



**KUM ZEMİNLERİN  
BİYOPOLİMERLER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Murat KEÇECİOĞLU**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Geoteknik Bilim Dalı  
Doç. Dr. Seracettin ARASAN**

**2016**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KUM ZEMİNLERİN BİYOPOLİMERLER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Murat KEÇECİOĞLU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2016**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**KUM ZEMİNLERİN BİYOPOLİMERLER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

Doç. Dr. Seracettin ARASAN danışmanlığında, Murat KEÇECİOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 27.../06.../2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu (.../...)~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Suat AKBULUT

İmza : 

Üye : Doç. Dr. Seracettin ARASAN

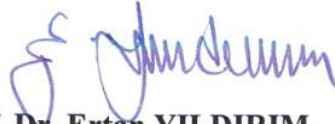
İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Z.Neşe Kurt ALBAYRAK

İmza : 

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 30.../06.../2016 tarih ve 27.../.../37 nolu kararı ile onaylanmıştır.



**Prof. Dr. Ertan YILDIRIM**  
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

### KUM ZEMİNLERİN BİYOPOLİMERLER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Murat KEÇECİOĞLU

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

Danışman: Doç. Dr. Seracettin ARASAN

Kum zeminlerin iyileştirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerden biriside portlant çimentosunun arazide özel ekipmanlarla zeminde karıştırılarak derin karıştırma kolonları oluşturulmasıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar çimento yerine polimerlerinde bu alanda kullanılabileceğini göstermiştir. Gıda sektöründe sıklıkla kullanılan biopolimerlerin zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılması ise güncel ve yeni bir konudur. Bu çalışma kapsamında, kum zeminlerin derin karıştırma yöntemi ile iyileştirmesinde biopolimerlerin kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla laboratuarda biopolimerler ile güçlendirilmiş suya doymun kum numuneler üzerinde serbest basınç mukavemeti ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Biyopolimer olarak sığır jelatini, xanthan gum, guar gum, tara gum, metil selüloz, karboksi metil selüloz, sodyum alijinat ve tapiyoka nişastası farklı oranlarda kullanılmıştır. İki farklı gradasyondaki suya doymun gevşek kum zemin ile biopolimerler laboratuvar ortamında derin karıştırma yöntemine göre hazırlanmış ve 3, 7, 28 günlük kürlere tabi tutulmuştur. Yapılan laboratuvar deney sonuçları sığır jelatini ile biopolimerlerin kum zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Sığır jelatini yüzdesinin ve kür süresinin artmasıyla serbest basınç mukavemetinin arttığı belirlenmiştir. Bunun yanında, donma-çözülme etkisinde numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde önemli değişiklikler olmamıştır.

**2016, 57 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kum, biyopolimer, sığır jelatini, serbest basınç mukavemeti, donma-çözülme.

## **ABSTRACT**

MS Thesis

### **IMPROVEMENT OF SANDY SOILS WITH BIOPOLYMERS**

Murat KEÇECİOĞLU

Ataturk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Seracettin ARASAN

One of the preferred methods in improvement of sandy soil with biopolymers to be occurred deep mixing columns by mixing portland cement on the ground in the area with special equipments. Studies recently have showed that polymers instead of cement can be used. Using biopolymers in improvement of ground which are frequently used in food sector is current and new issue. Within the scope of this study, on saturated sand samples powered with biopolymers, unconfined compressive strength and freeze-thaw test in laboratory have been performed with the intent of researching of biopolymer usability by sandy soil with deep mixing method. As biopolymer, bovine gelatin, xanthan gum, guar gum, tara gum, methyl cellulose, carboxymethylcellulose, sodium alginate and tapioca starch at different rates have been used. At two difference graduation, saturated loose sand has been prepared with biopolymerler in the laboratory medium according to deep mixing method and are subjected to 3, 7, 28 daily cures. Performed experiment results have showed that bovine gelatin and biopolymers can be used in the improvement of sandy soil. It has been determined that by increasing percentage of bovine gelatin and cure time, unconfined compressive strength. In addition to this, unconfined compressive strength in freeze-thaw effect have no significant changes.

**2016, 57 pages**

**Keywords:** Sand, biopolymer, bovine gelatin, unconfined compressive strength, freeze-thaw.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Doç. Dr. Seracettin ARASAN'a içtenlikle teőekkürlerimi sunarım.

Bilgisine baővurduęum Sayın Prof. Dr. Suat AKBULUT'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Z. Neşe KURT ALBAYRAK'a içtenlikle teőekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı ile Erzurum Meslek Yüksekokulu İnşaat Programı Laboratuvarı'nda yürütölmüőtür. Bu kapsamda, Erzurum Meslek Yüksekokulu İnşaat Program Başkanlığı'na ve yüksek lisans çalıőmalarım süresince emeği geçen Sayın Prof. Dr. őahin ZAIMOğLU'na, Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih IŐIK'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. R. Kağan AKBULUT'a, Sayın Uzman Serkan KARACA'ya, Sayın Majid BAGHERİNİA'ya ve Sayın Omid NASİRPUR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme ve her zaman yanımda olan çok değerli arkadaşlarıma őükranlarımı sunarım.

**Murat KEÇECİOğLU**

**Haziran, 2016**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Kapsam.....	2
1.2. Kaynak Özetleri.....	3
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>10</b>
2.1. Derin Karıştırma Yöntemi.....	11
2.2. Polimer ve Biopolimerler .....	16
2.2.1. Jelatin.....	18
2.2.2. Guar Gum .....	18
2.2.3. Tara Gum.....	19
2.2.4. Xanthan Gum .....	20
2.2.5. Sodyum Alijinat (NaAL).....	21
2.2.6. Topiyoka nişastası .....	21
2.2.7. Metil selüloz (MC) .....	21
2.3. Donma-Çözülme Davranışı .....	22
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>
3.1. Materyal.....	24
3.1.1. Kum .....	24
3.1.2. Biyopolimerler.....	25
3.2. Yöntem .....	26
3.2.1. Biopolimer karışım oranlarının belirlenmesi .....	26
3.2.2. Biyopolimer ile derin karıştırma uygulanmış kum numunelerin hazırlanması	32
3.2.3. Serbest basınç mukavemeti deneyleri .....	35
3.2.4. Donma-çözülme deneyleri .....	36

<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>38</b>
4.1. Derin Karıştırma Uygulanmış Kum-Biyopolimer Numunelerinin Serbest Basınç Mukavemetleri.....	38
4.2. Derin Karıştırma Uygulanmış Kum-Biyopolimer Numunelerinin Donma-Çözülme Davranışı .....	41
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>45</b>
KAYNAKLAR .....	48
EKLER.....	52
EK 1.....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	58



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Af	Zemin numunelerinin kırılma anında en kesit alanını
CMC	Karboksi Metil Seliloz
$c_u$	Drenajsız Kohezyon
MC	Metil Seliloz
NaAl	Sodyum Alijinat
$P_{max}$	Kırılma anındaki basınç değeri
$q_u$	Serbest Basınç mukavemeti
TEM	Taramalı elektron mikroskobu
UCS	Serbest Basınç Mukavemeti
W/C	Su/Çimento Oranı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Zemin iyileştirme yöntemlerinin gradasyonuna göre uygulanabilirliği .....	11
Şekil 2.2. Derin karıştırma yönteminin tipik şeması.....	12
Şekil 2.3. Derin karıştırma uygulama şekilleri .....	13
Şekil 2.4. Derin karıştırma kolonlarının farklı uygulamalardaki çapları .....	13
Şekil 2.5. Derin ıslak karıştırmaya örnekler .....	14
Şekil 2.6. Derin kuru karıştırma.....	15
Şekil 2.7. Monomer molekülleri polimerizasyon reaksiyonu ile birbirine bağlanarak büyük polimer moleküllerini oluştururlar.....	16
Şekil 2.9. Farklı durumlardaki guar gum .....	19
Şekil 2.10. Tara guma .....	20
Şekil 2.11. Xanthan Gum.....	20
Şekil 3.1. Deneysel kullanımlarda kullanılan kumlara ait dane çapı dağılım eğrileri.....	24
Şekil 3.2. Deneysel kullanımlarda kullanılan biyopolimerler .....	25
Şekil 3.3. Oda sıcaklığında hazırlanan numuneler .....	26
Şekil 3.4. 7 gün bekletilen numunelerin durumu .....	28
Şekil 3.5. Su sıcaklığı sabit tutularak hazırlanan numuneler .....	31
Şekil 3.6. Sabit sıcaklıkta hazırlanan biyopolimer-su karışım numuneleri .....	32
Şekil 3.7. Biyopolimer-kum numunelerinin hazırlanmasında şematik görüntü .....	33
Şekil 3.8. Laboratuvar ortamında hazırlanan kum-biyopolimer numuneleri .....	34
Şekil 3.9. Kür odasında bekletilen kum-biyopolimer numuneleri.....	34
Şekil 3.10. Serbest basınç mukavemeti deneylerinde kullanılan SoilTest cihazı.....	36
Şekil 3.11. Donma-çözülme cihazında bekletilen alüminyum folyo içerisindeki numuneler .....	37
Şekil 3.12. Donma-çözülme cihazı .....	37
Şekil 4.1. Derin karıştırma uygulanmış 0.6-1.18 mm aralığındaki kum numunelerinin serbest basınç mukavemetine kür süresinin etkisi.....	39
Şekil 4.2. Derin karıştırma uygulanmış 0.3-0.6 mm aralığındaki kum numunelerinin serbest basınç mukavemetine kür süresinin etkisi.....	40

<b>Şekil 4.3.</b> Derin karıştırma uygulanmış 0.6-1.18 mm aralığındaki kum numunelerin donma-çözülme davranışı.....	43
<b>Şekil 4.4.</b> Derin karıştırma uygulanmış 0.3-0.6 mm aralığındaki kum numunelerin donma-çözülme davranışı.....	43



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 1.1.</b> Derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmiş zeminin mühendislik özellikleri .....	4
<b>Çizelge 3.1.</b> Deneilerde kullanılan kumun özellikleri.....	25
<b>Çizelge 3.2.</b> Oda sıcaklığında hazırlanan numunelerin karışım oranları .....	27
<b>Çizelge 3.3.</b> Sabit sıcaklıkta (80°C) hazırlanan numunelerin karışım oranları .....	28
<b>Çizelge 3.4.</b> Çalışmada kullanılmasına karar verilen biyopolimer karışım oranları.....	32
<b>Çizelge 3.5.</b> Derin karıştırma uygulanmış kum numuneler ve biyopolimer oranları .....	35

## 1. GİRİŞ

Kum zeminler özellikle suya doymun kum zeminler taşıma gücü açısından problemlı zeminlerdir. Deprem anında sıvılaşıabilir olmaları ve muhtemel oturma problemleri de düşünıldüğünde bu tür zeminlerin iyileştirilmesi (stabilizasyonu) önem arz etmektedir. Zemin iyileştirilmesi denildiğinde, zeminin kayma direncinin artırılması, geçirimsizliğin azaltılması, kaba daneli zeminlerde sıklığın ve ince daneli zeminlerde sertliğin artırılması anlaşılır. Uygulanabilecek yöntem zeminin dane çapı ile yakından ilgilidir. Zemin iyileştirme yöntemleri, ince daneli (kil-silt) zeminlerde uygulanabilen yöntemler ve kaba daneli (kum-çakıl) zeminlerde uygulanabilen yöntemler olarak iki ana gruba ayrılabilir. Ayrıca zemin iyileştirme yöntemleri en genel olarak “yüzeysel iyileştirme yöntemleri” ve “derin iyileştirme yöntemleri” olarak iki grupta toplanabilir (Ayan 2009).

Bu çalışmada zeminlerin iyileştirme yöntemlerinden biri olan derin karıştırma kullanılmıştır. Bu yöntemde kireç veya çimento bağlayıcı madde olarak arazide içi boş burgu ekipmanı ile zeminle karıştırılıp kolonların oluşturulmasıyla iyileştirme sağlanır. Bu yöntem ilk olarak 1954 yılında ABD’li Prepakt Co. tarafından uygulanmıştır. 1967 yılından sonra ise Japonya ve İskandinav ülkelerinde özellikle İsveç’te derin karıştırma üzerinde büyük çapta araştırmalar ve uygulamalar yapılmıştır. Son yıllarda ise ABD’de derin karıştırma metodu, özellikle altyapı, sismik problemler ve çevre iyileştirmelerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Bruce *et al.* 1998; Bruce and Bruce 2003).

Derin karıştırma yöntemi genellikle kil zeminlerin kireç, kum zeminlerin ise çimento kullanılarak iyileştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Buna karşın, derin karıştırmada çimentoya alternatif katkıların kullanılabilirliği konusunda sınırlı sayıda çalışma literatürde mevcuttur (Ahnberg *et al.* 1996; Ahnberg 2006; Ajorloo 2010). Bu çalışmalarda, çimentonun belirli yüzdelere silis dumanı, uçucu kül ve cüruf katkılarının derin karıştırmada kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Polimerler sağıktan savunma sanayisine hayatın tüm alanlarında kullanımı her geçen gün artan çağımızın malzemeleridir. Polimerlerin zemin iyileştirilmesinde kullanımı ise halen araştırılan bir konudur. Literatürde polimerler kullanılarak yapılan zemin iyileştirme çalışmaları; kimyasal enjeksiyon (Durmuşoğlu ve Çorapçioğlu 2000; Karol 2003; Yıldız 2006) ve yüzeysel stabilizasyon ile ilgili yapılmış sınırlı sayıda çalışmalardır (Ahmed 1995; Bishop *et al.* 1998; Santoni *et al.* 2003; Newman and Tingle 2004; Gupta *et al.* 2009; Naeiniand Ghorbanalizadeh 2010). Ayrıca son yıllarda killerin (Bagherina 2013) ve kumların (Akbulut vd 2013; Nasirpur 2014; Arasan *et al.* 2015; Arasan and Nasirpoor 2015; Arasan *et al.* 2016a,b) derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesinde polimerlerin kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Biopolimerler ise gıda endüstrisinin temel malzemeleridir. Organik olmaları sebebiyle de diğer yapı malzemelerine (imento, kireç vb.) kıyasla evre dostu malzemelerdir ve bu yönleri sebebiyle zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirler.

### 1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amaçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- 1-) Kumların derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesinde biopolimerlerin kullanılabilirliğini araştırmak.
- 2-) Derin karıştırmada kullanılacak biopolimer çeşidi, oranı ve karıştırma yöntemini araştırmak.
- 3-) Biopolimerlerle derin karıştırma uygulanmış kumların serbest basınç mukavemetine kr süresinin etkisini araştırmak.
- 4-) Biopolimerlerle derin karıştırma uygulanmış kumların donma-zlme davranışını araştırmak.

Çalışma kapsamında Horasan-Erzurum'dan temin edilen kum zeminler kullanılmıştır. Üç farklı gradasyonda (0,3-0,6mm ve 0,6-1,18mm ) kum zeminler elekten elenerek kullanılmıştır. Arazi şartlarında suya doygun kum zemin özelliklerini deneylerde uygulayabilmek için %30 rölatif sıklığa sahip suya doygun kum laboratuvarında

hazırlanmıştır. Biopolimer olarak sığır jelatini ve xanthan gum, guar gum, tara gum, tapiyoka nişastası, metil selüloz (MC), karboksi metil selüloz (CMC) ve sodyum alijinat (NaAl) karışımları kullanılmıştır. 3, 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri belirlendikten sonra 28 gün kür uygulanan numuneler için 20 donma-çözülme çevrimine tabi tutulup serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

## 1.2. Kaynak Özetleri

Literatürde derin karıştırma yöntemini konu yapan birçok çalışma mevcuttur. Özellikle arazide yapılan derin karıştırma yöntemi, bağlayıcı madde çimento-kireç-uçucu kül vb. kum, kil, silt ve organik zeminler üzerinde uygulanmıştır.

