

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOPOLİMER KATKILARI İLE ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Anıl AYHAN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Geoteknik

MANİSA 2011

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOPOLİMER KATKILARI İLE ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Anıl AYHAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Eylül 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Eylül 2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Yeliz Yükselen AKSOY

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ahmet GÜZEL
Doç.Dr. İsfendiyar EGELİ**

MANİSA 2011

İÇİNDEKİLER

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
ÖZET.....	ix
İNGİLİZCE ÖZET.....	x
TEZ ORGANİZASYONU	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyopolimerler.....	1
1.1.1.Biyopolimer Çeşitleri.....	2
1.1.1.1.Kitin ve Kitosan.....	2
1.1.1.2. Guar Gam.....	6
1.1.1.3.Zantangam.....	7
1.2.Kil Mineralleri.....	9
1.2.1.Kaolin.....	9
1.2.2.Bentonit.....	10
1.3.Biyopolimerlerin İnşaat Mühendisliği Geoteknik Alanında Kullanımı.....	12
2.MALZEME VEYÖNTEM.....	14
2.1.Malzeme.....	14
2.2.Metotlar.....	18
2.2.1.Likit Limit Deneyi.....	19
2.2.2.Plastik Limit Deneyi.....	19

2.2.3.Rötre Limiti Deneyi.....	19
2.2.4.Modifiye Serbest Şişme Deneyi.....	20
2.2.5.Konsolidasyon Deneyi.....	21
2.2.6.Permabilite.....	22
3.DENEYSEL SONUÇLAR.....	23
3.1.Likit Limit.....	23
3.2.Plastik Limit.....	26
3.3.Rötre Limit.....	28
3.4.Serbest Modifiye Şişme İndisi.....	30
3.5.Konsolidasyon Deneyi.....	33
3.5.1.Sıkışma İndisi.....	33
3.5.2.Şişme İndisi.....	35
3.5.3.Konsolidasyon Katsayısı.....	36
3.6.Permabilite.....	38
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR.....	43
EKLER.....	45

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

%	: yüzde oran
°C	: santigrat derece
c_c	: sıkışma indisi
c_s	: şişme indisi
c_v	:konsolidasyon katsayısı
cm	:santimetre
dk	:dakika
G_s	:özgül ağırlık
gr	: gram
kg	: kilogram
m	:metre
mg	:miligram
m_v	:hacimsel sıkışma katsayısı
MFSI	:modifiye serbest şişme indisi
W_s	:kuru zemin ağırlığı
γ_w	:suyun birim hacim ağırlığı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Selüloz (a), kitosan (b) ve kitinin (c) kimyasal yapıları.....	3
Şekil 1.2 Kitosanın sudaki formu.....	4
Şekil 1.3 Kaolinit mineralinin yapısı.....	9
Şekil 1.4 Bentonitin Şişme Mekanizması.....	11
Şekil 1.5 Montmorillonitin Katyon Değişirmesi.....	11
Şekil 2.1 Kaolin numunesine ait X-ray grafiği.....	14
Şekil 2.2 Bentonit numunesine ait X-ray grafiği.....	15
Şekil 2.3 Kaolin ve bentonite ait dane çapı dağılım grafikleri a) kaolin, b) bentonit.....	17
Şekil 2.4 Modifiye serbest şişme indisinin belirlenmesi.....	20
Şekil 3.1 Kaolinin likit limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi.....	24
Şekil 3.2 Bentonitin likit limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi.....	25
Şekil 3.3 Kaolinin plastik limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi.....	26
Şekil 3.4 Bentonitin plastik limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi.....	27
Şekil 3.5 Kaolinin rötre limitine biyopolimer katkılarının etkisi.....	29
Şekil 3.6 Bentonitin rötre limitine biyopolimer katkılarının etkisi.....	30
Şekil 3.7 Zantangam varlığında modifiye serbest şişme indisleri.....	31
Şekil 3.8 Kitosan varlığında modifiye serbest şişme indisleri.....	32
Şekil 3.9 Zantangam konsantrasyonunun numunelerin sıkışma davranışına etkisi.....	34

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Kitosanın Teknik Üretim Koşulları.....	4
Tablo 1.2 Kitin, kitosan ve türevlerinin uygulama alanları.....	6
Tablo 2.1 Killi zeminlerin mineralojik bileşenleri.....	15
Tablo 2.2 Kil numunelerinin fiziko-kimyasal özellikleri.....	17
Tablo 3.1. Kaolin için likit limit deney sonuçları W_L (%).....	23
Tablo 3.2. Bentonit İçin Likit Limit Deney Sonuçları W_L (%).....	25
Tablo 3.3. Kaolin numunesine ait plastik limit deney sonuçları	26
Tablo 3.4. Bentonit için plastik limit deney sonuçları	27
Tablo 3.5. Kaolin için rötre limiti deney sonuçları	28
Tablo 3.6. Bentonit için rötre limit deney sonuçları	29
Tablo 3.7. Zantangam varlığında Modifiye Serbest Şişme İndisleri	31
Tablo 3.8. Kitosan varlığında Modifiye Serbest Şişme İndisleri.....	32
Tablo 3.9. Kaolin İçin Konsolidasyon Deney Sonuçları (C_c).....	33
Tablo 3.10. Bentonit İçin Konsolidasyon Deney Sonuçları (C_c).....	33
Tablo 3.11. Kaolin İçin Konsolidasyon Deney Sonuçları (C_s).....	35
Tablo 3.11.Kaolin İçin Konsolidasyon Deney Sonuçları (C_s).....	36
Tablo 3.12. Bentonit İçin Konsolidasyon Deney Sonuçları.....	36
Tablo 3.13. Kaolin numunesinin konsolidasyon katsayısına zantangam etkisi.....	36
Tablo 3.14. Bentonit numunesinin konsolidasyon katsayısına zantangam etkisi.....	37
Tablo 3.15. Kaolin numunesinin konsolidasyon katsayısına kitosan etkisi.....	37
Tablo 3.16. Bentonit numunesinin konsolidasyon katsayısına kitosan etkisi.....	38
Tablo 3.17. Kaolin numunesinin permabilite katsayısına zantangam etkisi.....	38
Tablo 3.18. Bentonit numunesinin permabilite katsayısına zantangam etkisi.....	39

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, tez çalışması boyunca her türlü desteğini esirgemeyen, sürekli yardım eden ve yol gösteren, değerli fikirlerinden yararlandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yeliz Yükselen Aksoy'a;

Yaşadığım tüm zorluklarda yanımda olup, beni destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2011

Anıl Ayhan

BIYOPOLİMER KATKILARI İLE ZEMİNLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Geoteknik mühendisliğinde biyopolimerlerin kullanımı ile ilgili araştırmalar son yıllarda artış göstermiştir. Endüstri ve tıp alanında yaygın olarak kullanılan biyopolimerlerin geoteknik alanında kullanımı ise çok azdır. Endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaları, doğada bol miktarda bulunmaları ve ekonomik olmaları nedeniyle zantangam ve kitosan biyopolimerleri deneylerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla biyopolimerlerin zeminlerin mühendislik davranışları üzerindeki etkileri belirlenecek ve bu sonuçlar zemin iyileştirme yöntemlerinde biyopolimerlerin kullanımı konusunda yön gösterici olacaktır.

Bu çalışma kapsamında belirli konsantrasyonlardaki biyopolimerlerle hazırlanan killi zemin numunelerinin kıvam limitleri, şişme indisleri, konsolidasyon parametreleri ve permeabiliteleri belirlenmiştir. Genel olarak sonuçlara bakıldığında, kullanılan biyopolimerler kaolin ve bentonit numunelerinin likit limit değerlerini arttırmıştır. Bentonit numunesinin likit limit değeri kaoline göre daha yüksek olduğu için biyopolimerlerin etkisi daha belirgin şekilde bentonit üzerinde görülmektedir. Zantangam ve kitosan biyopolimerleri varlığında bentonit numunesinin plastik limit değerindeki artış, kaolin numunesine göre belirgin bir şekilde olmuştur. Biyopolimer katkıları kaolinin rötre limit değerinde artışa neden olurken, bentonit numunesinde azalmaya neden olmuştur. Zantangam biyopolimeri varlığında kaolinin modifiye serbest şişme indisi azalırken, bentonitte ise artış görülmüştür. Kitosan varlığında ise kaolin ve bentonit numunelerinin modifiye serbest şişme indisinde azalma gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu biyopolimer katkılarının şişme potansiyeline sahip killi zeminlerin şişme potansiyellerinin düşürülmesinde kullanılabileceği sonucuna varılabilir. Kaolin ve bentonit numuneleri için zantangam konsantrasyonu arttıkça konsolidasyon katsayılarının aynı yük kademesinde azaldığı görülmüştür.

