbest basınç mukavemeti
	q_u , kPa
C-%0KBG	196,5
C-%0,5KBG	363
C-%1KBG	496,5
C-%1,5KBG	654,5
C-%5P-%0KBG	137,5
C-%5P-%0,5KBG	236
C-%5P-%1KBG	408
C-%5P-%1,5KBG	463,5
C-%15P-%0KBG	163
C-%15P-%0,5KBG	231
C-%15P-%1KBG	423,5
C-%15P-%1,5KBG	475,5
C-%25P-%0KBG	132,5
C-%25P-%0,5KBG	243
C-%25P-%1KBG	289
C-%25P-%1,5KBG	297,5



Şekil 4.15. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen değişim

Şekil 4.15 incelendiğinde keçiboynuzu gam katkı yüzdesinde meydana gelen artışla doğal kil numunelerin ve ponza katkılı kil numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Doğal kile keçiboynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı doğal kil numunelerinin serbest basınç mukavemetleri, doğal kilin serbest basınç mukavemeti ile karşılaştırıldığında, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla %85, %153 ve %233 oranlarında artmıştır.

%5 ponza katkılı kil/ponza karışımlarına keçiboynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerinin serbest basınç mukavemetleri, doğal kilin serbest basınç mukavemeti ile karşılaştırıldığında, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla %20, %108 ve %136 oranlarında, %5 ponza katkılı doğal kilin serbest basınç mukavemeti ile karşılaştırıldığında sırasıyla %72, % 197 ve %237 oranlarında artmıştır.

%15 ponza katkılı kil/ponza karışımlarına keçiboynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerinin serbest basınç mukavemetleri doğal kil ile karşılaştırıldığında, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5

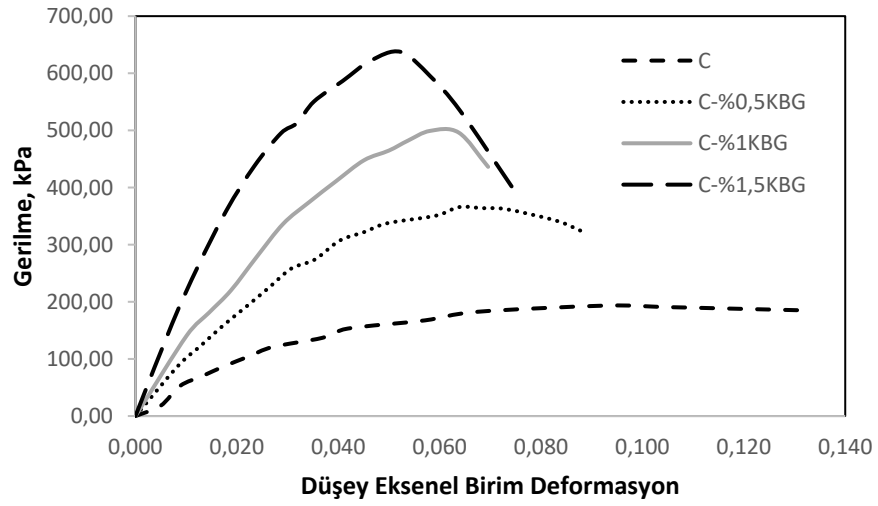
için sırasıyla %18, %116 ve %142 oranlarında, %15 ponza katkılı doğal kilin serbest basınç mukavemeti ile karşılaştırıldığında sırasıyla %42, %160 ve %192 oranlarında artmıştır.

%25 ponza katkılı kil/ponza karışımlarına keçiyoynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerinin serbest basınç mukavemetleri doğal kil ile karşılaştırıldığında, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla %24, %47 ve %51 oranlarında, %25 ponza katkılı doğal kilin serbest basınç mukavemeti ile karşılaştırıldığında sırasıyla %83, %118 ve %125 oranlarında artmıştır.

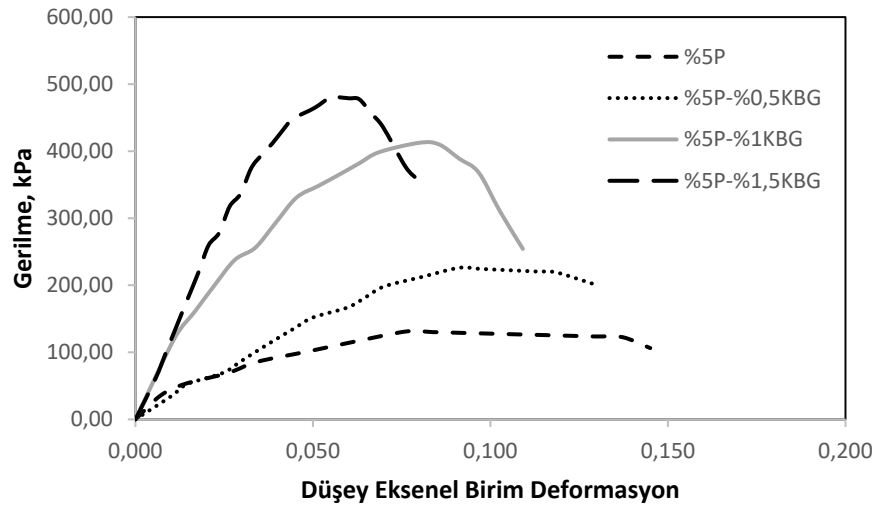
Ponza katkılı killerin serbest basınç mukavemeti değerleri doğal kilin serbest basınç mukavemeti değerleri ile karşılaştırıldığında, %25 ponza katkısının doğal kilin serbest basınç mukavemeti değerini %33 oranında azalttığı görülmüştür. Ponza katkısının artmasıyla serbest basınç mukavemetlerinde azalmaların meydana geldiği söylenebilir.