Bruce *et al.* (1998) ve Bruce and Bruce (2003) yayınlarında, derin karıştırma yönteminin tarihi gelişimi, uygulama esasları, kullanılan ekipmanlarını ve ticari yönlerini geniş bir şekilde özetlemişlerdir. Yayında sertleştiren maddenin özellikleri, zemin özellikleri ve koşulları, karıştırma koşulları ve kür koşulları zeminin mukavemetini artıran etkili faktörler olarak belirtilmiştir. Aynı zamanda derin karıştırma yöntemiyle iyileştirilmiş zeminin mühendislik özelliklerini Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi vermişlerdir.

Shrestha (2008), kum zemin üzerinde Portland çimentosu klinkeri ile yüksek fırın cürufunun bağlayıcı madde olarak kullanıldığı bir çalışma yapmıştır. Bağlayıcı miktarı  $200 \text{ kg/m}^3$ ,  $300 \text{ kg/m}^3$ ,  $400 \text{ kg/m}^3$ ,  $500 \text{ kg/m}^3$ ,  $600 \text{ kg/m}^3$  ve  $700 \text{ kg/m}^3$  olarak kum zemin ile laboratuarda derin karıştırma kolonları üretilerek deneyler yapılmıştır. Kolonların dayanımı 3, 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri için belirlenmiştir. 7 günlük kür süresi için belirlenmiş dayanımlar, bağlayıcı maddenin artmasıyla numunenin mukavemeti lineer olarak artmıştır. Serbest basınç mukavemeti deneyinden elde edilen en yüksek değer, bağlayıcının  $600 \text{ kg/m}^3$  olduğu halde elde etmiştir. Bu değer 10 MPa olduğu zaman su muhtevasının artması ile mukavemeti azalmıştır.

**Çizelge 1.1.** Derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmiş zeminin mühendislik özellikleri (Bruce and Bruce 2003)

<b>Islak Yöntemler</b>	
<b>Serbest basınç mukavemeti (UCS)</b>	0,2-5 MPa (granüler zeminde 0,5-5 MPa) (kohezyonlu zeminde 0,2-2MPa)
<b>Permabilite,k</b>	$10^{-6} - 10^{-9}$ m/s (bentonit kullanıldığında bu değer düşük olur)
<b>E<sub>50</sub></b>	Laboratuvar numuneleri için serbest basınç mukavemetinin 350 ile 1000 kat Arazi numuneleri için serbest basınç mukavemetinin 150 ile 500 kat.
<b>Kayma mukavemeti</b>	Serbest basınç mukavemetinin %40-%50'si kadar eğer UCS < 1MPa, ama bu değer serbest basınç deneyi arttıkça artar
<b>Çekme mukavemeti</b>	Genellikle serbest basınç mukavemetinin %8-%14'si kadar
<b>28 günlük serbest basınç mukavemeti</b>	Siltler ve killer için 7 günlük dayanımın 1,4 ile 1,5 kat ve kumlar için 7 günlük dayanımın 2 kat.
<b>60 günlük serbest basınç mukavemeti</b>	28 günlük serbest basınç mukavemetinin 1,5 kat
<b>Kuru Yöntemler</b>	
<b>Drenajsız kayma mukavemeti, C<sub>u</sub></b>	Zeminin C <sub>u</sub> 'nun 10 – 15 katı
<b>Young modulu</b>	C <sub>u</sub> 50 – 200 katı İşlenmiş zeminin q <sub>u</sub> 'nun 50 – 200 katı
<b>Göçme anındaki deformasyon</b>	< %2
<b>Permabilite (kireç çimento) Permabilite (kireç)</b>	Takriben arazideki zeminin aynısı 100 – 1000 kadar artar

Ajorloo (2010) yaptığı çalışmada, laboratuvarda derin çimento karıştırma yöntemi kullanarak gevşek silisli kumun kayma mukavemetini iyileştirmiştir. Bağlayıcı madde olarak, Portland çimentosunu tek başına veya kireç ve silis dumanı kombinasyonları kullanılmıştır. Çimentolaşmanın etkisini araştırmak için 180 günlük numuneler üzerinde serbest basınç mukavemeti, çekme dayanımı, kesme kutusu ve drenajlı üç eksenli basınç deneyleri uygulamıştır. Sonuçta dayanımın arttığı bulunmuştur.

Sukontasukkul and Jamsawang (2011) yaptıkları çalışmada, derin çimento karıştırma yöntemi ile hazırlanan numunelerin eğilme performansını iyileştirmek amacıyla çelik ve polipropilen liflerinin etkisini araştırmışlardır. Polipropilen ve çelik lifler üç farklı hacim oranında (%0,5, %0,75 ve %1,0) kullanılmıştır. Sonuçta çelik ve polipropilen



liflerin kullanımıyla eğilme performansının iyileştiği ve polipropilen lifin uygulanmasının çelik life göre daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Tang *et al.* (2011), çimento ile organik ve turba zeminlerin geoteknik özelliklerini iyileştirmek amacıyla derin karıştırma yöntemi uygulamışlardır. Bağlayıcı madde olarak çimento kuru halde zemin ile karıştırılmış ve su-çimento oranları, turba zemin için 3.5, 7, 14 ve 140 ve organik zemin için 5, 10 ve 30 olacak şekilde uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler PVC kalıplara konularak kür odasında 25°C sıcaklıkta 7, 14 ve 28 gün bekletilmiş ve serbest basınç mukavemetleri bulunmuştur.

Sargent *et al.* (2012) yaptıkları çalışmada; alkali aktif edilmiş atıkların derin karıştırma yöntemi ile sürdürülebilir bağlayıcı olarak yumuşak zeminlerin geoteknik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada geoteknik ve mineralojik testlerden bağlayıcı maddenin performansını siltli kum zeminde incelenmiştir. İyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş zeminlerin dayanımı ve durabilitesi karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada alkali aktif edilmiş yüksek fırın cürufunun, zeminin dayanımı ve durabilitesinin iyileştirmesinde yüksek performans gösterdiğini ispatlanmıştır.

Zeminlerin derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesini konu olan çalışmalar artan bir yoğunlukta tüm dünyada ve ülkemizde devam etmektedir. Buna karşın kum zeminlerin iyileştirilmesinde biopolimerlerin kullanılmasını konu olan çalışmalar daha yeni ve sınırlı sayıdadır. Aşağıda biopolimerlerin zemin iyileştirilmesinde kullanımını konu olan çalışmalar özetlenmiştir.

Geoteknik mühendisliği uygulamalarında genellikle xanthan gum, polyhydroxy butyrate, guar gum, chitin ve chitosan gibi biyopolimerler kullanılmaktadır (Karimi 1998; Mitchell and Santamarina 2005; Kavazanjian *et al.* 2009).

Etemadi *et al.* (2003) kumlu zeminlerden  $Cu_{2+}$  iyonlarını xanthan gum ve guar gum biyopolimerini kullanarak %73 oranında temizlemeyi başarmıştır. Ayrıca yaptıkları deneylerde kumlu zeminin biyopolimer katkısı ile kayma dayanımının arttığını ve hidrolik geçirgenliğinin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, Mitchell and Santamarina (2005) biyopolimerlerin potansiyel uygulama alanlarının geçirimsiz bariyerlerde dayanım arttırımında ve sıvılaşma direncini arttırmada olabileceğini belirtmişlerdir. Geoteknik mühendisliğinde ise daha çok sondaj çukurları ve kazıların desteklenmesinde geçici amaçlarla kullanılmaktadır (Mitchell and Santamarina 2005). Martin *et al.* (1996) xanthan gum ile sıkıştırılmış Bonnie siltli zemini üzerinde hidrolik iletkenlik deneyleri yapmıştır. Bonnie siltli zemini sadece %0.3 oranında xanthan gum ile karıştırıldığında, optimum su içeriğinden daha yüksek su içeriğinde sıkıştırıldığında hidrolik iletkenlik 100 kat azalmıştır ve bu etki altı ay boyunca devam etmiştir. Karimi (1998) ise yine xanthan gum ile karıştırılmış Bonnie siltli zemini üzerinde yaptığı konsolidasyonlu-drenajlı üç eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre ise sıkıştırılmış zeminin kesme dayanımında zamanla artış gözlemlenmiştir. Zeminin maksimum deviator kesme dayanımında %30 artış %1 gum solüsyon katkısı ile 1 hafta içinde, %3 gum solüsyonu katkısı ile 4 hafta süre sonunda sağlanmıştır.

Kavazanjian *et al.* (2009) rüzgar erozyonunu önlemek amacı ile xanthan gum kullanmışlardır. Erozyonu önlemek amacı ile geotekstil veya diğer kimyasal iyileştirme yöntemlerine göre biyopolimer ile yapılan daha ekonomik ve kolay bir iyileştirme yöntemi olduğunu belirtmişlerdir ve biyopolimer katkısının iki hafta süreyle rüzgar erozyonunu önlediğini belirlemişlerdir. Biyopolimerlerin zemin stabilizasyonunda çok etkili bir malzeme olarak kullanılabileceğini eklemişlerdir. Orts *et al.* (2007) ise biyopolimer katkısı ile çok geniş bir alanda erozyon ve sel baskınlarını önlemek için biyopolimer malzemelerden yararlanmışlardır. Kullandıkları selüloz mikrofibriller ile erozyon kaynaklı sediman kayıplarını %90 mertebelerinde önlemişlerdir.

Bouazza *et al.* (2008), yaptıkları çalışmada ticari biopolimerlerin zeminlerin hidrolik iletkenliğine etkisini incelemişler ve sızıntı bariyeri olarak kullanılabilirliğini

araştırmışlardır. Biyopolimer olarak kullandıkları guar gum, xanthan gum ve sodyum aljinatın siltli kumların ve hidrolik iletkenliklerini azalttığı görülmüştür.

Cabalar and Canakci (2011), yaptıkları çalışmada xanthan gumın, kum zeminler üzerindeki etkisini direkt kesme deneyini kullanarak laboratuvar ortamında değerlendirmişlerdir. Deneysel veriler kum zemininin kayma dayanımının xanthan gum ile arttığını göstermiştir. Maksimum kayma gerilmesinin artışı %3 ve %5 xanthan gumı içeren numunelerde sırasıyla %14-%166 ve %93-%288 olmuştur. Maksimum kayma gerilmesinin azalması %1 xanthan gum içeren numunelerde %7-%60 arasında olmuştur. Bu çalışmada kür süresinin fazla etkili olmadığı belirlenmiştir.

Chang and Cho (2011), yaptıkları çalışmada zemin iyileştirmesinde biyopolimer kullanarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Ticari polimer olarak  $\beta$ -1,3/1,6-glukan Kore'nin rezidüel zeminlerinin dayanımını iyileştirmek için kullanılmıştır. Sıvı haldeki  $\beta$ -1,3/1,6-glukan polimeri farklı miktarlarda zeminle karıştırılıp farklı sıcaklıklarda küre bırakılmıştır.  $\beta$ -1,3/1,6-glukan polimerinin partikül yüzeyinin adsorpsiyonu ve gerilme direnci önemli derecede zeminin basınç dayanımını artırmaktadır. Dayanımın iyileştirmesinde maksimum değer 60°C kür sıcaklığında olmuştur.

Cole *et al.* (2012), çalışmalarının amacı biyopolimerler nasıl zemini güçlendirir ve biyopolimerlerin fizik tabanlı sayısal modellerde uygulamalarda küçük ölçekteki mekanik özelliklerinin ölçmesidir. Çalışmada kullanılan biyopolimer ekzopolisakkarit olmuştur. İlk deneylerde biyopolimer ile zemin taneleri arasındaki oluşan bağların sertliği bir saat içerisinde 1 GPa ve zaman geçtikçe bu değer 3.8 GPa ulaşmıştır. Boyun alanlarındaki bağlar  $0.01-0.06\text{mm}^2$  kohezif çekme direnci 16 ile 62 MPa arasında olmuş, ancak ortalama değer 20 MPa'dır.

Taytak *et al.* (2012), araştırmalarında iki farklı biyopolimer kullanarak zemin iyileştirmesi çalışmışlardır. Biyopolimer olarak xanthan gum ve kitosan kullanarak kompaksiyon ve hidrolik iletkenlik deneylerini biyopolimerlerin zeminin mühendislik özellikleri üzerinde etkisini incelemek için uygulanmıştır. Sonuçta xanthan gum ve

kitosan bentonit-kaolin ve kum karışımı zemin numunesinin maksimum kuru yoğunluğunu artırdığı bulunmuştur. Kaolin ve kum karışımı zeminde ise hidrolik iletkenliğinin azaldığı belirlenmiştir.

Khatami and O'Kelly (2012), kohezyonsuz zeminlerin iyileştirilmesinde biyopolimerlerin kullanılması ve potansiyeli üzerinde araştırma yapmışlardır. Deneysel olarak Agar agar %1-%4 oranlarında ve modifiye nişasta %0,5-%1 oranlarında kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre agar agar ve modifiye nişasta kum zeminlerin serbest basınç mukavemetini artırmış ve 158-487 kPa aralığında değerler elde edilmiştir. Ayrıca üç eksenli basınç deneylerinde biyopolimer katkısı kohezyonu artırmıştır.

Wiszniewski *et al.* (2013), bu çalışmada kumlu zeminlerde biyopolimer katkısı kullanarak sızıntı bariyeri oluşturabilirliği araştırılmıştır. Katkı malzeme polin sakaritler ve sudan oluşmaktadır. Çalışmanın amacı biyopolimer yüksek permeabiliteye sahip kumlu zeminlerde etkisini araştırmaktır. Buna göre numunelerde kullanılan biyopolimer miktarı kuru ağırlığa göre 0.5, 1.0 ve %1.5'dir. Deneysel sonuçlara göre biyopolimerlerin kullanılması ile hidrolik geçirgenlik önemli derecede azalmakta sadece kür süresinin artması ile hafif bir artış elde edilmiştir.

Akbulut and Cabalar (2014), bu çalışmada biyoteknolojinin zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği için bir seri deneysel araştırmalar uygulamışlardır. Buna göre kum zemin için farklı oranlarda xanthan gum kullanılmıştır. Serbest basınç ve kaliforniya taşıma oranı deneyleri iyileştirilmiş zeminin basınç dayanımı ve taşıma kapasitesini değerlendirmek için uygulanmıştır. Sonuç olarak kür süresinin artmasıyla kum zeminin serbest basınç dayanımı ve kaliforniya taşıma oranı değerleri artmıştır.

Chang *et al.* (2014), yaptıkları çalışmada xanthan gum kullanarak farklı zemin türleri üzerinde iyileştirme yapmışlardır. Sonuçlara göre xanthan gum fiberi kil partiküllerinin yüklü yüzeyi ile doğrudan etkileşime girdiği gözlemlenmiştir. Xanthan gumun güçlendirmede en büyük etkisi iyi derecelenmiş zemin üzerinde olmuştur.. Xanthan gumun güçlendirmede etkisi dört faktöre bağlı olarak izah edilmiştir: zemin türüne, su muhtevası, xanthan gum içeriğine ve karıştırma yöntemine göre.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

Temel tasarımında genellikle mümkün olduğu takdirde yüzeysel temeller kullanılmaya gayret edilir. Oturmaların büyük olduğu veya stabilite açısından yeterli güvenlik bulunmadığı durumlarda derin temel tasarımına veya alternatif olarak zemin iyileştirilmesine başvurulur. Karşılaşılan zeminler her zaman istenilen özelliklere sahip olmamaktadır. Zemin özelliklerinin proje kriterlerine uygun hale getirilmesi mühendislerin düşündüğü ve geliştirdiği bir konudur. Zemin iyileştirme yöntemlerinin hızla gelişmesi derin temellere göre ekonomik ve alternatif olmalarındandır (Anonim 2013).

Nüfusun artması, ekonomik göstergelerin yükselmesi, ihtiyaçların çeşitlenmesi; problemsiz alanlardaki daralmaya, buna karşılık problemliler alanlarda yapı yapmayaneden olmuştur. Yapılardaki boyutların büyümesi daha iyi zemin koşullarının gerekliliğini, daha yüksek düzeyde mühendislik becerisini ortaya çıkarmaktadır. Bu zorlamalar, zeminlerin arzu edilen performansının elde edilebilmesi için; çeşitli zemin iyileştirme yöntemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına başlıca neden teşkil etmiştir (Anonim 2013).