IMPROVEMENT OF ENGINEERING PROPERTIES OF SOILS WITH BIOPOLYMER ADDITIVES

ABSTRACT

In the literature, there are a lot studies about the usage of biopolymers in geotechnical engineering in recent years. Usage of biopolymers, which are used extently in of industry and medicine fields is rare in the geotechnical engineering field. The xanthan gum and chitosan biopolymers, which are economical polymers, have been extensively used in industry and available in the nature was selected for this study. The results of this study, if what kind of effects belonging to biopolymers on engineering behaviours are known, will be guideway on ground improvement methods.

In this study, the consistency limits, swell indexes, consolidation parameters and permeability of the samples which were prepared different concentrations of biopolymers were investigated. In general results show that, the liquid limit values of kaolin and bentonit samples increased with biopolymer additives. The effects of biopolymers were distinctly seen on bentonite, because its higher liquid limit value than kaolin. In the presence of xanthan gum and chitosan biopolymers, increase in plastic limit values of bentonite sample distinctly higher than the kaolin sample. Biopolymer additives increased the shrinkage limit values of kaolin, however they decreased the that of bentonite sample. In the presence of of xanthan gum biopolymer, only the modified free swelling index of kaolin decreased. However, the modified free swell indexes of the kaolin and bentonite samples decreased in the presence of chitosan. According to these results, it was concluded that chitosan can be used for decreasing of swelling potentials of soils which have high swelling potential. The consolidation coefficients decreased when xanthan gum concentration increases under the same load.

TEZ ORGANİZASYONU

Birinci bölümde biyopolimerler, biyopolimer çeşitleri, biyopolimerlerin inşaat mühendisliği uygulamalarındaki kullanımlarından ve kil minerallerinden detaylı olarak bahsedilmiştir.

İkinci bölümde kullanılan malzeme özellikleri ve deneysel çalışmalarda izlenen yöntemler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili sonuçlar yer almaktadır.

Son bölümde ise bu çalışma sonucunda elde edilen genel sonuçlar verilmektedir.

1.GİRİŞ

Son yıllarda yapılan araştırmalar zemin içindeki biyolojik aktivitelerin, zeminlerin oluşumunu ve yapısını etkilediğini ortaya çıkarmıştır (Mitchell ve Santamarina, 2005). Geoteknik konusundaki araştırmacılar zemin içindeki biyolojik aktivitelerin yeterince araştırılmadığını ve bu konu ile ilgili araştırmalara ihtiyaç olduğunu öne sürmüşlerdir. Biyopolimerler, endüstri ve tıp alanında çok yaygın olarak kullanılmasına karşın, geoteknik alanında kullanımı son yıllarda başlamıştır. Geoteknik mühendisliğinde biyopolimerlerin kullanımı ile ilgili araştırmalar son yıllarda ön plana çıkmıştır ve yapılan çalışmalar çok az sayıdadır. Genel olarak zeminlerin hidrolik geçirimliliğini azaltmada, kayma dayanımını arttırmada ya da erozyonu önleme konularında araştırmalar yapılmıştır. Ancak biyopolimerlerin zeminin kıvam limitleri, şişme davranışı, oturma özellikleri üzerindeki davranışları incelenmemiştir. Yapılan az sayıdaki araştırmalarda biyopolimerlerin, zemin özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada zantangam ve kitosan adlı biyopolimerlerin, killi zemin numunelerinin kıvam limitleri, şişme davranışı ve oturması gibi özelliklerinin killi zeminlerin özelliklerinin iyileştirilmesine katkısı incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar vasıtasıyla biyopolimerlerin, zeminin mühendislik davranışları üzerinde ne tür bir etkisi olduğu bilinirse zemin iyileştirme yöntemleri üzerinde kullanımı konusunda yön gösterici olacaktır. Ayrıca kullanılacak optimum biyopolimer miktarına da bu çalışmada elde edilen sonuçlar vasıtasıyla karar verilebilecektir.

1.1 BİYOPOLİMERLER

Biyopolimerler yaşayan organizmalar tarafından oluşturulan polimer sınıfıdır. Biyopolimerler, mikroorganizmalardan, bitkilerden veya hayvanlardan ya da aminoasit, şeker, yağ gibi materyallerden sentezlenmiş kimyasallardan oluşan polimerler ile aynı karakteristik özellikleri gösterir (US Cota, 1993). Bu yüzden biyopolimerlerin farklı fiziksel özellik gösteren farklı türlerde birçok çeşidi vardır. Bu polimerleri kimyasal yapılarına göre sekiz ana gruba ayırabiliriz: DNA, RNA gibi nükleik asitler, protein ve poliaminoasit gibi poliamitler, selüloz, nişasta, zantan gibi polisakkaritler, kitin, polimalik asit, polihidroksi alkanoik asit gibi organik polioksiesterler, polioesterler, polifosfat gibi inorganik poliesterler, doğal kauçuk, sumatra zamkı gibi poliizoprenoitler, linyin ve humik asit gibi polifenollerdir. Dünyada bulunan en yaygın organik biyopolimer selülozdur ve yeryüzü materyalinin % 33' ü selülozdur (Margaritis ve Pace, 1985).

Biyopolimerler ile polimerler arasında başlıca ve ayırıcı fark yapılarından kaynaklanmaktadır. Her ikisi de birbirine bağlı monomerlerden oluşmasına karşın biyopolimerin

kendisine has ayrı bir yapısı vardır. Biyopolimerlerin yenilebilir, ayrışabilir olmaları ve bol miktarda bulunmaları sebebiyle düşük maliyetle elde edilmeleri diğer polimerlere göre en büyük avantajları arasında sayılabilir.

Biyopolimerler tekrar eden bir düzene sahiptirler, bu yüzden metaller, yüzey partikülleri ve diğer polimerlerle kimyasal reaksiyona girmeye yatkındırlar. Ağır metaller ve radyoaktifler barındıran çevresel kirlilik dünya çapında büyük bir sorundur. Nükleer ve diğer aşırı zararlı metalik atıkları yok etmeyi amaçlayan yeni bir evrensel teknoloji bulunmamaktadır. Biyopolimerler bu tip bir yenilikçi teknoloji için potansiyel araçlardır. Bunlar aynı zamanda kirliliği kapsül içine alan penetrasyon kabiliyetine sahiptirler. Yer altındaki bu metallerin stabilizasyonunda 5 çeşit biyopolimer kullanılabilir. Bunlar zantangam, kitosan, polyhydroxy butyrate, guargam, polyglutamic asittir (Etemadi vd., 2003).

1.1.1 Biyopolimer Çeşitleri

1.1.1.1 Kitin ve Kitosan

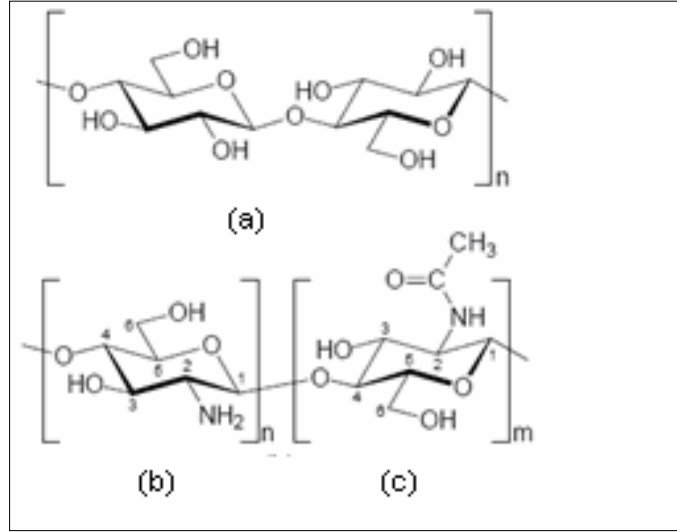
Kitin, selülozdan sonra dünyada en yaygın olarak bulunan ikinci biyopolimerdir. Yengeç, karides gibi kabuklu su ürünlerinin ana bileşeni olup, böceklerin iskeletinde ve mantarların hücre duvarlarının yapısında da bulunmaktadır. Dünyada yıllık kitin üretiminin yaklaşık 150×10^3 ton civarında olduğu belirtilmektedir. Bunun 56×10^3 tonu karidesten, 39×10^3 tonu çeşitli deniz kabuklularından, 32×10^3 tonu mantarlardan ve 23×10^3 tonu istiridyelerden elde edilmektedir (Guang, 2002).

Kitinin birçok türevi bulunmakla beraber, bunlar arasında en önemlisi kitosandır. Kitosan, ilk kez 1811 yılında Henri Bracannot tarafından keşfedilmiştir. Bracannot, mantarlarda bulunan kitini sülfürik asitte çözmeye çalışmış ancak başarılı olamamıştır. 1894'de Hoppe-Seyler, kitini potasyum hidroksit içerisinde 180°C 'de işleme sokmuş (deasetilasyon) ve asetil içeriği azaltılmış bir ürün olan "kitosan"ı elde etmiştir. 1934 yılında kitosandan film üretimi ve lif eldesi konusunda olmak üzere iki patent alınmıştır (Guang, 2002).