Biyopolimerler genel olarak elektrik yüklü büyük özgül yüzeylere sahip oldukları için ince daneli zeminlerle etkili bir şekilde etkileşime girebilirler. Buna bağlı olarak yüksek mukavemetli biyopolimer-zemin matrisleri meydana gelir (Chang *et al.* 2016). İlâveten likit limitin artmasıyla serbest basınç mukavemetlerinin arttığı bilinmektedir (Sharma and Bora 2003). Katkılı numunelerde biyopolimer yüzdesinin artmasıyla likit limitlerde ve serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen artışın biyopolimerli boşluk suyunun viskozitesinin yüksek olmasından ve biyopolimer ile kil partikülleri arasında bağ oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Chen *et al.* 2013). Chang and Cho (2014) çalışmalarında beta-glucan kullanarak zeminlerin mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir. Chang *et al.* (2015) çalışmalarında, kum ve kil zeminleri zantan gam ile iyileştirmiş, her iki zemin türü için de zantan gamın mukavemeti artırıcı bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. İlâveten ponza katkısı olmayan doğal kil de serbest basınç mukavemetinde daha fazla artış meydana geldiği görülmüştür. Bunun, ince daneli zeminlerle biyopolimerin daha iyi etkileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Chang *et al.* 2015).

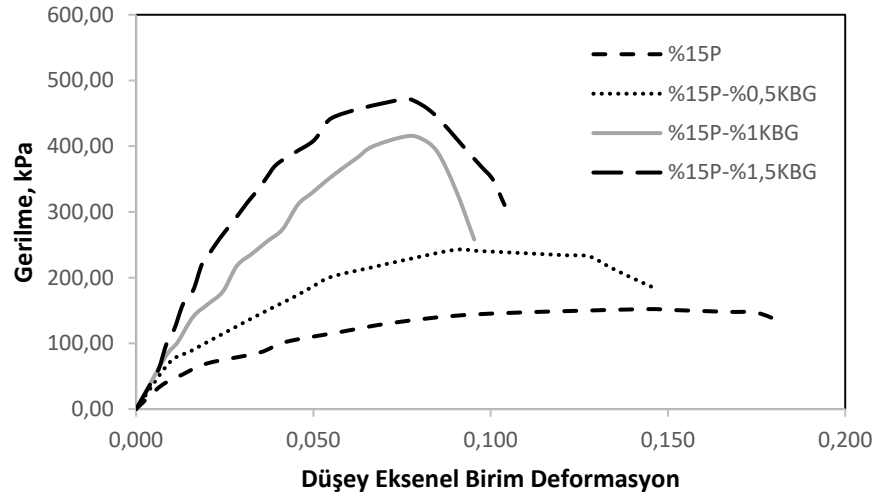
Keçiboynuzu gam katkılı doğal kil, %5 ponza katkılı kil, %15 ponza katkılı kil ve %25 ponza katkılı kil numunelerin düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri sırasıyla Şekil 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19’te verilmiştir.



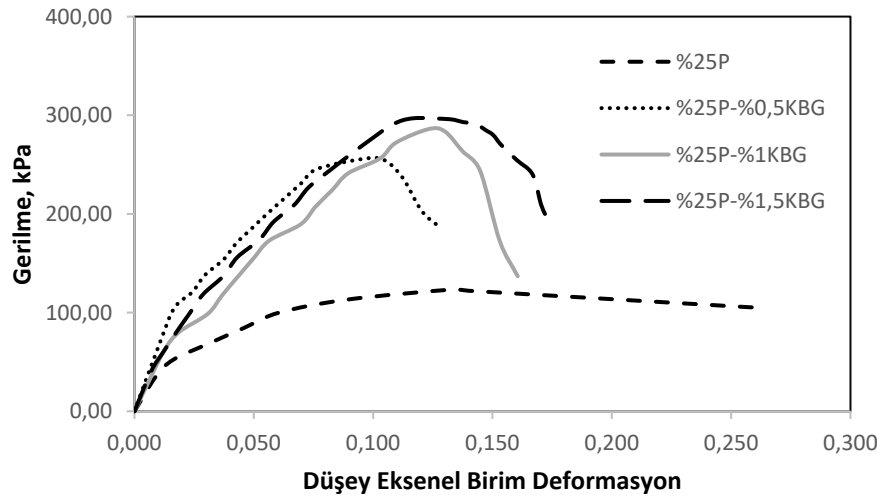
Şekil 4.16. Doğal kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri



Şekil 4.17. %5 ponza katkılı kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri



Şekil 4.18. %15 ponza katkılı kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri



Şekil 4.19. %25 ponza katkılı kilde KBG yüzdesindeki artışla düşey eksenel birim deformasyon - gerilme eğrileri

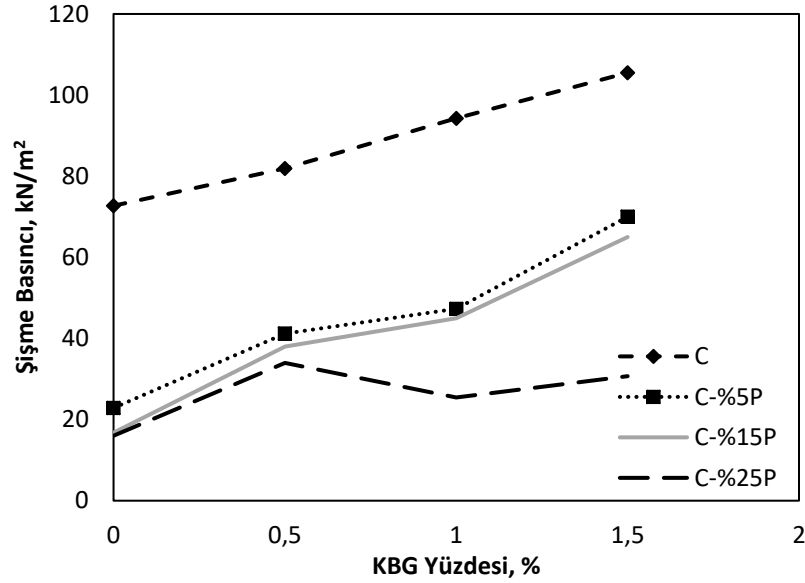
Şekil 4.11-4.14' te verilen kırılma şekilleri ve Şekil 4.16-4.19' da verilen düşey eksenel birim deformasyon-gerilme eğrileri incelendiğinde keçi boynuzu gam yüzdesine bağlı olarak doğal kilin ve ponza katkılı kil numunelerinin serbest basınç mukavemetlerinin arttığı görülmüştür. Ancak doğal kilde ve ponza katkılı killerde sünek olan kırılma keçi boynuzu gam yüzdesinin artmasıyla daha gevrek bir hale gelmiştir.

4.5. Şişme Basıncı Deney Sonuçları

Şişme basıncı deney sonuçları Çizelge 4.5’ de verilmiştir. Keçiboynuzu gam yüzdesine bağlı olarak doğal kilin ve ponza katkılı kil numunelerin şişme basıncı değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.20’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. Numuneler üzerinde yapılan şişme basıncı deney sonuçları

Numune adı	Şişme basıncı, kN/m ²
C-%0KBG	72,7
C-%0,5KBG	81,9
C-%1KBG	94,2
C-%1,5KBG	105,5
C-%5P-%0KBG	22,8
C-%5P-%0,5KBG	41,1
C-%5P-%1KBG	47,3
C-%5P-%1,5KBG	70
C-%15P-%0KBG	16,7
C-%15P-%0,5KBG	38
C-%15P-%1KBG	45
C-%15P-%1,5KBG	65
C-%25P-%0KBG	16,0
C-%25P-%0,5KBG	33,9
C-%25P-%1KBG	25,4
C-%25P-%1,5KBG	30,7



Şekil 4.20. Keçiboynuzu gam yüzdesine bağlı olarak şişme basınçlarında meydana gelen değişim

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.20 incelendiğinde ponza katkısının artmasıyla numunelerin şişme basıncının azaldığı ve KBG yüzdesinin artmasıyla katkısız ve ponza katkılı kil numunelerin şişme basıncının arttığı söylenebilir. Doğal kile keçiboynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı doğal kil numunelerinin şişme basınçları, doğal kilin şişme basıncı ile karşılaştırıldığında, şişme basınçları, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla %13, %30 ve %45 oranlarında artmıştır.

%5 ponza katkılı kil/ponza karışımlarına keçiboynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerinin şişme basınçları, doğal kilin şişme basıncı ile karşılaştırıldığında, şişme basınçları, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla %43, %35 ve %4 oranlarında azalmış, %5 ponza katkılı doğal kilin şişme basıncı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %80, %107 ve %207 oranlarında artmıştır.