Her zemin iyileştirme yöntemi zeminin farklı bir parametresini daha iyi hale getirilmesine yöneliktir. Zeminin hangi özellikleri değiştirilmek veya iyileştirilmek isteniyorsa uygulanacak yöntem buna göre seçilmelidir. İyileştirme yöntemlerinin de zemin cinsi ve özellikleri ile ilgili olduğu göz önünde tutulmalıdır. Zemin cinsine göre tavsiye edilen iyileştirme yöntemleri Şekil 2.1'de verilmiştir (Anonim 2013). Bunun haricinde ise zeminlerin iyileştirilmesi iki kategoriye ayrılmaktadırlar. Bunlar yüzeysel iyileştirme yöntemleri ile derin iyileştirme yöntemleridir.

çakıl	kum	silt	kil
vibrokompaksiyon			
patlatma			
Daneli enjeksiyon			
Kimyasal enjeksiyon			
		Kompaksiyon enjeksiyonu	
		Ön yükleme	
		Dinamik kompaksiyon	
		Elektro-ozmoz	
		Zemin güçlendirmesi	
		Isı işlemi	
		Katkı malzemeleri ile	

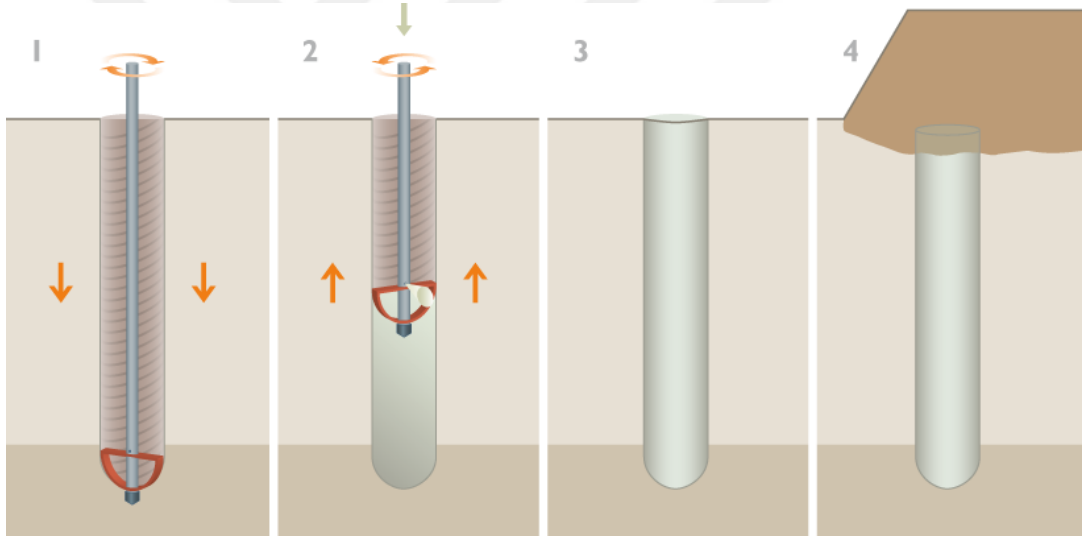
**Şekil 2.1.** Zemin iyileştirme yöntemlerinin gradasyonuna göre uygulanabilirliği

Yüzeysel zemin iyileştirilmesinden, zeminlerin katkılı veya katkısız olarak silindir vb. araçlar ile tabakalar halinde kompaksiyon yapılarak sıkıştırılması ve çeşitli drenaj uygulamaları anlaşılmaktadır. Mekanik stabilizasyon olarak adlandırılan bu yöntemde zemin türüne göre çeşitli katkıları (kireç, çimento, uçucu kül, bitüm, polimer ve kimyasal katkıları) ile karıştırılan zemin kompaksiyon ile sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma sonucunda zeminin boşluk oranı azalmakta ve mekanik özellikleri (mukavemet ve taşıma gücü gibi) iyileştirilmektedir. Drenaj yöntemi ise zemin boşluklarında bulunan suyun ortamdaki uzaklaştırılmasıdır (Ayan 2009).

### 2.1. Derin Karıştırma Yöntemi

Derin karıştırma yöntemi uygulaması giderek artan bir derin zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem, sıvılaşmanın azaltılması, dolgu stabilitesi, yapı temelleri, şev stabilitesi ve destekli kazı gibi geoteknik mühendisliğinin birçok alanında kullanılmaktadır. Derin karıştırma yönteminin tipik uygulama şeması Şekil 2.2’de verilmektedir. Özel olarak imal edilmiş karıştırma ekipmanları kullanılarak uygulanan bu yöntemde, ekipmanlar üzerinde bulunan enjeksiyon nozulları ile katkı (enjeksiyon sıvısı) zemine enjekte edilmektedir. Şekil 2.2’de verildiği gibi ekipman zemin içerisine yukarıdan aşağıya doğru kesme işlemi uygulayarak indirilir. Ekipmanın indirilmesi sırasında ve/veya yukarı çekilirken nozullardan enjeksiyon yapılabilir. Bu işlemler

uygulanırken zemin ile enjeksiyon malzemesi kesici bıçaklar ile karıştırılmakta ve derin karıştırma kolonları oluşturulmaktadır. Derin karıştırma yönteminde birçok bağlayıcı madde kullanılmaktadır. Granüler zeminlerde çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, polimerler ve bunların karışımları sıklıkla kullanılırken, ince daneli (killi zeminlerde) çoğunlukla kireç ve kireç-uçucu kül gibi kil mineralleri ile reaksiyona giren katkıları kullanılmaktadır. Kullanılan bağlayıcı maddenin miktarı zeminin özellikleri ve su muhtevasına bağlı olarak değişebilmektedir. Genellikle zemin hacminin %20-30'u kadar oranlara çıkılabilir. Bağlayıcı madde miktarı, ekipmanın geri çekme hızı, karıştırma hızı (dönme hızı) ve bağlayıcı maddenin su ile oranı değiştirilerek zemin iyileştirmesinin seviyesi ayarlanabilir.

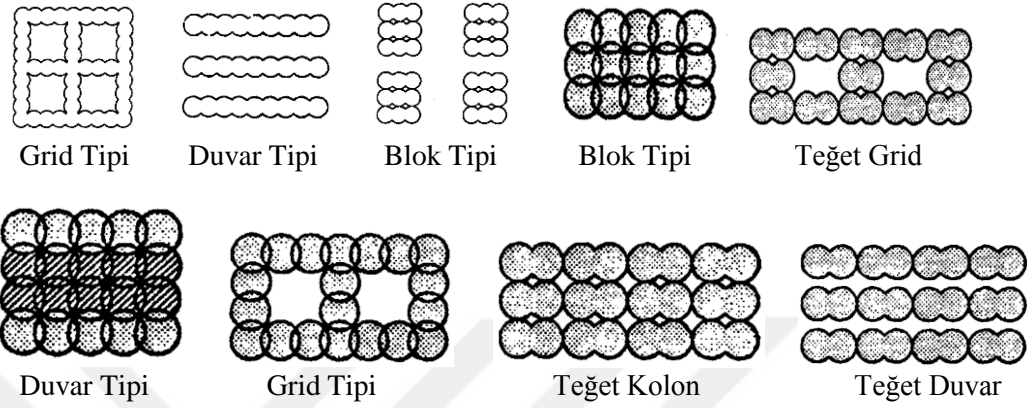


**Şekil 2.2.** Derin karıştırma yönteminin tipik şeması (Anonymous 2016a)

Derin karıştırma yöntemi ile zeminin dayanımı artar, sıkışabilirliği ve geçirimsizliği ise düşer. Tipik katkıları çimento ve kireçtir ancak çuruf veya diğer katkıları da kullanılabilir. Derin karıştırma kolonları tek başına, ayakları oluşturmak için gruplar halinde, duvarları için tek sıra halinde veya hücreleri oluşturmak için belirli kalıplarda uygulanabilirler. Bu işlem kaba-daneli zeminlerde sızdırmaz perde duvar oluşturmak için, kazı destek duvarları inşa etmek için ve sıvılaşabilir zeminleri stabilize etmek için kullanılabilir. Kolonları uygulama alanı ve şekline göre grid, duvar, teğet ve blok tipi



olarak farklı şekillerde uygulanabilir (Şekil 2.3). Derin karıştırma kolonlarının çapı genellikle 0,6 m ile 1,5 m ve derinliği ise 40 m ye kadar varabilir (Şekil 2.4)



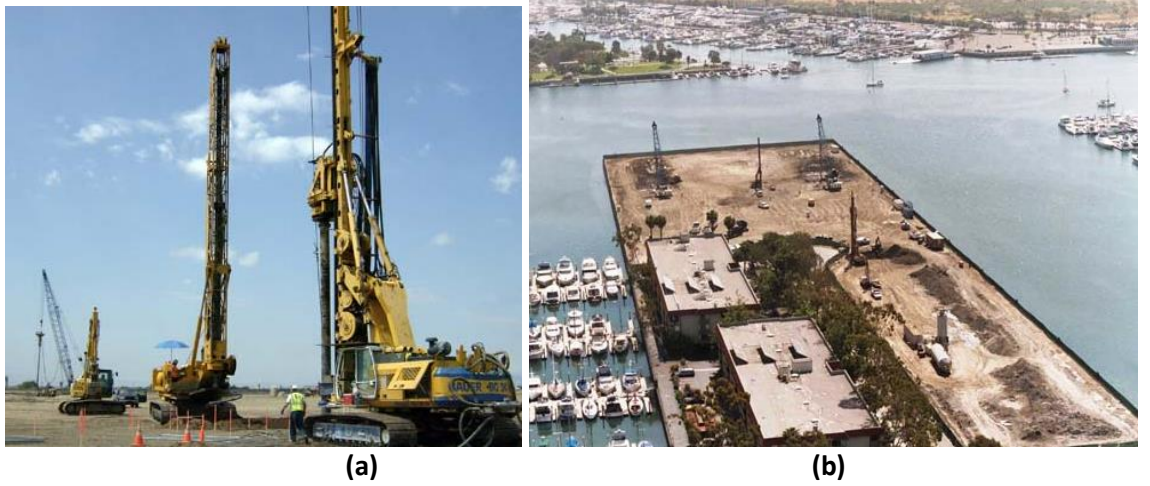
Şekil 2.3. Derin karıştırma uygulama şekilleri (Yang 1997)



Şekil 2.4. Derin karıştırma kolonlarının farklı uygulamalardaki çapları (Anonymous 2016b)

Derin karıştırma yöntemi, uygulamada çimento veya kireç su ile bir çamur oluşturacak şekilde önceden karıştırılır ve bağlayıcı sıvı halde zemin içerisine dağıtılır. Bu teknik

“ıslak derin karıştırma” olarak bilinir. Bu yöntem 1970’de Kawasaki Steel, Fudo ve Takenaka grubu tarafından çimento harcı ve çimento-su çamurunu bağlayıcı madde olarak derin çimento karışımı ve kontrol modüllü kolonlar yöntemlerinin geliştirmesinde kullanılmıştır. Daikoku Pier 1977’den itibaren 10 yıl boyunca derin karıştırmanın ıslak yönteminin geliştirilmesi üzerinde araştırma yapmıştır (Terashi 2002). Derin karıştırmanın ıslak yöntemi genel olarak derin çimento karıştırma yöntemi olarak adlandırılır (Terashi 2002). Derin ıslak karıştırma yöntemi deniz uygulamalarında özellikle kaplama duvarlarının temelini güçlendirmek amacıyla hemde iskele duvarı ve dalgakıran temellerinde kullanılır (Terashi 2002). Karıştırma bıçaklarının çapı 1,0-1,6 m arasında ve maksimum uygulama derinliği suyun altında 70 m dir. Arazide ise şev kaymasını ve sıvılaşmayı, oturmanın azaltılmasını ve temellerin taşıma gücünü artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Derin çimento karıştırma yönteminin standart ekipmanı iki şafttan, çapı 1 m olan karıştırıcı bıçağı ve uygulama derinliği yaklaşık 50 m’den oluşmaktadır. Islak karıştırma yönteminin denizde ve arazide uygulanması Şekil 2.5 verilmiştir.



**Şekil 2.5.** Derin ıslak karıştırmaya örnekler (Anonymous 2016c)

- (a) Arazide uygulanan  
(b) Denizde uygulanan

Suya doymun zemin ortamları, denizel zemin ortamları ve yeraltı su seviyesi altında yapılacak iyileştirmelerde derin karıştırma yöntemi bağlayıcı maddenin kuru olarak enjeksiyonu ile uygulanabilir. Bu tekniğe kuru derin karıştırma yöntemi adı

verilmektedir. Su muhtevasının yüksek olduğu zemin ortamlarında çimento, kireç vb. bağlayıcıların reaksiyonu için yeterli su bulunması sebebiyle bu yöntem tercih edilmektedir.

Bu yöntem ilk olarak 1978'de Japonya'da arazi uygulamasında bağlayıcı pnömatik besleme sistemi ile uygulanmış ve kuru jet karıştırma adı verilmiştir. Mevcut standarta göre derin kuru karıştırma ekipmanı iki şafttan, karıştırıcı bıçağının çapı 1.0m ve maksimum nüfuz 33m'den oluşmaktadır. Şekil 2.6'da derin kuru karıştırma ekipmanı gösterilmiştir. Derin kuru karıştırma yöntemin 21 yıllık bir süre içinde kullanılmış bağlayıcı maddelere göre şöyle sıralanabilir: portland çimentosu %28, cüruf çimentosu B tipi %30, çimento %33, sönmemiş kireç %8 ve diğerleri %1 (Aoi 2002).



**Şekil 2.6.** Derin kuru karıştırma (Anonymous 2016d)

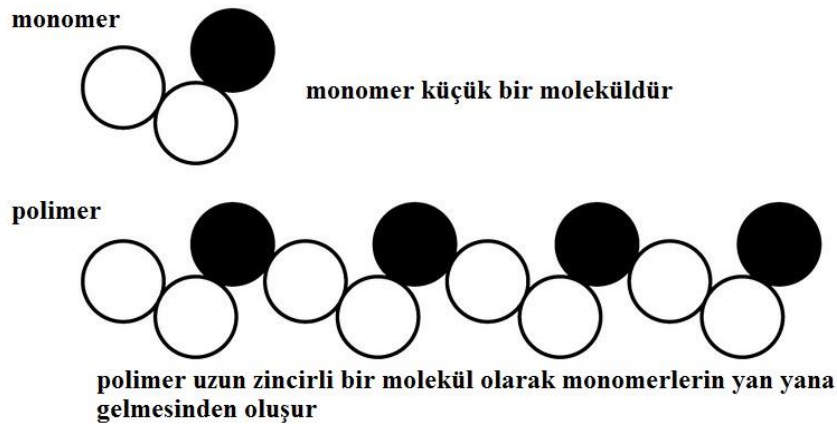
Derin karıştırma uygulamasında kullanılacak bağlayıcı seçiminde şu hususlar dikkate alınmaktadır; zemin iyileştirmesinin amacı (taşınma gücünün artırılması, oturmaların

azaltılması, şev stabilitesi vb.), zeminin mekanik özelliklerinden hangisinin iyileştirileceği (kayma mukavemeti, konsolidasyon, hidrolik iletkenlik vb.), maliyet ve bağlayıcı maddenin temin edilme kolaylığı. Bağlayıcı maddelerden en çok kullanılan özellikle granüler zeminler (kum ve çakıl) için çimentodur. Bunun yanında Japonya ve İskandinav ülkeleri gibi birçok denizel yumuşak killerin yoğun bulunduğu alanlarda kireçte sıklıkla kullanılmaktadır. Kireç, Çin ve Romalılar tarafından da kullanılmış en eski stabilizasyon malzemesidir. Derin karıştırmada kireç kullanıldığında üretilen kolonlara özel olarak kireç kolonları da denilmektedir (Tumluer 2006).

Çimento ve kireç en önemli bağlayıcı maddelerden ikisi olarak derin karıştırma yönteminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek fırın cürufu, alçı, kül ve bunların diğer yan ürünleriyle birlikte, kombinasyonları da kullanılmaktadır (Moseley and Kirsch 1993).