Kitin ve kitosan üretimi günümüzde özellikle Oregon, Washington, Virginia, Japonya ve Antartika'daki kabuklu deniz hayvanlarından üretilen konserve endüstrisine bağımlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu konuda özellikle Norveç, Meksika ve Şili gibi ülkeler çalışmalarını yürütmektedir (Kılınç ve Çalkı, 2004). Kabuklu su ürünleri artıklarının başta kitin olmak üzere çeşitli ürünlerin eldesi şeklinde değerlendirilmesiyle hem ekonomik açıdan kazanç, hem de çevre açısından oldukça büyük yarar sağlanmış olmaktadır (Demir ve Seventekin, 2009).

Kitosanın kimyasal yapısı, poli-[b-(1,4)-2-amino-2-deoksi-b-D-glukopiranoz] şeklindedir (Şekil 1.1). Kitin ve kitosan polisakkaridleri, kimyasal olarak selüloza benzemekle birlikte kendi aralarında birtakım farklılıklar göstermektedir. Selülozda, ikinci karbon atomuna bağlı hidroksil (-

OH) grubu bulunurken, kitinde asetamid ($-\text{NHCOCH}_3$), kitosanda ise amin ($-\text{NH}_2$) grubu bulunmaktadır.



Şekil 1.1 Biyopolimerlerin kimyasal yapıları, (a)selüloz, (b) kitosan,(c) kitin

Genel olarak bakıldığında, yengeç, istakoz ve karides gibi deniz hayvanlarının kabuk kısmı % 30-40 protein, % 30-50 kalsiyum karbonat ve kalsiyum fosfat ile % 20-30 kitinden oluşmaktadır (Guang, 2002). Kabuklu deniz hayvanlarının yapısındaki protein bazı insanlarda alerjiye sebep olabilmektedir. Dolayısıyla, proteinin tamamen uzaklaştırılması özellikle biyomedikal uygulamalarda kullanımı açısından son derece önemlidir.

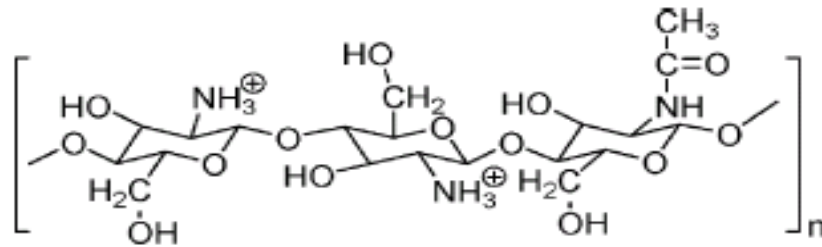
Bu amaçla, kitinin protein kompleksindeki kovalent bağlar deproteinizasyon ile koparılmaktadır. Ancak kullanılan kimyasal maddelerin biyopolimeri de depolimerize etme tehlikesi nedeniyle işlem esnasında dikkatli olmak gerekmektedir.

Tablo 1.1 Kitosanın Teknik Üretim Koşulları (Lim, 2002)

Adım	Kimyasal Madde	Sıcaklık (°C)	Süre
Deproteinizasyon	% 0.5-15 NaOH	25-100	0.5-72 saat
Demineralizasyon	% 2-8 HCl	15-30	0.5-48 saat
Dekolorizasyon	Çesitli organik çözümler (NaOCl, H ₂ O ₂)	20-30	Yıkama, 60 dk
Deasetilasyon	% 39-60 NaOH	60-150	Yıkama, 60 dk

Deproteinizasyon için NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃, KOH, K₂CO₃, Ca(OH)₂, Na₂SO₃, NaHSO₃, Ca(HSO₃)₂, Na₃PO₄ ve Na₂S gibi çeşitli kimyasal maddeler denenmiştir. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda en uygun olan maddenin NaOH olduğu görülmüştür. Bu amaçla deasetilasyon işleminde 1 molar NaOH çözeltisi kullanılmaktadır. Sodyum hidroksit (NaOH), kitinin kısmen deasetillenmesine ve biyopolimerin hidrolize olması sonucu molekül ağırlığının azalmasına neden olmaktadır. İşlem herhangi bir sorun olmaksızın yerine getirildiği takdirde kitinin protein içeriği %1 civarında kalmaktadır. Deproteinizasyon, aynı zamanda kitine belli bir kalite de kazandırmaktadır. Son olarak kitosan %2' lik asetik asit çözeltisi ile ekstrakte edilip ardından filtre edilmekte, destile suda çöktürülüp kurutulmakta ve depolanmaktadır.

Kitosan, her tekrarlayan birimdeki primer (C-6), ve sekonder (C-3) hidroksil grupları ile amin (C-2) grubu olmak üzere toplam üç tane reaktif gruba sahiptir. Bu reaktif gruplar kolayca kimyasal modifikasyona uğrayabilmekte ve kitosanın mekaniksel ve fiziksel özellikleri ile çözünürlüğünü değiştirmektedir. Şekil 1.2'de kitosan biyopolimerinin sudaki formu gösterilmektedir.

**Sekil 1.2** Kitosanın sudaki formu

Doğada selülozdan sonra ikinci en yaygın biyopolimer olan kitin birçok alanda yaygın biçimde kullanılmasına karşın sıkı moleküler üstü yapısı nedeniyle bazı durumlarda sorunlarla

karşılaşılabilmektedir. Bu nedenle kitin yerine, deasetilasyonu sonucu elde edilen ve başlıca türevi olan kitosan kullanılmaya başlanmıştır.

Kitosan günümüzde tıptan gıdaya, ziraatten kozmetiğe, eczacılıktan atık su arıtımına ve tekstil sektörüne kadar sayısız alanda kullanılabilmektedir. Kitosan çeşitli ülkelerde büyük ölçüde kullanılmasına karşın ülkemizde bu oran daha düşüktür. Tekstil sanayinde de birçok amaç için kullanılmaktadır. Bunlar arasında; antimikrobiyal özellik kazandırması, yünlü kumaşlarda çekmezlik sağlaması, reaktif boyamada tuz miktarını azaltması, pamuğun asit boyar maddelerle boyanabilirlik kazanması, antistatik özellik kazandırılması, deodorant maddesi olarak kullanılması sayılabilmektedir.

Kitosan, medikal tekstiller alanında oldukça önem kazanmıştır. Özellikle yara tedavisinde doku sağlanması için kitosan oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, medikal yapay deri, cerrahi dikiş iplikleri, yapay kan damarları, kontrollü ilaç salımı, kontakt lens yapımı, yara bandı, sargı bezi, kolesterol kontrolü (yağ bağlayıcı), tümör inhibitörü, antifungal, antibakteriyel ve hemostatik etki göstermesi vb. şeklinde sıralanabilmektedir (Montazer, 2007).

Kitosan, yara iyileşmesini hızlandırmada da oldukça etkin rol oynamaktadır. Başta diyabet hastaları olmak üzere vücuttaki yaraların iyileşme hızı hastalar için büyük önem taşımaktadır. Kitin ve kitosan uzun süredir yara iyileştirme özellikleri bakımından araştırılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Cho vd. (1999) suda çözünebilir kitosani, tavşanların yaralı sırtına yapıştırmış ve yaranın hızla iyileşme gösterdiğini bulmuşlardır.

Tablo 1.2 Kitin, kitosan ve türevlerinin uygulama alanları (Demir ve Seventekin, 2009)

Uygulama Alanı	Spesifik Kullanımları
Su arıtımı	Kirlenmiş atık sular için koagülasyon ve flokülasyon Atık sudaki metal iyonlarının uzaklaştırılması ve geri kazanımı
Ziraat	Bitki katkı maddesi Antimikrobiyal madde Bitki tohumu kaplanması Gübre yapımı Insektisid ve nematositlerde
Biyoteknoloji	Kromatografik yöntemlerde Enzim immobilizasyonunda
Gıda	Doğal kıvamlaştırıcı Hayvan yemlerini de içeren yiyecek katkı maddesi Yiyecek işlemede (örneğin seker işleme) Filtreleme ve temizleme Hipokolestrolemik madde (zayıflama maddesi) Atık yiyeceklerin tekrar işlenmesi
Kozmetik	Saç şekillendirici yapımı Cilt nemlendirmede (nemlendirici kremlerde) Antikolestrol ve yağ bağlayıcı olarak zayıflama maddesi Aftershave, deodorantlarda koku giderici madde
Medikal Alan	Hayvan ve insanlar için yara bandı yapımında Sargı bezi yapımında ve yara tedavisinde (yara tedavisini % 30 oranında hızlandırmaktadır.) Yanık tedavisinde acıyı dindirme ve iyileştirme etkisi Kanı pıhtılaştırıcı madde Hidrojel yapımı Antikoagülant ve antitrombojenik materyaller (sülfatlanmış-kitin türevleri olarak) Hemostatik madde Kontakt lens yapımı İlaç salımı

1.1.1.2. Guargam

Guar; Hindistan ve Pakistan'da çok eski zamanlardan beri tarımı yapılan bir bitkidir. Yıllık bitkiler sınıfına giren guar, temmuz ayı sonlarında ekilir ve kasım ayında hasadı yapılır. Ortalama 5-8 cm uzunluğundaki tohum zarfı; endüstriyel olarak Guargam'ın ekstraksiyonuna ek olarak, Hindistan'da yeşil haliyle sebze olarak tüketilmekte ve ayrıca hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır. Guargam, guar bitkisinin "Cyamopsis Tetragonalobus" tohumlarından elde edilir.