%15 ponza katkılı kil/ponza karışımlarına keçiboynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerinin şişme basınçları doğal kil ile karşılaştırıldığında, şişme basınçları, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5

için sırasıyla %48, %38 ve %11 oranlarında azalmış, %15 ponza katkılı doğal kilin şişme basıncı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %128, %169 ve %289 oranlarında artmıştır.

%25 ponza katkılı kil/ponza karışımlarına keçiyoynuzu gam solüsyonlarının eklenmesiyle elde edilen biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerinin şişme basınçları doğal kil ile karşılaştırıldığında, şişme basınçları, biyopolimer yüzdesi %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla %53, %65 ve %58 oranlarında azalmış, %25 ponza katkılı doğal kilin şişme basıncı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %112, %59 ve %92 oranlarında artmıştır.

Ponza katkılı killerin şişme basıncı değerleri doğal kilin şişme basıncı değerleri ile karşılaştırıldığında, ponza yüzdesi %5, %15 ve %25 için şişme basınçları sırasıyla %69, %77 ve %78 oranlarında azalmıştır. Buna göre, ponza katkısının artmasıyla şişme basınçlarında azalmaların meydana geldiği söylenebilir. İlaveten keçiyoynuzu gam yüzdesindeki artışla doğal kil ve ponza katkılı kil numunelerin şişme basınçlarında artış meydana gelmiştir. Doğal kilde $72,7 \text{ kN/m}^2$ olan şişme basıncı değeri, %1,5 KBG katkısıyla %45 oranında artarak $105,5 \text{ kN/m}^2$ değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte, KBG katkılı kil/ponza karışımlarının şişme basıncı değerlerinin, doğal kilin şişme basıncı değerinden düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.20).

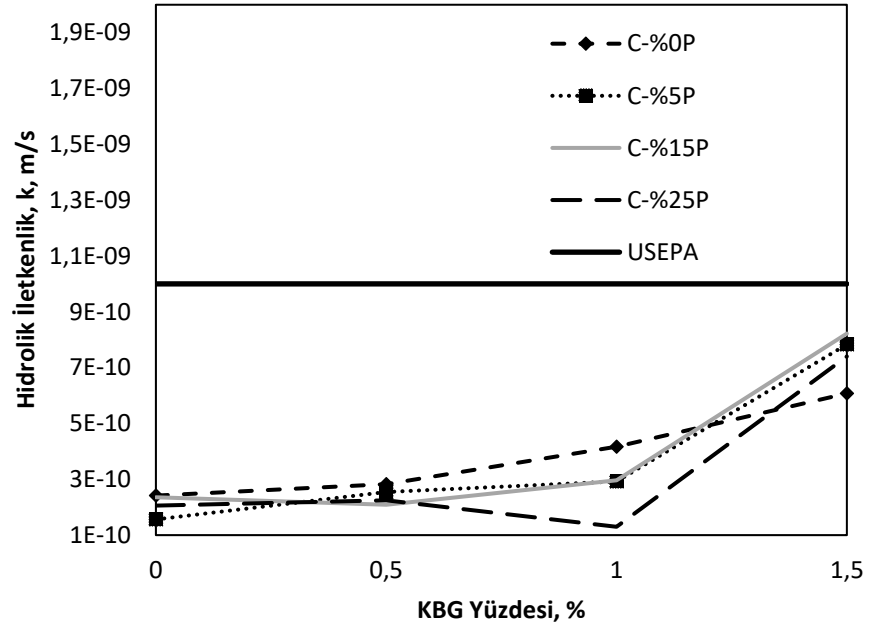
Chang and Cho (2014) beta-glukanın şişmeyi artırdığını belirtmişlerdir. Burada etkin parametrenin biyopolimer etkisiyle oluşan viskozite nedeniyle danelerin birbirinden uzaklaşması olduğu söylenebilir.

4.6. Hidrolik İletkenlik Deney Sonuçları

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen hidrolik iletkenlik deney sonuçları Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Keçiyoynuzu gam yüzdesine bağlı olarak doğal kilin ve ponza katkılı kil numunelerin hidrolik iletkenlik katsayısı değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.21'de görülmektedir.