## 2.2. Polimer ve Biopolimerler

Monomer adı verilen küçük moleküllerin uzun bir zincir oluşturacak şekilde bir araya gelmesi ile yüksek molekül ağırlıklı bileşikler yani polimerler oluşmaktadır. Monomerler aynı veya farklı atomik gruplar şeklinde olabilirler. (Şekil 2.7).



**Şekil 2.7.** Monomer molekülleri polimerizasyon reaksiyonu ile birbirine bağlanarak büyük polimer moleküllerini oluştururlar (Anonymous 2016e)

Polimerlerin çoğunluğu karbon bileşiklerinden oluştuğu için organik kimyasal madde olarak kabul edilirler. Polimerler doğal ve yapay (suni) olmak üzere iki temel gruba ayrılabilirler. Doğal polimerler hayatın birçok alanında karşımıza çıkan bitkilerdeki selüloz, kauçuk, nükleik asit, protein vb. maddelerdir. Her geçen gün çeşidi ve kullanım alanı önlenemeyen bir şekilde artan suni polimerler ise plastikler, naylon, sentetik lifler vb. olarak karşımıza çıkmaktadır (Anonim 2016a). Polimerler, sağlıktan savunma sanayiye, uzay teknolojilerinden tekstil endüstrisine her alanda geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Bir diğer polimer sınıfı ise canlılar (bitki ve hayvanlar tarafından) oluşturulan biyopolimerlerdir. Gıda sektörü başta olmak üzere, kozmetik, tekstil, eczacılık, inşaat, petrol arama gibi pek çok farklı alanda kullanılan biyopolimerler elde edilme şekli veya üretim şekline göre çok farklı tür ve özelliklerde olmaktadır. Geçmişte sadece bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalardan elde edilebilen biyopolimerler günümüzde değişik üretim aşamaları kullanılarak üretilmektedirler. Birçok polimerin (özellikle petrol esaslı olanlar) doğada geri dönüşümünün zor olması, çevreye ve insan sağlığına verdikleri zararlar sebebiyle, doğal kaynaklardan elde edilen ve de zamanla bozunabilen biyopolimerler endüstriyel uygulamalarda daha çok kullanılmaktadır (Günister 2007).

Biyopolimerlere örnek olarak insan vücudunun temel taşı olan RNA ve DNA gösterilebilir. Bunun yanında amino asit ve şeker gibi monomerlerden oluşan proteinler, nişasta ve selülozda en çok karşımıza çıkan biyopolimerler arasındadır. Bitkilerin yaklaşık %33'lük kısmını oluşturan selüloz organik bir bileşiktir ve dünya da en çok bulunan biyopolimerdir. Ağaçların yaklaşık %50'si, pamuğun ise %90'ından fazlası selülozdur. Biyopolimerlerin birçoğu kendine özgü şekillerde katlanarak biyolojik fonksiyonlar edinirler. Biyopolimerlerin sentezi çoğu zaman canlı içinde gerçekleştiği için aynı tür biyopolimer her zaman aynı özellikleri gösterir. Bu sebeple benzer dizidedirler, benzer sayıda monomere ve aynı ağırlığa sahiptirler (Anonim 2016b). Ticari olarak birçok endüstride kullanılan çeşitli biyopolimerler vardır. Bunlar, guar gum, agar agar, tara gum, arabik gum, keçiyoynuzu gum, xanthan gum vb.'dir.

### 2.2.1. Jelatin

Jelatin; hayvansal kaynaklı protein olup, bu canlıların kemik, bağ dokuları ve bağırsaklarından elde edilir. Jelatinlerin yapısı büyük oranda proteinlerden geri kalanı ise su ve minerallerden oluşmaktadır. Bu maddeler, kesimhane ve et kurumlarından elde edilerek, sağlıklı koşullarda tüketime elverişli şartlarda toplanmaktadır (Anonim 2016c). Jelatin içeren tüketim maddeleri Şekil 2.8’de görülmektedir.



**Şekil 2.8.** Jelatin kullanılarak üretilen gıda maddeleri (Anonim 2016c)

Jelatin, kıvam artırma ve jelleştirme özellikleri sebebiyle gıda maddesi olarak kullanılabilir. Jelatin kendine has özelliği nedeniyle sıcaklık değerine bağlı olarak geri dönüşüm sağlanıp jel kıvamını alabilir. Jelatini içeren solüsyon soğutulduğu zaman, jel oluşur, jel ise ısıtılarak yeniden sıvı kıvam elde edilir. Tüm bu işlemlerin meydana gelmesi sıcaklık değerlerinin birbirine yakın olduğu aralıkta meydana gelir ve bu işlemler yenilenebilir. Bu özellikler, jelatinin geniş uygulama alanlarında yer almasını sağlar, bu durum jelatinlerin en belirgin özelliğidir. Jelatinler, çeşitli sınıflardan oluşmaktadır. En önemli sınıflama jel gücü veya jel sıklığı olarak tanımlanan ve Bloom adı verilen sınıflamadır. Diğer gruplandırmalar ise, jelleşme noktasına ve ergime noktası dikkate alınarak yapılan gruplandırmalardır. Jelatinler ortalama 50-300 Bloom jel gücüne sahiptir.

### 2.2.2. Guar Gum

Guar gum, yada guaran, siyam baklası besin dokusundan üretilen kıvam arttırıcı bir maddedir. Canlılar için besin kaynağı olarak kullanılabilir. Toz halde su içerisinde hidratlanabilme özelliği ve gıda endüstrisinde birçok uygulama alanı bulan koloidal çözelti özelliği göstermektedir (Şekil 2.9) (Anonim 2016d).



**Şekil 2.9.** Farklı durumlardaki guar gum (Anonim 2016d)

Su içerisinde hidratlaşma özelliği gösteren guar gum, karıştırıldığı maddenin viskozite değerini hızlı bir şekilde yükseltmekte, herhangi bir ısı uygulanmadan kısa süre içerisinde nihai vizkozite değerinin yarısına kadar gelmektedir. Nötr yapıdaki guar gum; başka gıda bileşenleri ile uyum içerisinde olup, nişasta, selüloz, agar, K-karegenan ve xanthan gum ile reaksiyona girmektedir. Bu durum, selüloz ile bağ yapma olarak meydana gelirken, suda çözünen proteinler ile viskozite artışı olarak görülmektedir. Örnek olarak guar gum ve xanthan gum karışımında gözlenen viskozite; her bir gum ayrı ayrı kullanıldığında elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek kalmaktadır. Guar gum ve selülozun moleküler etkileşimi, esasen yağ muadili olarak kullanılan madde üretiminde kullanılır (Anonim 2016d).

### 2.2.3. Tara Gum

Tara gum da bir gıda katkı maddesidir. Tara ağacı çekirdeğinin besli dokusundan fiziksel yollarla elde edilir (Şekil 2.10). Saf tara gum toz halindedir, tampon tuzlar veya guar gum içermezler. Tara gumda galaktoz ve mannose miktarı yarısından daha azdır. Bu miktar keçiyoynuzu gumda 4'te 1'i ve guar gumda ise yarısı kadardır. Tara gum ile keçiyoynuzu gumu mukayese edildiği zaman, tara gumun çözünürlüğü ve viskozitesi sıcakta ve soğukta keçiyoynuzu gumdan daha üstün özellik göstermektedir. Tara gum, guar guma benzer olarak soğuk çözünme özelliği gösterir. Aynı zamanda birkaç dakika sonra su, süt ve diğer düşük kuru maddeli sistemlerde en yüksek kıvam değerine ulaşır. Tara gumun kullanım alanları; dondurmalar, çabuk çorbalar, meyve suları, peynir,

fermente süt ürünleri, dondurulmuş tatlılar, salata sosları, çeşniler ve soslar (ketçap, mayonez, hardal), unlu mamuller ve bebek gıdalarıdır (Anonim 2016e).



**Şekil 2.10.** Tara guma (Anonim 2016e)

#### 2.2.4. Xanthan Gum

Xanthan gum (Ksantan Gam) (E415); gıda üretiminde stabilizatör ve kıvam arttırıcı katkı maddesi olarak kullanılır. Xanthan gum çok düşük konsantrasyonda bile yüksek oranda kıvam verir. Pek çok gıda mamlnde %0,05 - %0,5 oranında Xanthan gum kullanılır (Şekil 2.11).

Xanthan gum (ksantan gam) (E415) kullanım alanları gıda, ilaç, kozmetik, tarım, evcil hayvan mamaları, işlenmiş et ürünleri, pasta ve unlu mamller, soslar, bira, dondurma, makarna, meyve suları, peynir üretimi ve dondurulmuş gıdalar (Anonim 2016f).



**Şekil 2.11.** Xanthan Gum (Anonim 2016f)



### 2.2.5. Sodyum Aljinat (NaAL)

Gıda ürünlerinde kıvam arttırıcı özelliğinden dolayı katkı maddesi olarak kullanılır. Doğal bir polisakkarit olan aljinik asitin sodyum tuzudur. Aljinik asit, kahverengi deniz yosununun hücre duvarından üretilir. Aljinik asit kokusuz, saydam özellikte olup, lifli ya da granüler toz yapıdadır. Kimyasal formülü ( $C_6H_7NaO_6$ )n olan sodyum aljinatın molekül ağırlığı yüksek değerlidir. Kıvam arttırıcı, emülsiyon sabitliğini sağlayıcı, jelleştirici ve viskozite arttırıcı olarak gıda endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Anlaşılır bir tadı yoktur ve sindirilme özelliği göstermez. Sodyum Aljinat Sağlık, tekstil ve sanayi alanlarında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Sodyum aljinat ekleri, çimento, alçı ve harcın plastik kıvamını arttırdığı için inşaat malzeme üretiminde de yer bulmaktadır. Plastik tutkallarda, duvar kağıdı tutkallarında, cam macunlarına, pilin katmanları arasında izolasyonu sağlamada, yapay tahta üretiminde sodyum aljinat kullanılır (Anonim 2016d).

### 2.2.6. Topiyoka nişastası

Topiyoka, Manihot esculenta bitkilerinin kökünden, ekstraksiyon metodu ile üretilen tatsız, kokusuz ve renksiz bir tür nişastadır. Topiyoka, gıda maddelerinde renklendirici olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır. Glutensizdir ve neredeyse hiç protein içermez. Topiyoka bitkisi kırmızı ve yeşil dallardan meydana gelmektedir. Kırmızı renkteki kökten, gıdalarda doğrudan kullanılırken, yeşil renkteki kökten faydalanabilmek için içerisindeki toksin ayrıştırılmalıdır. Gıda sektöründe kullanılan değişik renk ve boyutlarda topiyoka nişastaları mevcuttur. Bunlar arasında en çok tercih edilen inci topiyokalar ve çubuk topiyokalardır. Topiyokalar gıda endüstrisinde ve ilaç sanayiinde geniş kullanım alanı bulmaktadır (Anonim 2016g).

### 2.2.7. Metil selüloz (MC)

Metil selüloz, selülozdan üretilen kimyasal bileşendir. Saf halde, hidrofilik beyaz toz halde ki metil selüloz, soğuk su içerisinde yoğun bir çözelti ya da jel olarak çözünme

özelliği gösterir. Metil selüloz da sindirilme özelliği göstermez, toksik ve alerjik değildir. Bir diğer adı; selüloz metil eterdir. Metil selüloz kimyasal özellik bakımından, selülozun bazı hidroksil gruplarındaki hidrojen atomlarının metil gruplar ile yer değiştirilmesi (-OCH<sub>3</sub>) sonucu oluşan selülozun metil eterlerindedir. Tabiatta mevcut değildir ve kostik çözelti (örneğin; sodyum hidroksit çözeltisi) ile selülozu kaynattıktan sonra, metil klorür ile kimyasal tepkime sonucu yapay olarak üretilir (Anonim 2016h).

### 2.2.8. Karboksi metil selülöz (CMC)

Karboksimetil selüloz ya da sodyum karboksimetil selüloz (CMC) gıdalarda kıvam arttırıcı katkı maddesi olarak kullanılır. CMC anyonik, suda çözünebilir polimer, selülozun karboksile edilmesiyle üretilir ve selüloz eterleri grubuna girer. Kimyasal formülü  $C_6H_7O_2(OH)_2OCH_2COO_2$  dir, saydam özellikte olup lifli formdadır. Karboksimetil selüloz sıcak ve soğuk su içerisinde çözümlenme özelliği gösterebilir, fakat organik çözücülerde çözünmez, su/alkol sistemleriyle uyumludur. CMC'nin fonksiyonel özellikleri selülozun yapısal özelliklerine (örneğin; içerdiği hidroksil gruplarına) bağlıdır. Kullanıldığı ürünlerde viskoziteyi jelleştirmeden arttırır. CMC'nin doğal pH'ı 8.25 iken ticari olarak daha iyi çözümlenmesi amacıyla 7-7,5 pH'ta üretilir. Ürünün pH'ı düşürüldükçe, çözümlenirliği de azalır, 4 ve altı pH'larda suda çözünmez hale gelir. Koyulaştırıcı, su tutucu, sabitleyici, kolloit engelleyici, süspansiyon hali koruyucu, geciktirici, akıcılığı kontrol edici olarak gıdalarda ve diğer endüstrilerde kullanılır. Yağlara ve organik çözücülere karşı dayanıklı, su ve oksijen geçirgenliği olmayan ince tabakalar oluşturur. Uygulama alanı olarak kozmetik ve sağlık sektöründe elverişli özellikler göstermesi bakımında geniş kullanım alanı bulmaktadır.

### 2.3. Donma-Çözölme Davranışı

Su donduğu zaman hacminde %9 artış olur. -22°C'de, buzun hacminde artışlar nedeniyle 207MPa'a kadar basınçlar oluşturabilir, daha fazlası kayaların dağılmasına neden olabilir (Tsytoovich 1975; Matsuoka and Murton 2008). Suyun kılcal kanallar yolu ile zemin veya kaya içine sızması ve sıcaklığın sıfırın altına düşmesi sebebiyle buz

kristalleri oluşarak ve genişmeye başlar, sıcaklık sıfırın üstüne ulaştığı zaman buz suya dönüşür, bu durumun tekrarlanmasına donma-çözülme işlemi denilir.