Guar, temmuz ayında ilk yağmurlardan sonra ekilir ve ekim ayı sonlarında hasadı gerçekleştirilir. Hasadı yapılan tohumlar güneşte kurutulmakta, kabuklardan ayrılarak endüstriyel

üretim hazır hale getirilmektedir.

Guargam, endüstriyel olarak guar tohumlarından ekstrakte edilir. Üretim süresince mekanik işlemler; kavurma, kabuk ayırma, kalburdan geçirme ve cilalama uygulanır. Rafine edilmiş guar, istenen son ürünün yapısına bağlı olarak ince toz forma dönüştürülür. Gıda, yem ve ilaç sanayinde kullanılmak amacıyla farklı viskozitede, hidrasyon kapasitesinde ve farklı tanecik boyutlarında, yüksek saflıkta guargam üretilmektedir. Guargam'ın, endüstriyel olarak farklı kullanım alanlarına hitap etmesini sağlayan modifiye edilmiş türevleri; hidrolize, hidroksialkil, karboksialkil, okside, sülfatlandırılmış, boratlandırılmış, katyonik kombinasyonları şeklinde bulunmaktadır.

Guargam, gıda sanayinde geniş ve spesifik kullanım alanlarına sahip doğal bir gam'dır. Aşağıdaki uygulama alanlarında guar gam kullanılmaktadır:

- Su tutma / Su salmanın önlenmesi
- Kontrollü Dökülme / Yapısal özellik kazandırma
- Jel oluşumu / Bağ yapıyı güçlendirme
- Viskozite/Kıvam arttırma
- Donma-Çözünme stabilitesi
- Süspansiyon
- Su salmanın önlenmesi Emulsification
- Bulanıklık verme / Yoğun yapı
- Suda çözünebilir lif yapıyı güçlendirilme
- Kaplama / enkapsülasyon
- Köpük stabilizasyonu

1.1.1.3. Zantangam

Gıda uygulamalarında yaygın olarak kullanılan zantangam, *Xanthomonas campestris* isimli bir bakteri kullanılarak daldırmalı aerobik fermentasyon ile üretilen bir heteropolisakkarit olup, steril fermentasyon ortamını karbonhidrat, uygun bir azot kaynağı, potasyum fosfat ve diğer iz elementleri oluşturmaktadır. Fermentasyon aşaması sonunda üretilen polisakkarit, izopropil alkol ile kullanılarak çöktürülmekte ve ortamdan izole edilmektedir. İzole edilen polisakkarite, daha sonra kalıntı izopropil alkolün uzaklaştırılması için santrifüj işlemi uygulanmakta ve devamında kurutulmaktadır. Kurutulan zantangam, toz hale getirilmek için öğütülmekte ve eleklerden geçirildikten sonra ambalajlanmaktadır.

Suda çözünen, fakat organik solventlerde çözünmeyen zantangam; su içeren sistemlerde reolojik kontrol ajanı olarak ve emülsiyon ve süspansiyonlar için stabilizatör olarak

kullanılmaktadır. Bunların dışında zantangam; suyu tutmakta, donma-çözünme stabilitesini arttırmakta, nişastanın retrogradasyonunu önlemekte ve raf ömrünü iyileştirmektedir.

Ticari zantangam, sarımsı toz şeklinde bir madde olup, sıcak veya soğuk suda tamamen çözünmekte ve düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli çözeltiler vermektedir. Zantangamın sulu çözeltileri, etanol ve propilen glikol gibi bazı hidrofilik çözeltileri % 50'ye varan bir konsantrasyona kadar tolere edebilmektedir.

Zantangamı diğer gamlardan ayıran önemli bir özelliği de, sıcaklığa ve pH'a olan dayanıklılığının önemli ölçüde büyük olmasıdır. Bu dayanıklılığın, zantan molekülündeki yan zincirlerin selüloz iskeletinin çevresini sarmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu özellik ise zantan gamı; enzimler, asitler, bazlar, yüksek sıcaklıklar, dondurma ve çözündürme ve uzun süreli karıştırma sonucunda oluşabilecek bozunmaya karşı dayanıklı kılmaktadır.

Zantangam çözeltileri; genel olarak pH değerindeki değişimlerden etkilenmemekte ve asit ve bazların çoğunda çözünmektedir. Diğer hidrokolloidlerin çoğu; düşük pH değerleri ve yüksek sıcaklıklarda viskozitesini kaybederken, zantangam aynı koşullarda stabil kalmaktadır. Zantangamın özellikleri ve yararları aşağıdaki gibidir:

- Yüksek konsantrasyonlarda bile gözle görülür berrak çözeltiler oluşturmaları,
- Hem sıcak hem de soğuk suda çözülmesi,
- Düşük polisakkarit konsantrasyonlarında bile çözeltilere yüksek viskozitesi vermesi,
- Geniş sıcaklık aralıklarında ksantan tarafından oluşturulan çözeltilerin viskozitesinde minimum değişim görülmesi,
- Hem asidik, hem de alkali çözeltilerde çözünmesi ve stabil olması,
- Yüksek tuz konsantrasyonuna sahip çözeltilerde stabil kalması,
- Enzimatik degradasyona yüksek direnç göstermesi,
- İyi bir lubrikant olması,
- Donma/çözünme aşamalarından sonra stabiliteyi sağlaması,
- Aşırı derece etkili bir emülsiyon stabilizatörü olması,
- Mükemmel ağız tadı vermesi,
- Diğer hidrokolloidlerle (guar ve locust bean gamla) sinerjik özellik göstermesi şeklinde sayılabilmektedir.

Çözelti viskozitesinin sıcaklıkla çok fazla değişmemesi, yani soğutulduğunda kıvamın artmaması nedeniyle zantangam, salata sosları ve çikolata şurupları gibi buzdolabından çıkar çıkmaz tüketilecek ürünlerde kullanım açısından çok uygundur. Son olarak teknik alanlarda diş macunu, kozmetik, temizleme ürünleri, kaplama ve boyalarda ve yangın söndürme aletlerinde kullanılmaktadır.

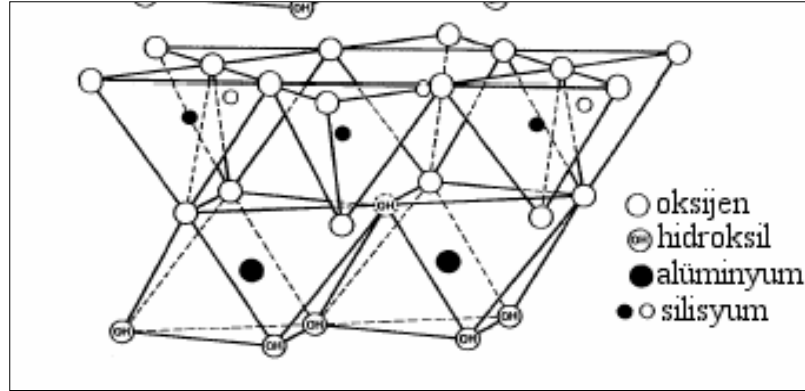
1.2. KİL MİNERALLERİ

1.2.1 Kaolin

Kaolin, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ formülüne sahip % 39.50 Al_2O_3 , %46.55 SiO_2 , %13.95 H_2O içeren bir mineraldir ve doğada Fe_2O_3 , CaCO_3 , mika gibi maddeleri yapısında bulundurabilir.

Mat ve gevşek toprağımsı görünümde nadiren kristal halde bulunan kaolinin sertliği 2-3 özgül ağırlığı 2,6'dır. Erime derecesi 1760°C olup, refrakter malzeme olarak kullanılmaktadırlar. Saf olduğunda beyaz, safsızlıklara bağlı olarak yeşilimsi ve sarımsı renklerde olabilir.