Çizelge 4.6. Numuneler üzerinde yapılan hidrolik iletkenlik deney sonuçları

Numune adı	Hidrolik iletkenlik katsayısı
	k, m/s
C-%0KBG	2,41721E-10
C-%0,5KBG	2,8241E-10
C-%1KBG	4,16571E-10
C-%1,5KBG	6,07545E-10
C-%5P-%0KBG	1,56317E-10
C-%5P-%0,5KBG	2,54546E-10
C-%5P-%1KBG	2,92309E-10
C-%5P-%1,5KBG	7,83143E-10
C-%15P-%0KBG	2,35663E-10
C-%15P-%0,5KBG	2,089E-10
C-%15P-%1KBG	2,96615E-10
C-%15P-%1,5KBG	8,22079E-10
C-%25P-%0KBG	2,06116E-10
C-%25P-%0,5KBG	2,24943E-10
C-%25P-%1KBG	1,2996E-10
C-%25P-%1,5KBG	7,40152E-10



Şekil 4.21. Keçiboynuzu gam yüzdesine bağlı olarak artışla hidrolik iletkenlik katsayılarında meydana gelen değişim

Şekil 4.21'e göre, KBG katkılı kil/ponza karışımlarının hidrolik iletkenlik katsayıları doğal kilin hidrolik iletkenlik katsayısı ile karşılaştırıldığında, hidrolik iletkenlik katsayısı değerinin %0,5 ve %1 KBG katkılı tüm kil/ponza karışımları için, doğal kilin hidrolik iletkenlik katsayısı değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. %1,5 KBG katkılı numunelerin hidrolik iletkenlik katsayıları incelendiğinde ise kil/ponza karışımlarının hidrolik iletkenlik katsayısı değerlerinin, doğal kilin hidrolik iletkenlik katsayısı değerinden daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. %1 KBG katkılı %25 ponza katkılı kil numunesinin hidrolik iletkenlik katsayısı doğal kilin hidrolik iletkenlik katsayısı ile karşılaştırıldığında, hidrolik iletkenlik katsayı değerinin %46 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Taytak *et al.* (2012), biyopolimerlerin hidrolik iletkenliği düşürdüğünü belirtmişlerdir. Şartnamelere göre, atık depolama alanlarında kullanılacak şiltelerin hidrolik iletkenlik katsayılarının 1×10^{-9} m/s den küçük olması istenmektedir (USEPA 1993; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2010). Bu durumda, bu çalışmada elde edilen biyopolimer katkılı killerin, şilte olarak kullanılabilirliklerinin uygun olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, ponza katkılı kil zeminlerin biyopolimerler ile etkileştirilmesi sonucu elde edilen numunelerin bazı geoteknik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla Erzurum-Oltu Yöresi'ne ait bir doğal kil öncelikle Bitlis-Ahlat'tan temin edilen ve öğütülen ponza tozu ile belirli yüzdelerde karıştırılmış ve ponza katkılı killer elde edilmiştir. Ayrıca suyun içerisine belirli yüzdelerde KBG ilave edilerek su-keçiboynuzu gam solüsyonları hazırlanmıştır. Ardından doğal kil ve ponza katkılı kil numunelerin su ve su-keçiboynuzu gam solüsyonları ile etkileştirilmesi sonucunda biyopolimer katkılı doğal kil ve biyopolimer katkılı kil/ponza numuneleri elde edilmiştir. Numuneler üzerinde kıvam limitleri deneyleri, standart proktor deneyleri, serbest basınç mukavemeti deneyleri, şişme basıncı deneyleri ve hidrolik iletkenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyopolimer katkılı doğal kil numunelerine ait deney sonuçları biyopolimer katkılı kil/ponza numunelerin deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

-Numuneler üzerinde yapılmış olan likit limit deney sonuçlarına göre ponza yüzdesindeki artışla birlikte katkısız kilin likit limit değerleri azalmış, plastik limit değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiş, plastisite indisi değerleri azalmıştır.

-Ponza katkılı numunelerin kıvam limitleri Casagrande Plastisite Grafiği'nde yerine bulunduğu, CH (yüksek plastisiteli kil) olan doğal kilin sınıfının, ponza katkısıyla MH (yüksek plastisiteli silt) sınıfına doğru gittiği görülmüştür.

-Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla katkısız ve ponza katkılı numunelerin likit limitlerinin arttığı görülmüştür.

-Keçiboynuzu gam katkılı numuneler üzerinde plastik limit deneyleri gerçekleştirilememiştir. Keçiboynuzu gam katkılı numuneler non-plastik özellik göstermiştir.

-Numuneler üzerinde gerçekleştirilen standart proktor deneyleri ile doğal kil, keçiboynuzu gam katkılı doğal kil ve keçiboynuzu gam katkılı kil/ponza numunelerin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Buna göre keçiboynuzu gam yüzdesinde meydana gelen artışla numunelerin optimum su içeriklerinde önemli bir değişim gözlenmemiş, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında ise azalma meydana geldiği görülmüştür.

-Ponza katkısı doğal kilin serbest basınç mukavemetini düşürmüştür. %25 ponza katkılı doğal kil numunenin 132,5 kPa olan serbest basınç mukavemeti değeri, 196,5 kPa olan doğal kilin serbest basınç mukavemeti değerinden %33 daha düşüktür.

-Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla doğal kil ve ponza katkılı kil numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde artış meydana gelmiştir. Doğal kilde 196,5 kPa olan serbest basınç mukavemeti değeri, %1,5 KBG katkısıyla %233 oranında artarak 654,5 kPa değerine ulaşmıştır.