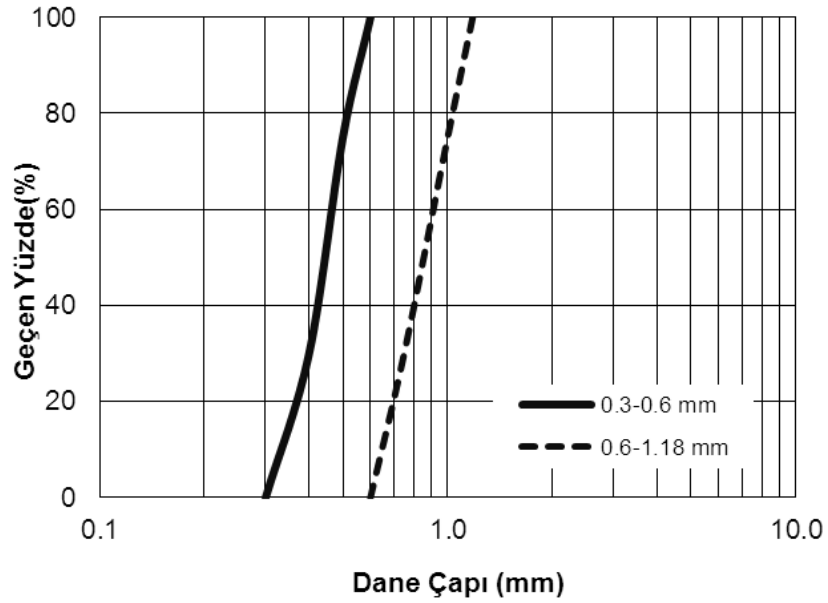
İnce ve kaba (granüler) daneli zeminlerin su muhtevasının değişmesiyle oluşan ıslanma-kuruma ve kış aylarında özellikle soğuk iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde sıcaklığın değişmesiyle oluşan donma-çözülme çevrimleri zemin yapısını etkileyen ve olumsuz sonuçlar doğuran (mukavemet kaybı gibi) etkilerdir. Zeminler bölgesel ve iklimsel değişimlere bağlı olarak farklı sıcaklık ve nem rejimlerine maruz kalmaktadırlar. Bu tür değişimler zeminlerin fiziksel yapılarına etkileyerek bir çok mühendislik özelliklerinin değişimine sebep olmaktadır. Özellikle kış aylarında zeminin su muhtevastaki değişimler ve sıcaklık değişimleri ile birlikte donma-çözülme olayı ve donma-çözülme çevrim sayısı da zemin davranışı üzerinde etkili olmaktadır (Özgan *et al.* 2012). Soğuk iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde diğer mevsimsel etkilerin yanında donma-çözülme etkisi zeminlerin fiziksel ve mühendislik özellikleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu için dikkatle incelenmesi ve araştırılması gereken bir konudur. Kanada ve İskandinav ülkeleri başta olmak üzere soğuk iklim etkisinin önemli olduğu bölgelerde doğal zeminlerin ve iyileştirilmiş zeminlerin donma-çözülme davranışını konu alan çalışmalar artarak devam etmektedir. Yapılan bu çalışmalarda donma-çözülme çevrimleri sırasında zemin dokusunda önemli değişimler olduğu belirlenmiştir (Chamberlain *et al.* 1990).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kum

Çalışma kapsamında Horasan-Erzurum'dan temin edilen dere kumu kullanılmıştır. Araziden alınan kum etüvde 105°C sıcaklığında kurutulup, sonra eleklerden elenerek kullanılmıştır. Kuma ait dane çapı dağılımı ve bazı geoteknik özellikleri Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Kum numunelerine ait dane dağılımı eğrileri Şekil 3.1'de ve belirlenen bazı geoteknik özellikleri ise Çizelge 3.1'de verilmiştir. Arazide suya doymun gevşek ince kumu (sıvılaştırılabilir bir zemini) temsil edebilmek için deneylerde 0,3-0,6 mm ve 0,6-1,18 mm aralığındaki kum %30 rölatif sıkılıkta suya doymun olarak laboratuvarda hazırlanmıştır.



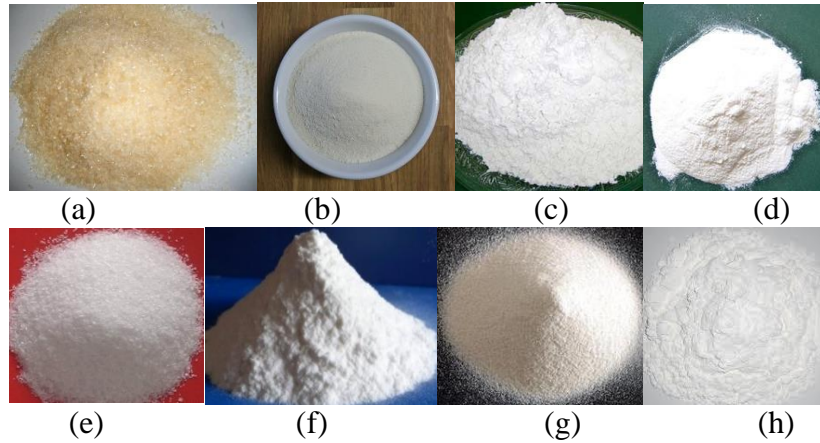
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kumlara ait dane çapı dağılım eğrileri

**Çizelge 3.1.** Deneyleerde kullanılan kumun özellikleri

Geoteknik Özellikler	Kum	0.6mm-1.18mm Kumu	0.3mm-0.6mm Kumu
Zemin sınıflandırması (USCS'ye göre)	SP		
Özgül ağırlık, $G_s$		2.64	2.66
Max boşluk oranı		92	84
Min boşluk oranı		63	61
$D_{10}$ , mm		0.65	0.34
$D_{30}$ , mm		0.76	0.40
$D_{60}$ , mm		0.91	0.47
$C_u$		1.40	1.38
$C_c$		0.98	1.00

### 3.1.2. Biyopolimerler

Deneyleerde biyopolimer olarak sığır jelatini, xanthan gum, guar gum, tara gum, metil selüloz, karboksi metil selüloz, sodyum alijinat ve tapiyoka nişastası (Şekil 3.2) farklı oranlarda kullanılmıştır. Tüm biyopolimerler Hammaddeler.com firmasından temin edilmiştir.

**Şekil 3.2.** Deneyleerde kullanılan biyopolimerler

- (a) sığır jelatini
- (b) xanthan gum
- (c) guar gum
- (d) tara gum
- (e) metil selüloz
- (f) karboksi metil selüloz
- (g) sodyum alijinat
- (h) tapiyoka nişastası

## 3.2. Yöntem

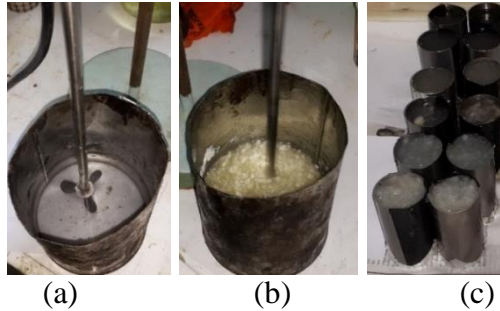
### 3.2.1. Biopolimer karışım oranlarının belirlenmesi

Çalışmada kum zeminlerin derin karıştırma ile iyileştirilmesinde kullanılacak biopolimer çeşidi ve karışım oranlarının belirlenmesi için birkaç seri ön deneyler yapılmıştır. Üç aşamada gerçekleştirilen bu ön deneylerde öncelikle biopolimer karışımlarının oda sıcaklığında stabilitesi araştırılmış daha sonra kum zemin ile etkileşimi araştırılmıştır.

#### a) Oda Sıcaklığında Yapılan Deneyler:

Çalışmada öncelikli olarak biopolimerlerin su ile etkileşimi ve stabilitesini inceleyebilmek için biopolimer-su karışımları hazırlanmış ve hazırlanan karışımlar metal silindirik kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplar standart serbest basınç numunesi boyutundadır (D=38 mm, H=76 mm).

Biyopolimer-su karışımları hazırlanırken öncelikle 1000 rpm hızında yeterli miktardaki 80°C'deki çeşme suyu bir kap içerisinde karıştırılmaya başlamıştır (Şekil 3.3a) daha sonra biopolimer yavaş yavaş katılarak karıştırma işlemi yaklaşık 5 dakika boyunca devam etmiştir (Şekil 3.3b). Elde edilen biopolimer-su karışımları metalik kalıplara yerleştirilecek oda sıcaklığında kür olması için bırakılmışlardır (Şekil 3.3c).



**Şekil 3.3.** Oda sıcaklığında hazırlanan numuneler

a) Metal kaba yerleştirilmiş 80°C'deki sıcak su  
b) Biopolimerin yüksek hızla karıştırılması c) Metal kalıplara dökülmüş biopolimer karışımları

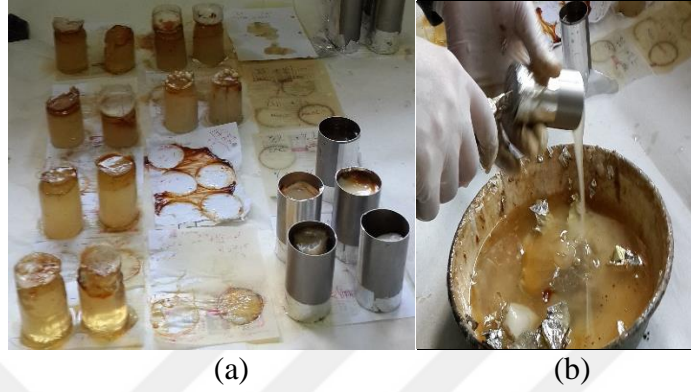
Farklı biyopolimerlerin davranışını inceleyebilmek için 7 farklı biyopolimer farklı yüzdelerde kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de bu aşamada kullanılan biyopolimerler ve yüzdeleri verilmektedir.

**Çizelge 3.2.** Oda sıcaklığında hazırlanan numunelerin karışım oranları

No	Biyopolimer Miktarı (%)						
	Xanthan gum	Guar gum	Tara Gum	Nişasta	D-glikoz	Jelatin	Na-Al
O1	1						
O2	2						
O3	4						
O4		1					
O5		2					
O6		4					
O7			1				
O8			2				
O9			4				
O10				1			
O11				2			
O12				4			
O13					5		
O14					10		
O15					15		
O16						5	
O17						10	
O18						15	
O19							1
O20							2
O21							4

Hazırlanan numuneler her gün kontrol edilerek sertleşip sertleşmedikleri belirlenmeye çalışılmıştır. 7 gün sonunda birçok numunenin buharlaştığı ve sertleşmediği gözlenmiştir (Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b). Jelatin numuneleri haricindeki tüm numuneler kalıptan çıkamayacak durumda elde edilmişlerdir. Biyopolimerlerin sertleşmemesinin

sebebi olarak 80°C’de hazırlanan numunelerin karışım esnasında sıcaklığın azalması olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 3.4.** 7 gün bekletilen numunelerin durumu

- a) 3 gün sonrası kalıplardan çıkarılmış numuneler
- b) 3 gün sonrası donmamış biopolimer sıcak su karışımı

b) Sıcaklığı Sabit Tutularak Yapılan Deneyler:

Khatami and O’kelly (2012) ve Akbulut and Cabalar (2014) çalışmaları incelendiğinde 80°C’de biyopolimerlerin sertleştiği anlaşılmaktadır. Yapılan ön deneylerde biyopolimerlerin sertleşmemesinin sebebi olarak, karıştırma esnasında sıcaklığın değişmesi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple yeni bir seri deney yapılmıştır. Bu deney serisinde biopolimer sayısı 9’a çıkarılmıştır. Ayrıca biyopolimerler ikili olarak karıştırılarak daha iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Bu aşamada kullanılan biyopolimer çeşitleri ve yüzdeleri Çizelge 3.3’te verilmektedir.

**Çizelge 3.3.** Sabit sıcaklıkta (80°C) hazırlanan numunelerin karışım oranları

Biopolimer Miktarı (%)									
No	Xanthan gum	Guar gum	Tara Gum	Nişasta	D-glikoz	Jelatin	Na-Al	CMC	MC
S1	0,5	-	-	-	-	-	-	0,5	-
S2	-	0,5	-	-	-	-	-	0,5	-
S3	-	-	0,5	-	-	-	-	0,5	-



Çizelge 3.3. (devam)

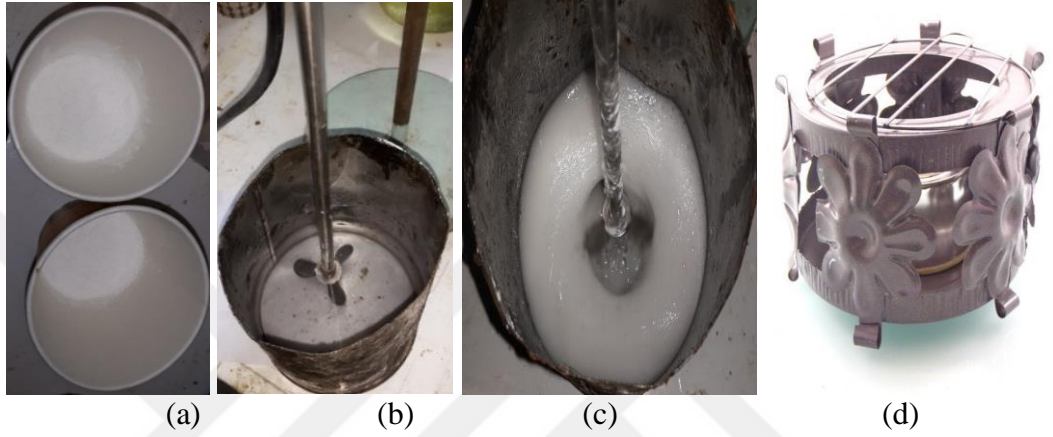
S4	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5	-
S5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	0,5
S6	-	0,5	-	-	-	-	-	-	0,5
S7	-	-	0,5	-	-	-	-	-	0,5
S8	-	-	-	-	-	-	0,5	-	0,5
S9	0,5	-	-	0,5	-	-	-	-	-
S10	-	0,5	-	0,5	-	-	-	-	-
S11	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-
S12	-	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-
S13	0,1	-	-	-	-	-	-	0,1	-
S14	-	0,1	-	-	-	-	-	0,1	-
S15	-	-	0,1	-	-	-	-	0,1	-
S16	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-
S17	0,1	-	-	-	-	-	-	-	0,1
S18	-	0,1	-	-	-	-	-	-	0,1
S19	-	-	0,1	-	-	-	-	-	0,1
S20	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1
S21	0,1	-	-	0,1	-	-	-	-	-
S22	-	0,1	-	0,1	-	-	-	-	-
S23	-	-	0,1	0,1	-	-	-	-	-
S24	-	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-
S25	2	-	-	-	-	-	-	2	-
S26	-	2	-	-	-	-	-	2	-
S27	-	-	-	-	-	-	-	2	-
S28	-	-	-	-	-	-	2	2	-
S29	2	-	-	-	-	-	-	-	2
S30	-	2	-	-	-	-	-	-	2
S31	-	-	-	-	-	-	-	-	2
S32	-	-	-	-	-	-	2	-	2
S33	2	-	-	2	-	-	-	-	-
S34	-	-	-	2	-	-	-	-	-
S35	-	-	2	2	-	-	-	-	-
S36	-	-	-	2	-	-	2	-	-
S37	1	-	-	-	-	5	-	-	-

**Çizelge 3.3.** (devam)

S38	-	-	-	-	-	5	-	-	-
S39	-	-	1	-	-	5	-	-	-
S40	-	-	-	-	-	5	1	-	-
S41	1	-	-	-	-	10	-	-	-
S42	-	1	-	-	-	10	-	-	-
S43	-	-	1	-	-	10	-	-	-
S44	-	-	-	-	-	10	1	-	-
S45	1	-	-	-	-	15	-	-	-
S46	-	1	-	-	-	15	-	-	-
S47	-	-	1	-	-	15	-	-	-
S48	-	-	-	-	-	15	1	-	-
S49	-	-	-	-	5	-	-	1	-
S50	-	-	-	-	-	-	-	1	-
S51	-	-	-	-	5	-	-	-	1
S52	-	-	-	-	-	-	-	-	1
S53	-	-	-	1	5	-	-	-	-
S54	-	-	-	1	-	-	-	-	-
S55	-	-	-	-	10	-	-	1	-
S56	-	-	-	-	-	-	-	1	-
S57	-	-	-	-	10	-	-	-	1
S58	-	-	-	-	-	10	-	-	1
S59	-	-	-	1	10	-	-	-	-
S60	-	-	-	1	-	10	-	-	-
S61	-	-	-	-	5	-	-	1	-
S62	-	-	-	-	-	5	-	1	-
S63	-	-	-	-	-	-	-	-	1
S64	-	-	-	-	-	5	-	-	1
S65	-	-	-	1	-	-	-	-	-
S66	-	-	-	1	-	5	-	-	-

Isı kaybı problemini çözebilmek için biyopolimer-su karışımlarının hazırlanmasında ısıtıcı kullanılarak deneylere devam edilmiştir. Deneylerde 80°C deki kaynar su metal kaba konulmuş metal kap ısıtıcı üzerine yerleştirilerek ısı kaybı olmadan daha önce

hazırlanmış toz karışım yavaş yavaş sıcak suya eklenmiştir. 1000 rpm hızda karıştırıcıda yaklaşık 5 dk boyunca karıştırılan çözelti kalıplara dökülmüş ve 7 gün oda sıcaklığında sertleşmeye bırakılmıştır. Şekil 3.5'te numunelerin hazırlanma aşamaları Şekil 3.6'da ise kalıplara dökülmüş numunelerin fotoğrafları verilmektedir.