Kaolin tabakalı bir yapı göstermekte olup kristal yapısı bir dört yüzlü ve bir de sekiz yüzlülerden oluşan birbirine bağlı iki tabakadan meydana gelmiştir. Kaolin yapısının şematik görünümü Şekil 1.3'de gösterilmiştir. Fiziksel özellikleri ve bulunduğu ortam nedeniyle kaolinleşme, orijinal ana kayacın bozulma işleminin yerinde gerçekleşmesiyle oluşan cevherleşmedir. Yani, bir kaolin yatağını bir kil yatağından ayıran en önemli fiziksel faktör, cevherleşme ile orijinal kayacın aynı yerde olmasıdır (Seyhan, 1972).



Şekil 1.3 Kaolinit mineralinin yapısı (Holtz ve Kovacs, 1981).

Kaolinin oluştuğu ana kayaç kompleks alümina silikatlarından meydana gelmektedir. Bu silikatlar ise alterasyon sırasında hidrolize olmaktadır. Alkali ve toprak alkali iyonlar çözünerek ve tuzları oluşturarak uzaklaşırlar. Geri kalan madde alüminyum silikat ve yapısal silisyum dioksittir. Feldispat, mika, kuvars gibi henüz ayrışmamış olan mineral artıkları da kaolinin bünyesinde kalırlar.

Temiz ve saf kaolinler karbondioksitli sıcak su kaynaklarının derinlerdeki granit ve pegmatitler üzerine etkileri sonucu meydana gelirler. Yüzeyde oluşan kaolinler ise az çok

karışıktır. Magmatik kökenli kaolin yataklarının kalitesi ve jeolojik yapı özellikleri magmanın katılaştığı derinliğe ve onun kimyasal bileşimine bağlıdır

Kaolinde aranan en önemli teknolojik özellik; onun ateşe dayanıklılığıdır. Kaolinlerin önemli özelliklerinden biri de, soda ve bazı organik maddeler katılınca çok az su ile döküm kabiliyetini kazanabilmesidir (Seyhan, 1972). Türkiye’de üretilen kaolinlerin %60’ı çimento sektöründe, %30’u seramik ve cam, %10’u ise diğer sektörlerde tüketilmektedir. Bu da Türkiye’de üretilen kaolinlerin ham olarak tüketildiğini göstermektedir.

1.2.2. Bentonit

Bentonit terimi, Amerika’da, 19. yüzyılda Wyoming eyaletinde Ford Benton’da işletilmeye başlanan killere verilen bir ad olarak kullanılmıştır. Aslında bentonit, smektit grubu kil minerallerinin oluşturduğu bir kildir. Bentonit volkanik külün yerinde ayrışmasıyla oluşan ve büyük ölçüde montmorillonit kil mineralinden ibaret, çokça su emip şişen toprağımsı bir madendir.

Formülü, $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$ ’dur. Volkanik kil veya tuf gibi camsı volkanların kimyasal ayrışmasıyla ve başlıca montmorillonit (smektit) grubu minerallerden oluşan bentonit kısmen kolloidal silisten ibaret, yumuşak şekillenebilir, açık renkli bir kil taşıdır. Kalsiyum (Ca), Sodyum (Na) ve Na-Ca montmorillonitlerden oluşmasına göre bentonitin jeolojik özellikleri değişmektedir.

Mühendislik ve sondaj çalışmalarında jeolojik özellikleri geliştirilmiş bentonite olan gereksinime kalsiyum bentonitlerini soda vb. katkı maddeleri ile aktifleştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Ham bentonit kaolin kıvamında, yumuşak ve parçaları kırılmaya elverişlidir. Beyaz, gri-beyaz, açık sarı, yeşilimsi sarı, pembemsi bej veya açık pembe renklidir, çok ince danelidir. Su ile temasa geçince en az beş misli şişebiliyorsa, ticari bentonit sayılır. İyi bentonitler 10-20 kat şişer. Çok ender olarak 25-30 kat şişebilen bentonitler vardır. Su ile şişme özelliği 600 °C’den sonra kaybolan bentonitin kuru haldeki yoğunluğu 2,7-2,8 gr/cm³tür. Aynı bentonit toz haline getirilirse, yoğunluk hissedilir şekilde düşerek; 1,6-1,8 gr/cm³ kadar olur (Eruslu vd., 1993).

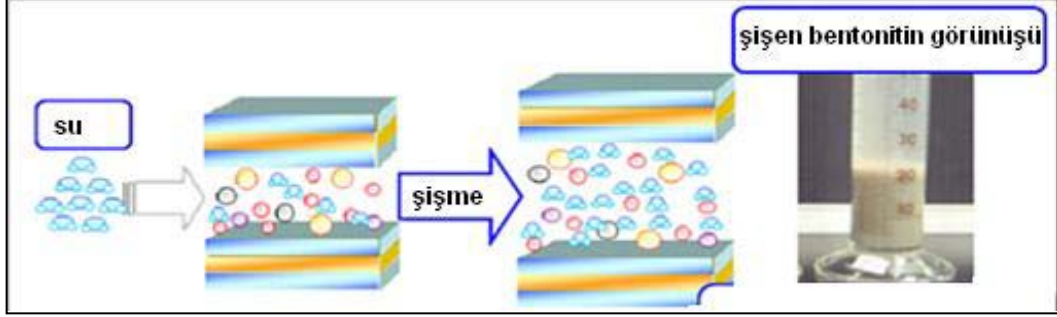
Alkali bentonitler (Na-bentonit) tipik suda şişen ve bir jel teşkil eden bentonitlerdir. Toprak alkali bentonitler ise suya karşı herhangi bir kil gibi davranırlar. Bundan dolayı, yarı bentonit ismini alırlar.

Bentonit mineralleri X-ışını difraksiyonu ve diferansiyel termik analiz yardımıyla belirlenebilirler. Bentonitteki esas kil minerali smektittir. Smektit terimi, bir grup adı olarak kullanılmaktadır. Smektitlerin hidrotermal kararlılıkları 50 °C’den 850 °C’ye geniş bir sıcaklık aralığında değişir (Eruslu vd., 1993).

Bentonitin fiziksel özellikleri ile tanınması, kimyasal bileşimi ile tanınmasından daha hızlı ve pratik uygulama sağlamaktadır. Tabii ve ham şekliyle bentonit, yumuşak, kaolin kıvamında bir kayadır. Kırılmaya elverişli, ele yumuşak ve yağlı bir izlenim vermektedir (Eruslu vd., 1993).

Smektitler ve onları ana kil minerali olarak içeren bentonitlerin şişmesi ve dağılması 2:1

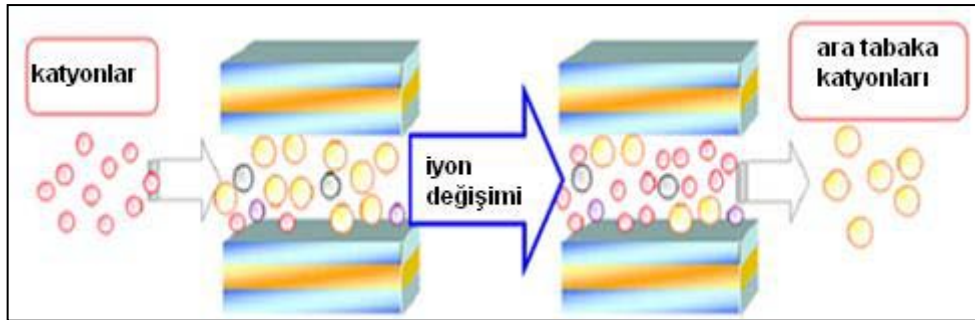
tabakaları arasındaki katyonların türü ve miktarı ile yakından ilgilidir (Sarıkaya vd., 2001). Şekil 1.4'de bentonitin şişme mekanizması gösterilmektedir. Tabakalar arasındaki zayıf bağlar nedeniyle su molekülleri ve katyonlar kolay bir şekilde ara tabakalara ulaşabilmektedir.



Şekil 1.4 Bentonitin şişme mekanizması (Sarıkaya vd,2001)

Smektitlerin 2:1 tabakaları arasında doğal olarak genellikle Na^+ ve Ca^{+2} katyonları bulunmaktadır. $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ eş molar oranı yükseldikçe smektitlerin şişmesi artmaktadır (Sarıkaya vd, 2001). Bentonit değişebilir katyon olarak çok değerlikli katyona sahip olduğunda çok fazla şişmez. Bunun nedeni katyon ve silikat tabakaları arasındaki çekme kuvvetinin iyon hidrasyonunun itici etkisinden daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır.