-Biyopolimer katkılı kil/ponza karışımlarının serbest basınç mukavemetleri incelendiğinde, %5 ponza katkılı kil numunesinin serbest basınç mukavemetinin %1,5 biyopolimer ilavesi ile %237 oranında arttığı, %15 ponza katkılı kil numunesinin serbest basınç mukavemetinin %1,5 biyopolimer ilavesi ile %192 oranında arttığı, %25 ponza katkılı kil numunesinin serbest basınç mukavemetinin %1,5 biyopolimer ilavesi ile %125 oranında arttığı görülmüştür.

-Doğal kilde ve ponza katkılı killerde sünek olan kırılma, keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla daha gevrek bir hale gelmiştir.

-Ponza katkısı doğal kilin şişme basıncını düşürmüştür. %5, %15 ve %25 ponza katkılı killerin sırası ile 22,8 kN/m², 16,7 kN/m² ve 16 kN/m² şişme basıncı değerleri, doğal kilin 72,7 kN/m² şişme basıncı değerinden %69, %77 ve %78 daha düşüktür.

-Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla doğal kil ve ponza katkılı kil numunelerin şişme basınçlarında artış meydana gelmiştir. Doğal kilde $72,7 \text{ kN/m}^2$ olan şişme basıncı değeri, %1,5 KBG katkısıyla %45 oranında artarak $105,5 \text{ kN/m}^2$ değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte, KBG katkılı kil/ponza karışımlarının şişme basıncı değerlerinin, doğal kilin şişme basıncı değerinden düşük olduğu görülmüştür.

-%1 keçiboynuzu gam katkısına kadar tüm ponza katkılı kil numunelerin hidrolik iletkenlik değerlerinin doğal kile göre daha düşük olduğu görülmektedir. %1 KBG katkılı %25 ponza katkılı kil numunesinin hidrolik iletkenlik katsayısı doğal kilin hidrolik iletkenlik katsayısı ile karşılaştırıldığında, hidrolik iletkenlik katsayı değerinin %46 oranında azaldığı belirlenmiştir. %1,5 keçiboynuzu gam katkılı numunelerde ise ponza katkılı killerin hidrolik iletkenlik değerlerinin doğal kile göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

-Keçiboynuzu gam katkılı tüm numuneler için belirlenmiş olan hidrolik iletkenlik değerlerinin, USEPA ve Türkiye’de yürürlükte olan “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik” dikkate alındığında katı atık depolama alanlarında geçirimsiz şilte olarak kullanılabilirlik sınırına uygun olduğu görülmüştür. Bu çalışmaya göre, hidrolik iletkenlik değeri en düşük olan numune %25 ponza-%1 KBG numunesi olarak belirlenmiştir. Aynı numunenin şişme basıncı değerinin de diğer numunelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler ışığında, atık depolama alanlarında biyopolimer katkılı kil/ponza karışımlarının kullanılabileceği söylenebilir.

Biyopolimerlerin ponza katkılı killerin geoteknik özellikleri üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, ilerleyen çalışmalarda, farklı killeri ve farklı biyopolimerler kullanılarak deneysel araştırmaların yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, S., Gürses, A., Arasan, S., Korucu, M., Kurt, Z.N., 2011. Kil Tanelerin (Nanokil) Kristal Yapılarının Poliorganiklerle Desteklenerek Killerin Hidrolik İletkenlik Ve Mukavemet Özelliklerinin İyileştirilmesi. TÜBİTAK 107Y295No’lu Proje.
- Akbulut, S., Kurt, Z.N., 2012. Modifiye bir kilin “organokil” kompaksiyon ve mukavemet özellikleri. 2. Ulusal Nanoteknoloji Kongresi, Nanokon 2012, İstanbul.
- Akbulut, N., Cabalar, A.F., 2014. Effects of biopolymer on some geotechnical properties of a sand. *New Frontiers in Geotechnical Engineering*, 243, 28-37.
- Aminpour, M., O’Kelly, B.C., 2015. Applications of biopolymers in dam construction and operation activities. *Second International Dam World Conference*, Lizbon.
- ASTM D 422-63, 2002. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 854-14, 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4318-17, 2017. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 698-12, 2012. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4546-14, 2014. Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 5856-15, 2015. Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 2166-16, 2016. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM West Conshohocken, PA.
- Ayeldeen, M., Negm, A., El-Sawwaf, M., Kitazume, M., 2017. Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9 (2), 329-339.
- Ayhan, A., 2011. Biyopolimer Katkıları ile Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Y. Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Barak, S., Mudgil, D., 2014. Locust bean gum: Processing, properties and food applications—A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66 (2014), 74–80.
- Biju, M.S., Arnepalli, D.N., 2016. Biopolymer modified soil: Prospects of a promising green technology. *Indian Geotechnical Conference IGC2016*, Madras, Chennai.
- Bozkurt, P., 2012. Biyopolimer ve Sentetik Polimerler. Konya Selçuk Üniversitesi, <https://tr.scribd.com/presentation/89543129/Biyopolimer-Ve-Sentetik-Polimerler> (26.06.2018).
- BS 1377, 1990. Methods of Test for Soils For Civil Engineering Purposes. Classification Tests. Türk Standardları Enstitüsü.
- Cabalar, A.F., Wiszniewski, M., Skutnik, Z., 2017. Effects of xanthan gum biopolymer on the permeability, odometer, unconfined compressive and triaxial shear behavior of a sand. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54 (5), 356-361.
- Cernica, J.N., 1995. *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*. John Wiley & Sons Inc., 450 p, USA.
- Chang, I., Cho, G-C., 2014. Geotechnical behavior of a beta-1,3/1,6-glucan biopolymer-treated residual soil. *Geomechanics and Engineering*, 7 (6), 633-647.