**Şekil 3.5.** Su sıcaklığı sabit tutularak hazırlanan numuneler

- a) Toz halindeki biyopolimer
- b) Mekanik karıştırıcıda sıcak su karıştırılırken
- c) Mekanik karıştırıcıda biyopolimer karışımının hazırlanması
- d) Su sıcaklığını sabit tutmak için kullanılan ısıtıcı

Biopolimer-su karışım numuneleri 3 gün sonunda kalıplardan çıkarılmış ve 7. gün sonunda serbest basınç deneyi yapabilmek için bekletilmiştir. 7. gün sonunda numuneler sertleşmiş olmasına rağmen yumuşak kıvamında bir yapı kazanmıştır. Fakat bu numuneler serbest basınç deneyi yapılabilecek yapıda olmamıştır. Görsel olarak incelenerek yumuşak (lastik) yapısına sahip ve kum zeminlerde derin karıştırma ile iyileştirmede kullanılacak biyopolimer oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta Çizelge 3.4'te verilen oranlarda biyopolimer karışımlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Tüm karışımlarda jelatin kullanılmıştır.

**Çizelge 3.4.** Çalışmada kullanılmasına karar verilen biyopolimer karışım oranları

No	Biyopolimer Miktarı (%)									
	%10 Jelatin					%15 Jelatin				
	Xanthan gum	Guar gum	Tara gum	Na-Al	CMC	Xanthan gum	Guar gum	Tara gum	Na-Al	CMC
K1	%1									
K2		%1								
K3			%1							
K4				%1						
K5					%1					
K6						%1				
K7							%1			
K8								%1		
K9									%1	
K10										%1
K11	Sadece %10 Jelatin									
K12						Sadece %15 Jelatin				

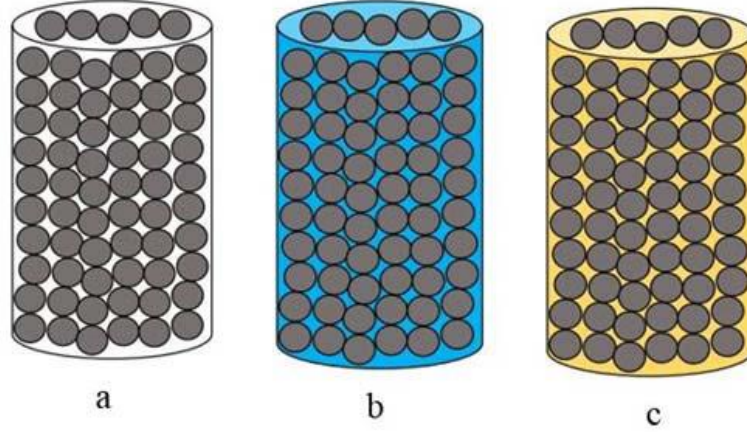


**Şekil 3.6.** Sabit sıcaklıkta hazırlanan biyopolimer-su karışım numuneleri

### 3.2.2. Biyopolimer ile derin karıştırma uygulanmış kum numunelerin hazırlanması

Çalışmada taşıma gücü ve sıvılaştırma probleminin olduğu suya doymuş gevşek kum zeminlerin derin karıştırma ile iyileştirmesini araştırabilmek için iki farklı gradasyonda kum zemin kullanılmıştır. %30 rölatif sıklığa sahip suya doymuş kum zeminler, Çizelge 3.4'te verilen 12 farklı biyopolimer karışımı kullanılarak derin karıştırma yöntemi ile

labratuvarda iyileştirilmiştir. Hazırlanan numunelerin şematik görüntüsü Şekil 3.7’de verilmiştir.



**Şekil 3.7.** Biopolimer-kum numunelerinin hazırlanmasında şematik görüntü  
 (a) % 30 rölatif sıklıkta kuru kum numunesi ( $D=0,38$  cm,  $H=7,6$  cm boyutlarında ki silindirik kalıp içinde).  
 (b) % 30 rölatif sıklıkta suya doymun kum numunesi.  
 (c) % 30 rölatif sıklıkta suya doymun kum numunesinin biyopolimer eklenmiş hali.

Numunelerin hazırlanmasında öncelikle biopolimer-su karışımları sabit  $80^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta önceki bölümde anlatıldığı şekliyle hazırlanmıştır. Daha sonra kum ve biyopolimer-su karışımları 5 dakika mikser ile 150 rpm’de karıştırılmıştır. Karışımlar 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğinde silindirik metal kalıplara konulmuştur. Numunelerin kalıplara yapışmasını önlemek amacıyla kalıpların iç kısmı ince bir film tabakası şeklinde yağlanmıştır. Oluşan hava kabarcıkları elle hafifçe kalıbın kenarına vurularak çıkarılmıştır. Sertleşen numuneler 3-5 gün sonra kalıptan çıkarılmış (Şekil 3.8) ve 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri için %90 neme sahip olan kür odasında  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta bekletilmiştir (Şekil 3.9). Çizelge 3.6’da derin karıştırma uygulanan kum zeminler ve biyopolimer karışım oranları verilmektedir. Serbest basınç mukavemeti ve donma-çözülme deneyleri bu numuneler üzerinde yapılmıştır.



(a)



(b)

**Şekil 3.8.** Laboratuvarında hazırlanan kum-biyopolimer numuneleri

- a) Kalıp içindeki numuneler
- b) Kalıptan çıkarılmış numuneler



**Şekil 3.9.** Kür odasında bekletilen kum-biyopolimer numuneleri

**Çizelge 3.5.** Derin karıştırma uygulanmış kum numuneler ve biyopolimer oranları

Numune No	Kum mm	Jelatin %	Xantahan %	Guar %	Tara %	Na-Al %	CMC %
1	0.6-1.18	10	1				
2	0.6-1.18	10		1			
3	0.6-1.18	10			1		
4	0.6-1.18	10				1	
5	0.6-1.18	10					1
6	0.6-1.18	15	1				
7	0.6-1.18	15		1			
8	0.6-1.18	15			1		
9	0.6-1.18	15				1	
10	0.6-1.18	15					1
11	0.3-0.6	10	1				
12	0.3-0.6	10		1			
13	0.3-0.6	10			1		
14	0.3-0.6	10				1	
15	0.3-0.6	10					1
16	0.3-0.6	15	1				
17	0.3-0.6	15		1			
18	0.3-0.6	15			1		
19	0.3-0.6	15				1	
20	0.3-0.6	15					1
21	0.6-1,18	10					
22	0.6-1.18	15					
23	0.3-0.6	10					
24	0.3-0.6	15					

### 3.2.3. Serbest basınç mukavemeti deneyleri

Numunelerin serbest basınç mukavemeti deneyleri ASTM D 2166'e uygun olarak yapılmıştır. 38mm çapında ve 76mm yüksekliğinde silindir kalıplardan çıkartılan numuneleri 20 ton kapasiteli (Şekil 3.10) serbest basınç deney aletine yerleştirilmiş ve 0,5 mm/dakika hızında kırılmışlardır. Her 15 saniyede basınç değerleri dijital yük okuma aparatından okunmuştur ve bu işlem kırılma anına kadar devam ettirilmiştir. Serbest basınç mukavemetleri 3.1 bağıntısı ile belirlenmiştir.



**Şekil 3.10.** Serbest basınç mukavemeti deneylerinde kullanılan SoilTest cihazı

$$q_u = P_{\max} / A_f \quad (3.1)$$

Bağıntıda,  $P_{\max}$ : kırılma anındaki basınç değeri,  $A_f$ : zemin numunelerinin kırılma anında en kesit alanını ifade etmektedir.

### 3.2.4. Donma-çözülme deneyleri

Hazırlanan numuneler “TS EN 1367-1 Agregaların donma-çözölmeye karşı direncinin tayini yöntemine” göre donma-çözölme deneyine tabi tutulmuştur. Buna göre numuneler alüminyum folyo içine konularak (Şekil 3.11) 20 çevrim için donma-çözölme cihazında bekletilmiştir (Şekil 3.12). 20 çevriminin sonunda numunelerin serbest basınç mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Donma-çözölme işlemi için hazırlanmış numuneler cihaza konulduktan sonra ilk sıcaklığı  $-20^{\circ}\text{C}$ 'ye getirilmiş ve 6 saat bekletilmiştir, ikinci işlemde sıcaklık  $+25^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar getirilmiş ve 6 saat bekletilmiştir. Bu işleme 1. çevrim denilir (Roustaei and Ghazavi 2011). Donma işleminden çözölme işlemine geçme süresi ve aksi 1 saat olarak nitelenmiştir.





**Şekil 3.11.** Donma-çözülme cihazında bekletilen alüminyum folyo içerisindeki numuneler



**Şekil 3.12.** Donma-çözülme cihazı

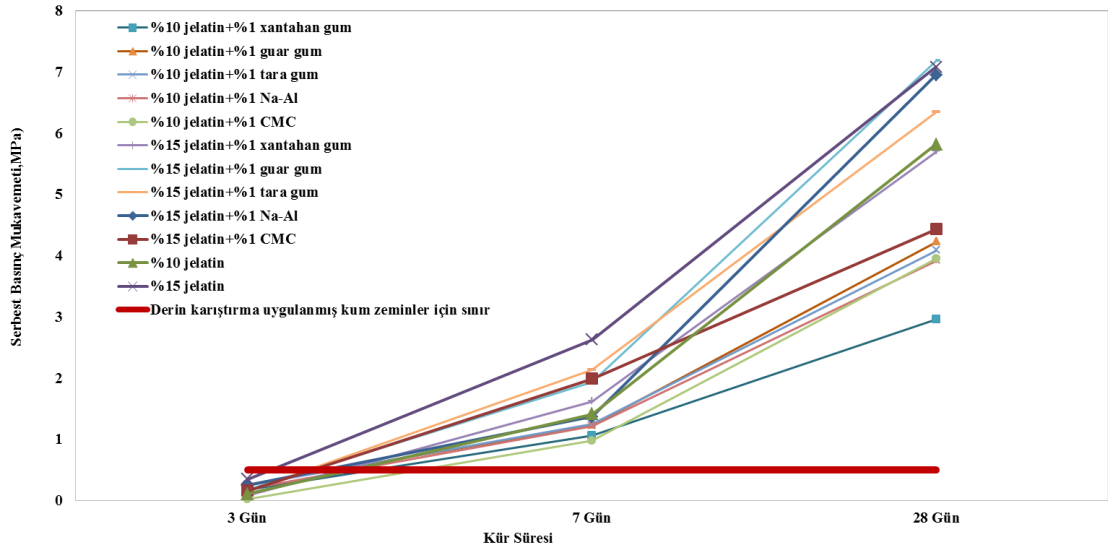
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada; gevşek ve suya doymuş kum zeminlerin derin karıştırma ile iyileştirilmesinde biyopolimerlerin kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılan ön çalışmalar sonucunda derin karıştırma uygulanmış kum-biyopolimer numuneleri hazırlanmıştır. İyileştirilmiş numunelerin 3, 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri ve 28 günlük numuneler için 20 donma-çözülme çevrimi sonucundaki serbest basınç mukavemetleri laboratuarda belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde olunan bulgular aşağıda verilmiştir.

##### 4.1. Derin Karıştırma Uygulanmış Kum-Biyopolimer Numunelerinin Serbest Basınç Mukavemetleri

Biyopolimer karışımları kullanılarak derin karıştırma uygulanmış %30 rölatif sıklıktaki suya doymuş kum numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonrasında serbest basınç mukavemetleri elde edilmiştir. Her bir karışım için iki numune hazırlanmış ve serbest basınç dayanımlarının ortalaması Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 'de verilmiştir. Numunelerin gerilme-deformasyon eğrileri **EK 1**'de verilmektedir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de sırasıyla 0.6-1.18 mm ve 0.3-0.6 mm aralığındaki kum zeminlerin farklı yüzdelere sahip biyopolimer (jelatin, xanthan gum, guar gum, tara gum, Na-Al, CMC) karışımları ile derin karıştırma uygulanmış numunelerine ait serbest basınç mukavemetlerinin kür süresi ile değişimi verilmektedir. Şekiller incelendiğinde, tüm karışımlar için kür süresinin artmasıyla serbest basınç mukavemetlerinin arttığı görülmektedir.

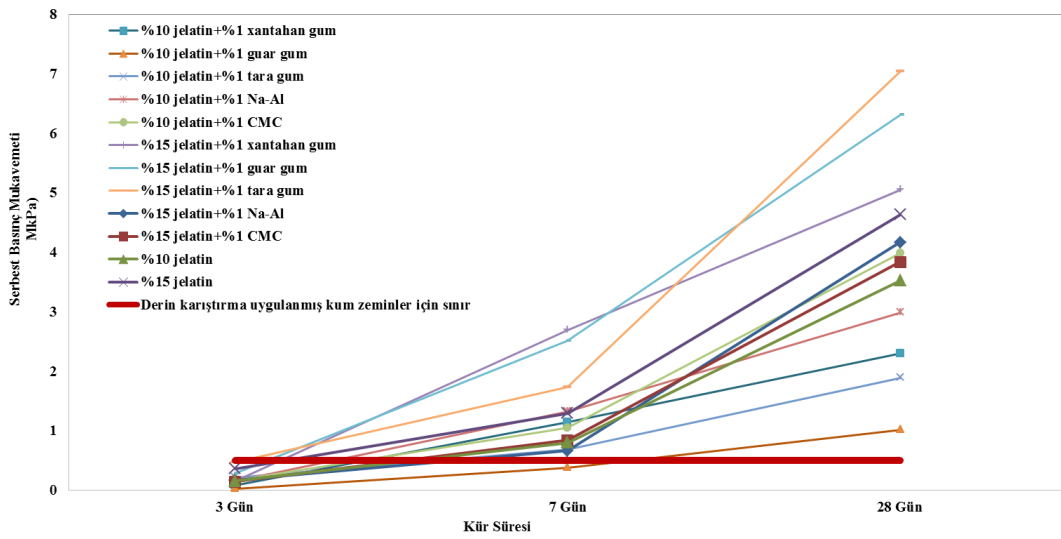


**Şekil 4.1.** Derin karıştırma uygulanmış 0.6-1.18 mm aralığındaki kum numunelerin serbest basınç mukavemetine kür süresinin etkisi

Şekil 4.1'den görüleceği gibi en yüksek değer 0.6-1.18 mm çapa sahip kum zemininde %15 jelatin-%1 guar gum da meydana gelmiştir. Serbest basınç mukavemet deneyinden elde olunan sonuçlara göre 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerine göre bu karışımın mukavemet değerleri sırasıyla 0.18, 1.94 ve 7.19 MPa olmuştur. %15 Jelatin-%1 guar gum numunesinden sonra en yüksek mukavemet değerlerini ise %15 jelatin numunesi vermiştir. Bu numunenin 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde sırasıyla 0.35, 2.63, ve 7.1 MPa serbest basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

3 günlük küre sahip numunelerin serbest basınç mukavemetleri incelendiğinde en yüksek dayanımın 350 kPa olduğu görülmektedir. Buna karşın, 7 günlük kür sonucunda tüm numuneler 0.98 MPa-2.63 MPa aralığında sonuçlar vermiştir. 28 günlük kür sonucunda ise 2.96 MPa-7.19 MPa aralığında mukavemet sonuçları vererek numuneler yaklaşık 20 kat mukavemet artışı göstermişlerdir. %10 jelatin katkılı numunelerden elde edilen sonuçlar ile %15 Jelatin katkılı numunelerden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, %15 jelatin katkısının daha yüksek mukavemet değerleri verdiği anlaşılmaktadır. En düşük mukavemet değerleri ise %10 jelatin-%1 xanthan gum numunesinde elde edilmiştir. 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri için sırasıyla 0.17, 1.06 ve 2.96 MPa serbest basınç mukavemetleri elde edilmiştir. %10 jelatin-%1 xanthan gum

numunesinde 7 günlük kür süresi için elde edilen en düşük dayanım değerinin bile 1 MPa üzerinde olması gevşek suya doymun kum zeminler için önemli bir mukavemet artışının elde edildiğini göstermektedir. 7 günlük numunelerin serbest basınç mukavemetleri incelendiğinde tüm numunelerinin derin karıştırma için önerilen (Bruce *et al.* 1998; Bruce and Bruce 2003) dayanım değerinin (500 kPa) üzerinde sonuçlar verdiği görülmektedir.