Montmorillonitteki tetrahedral katmanında Si^{+4} 'ün yerini Al^{+3} ; oktahedral katmanında Al^{+3} 'ün yerini de Mg^{+2} , Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Li^+ alabilmektedir. Bu katyon değişimi tetrahedral diziliminde çok az olmasına karşın oktahedralde önemli ölçüdedir. Katyon değişimleri sonunda artı yük eksikliği ortaya çıkar. Artı yük eksikliği Na^+ , K^+ , Li^+ ve Ca^{+2} iyonlarının birim aralarındaki su katmanından kristal kafesine bağlanmalarıyla giderilir. Şekil 1.5'de montmorillonitin katyon değiştirme mekanizması şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.5 Montmorillonitin katyon değiştirme mekanizması (Sarıkaya vd.,2001)

Kasyon değiştirme kapasitesi 100 gram kilin adsorbe ettiği kasyonların milieküvalent (meq) sayısı olarak tanımlanmaktadır. Katyon değiştirme kapasitesi (K.D.K) sembolüyle gösterilir ve meq/100 gr birimi ile ifade edilmektedir. Bentonit için katyon değiştirme kapasitesi 80-150 meq/100gr arasında değişmektedir. DTA ve X-ışını ile yapılan araştırmalar değişebilir kasyonların montmorillonit birimleri arasında yerleştiğini gösterir. Dane iriliğinin azalması (yüzey artışı) ve öğütme (kırılan bağların artışı) katyon değişim kapasitesini yükseltirken sıcaklık artışı bu kapasiteyi ters yönde ve gelişi güzel etkiler. Araştırmalar, iyon çapı büyüdükçe iyonlar arasında yer değiştirmenin kolaylaştığını göstermektedir (Sarıkaya vd., 2001).

1.3 Biyopolimerlerin İnşaat Mühendisliği Geoteknik Alanında Kullanımı

Biyopolimerlerin geoteknik alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar çok kısıtlı ve yenidir. Biyopolimerler tekrar eden bir düzene sahiptirler, bu yüzden metaller, yüzey partikülleri ve diğer polimerlerle kimyasal reaksiyona girmeye yatkındırlar. Ağır metaller ve radyoaktifler barındıran çevresel kirlilik dünya çapında büyük bir sorundur. Bu kontaminantların temizlenmesi konusunda ilgilenen çevresel geoteknolojide nükleer ve diğer aşırı zararlı metalik atıkları yok etmeyi amaçlayan teknolojilerde yaygın bir şekilde biyopolimerler kullanılmaya başlamıştır (Etemadi vd., 2003; Chatterjee vd., 2009). Etemadi vd. (2003) yaptıkları çalışmada zantangam ve guar gam biyopolimerini kullanarak, kumlu zeminlerde Cu^{2+} iyonlarını temizlemeyi başarmıştır. Yaptıkları deneylerde, kumlu zeminin biyopolimer katkısı ile kayma dayanımının arttığını ve hidrolik geçirgenliğinin azaldığını belirtmişlerdir.

Erozyon konusunda yapılan çalışmalar neticesinde, biyopolimer katkısı ile erozyon önlenebilmiştir. Kavazanjian vd. (2009), zantangam biyopolimerini kullanarak rüzgar erozyonunu önlemişlerdir. Biyopolimer katkısının 2 hafta süreyle rüzgar erozyonunu önlediğini belirtmişlerdir. Erozyonu önlemek amacı ile geotekstil veya diğer kimyasal iyileştirme yöntemlerine göre biyopolimer katkılarıyla yapılan iyileştirmelerin daha ekonomik ve kolay bir iyileştirme yöntemi olduğunu belirtmişlerdir.

Orts vd. (2007), rüzgar ve su erozyonunu kontrol edebilmek için, toprağı dengede tutmayı sağlayan poliakrilamid kopomiler kullanarak üç yeni uygulama geliştirmiştir. İlk uygulamada, düşük konsantreli aniyonik, saflığı yüksek poliakrilamid (PAM) %90'ı yıkama suyunda elenmiş çökelti suyuna 10 ppm eklenir ya da 1'e 2 kg ha⁻¹ oranında eklenir. İkinci uygulamada, PAM yapı alanında veya yol yarmasında 22,5 kg ha⁻¹ oranında çökeltinin, %60-85 arası seyreltilene kadar sağanak yağmurlarda uygulanır. Son olarak helikopter pistlerinde helikopterin iniş anındaki toz bulutunu minumuma indirmek için alüminyum kloral hidrat ve çapraz bağlı süper emici poliakrilik asit orantısıyla karıştırılmış (PAM) formülüze edilerek uygulanır. Bu formül Orta Doğu'daki kurak arazide helikopterin inişi esnasında potansiyel olarak oluşan toz bulutunu en aza indirmek için geliştirilmiştir.

Mitchell ve Santamarina (2005) biyopolimerlerin; geçirimsiz bariyerlerde dayanım arttırımında ve sıvılaşma direncini arttırmada kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Geoteknik mühendisliğinde ise daha çok sondaj çukurları ve kazıların desteklenmesinde geçici amaçlarla kullanılmaktadır (Mitchell ve Santamarina, 2005).

Chatterjee vd. (2008) geleneksel kimyasalların kullanılmasıyla ortaya çıkan büyük miktarlardaki çamur üretimini önlemek için, biyolojik olarak parçalanabilen çevre dostu olan kitosanı viskozite artırıcı olarak kullanmışlardır. Kitosan ile birlikte dört farklı tuz (Na_2SO_4 , NaHSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve KHSO_4) sülfürik asit (H_2SO_4) ile koşullandırarak bentonit süspansiyonun viskozite verimliliğini arttırmak için araştırmalar yapmışlardır. Asetik asitte çözünen kitosan, 5g/l bentonit süspansiyonunun viskozite artırıcısı olarak kullanılmıştır. Bentonit süspansiyonunun maksimum viskozitesi için gerekli optimum kitosan konsantrasyonu 5mg/l'dir. İslah için kullanılan beş katkı maddesinden, NaHSO_4 , tüm konsantrasyonlarda kitosanın viskozite etkinliğinin artırılmasında en etkili madde olarak belirlenmiştir ve 0,05 mM NaHSO_4 ile ıslah edildiğinde kitosanın viskozite etkinliği en yüksek düzeyde olmuştur. NaHSO_4 ile ıslah edilmiş kitosan tüm pH'larda (pH 3-8) ıslah edilmemiş kitosandan daha iyi viskozite verimliliği göstermiştir. Süspansiyonun pH artışında, kitosanlı bentonit viskozitesinin azaldığı bulunmuştur. Yapılan çalışmada pH 6'da 5mg/l NaHSO_4 ile ıslah edilmiş kitosanın kullanılmasıyla bentonitin kaldırma yüzdesi ıslah edilmemiş kitosana kıyasla %76'dan %88'e yükselmiştir.

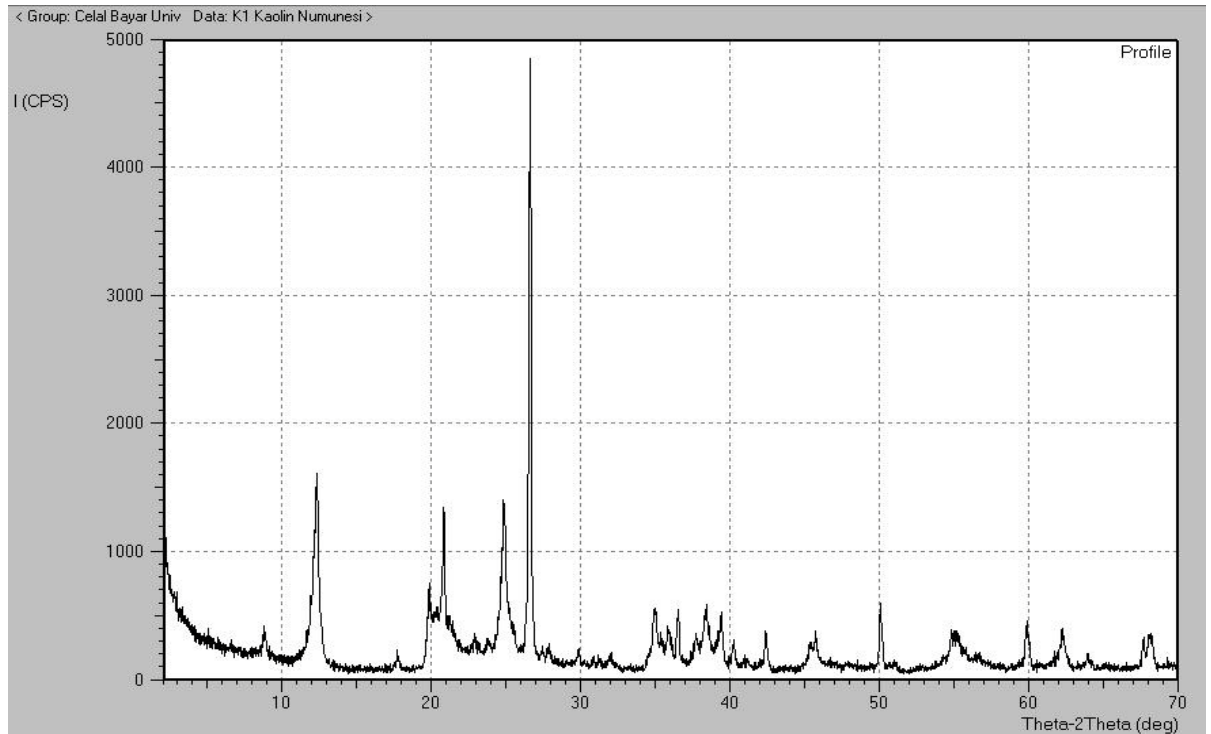
Genel olarak literatürde yapılan çalışmalar biyopolimerlerin zeminlerin bazı özelliklerinin iyileştirmede kullanılabileceğini göstermektedir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