- Chang, I., Im, J., Prasidhi, A.K., Cho, G-C., 2015. Effects of xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Construction and Building Materials*. 74 (2015), 65–72.
- Chang, I., Im, J., Cho, G-C., 2016. Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally-friendly and sustainable geotechnical engineering. *Sustainability*, 8 (3), 251.
- Chen, R., Zhang, L., Budhu, M., 2013. Biopolymer stabilization of mine tailings. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 139 (10), 1802-1807.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete, No:27533, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100326-13.htm>, (01.07.2018).
- Çimen, Ö., 2005. Ponzanın mühendislik karakteristikleri ve yüksek plastisiteli bir kilin stabilizasyonunda kullanılması. *Türkiye Ponza Sempozyumu ve Sergisi*, Isparta.
- Das, B.M., and Sobhan K., 2014. *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning, 770 p, USA.
- Dey, P., Maiti, S., Sa, B., 2012. Locust bean gum and its application in pharmacy and biotechnology: An overview. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 4 (1), 7-11.
- Dinçer, İ., Orhan, A., Çoban, S., 2015. Ponza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu. Nevşehir.
- Etemadi, O., Petrisor, I.G., Kim, D., Wan, M-W., Yen, T.F., 2003. Stabilization of metals in subsurface by biopolymers: Laboratory drainage flow studies. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 12 (5), 647-661.
- Gokalp, Z., Basaran, M., Uzun, O., 2012. Permeability characteristics of pumice-bentonite mixtures in comparison with sand-bentonite mixtures. *Scientific Research and Essays*, 7(31), 2816-2826.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ. Ve Çankıran, O., 1998. Ponza Teknolojisi, Cilt I, s.288, Isparta.
- Gündüz, L., 2005. İnşaat Sektöründe Bimsblok. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, 928 s., Isparta.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall Inc., 733 p, New Jersey, USA.
- Kalay, E., 2010. Sıkıştırılmış Yüksek Plastisiteli Kil Zemin Stabilizasyonunda Ponza, Mermer Tozu ve Kirecin Kullanılması. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kavlak, Y., 2008. Isparta Gelincik Ponzasının Karayolu Esnek Üstyapıları Taban Zemini Stabilizasyonunda Kullanımı. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kayran, S., 2009. Değişik Kıvam Verici Maddelerin Meyveli İçeceklerin Viskoziteleri Üzerine Etkileri. Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Keskin, S.N., 1996. Süngertaşının killi zeminlerin stabilizasyonunda kullanılması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 6.Ulusal Kongresi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Keskin, N., Çimen, Ö., 1997. Killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde ponza kullanımının araştırılması. I. Isparta Ponza Sempozyumu, Isparta.
- Khatami, H.R., O'Kelly, B.C., 2013. Improving mechanical properties of sand using biopolymers. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 139 (8), 1402-1406.
- Kök, M.S., 2006. Yüksek sıcaklık uygulamalarının guar ve locust bean gum viskoziteleri üzerine etkisi. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Bolu.
- Kurt, Z.N., 2009. Yüzey Aktif Madde ile Muamele Edilmiş Kilin Mukavemet Özelliklerinin Araştırılması. Y. Lisans tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Kurt Albayrak, Z.N., 2014. Laboratuvarda Geliştirilen Nanokil-Kompozitlerin Bazı Geoteknik Özelliklerinin Deneyisel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kurt Z.N., Akbulut, S., 2014. The dynamic shear modulus and damping ratio of clay nanocomposites. *Clays and Clay Minerals*, 62 (4), 313–323.
- Kurt, Z.N., Akbulut, S., 2017. Some geotechnical properties of clay nanocomposites. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61 (3), 381-388.
- Kurt Albayrak, Z.N., Gencer, G., 2017. Investigation of consistency properties of multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis), Bitlis.
- Lopes da Silva J.A., Gonçalves, M.P., Rao M.A., 1994. Influence of temperature on the dynamic and steady-shear rheology of pectin dispersions. *Carbohydrate Polymers*, 23 (2), 77-87.
- Maier, M., Anderson, M., Karl, C., Magnuson, K., 1993. Guar, Locust Bean, Tara and Fenugreek Gums. *Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivatives*, Ed: R.L. Whistley, J.N. BeMiller. Academic Press Inc., San Diego, California, 181-226.
- Mitchell, J.K., Soga, K., 2005. *Fundamentals of Soil Behavior*. John Wiley&Sons, Inc., Third Edition, 558 p, New Jersey.
- Mohanty, A.K., Misra, M., and Drzal, L.T. 2005. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- MTA, 2010. Bitlis İli Maden ve Enerji Kaynakları. http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Bitlis_Madenler.pdf (26.06.2018).
- MTA, 2018. Madenlerin Kullanım Alanları. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari#ponza> (28.06.2018).
- Öz, E., 2007. Nevşehir Dolaylarında Yüzeylenen Asidik Ponzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Y. Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Petersson, L. and Oksman, K., 2006. Biopolymer based nanocomposites: Comparing layered silicates and microcrystalline cellulose as nanoreinforcement. *Composites Science and Technology*, 66 (2006), 2187-2196.
- Qureshi, M.U., Chang, I., Al-Sadarani, K., 2017. Strength and durability characteristics of biopolymer-treated desert sand. *Geomechanics and Engineering*, 12 (5), 785-801.
- Reyhanoğlu, M., 1988. Ponza ve Kullanım Alanları. Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Saltan, M., Kavlak, Y., Ertem, F.S., 2011. Utilization of pumice waste for clayey subgrade of pavements. *J. Mater. Civ. Eng.*, 23 (12), 1616-1623.
- Sharma, B., Bora, K., 2003. Plastic Limit, Liquid Limit and Undrained Shear Strength of Soil—Reappraisal. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 129 (8), 774-777.
- Smitha, S., Sachan, A., 2016. Use of agar biopolymer to improve the shear strength behavior of sabarmati sand. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 10 (4), 387-400.
- Soğancı, A.S., 2011. Nevşehir Bölgesinde Bulunan Ponzaların Taşıma Gücü Ve Oturma Yönünden Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve İyileştirilmesi. Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sunay, M.S., 2012. Polimer-Polimer Ve Polimer-Metaloksit Kompozit Sistemlerde Film Oluşum Davranışlarının İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taytak, B., Pulat, H.F., Yukselen Aksoy, Y., 2012. Improvement of engineering properties of soils by biopolymer additives. 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Nicosia.