**Şekil 4.2.** Derin karıştırma uygulanmış 0.3-0.6 mm aralığındaki kum numunelerin serbest basınç mukavemetine kür süresinin etkisi

Şekil 4.2'den görüleceği gibi en yüksek mukavemet değeri 0.3-0.6 mm çapa sahip kum zemininde %15 jelatin-%1 tara gumda meydana gelmiştir. Serbest basınç mukavemet deneyinden elde olunan sonuçlara göre 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerine göre bu karışımın mukavemet değerleri sırasıyla 0.5, 1.74 ve 7.05 MPa olmuştur. %15 jelatin-%1 tara gum numunesinden sonra en yüksek mukavemet değerlerini ise %15 jelatin-%1 guar gum numunesi vermiştir. Bu numunenin 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde sırasıyla 0.29, 2.52 ve 6.31 MPa serbest basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

3 günlük küre sahip numunelerin serbest basınç mukavemetleri incelendiğinde en yüksek dayanımın 475 kPa olduğu görülmektedir. Buna karşın, 7 günlük kür uygulanmış tüm numuneler 375 kPa-2685 kPa aralığında sonuçlar vermiştir. %10

Jelatin-%1 guar gum numunesi ise 7 günlük kür sonucunda 500 kPa altında serbest basınç mukavemeti vermiştir. 28 günlük kür sonucunda ise 1.01 MPa-7.05 MPa aralığında mukavemet sonuçları vererek tüm numuneler yaklaşık 10-20 kat mukavemet artışı göstermişlerdir. %10 jelatin katkılı numunelerden elde edilen sonuçlar ile %15 Jelatin katkılı numunelerden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, %15 jelatin katkısının daha yüksek mukavemet değerleri verdiği anlaşılmaktadır. En düşük mukavemet değerlerinin ise %10 jelatin-%1 guar gum numunesinde elde edilmiştir. 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri için sırasıyla 20, 375 ve 1010 kPa serbest basınç mukavemetleri elde edilmiştir. Ayrıca, 0.3-0.6 mm gradasyonuna sahip kum numuneler ile 0.6-1.18 mm gradasyona sahip kum numunelere ait sonuçlar incelendiğinde %10 jelatin katkılı bazı biyopolimer karışımlarının 0.3-0.6 mm aralığındaki kum numunelerde daha düşük serbest basınç mukavemeti değerleri verdiği anlaşılmaktadır.

7 günlük numunelerin serbest basınç mukavemetleri incelendiğinde %10 Jelatin- %1 guar gum numunesi hariç tüm numunelerinin derin karıştırma için önerilen (Bruce *et al.* 1998; Bruce and Bruce 2003) dayanım değerinin (500 kPa) üzerinde sonuçlar verdiği görülmektedir. Sonuç olarak, biyopolimerlerin suya doymuş gevşek kum zeminlerin derin karıştırma ile iyileştirilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesi söylenebilir. Ayrıca, derin karıştırma uygulanmış numunelerde 28 günlük kür sonrasında 1Mpa ile 7 Mpa arasında yüksek serbest basınç mukavemetlerinin elde edilmesi ile kazık temel ve/veya diğer zemin iyileştirme yöntemlerine alternatif olarak biyopolimerler ile derin karıştırmanın uygulanabileceği söylenebilir.

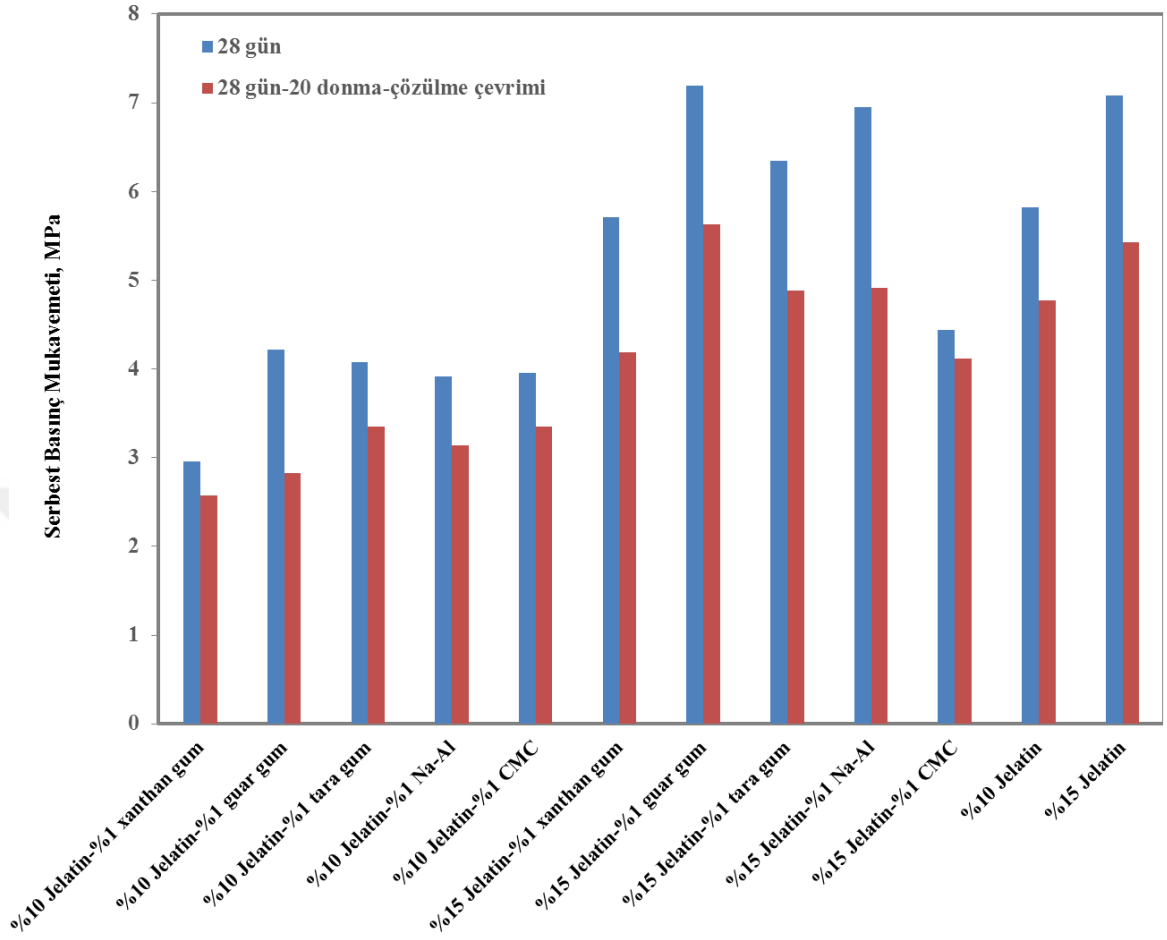
#### **4.2. Derin Karıştırma Uygulanmış Kum-Biyopolimer Numunelerinin Donma-Çözülme Davranışı**

Özellikle soğuk iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde yapılan zemin iyileştirme çalışmalarında donma-çözülme çevrimleri sonrasında mukavemet kayıpları ön plana çıkmakta ve bunun sonucunda yapılan zemin iyileştirmesinde istenilen performans elde edilememektedir. Bu sebeple biopolimer karışımları ile derin karıştırma uygulanmış suya doymuş gevşek kum zeminler 28 günlük kür süreleri sonunda 20 donma-çözülme

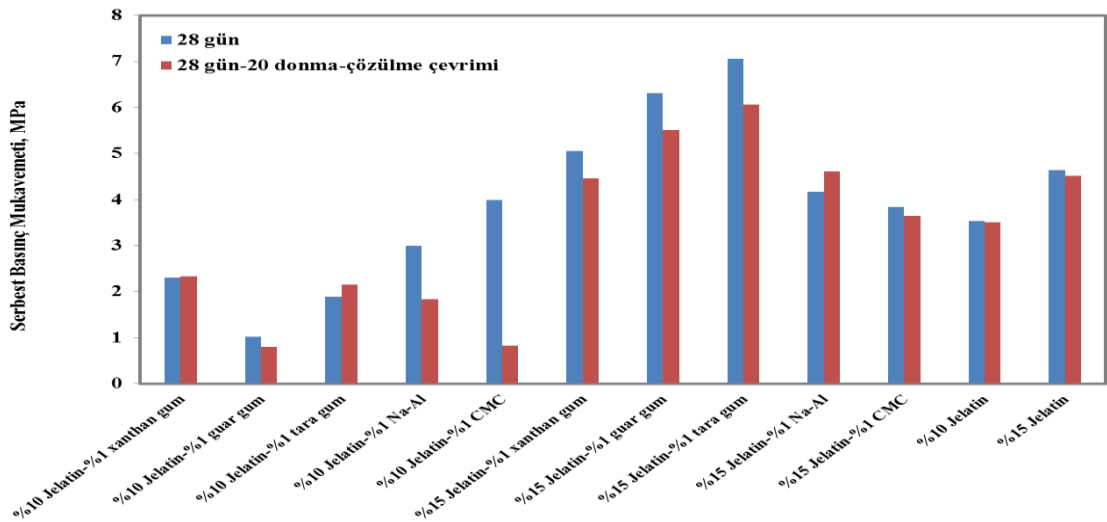
çevrimine tabi tutulmuş ve sonrasında tekrar serbest basınç mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar 0.3-0.6 mm ve 0.6-1.18 mm gradasyona sahip kum zeminler için sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmektedir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğine görüleceği gibi donma-çözülme etkisinin %10 jelatin-%1 CMC (0.3-0.6 mm) numunesi hariç derin karıştırma uygulanmış gevşek suya doymun kum zeminler üzerinde önemli bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. 0.6-1.18 mm gradasyonuna sahip kum zemin için en yüksek serbest basınç mukavemeti değerini veren %15 jelatin-%1 guar gum numunesinin 28 günlük serbest basınç mukavemeti, 20 donma-çözülme çevrimi sonucunda %22 azalarak 7.19 MPa'dan 5.63 MPa'a düşmüştür.

0.3-0.6 mm gradasyonuna sahip kum zemin için en yüksek serbest basınç mukavemeti değerini veren %15 jelatin-%1 tara gum numunesinin 28 günlük serbest basınç mukavemeti, 20 donma-çözülme çevrimi sonucunda %14 azalarak 7.05 MPa'dan 6.06 MPa'a düşmüştür. 20 donma-çözülme çevrimi sonrasında derin karıştırma uygulanmış numunelerde önemli derecede mukavemet kaybının olmaması hatta bir kaç numunede bir artış elde edilmesinin biyopolimerlerin bu tür etkilere karşı dirençli olmaları sebebiyle olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Derin karıştırma uygulanmış 0.6-1.18 mm aralığındaki kum numunelerin donma-çözülme davranışı



Şekil 4.4. Derin karıştırma uygulanmış 0.3-0.6 mm aralığındaki kum numunelerin donma-çözülme davranışı

Bu sonuçlar dikkate alındığında, tüm numunelerde kür süresinin etkisi önemli olurken, donma-çözülme çevriminin numunelerin mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olmadığı söylenebilir. Literatürde derin karıştırma ile iyileştirmede beklenen serbest basınç mukavemetleri granüler zeminler için 500 kPa üzerindedir (Bruce and Bruce 2003). Bu bağlamda %10 jelatin-%1 guar gum (0.3-0.6 mm gradasyonlu) karışımı hariç tüm biyopolimer karışımlarının donma-çözölmeye maruz suya doygun gevşek kum zeminlerin derin karıştırma ile iyileştirilmesinde kullanılabileceği söylenebilir.





## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında %30 rölatif sıklıkta suya doymun kum zeminlerin derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesinde biyopolimerin kullanılabilirliği araştırmak amacıyla serbest basınç mukavemeti ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında Horasan-Erzurum'dan temin edilen kum zeminler iki farklı gradasyonda (0.3-0.6mm ve 0.6-1.18mm) kullanılmıştır. Biyopolimer olarak sığır jelatini ve xanthan gum, guar gum, tara gum, tapiyoka nişastası, metil selüloz (MC), karboksi metil selüloz (CMC) ve sodyum alijinat (NaAl) karışımları kullanılmıştır. 3, 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri belirlenen numunelerin ayrıca 28 gün kür uygulanan numuneler için 20 donma-çözülme çevrimine tabi tutulduktan sonra da serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan biyopolimer oranlarının belirlenebilmesi için yapılan ön deneyler sonucunda; %10 jelatin %1 (xanthan gum, guar gum, tara gum, Na-Al, CMC) ve %15 jelatin (zantham gum, guar gum, tara gum, Na-Al, CMC) karışım oranlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Yine biyopolimer karışımlarının, hangi oranlarda kullanılacağını belirlemek için 87 farklı karışıma ön deney yapılmıştır. Bu oranlarda hazırlanan 24 seri numunenin 7, 14 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri ile 28 gün kür süresinde 20 donma-çözülme çevrimi uygulanmış numunelerin serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir.

0.6-1.18 mm ve 0.3-0.6 mm aralığındaki kum zeminlerin farklı yüzdelere sahip biyopolimer (jelatin, xanthan gum, guar gum, tara gum, Na-Al, CMC) karışımları ile derin karıştırma uygulanmış numunelerine ait serbest basınç mukavemetlerinin kür süresi ile arttığı belirlenmiştir. En yüksek serbest basınç mukavemetleri 0.6-1.18 mm ve 0.3-0.6 mm gradasyona sahip kum zeminler için sırasıyla %15 jelatin-%1 guar gum ve %15 jelatin-%1 tara gum biyopolimer karışımlarının kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir. %15 jelatin-%1 guar gum (0.6-1.18 mm) numunesinde 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda sırasıyla 0.35, 2.63 ve 7.1 MPa serbest basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde, %15 jelatin-%1 tara gum (0.3-0.6 mm) numunesi 3, 7

ve 28 günlük kür sürelerine sonunda sırasıyla 0.5, 1.74 ve 7.05 MPa serbest basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Tüm numunelerin 3 ve 28 günlük kür süreleri sonrasında yaklaşık 10-20 kat mukavemet artışı elde edilmiştir. Ayrıca, %15 jelatin katkıli numuneler %10 jelatin katkıli numunelere kıyasla daha yüksek serbest basınç mukavemeti değerleri vermişlerdir.

0.6-1.18 mm aralığındaki kum zeminler için biyopolimer karışımları ile derin karıştırma uygulanmış tüm numunelerinin 7 günlük serbest basınç mukavemeti değerleri derin karıştırma için önerilen (Bruce *et al.* 1998; Bruce and Bruce 2003) dayanım değerinin (500 kPa) üzerinde elde edilmiştir. Benzer şekilde, 0.3-0.6 mm aralığındaki kum zeminler için %10 Jelatin-%1 guar gum katkıli numune hariç tüm numunelerinin 7 günlük serbest basınç mukavemeti değerleri derin karıştırma için önerilen (Bruce *et al.* 1998; Bruce and Bruce 2003) dayanım değerinin (500 kPa) üzerinde elde edilmiştir.

20 donma-çözülme çevrimi sonrasında yapılan serbest basınç mukavemeti deneyleri sonucunda, donma-çözülme etkisinin %10 jelatin-%1 CMC (0.3-0.6 mm) numunesi hariç derin karıştırma uygulanmış gevşek suya doymuş kum zeminler üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. 0.6-1.18 mm ve 0.3-0.6 mm gradasyonuna sahip kum zeminler için sırasıyla en yüksek serbest basınç mukavemeti değerini veren %15 jelatin-%1 guar gum ve %15 jelatin-%1 tara gum numunelerinin 28 günlük serbest basınç mukavemetleri, 20 donma-çözülme çevrimi sonucunda 5.63 MPa ve 6.06 MPa olarak elde edilmiştir.