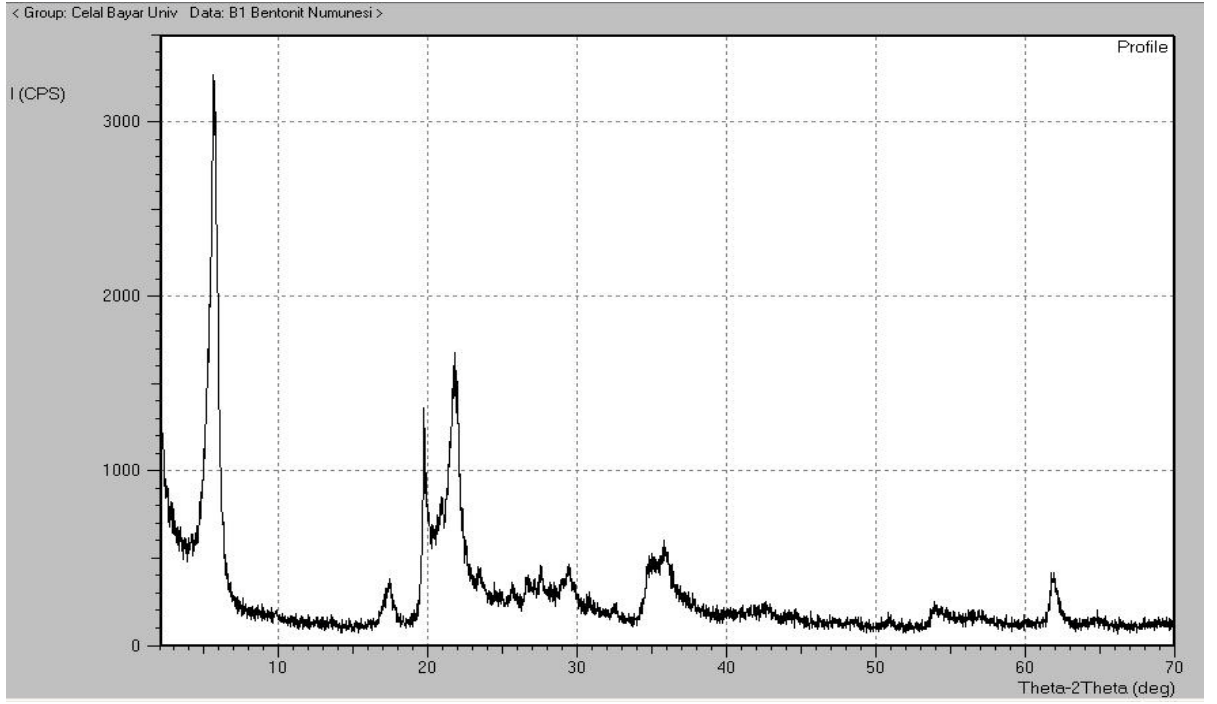
2.1. Malzeme

Bu çalışmada kullanılmak üzere Eczacıbaşı Madencilik A.Ş. firmasından temin edilen kaolin ve bentonit killi zemin örnekleri kullanılmıştır. Doğada en çok bulunan kil minerallerinden olduğu için bu iki tip kil minerali bu çalışma için seçilmiştir. Numuneler çeneli konkasörde kırılarak, etüvde kurutulmuş ve No. 40 elekten elenerek deneylere hazır hale getirilmiştir.

Killerin mineralojik içeriğini belirlemek üzere, numuneler No.40 elekten elenmiş halde Tübitak Malzeme Araştırma Merkezi (MAM) 'da analiz edilmiştir. X-ray analizlerinde Shimadzu XRD-6000 cihazı ile Cu X-ışını tüpü ($\lambda=1,5405$ Angstrom) kullanılmıştır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2' de kaolin ve bentonit numunelerine ait X-ray difraksiyon grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Kaolin numunesine ait X-ray difraksiyon grafiği



Şekil 2.2 Bentonit numunesine ait X-ray difraksiyon grafiği

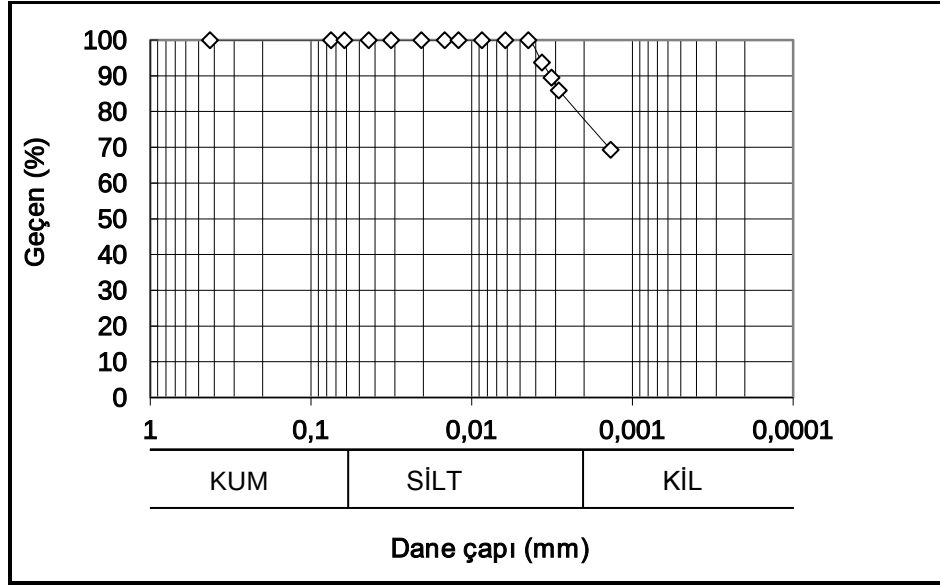
X-ray grafiklerinden elde edilen pik değerler toz difraksiyon kartları ile bilgisayar ortamında karşılaştırılarak zemin numunelerinin içerisindeki mineraller belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.1’de gösterilmektedir. Buna göre kaolin numunesi kaolinit, kuvars ve illit içermektedir. Bentonit numunesi ise montmorillonit, kristobalit ve kuvars içermektedir.

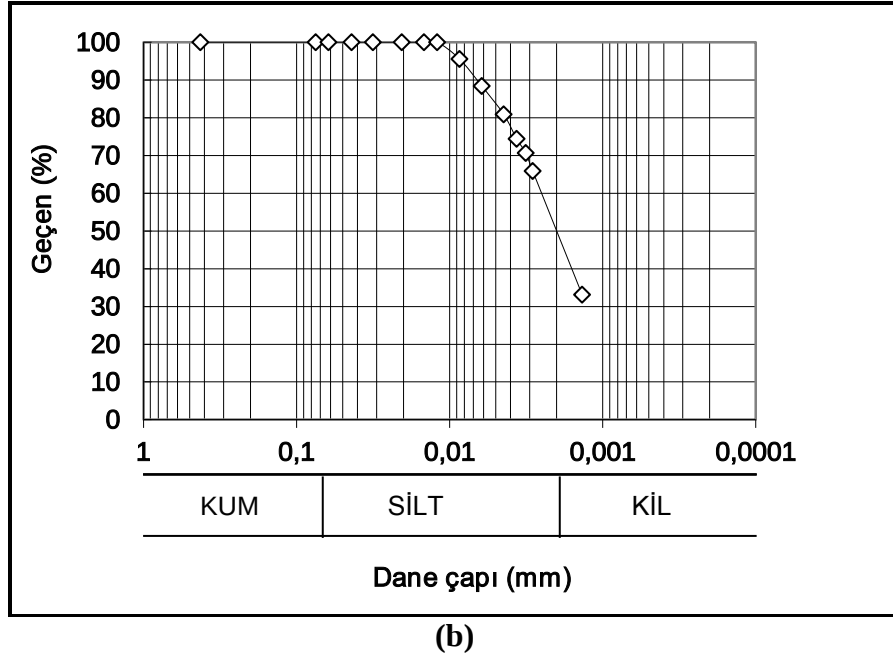
Tablo 2.1 Killi zemin numunelerinin mineralojik bileşenleri

Numune	İçerdiği mineraller
Kaolin	1.Kuvars, SiO_2 2.Kaolinit, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ 3.İllit, $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
Bentonit	1.Montmorillonit, $\text{Ca}_{0,2}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2.Kristobalit, SiO_2 3.Kuvars, SiO_2

Kaolin ve bentonit numunelerinin özgül ağırlıkları ASTM D 854-92 standardına göre belirlenmiştir. Deneyler sonucunda kaolin ve bentonitin özgül ağırlıkları sırasıyla 2.623 ve 2.428 bulunmuştur.