- US Congress Office of Technology Assessment (COTA), 1993. Biopolymers: Making Materials Nature's Way-Background Paper, OTA-BP-E-102, Government Printing Office, Washington DC., U.S.A.
- USEPA, 1993. Criteria for Municipal Solid Waste Landfills (MSWLF Criteria), 40 CFR, Part 258, Cincinnati, Ohio.
- Uzuner, B.A., 2014. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Derya Kitapevi, 734 syf, Trabzon, Türkiye.
- Van de Velde, K. and Kiekens, P., 2002. Biopolymers: Overview of several properties and consequences on their applications. Polym. Test, 21 (2002), 433–442.
- Varol, O.O., 2016. Bitlis ve Van illerinde ponza madenciliğine genel bir bakış, Bilimsel Madencilik Dergisi, 55 (3), 27-34.
- Viswanath, S.M., Booth, P.N. Hughes, C.E. Augarde, C.Perlot, A.W. Bruno, D. Gallipoli, 2017. Mechanical properties of biopolymer-stabilised soil-based construction materials. Geotechnique Letters, 7(4), 1–18.
- Ward, F.M. and Andon, S.A., 1993. Water-soluble gums used in snack foods and cereal products. Cereal Foods World, 38 (10), 748-752.
- Whitham, A.G., Sparks, R.S.J., 1986. Pumice. Bull. Volcanol., 48, 209-223.
- Williams P.A. and Phillips, G.O., 2000. Handbook of Hydrocolloids. North East Wales Institute, 450 p, Wrexham.
- Wiszniewski, M., Skutnik, Z., and Cabalar, A. F., 2013. Laboratory assessment of permeability of sand and biopolymer mixtures. Warsaw University of Life Sciences, 45 (2), 217-226.
- Wiszniewski, M., Cabalar, A.F., 2014. Hydraulic conductivity of a biopolymer treated sand. New Frontiers in Geotechnical Engineering, 243, 19-27.
- Yılmaz, I., Yıldırım, M., Keskin, İ., 2016. Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler. Seçkin Yayıncılık, 280, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Bitlis’te doğdu. İlköğretimini Muştakbaba İlkokulu’nda ve Muştakbaba Ortaokulunda, ortaöğretimini Bitlis Lisesi’nde okudu. Lisans eğitime 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. Üniversiteden 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

2017 yılından bu yana Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu’nda Öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.