Bu sonuçlar dikkate alındığında, tüm numunelerde kür süresinin etkisi önemli olurken, donma-çözülme çevriminin numunelerin mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olmadığı söylenebilir. Literatürde derin karıştırma ile iyileştirmede beklenen serbest basınç mukavemetleri granüler zeminler için 500 kPa üzerindedir (Bruce and Bruce 2003). Bu bağlamda, biyopolimerlerin suya doymuş gevşek kum zeminlerin derin karıştırma ile iyileştirilmesinde rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir. Ayrıca, derin karıştırma uygulanmış numunelerde 28 günlük kür sonrasında 1MPa ile 7 MPa arasında yüksek serbest basınç mukavemetlerinin elde edilmesi kazıklı temel ve/veya diğer

zemin iyileştirme yöntemlerine alternatif olarak biyopolimerler ile derin karıştırmanın uygulanabileceği söylenebilir.

Zeminlerin iyileştirilmesinde yüksek serbest basınç ve kayma mukavemetlerinin elde edilmesinin yanında durabilite diyebileceğimiz donma-çözülme ve diğer çevresel etkilere dayanklılıkta önem arz etmektedir. Bu çalışmada, biyopolimerler kullanılarak derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmiş suya doymuş gevşek kum numunelerde 1 MPa ve üzeri yüksek serbest basınç mukavemetleri elde edilmiştir. Bununla birlikte numuneler üzerinde uygulanan donma-çözülme çevrimleri neticesinde numunelerin dayanımında önemli bir değişiklik olmamıştır. Numunelerin donma-çözülmeden etkilenmemesi sebebiyle bu tezde kullanılan katkıları ile yapılacak zemin iyileştirmelerinin soğuk iklimin hüküm sürdüğü ve donma-çözülme etkisinin yüksek olduğu yerlerde rahatlıkla kullanılabilmesi söylenebilir. Biyopolimerlerin çevre dostu malzemeler olması da zemin iyileştirme uygulamalarında bu malzemelerin tercih edilmesinde önemli bir etken olduğu düşünülmektedir.

Biyopolimerlerin suya doymuş gevşek kum zeminlerin iyileştirilmesinde kullanımında daha kesin yargılara varabilmek için farklı gradasyon ve rölatif sıklıklarda kumlar üzerinde deneyler tekrarlanmalı ve hidrolik iletkenlik gibi diğer geoteknik deneyler de yapılmalıdır. Ayrıca çimento ve kireç gibi geleneksel katkıları kullanılarak hazırlanmış numunelerin serbest basınç mukavemetleri belirlenerek biyopolimer kullanılarak derin karıştırma uygulanmış kum zeminlere ait serbest basınç mukavemeti sonuçları karşılaştırılmalıdır. Arazi sıcaklık değerlerinin mevsimsel olarak değişmesi ve laboratuvar ortamından farklı olması dikkate alınarak, sıcaklığın kür süresi ve serbest basınç mukavemetine etkisi araştırılarak pratik uygulamalar için biyopolimerlerin uygunluğunun araştırılması önerilmektedir. Ayrıca söz konusu biyopolimerler ile suya doymuş kum davranışını açıklayabilmek için bazı elektrokinetik (pH, EC, zeta potansiyeli, BET gibi) deneyler, XRD, SEM ve TGA analizlerinin yapılması önerilmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Ahmed, N.B., 1995. Chemical stabilization of baiji sand dunes in Iraq.1.Effect of some soil stabilizers on the infiltration rate of sand. Qatar University Sci. J., 15(1), 109-113.
- Ahnberg, H., 1996. Stress depent parameters of cement and lime stabilized soils. Proc. 2<sup>nd</sup> International Conference on ground Improvement Geosystems-IS Tokya 96, Grouting and Deep Mixing, Tokyo 1996, Vol. 1, 387-392.
- Ahnberg, H., 2006. Strength of stabilized soils-a laboratory study on clays and organic soils stabilized with different types of binder. Docotral Thesis, Lund University, Sweden.
- Ajorloo, A.M., 2010. Characterization of the mechanical behavior of improved loose sand for application in soil-cement deep mixing. Doctoral Thesis, University of Lille, France.
- Akbulut, N., Cabalar, A. F., 2014. Effects of Biopolymer on Some Geotechnical Properties of a Sand. In New Frontiers in Geotechnical Engineering (pp. 28-37), ASCE.
- Akbulut, R.K., Zaimoglu, A.S., Arasan, S.,2013. Utilization of unsaturated polyester in improvement of sand with deep mixing method, Proceedings of the 5th Geotechnical Symposium, Cukurova University, Adana, Turkey, 5-7 December. [In Turkish with an English summary]
- Anonim, 2016a. <http://polimer.nedir.com/#ixzz2U1LKNTha>.
- Anonim, 2016b. <http://www.biyoplastik.net/2012/12/biyopolimerlere-giris-biyopolimer-nedir.html>
- Anonim, 2016c. <http://www.standartmerkezi.com/sm-gida-ve-kalite-forum/gida-sektoru-bazinda-bilgi-paylasimi-et-sut-meyve-sebze-yag-unlu-mamul-ambalaj-gida-katki/gidalarda-kullanilan-katki-maddeleri/kivam-arttiricilar-jelatin.html>
- Anonim, 2016d. [www.hammaddeler.com](http://www.hammaddeler.com)
- Anonim, 2016e. <http://www.benosen.com/taragum.asp>
- Anonim, 2016f. <http://www.katkideposu.com/ksantan-gam-xanthan-gum-e415-25-kg-2>
- Anonim, 2016g. <http://www.standartmerkezi.com/sm-gida-ve-kalite-forum/gida-sektoru-bazinda-bilgi-paylasimi-et-sut-meyve-sebze-yag-unlu-mamul-ambalaj-gida-katki/gidalarda-kullanilan-katki-maddeleri/kivam-arttiricilar-tapyokanisastasi.html>
- Anonim, 2016h. <http://eodev.com/gorev/8407859>
- Anonim, 2016i. <http://www.standartmerkezi.com/sm-gida-ve-kalite-forum/gida-sektoru-bazinda-bilgi-paylasimi-et-sut-meyve-sebze-yag-unlu-mamul-ambalaj-gida-katki/gidalarda-kullanilan-katki-maddeleri/kivam-arttiricilar-selulozlar-karboksimetil-seluloz-cmc.html>
- Anonymous, 2016a. <http://www.kellerholding.com/deep-soil-mixing.html>
- Anonymous, 2016b. [http://todaco.com.vn/chuyen\\_muc/view/70000132/PHUONG-PHAP-GIA-CO-NEN-DAT.html](http://todaco.com.vn/chuyen_muc/view/70000132/PHUONG-PHAP-GIA-CO-NEN-DAT.html).
- Anonymous, 2016c. <http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/GroundImprovement/WetSoilMixing/default.aspx>

- Anonymous, 2016d.  
<http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/GroundImprovement/DrySoilMixing/default.aspx>.
- Anonymous, 2016e.  
<http://schulen.eduhi.at/hsmuenzkirchen/projekte/riesenmolek/projekt.html>
- Aoi, M., 2002. Execution procedure of Japanese dry method (DJM). Proc. Tokyo Workshop 2002 on Deep. Mixing, Tokyo, 91-101.
- Arasan, S., Bagherinia, M., Akbulut, R. K., Zaimoglu, A. S., 2016. Utilization of Polymers to Improve Soft Clayey Soils Using the Deep Mixing Method. *Environmental & Engineering Geoscience*, 1078-7275.
- Arasan, S., Isik, F., Akbulut, R.K., Nasirpur, O. and Zaimoglu, A.S., 2015. Rapid stabilization of sands with deep mixing method using polyester. *Periodica Polytechnica*, 59(3), 405-411.
- Arasan, S., Nasirpur, O., 2015. The effects of polymers and fly ash on unconfined compressive strength and freeze-thaw behavior of loose saturated sand. *Geomechanics and Engineering*, 8(3), 361-375.
- Ayan, E., 2009. Derin zemin iyileştirme yöntemleri ve uygulamadan örnekler. Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bagherinia, M., 2013. Killerin Derin Karıştırma Yöntemi İle İyileştirilmesinde Doymamış Polyesterin Kullanılabilirliği. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bishop, R.T., Mcalpin, B.A., Jones, D., 1998. Stabilisation of earth roads with water-based polymer emulsions. *Proc S Afr Sug Technol Ass (1998)* 72:309-315.
- Bouazza, A., Jefferis, S., Vangpaisal, T., 2007. Investigation of the effects and degree of calcium exchange on the Atterberg limits and swelling of geosynthetic clay liners when subjected to wet-dry cycles. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(3), 170-185.
- Bouazza, A., Vangpaisal, T., Abuel-Naga, H., Kodikara, J., 2008. Analytical modelling of gas leakage rate through a geosynthetic clay liner-geomembrane composite liner due to a circular defect in the geomembrane. *Geotextiles and Geomembranes*, 26(2), 122-129.
- Bruce, D. and Bruce, M., 2003. The Practitioner's guide to deep mixing, Grout. *Ground Treat.*, 1, 474-488.
- Bruce, D., Bruce, M., 2003. The Practitioner's guide to deep mixing. *Grouting and Ground Treatment*, 474-488.
- Bruce, D.A., Bruce, M.E.C., Dimileo, A., 1998. Deep mixing method: A global perspective. *ASCE Geotechnical Special Publication*, No,81, 1-15.
- Cabalar, A. F., Canakci, H., 2011. Direct shear tests on sand treated with xanthan gum. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 164(2), 57-64. Cabalar, A. F., & Canakci, H., 2011. Direct shear tests on sand treated with xanthan gum. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 164(2), 57-64.
- Chamberlain, E.J., Iskandar, I. and Hunsicker, S.E., 1990. Effect of freeze-thaw cycles on the permeability and macrostructure of soils" In *Proceedings of International Symposium on Frozen Soil Impacts on Agricultural, Range and Forest Lands*. Spokane, Wash. US: Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (pp. 145-155).

- Chang, I., and Cho, G. C., 2011. Strengthening of Korean residual soil with b-1,3/1,6-glucan biopolymer. *Construction and Building Materials*, Daejeon 305-701.
- Chang, I., Im, J., Prasadhi, A. K., Cho, G. C., 2015. Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Construction and Building Materials*, 74, 65-72.
- Cole, D. M., Ringelberg, D. B., Reynolds, C. M., 2011. Small-scale mechanical properties of biopolymers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(9), 1063-1074.
- Durmuşoğlu, E., Çorapçioğlu, M.Y., 2000. Experimental study of horizontal barrier formation by colloidal silica”, *Journal of Environmental Engineering*, 126: 833-841.
- 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*, 12(5), 647-661.
- Günister, E., Pestreli, D., Ünlü, C. H., Atıcı, O., Güngör, N., 2007. Synthesis and characterization of chitosan-MMT biocomposite systems. *Carbohydrate Polymers*, 67(3), 358-365.
- Gupta, S.C., Hooda, K.S., Mathur, N.K., Gupta, S., 2009. Tailoring of Guar gum for desert sand stabilization, *Indian Journal of Chemical Technology*. Vol. 16, 507-512.
- Karimi, S., 1998. A study of Geotechnical Applications of Biopolymer Treated Soils with an Emphasis on Silt. Phd Thesis, Civil Engineering Department, University of Southern California, Los Angeles, CA.
- Karol, R., 2003. *Chemical Grouting and Soil Stabilization*. Marcel Decker Inc, New York, 135-140, 145-163, 166-239 2003.
- Kavazanjian Jr, E., Iglesias, E., Karatas, I., 2009. October). Biopolymer soil stabilization for wind erosion control. In *Proc. 17th Int. Conf. Soil Mech. Geotech. Engng, Alexandria (Vol. 2, pp. 881-884)*.
- Khatami, H. R., O’Kelly, B. C., 2012. Improving mechanical properties of sand using biopolymers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(8), 1402-1406.
- Martin, G.R., Yen, T.F., and Karimi, S., 1996. Application of biopolymer technology in silty soil matrices to form impervious barriers. *Proceeding of 7th Australia-New Zealand Geomechanics Conference, Adelaide, Australia*.
- Matsuoka, N., Murton, J., 2008. Frost weathering: recent advances and future directions. *Permafrost Periglac. Process*. 19: 195–210. doi:10.1002/ppp.620
- Mitchell, J. K., Santamarina, J. C., 2005. Biological considerations in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(10), 1222-1233.
- Moseley, M.P., Kirsch, K., 2003. *Ground improvement*. British Library Cataloguing in Publication British Library, ISBN 0-203-50254-X Master e-book ISBN, 431.
- Naeini, S.A., Ghorbanalizadeh, M., 2010. Effect of wet and dry conditions on strength of silty sand soils stabilized with epoxy resin polymer. *Journal of Applied Sciences* 10(22), 2839-2846.
- Newman, K., Tingle, J.S., 2004. Emulsion polymers for soil stabilization. 2004 FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference, Atlantic City, New Jersey, USA.

- Orts, W.J., Roa-Espinosa, A., Sojka, R.E., Glenn, G.M., Imam, S.H., Erlacher, K., Pedersen, J.S., 2007. Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction, and military applications. *J. Mater. Civil Eng.*, 19(1), 58-66.
- Özgan, E., Ertürk, S., Serin, S., 2012. Donma ve çözülmenin kohezyonlu zeminlerin fiziksel özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 1, No 1*, 7-16, 2012. Türkiye.
- Roustaei, M., Ghazavi, M., 2011. Strength Characteristics of Clay Mixtures with Waste Materials in Freeze-Thaw Cycles. *Journal of Structural Engineering and Geotechnics*, 1 (1), 1-5, Spring 2011.
- Santoni, R.L., Tingle, J.S., and Webster, S.L., 2003. Stabilization of Silty Sand with Nontraditional Additives. *Transportation Research Record 1787*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 33-41.
- Sargent, P., Hughes, P.N., Rouainia, M., White, M.L., 2012. The Use Of Alkali Activated Waste Binders In Enhancing The Mechanical Properties And Durability Of Soft Alluvial Soils. *School of Civil Engineering and Geosciences, Drummond Building, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, Tyne and Wear, NE1 7RU, UK.*
- Shrestha, R., 2008. Soil Mixing: A Study on 'Brusselian Sand' Mixed with Slag Cement Binder. Master Dissertation, University of Ghent, University of Brussle.
- Sukontasukkul, P., and Jamsawang, P., 2011. Use Of Steel And Polypropylene Fibers To Improve Flexural Performance Of Deep Soil-Cement Column. Department of Civil Engineering, King Mongkut's University of Technology-North Bangkok, 1518 Pibulsongkarm Road, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand.
- Tang, B.L., Bakar, I., Chan, C.M., 2011. Reutilization of Organic and Peat Soils by Deep Cement Mixing. *World Academy of Science, Engineering & Technology*, Vol. 74, 680.
- Taytak, B., Pulat, H. F., Yükselen-Aksoy, Y. 2012. Improvement of engineering properties of soils by biopolymer additives. 3 rd. International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Near East University, Nicosia, North Cyprus.
- Terashi M. 2002. Long-Term Strength Gain vs. Deterioration Of Soils Treated By Lime And Cement. *Proc. Tokyo Workshop 2002 On Deep Mixing*. Tokyo, 39-57.
- Tsytoich, N., 1975. The mechanics of frozen ground. *Scripta Book Co.* pp. 78-79. ISBN 978-0-07-065410-5.
- Tumluer, G., 2006. Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti. Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Wiszniewski, M., Skutnik, Z., Cabalar, A. F., 2013. Laboratory assessment of permeability of sand and biopolymer mixtures. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation*, 45(2), 217-226.
- Yang, D.S., 1997. Chapter 2.5: Deep Mixing" In *Situ Ground Improvement, Reinforcement and Treatment: A Twenty Year Update and a Vision for the 21st Century*, Ground Reinforcement Committee. American Society of Civil Engineers, Geo-Institute Conference, Logan, UT, July 16-17. pp. 130-150.
- Yıldız, S., 2006. Kolloidal silika enjeksiyonlu ince-orta boyut dağılımına sahip kumun statik ve dinamik yükler altında davranışı. Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Erzurum'da doğdu. Sırasıyla İnönü İlk öğretim okulu, Gazi Ahmet Muhtar Paşa Orta Okulu (G.A.M.P.O.O.) ve liseyi Erzurum İbrahim Hakkı Fen Lisesi'nde okudu. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi (G.M.F.) İnşaat Mühendisliği bölümüne başladı ve Üniversiteden 2004 yılında mezun oldu. 2008 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