Dane dağılımı ASTM D 422-63 standardına göre elek analizi ve hidrometre analizleri sonucunda belirlenmiştir. Buna göre kaolin ve bentonite ait dane çapı dağılım grafikleri Şekil 2.3'de gösterilmektedir.





Şekil 2.3 Kaolin ve bentonite ait dane çapı dağılım grafikleri a) kaolin, b) bentonit

Zemin numunelerinin likit limit ve plastik limitleri ise ASTM D 4318-98, rötre limitleri ise ASTM D 427-93 standartına göre belirlenmiştir. Elde edilen fiziksel ve indeks özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Kil numunelerinin fiziko-kimyasal özellikleri

	Kaolin	Bentonit
Likit limit (%)	40.1	108.6
Plastisite indisi (%)	24.4	43.8
Kil yüzdesi (%)	77.0	50.0
Özgül Ağırlık	2.623	2.428

Biyopolimer olarak bu çalışmada sanayide en yaygın olarak kullanılan zantangam ve kitosan biyopolimerleri seçilmiştir. Zantangam ve kitosan biyopolimerleri MP biomedical firmasından temin edilmiştir. Zantangam saf suda, kitosan ise seyreltilmiş asetik asit çözeltisiyle çözülerek ağırlıkça %0.25, %0.50, %0.75 konsantrasyonlarında hazırlanarak deneylerde kullanılmıştır.

2.2. Metotlar:

Bu çalışmada; biyopolimer katkılarının killi zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çerçevede doğada en yaygın olarak bulunan bentonit ve kaolin örneklerinin saf su ve biyopolimerler varlığında kıvam limitleri, oturma ve şişme davranışları belirlenmiştir.

2.2.1 Likit Limit Deneyi

Bu çalışmada likit limit deneyleri ASTM D 4318-98 standartına göre belirlenmiştir. Bunun için 40 nolu elekten geçen bentonit ve kaolin numunelerinden en az 100 gram ağırlığında numuneler alınıp, kaplar içerisine konmuş, numuneler saf su ve biyopolimerlerin %0,25, %0,50, %0,75 oranındaki saf su ve seyreltilmiş asetik asit çözeltisinde çözünmüş çözeltileri ile homojen bir duruma gelene kadar spatula vasıtasıyla homojen bir şekilde iyice karıştırılmıştır.

Elde edilen zemin-biyopolimer karışımından alınan numune Casagrande aletinin kaşığına yüzeyi tabana paralel olacak şekilde yerleştirilmiş ve oluk açma bıçağı ile oluk açılmıştır. Böylece numunenin ortasında "V" kesitli bir oluk açılmıştır. Krank kolu saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek, iki yanda kalan zemin, oluğun dip kısmında 13 mm boyunca bir birine değene kadar, kap kaldırılıp düşürülmüştür. Oluktaki bu kapanmayı, sağlayan düşüş sayısı kaydedilmiştir. Her deneyde darbe sayıları 15 ile 50 arasında kalacak şekilde, en az 4 nokta elde edilmiştir. Her deney iki defa tekrar edilmiştir. Elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

2.2.2 Plastik Limit Deneyi:

Kil numunelerinin plastik limitleri ASTM D 4318-98 standardına göre belirlenmiştir. Bunun için 40 nolu elekten geçen bentonit ve kaolin numunelerinden 20-30 gram civarında bir kaba konularak üzerine yapılacak deneye göre saf su ya da biyopolimer çözeltilerinden eklenmiş ve homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Numune düz bir cam plaka üzerinde el ayası ile yuvarlanarak 3 mm çapında silindir çubuklar haline getirilmiştir. Numune 3 mm çapına geldiği anda yüzeyinde rötre çatlakları görüldüğü anda numune su içeriğinin belirlenmesi için etüve konulmuştur. Bu numuneler 105 °C'de 24 saat bekletildikten sonra su muhtevaları belirlenmiştir. Her numuneden en az üç deney yapılmış ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Her deney iki sefer tekrar edilmiş ve ortalama değer alınmıştır.

2.2.3 Rötre Limit Deneyi:

Bu çalışmada kil numunelerinin rötre limitleri ASTM D 427-93 standardına göre belirlenmiştir. Numunelerden yaklaşık olarak 30 gram civarında malzeme alınmıştır. Geniş bir kaba konarak saf su veya biyopolimer çözeltisi ile likit limitin biraz üzerinde olacak şekilde su muhtevasıyla homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Rötre kabının i yüzeyi gres yağı kullanılarak ince bir tabaka ile yapışmayı önlemek için yağlanmıştır.

Rötre kabı yaklaşık üçte biri malzeme ile dolacak şekilde malzeme ile doldurulmuştur ve kap sert bir y zeve vurularak malzemenin kabin kenarlarına yayılması ve içerisinde hava kalmaması sağlanmıştır. Kabin tamamen dolması için numune eklenerek diğer iki tabaka içinde aynı işlemler yapılmıştır. Fazla malzeme, rötre kabının üst yüzeyi spatula ile düzgün bir biçimde sıyrılarak düzelmiştir. Kabin dış kısımları fazla malzemeden temizlenmiştir.

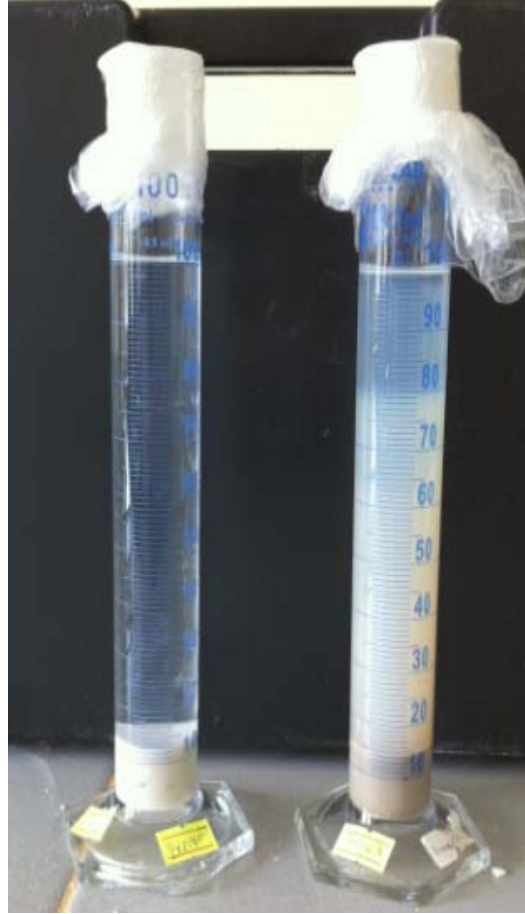
Rötre kabı içindeki malzeme ile birlikte tartılarak ve " kap+yaş numune" ağırlığı olarak kaydedilmiştir. Bu ağırlıktan rötre kabı ağırlığı çıkartılarak yaş numune ağırlığı bulunmuştur. Kaptaki numune 2-3 gün açık havada kurutulmuş, daha sonra etüve konarak 24 saat kurutulmuştur. Etüvden çıkartılan numune tartılarak, kap+kuru numune ağırlığı kaydedilmiştir. Rötre kabının hacmini tayin için, rötre kabı geniş bir kabin içine konmuş ve rötre kabının üzerine kenarlarından taşıncaya kadar civa doldurulmuştur. Cam plaka rötre kabı üzerine bastırılarak fazla civa taşırılarak rötre kabının hacmi bulunmuştur. Daha sonra aynı işlem kuru numunenin hacmini belirlemek üzere tekrarlanmıştır. Kuru numune rötre kabından alınarak civa dolu cam kap içine batırılmış, kaptan taşan (numunenin hacmi kadar yer değiştiren) civa ağırlığı bulunmuştur. Bu civa ağırlığı değeri, civa yoğunluğuna bölünerek taşan civa hacmi, diğer bir deyişle kuru numune hacmi bulunmuştur.

Rötre limitinin tayini için her bir numuneden 3 deney yapılarak, sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

2.2.4 Modifiye Serbest şişme Deneyi (MSşi):

Bu çalışmada kil numunelerinin modifiye serbest şişme indisleri (MSşi) ASTM D-5890 (1999) standardı ile Sivapullaiah vd. (1987) alışmasına göre belirlenmiştir. Bunun için bentonit ve kaolin numuneleri biyopolimerin %0.25, %0.50, %0.75 oranındaki saf su ve seyreltilmiş asetik asit çözeltisinde çözülmüş çözeltileri ile homojen bir şekilde karıştırılarak daha sonra kurumaya bırakılmıştır. Numuneler önce oda sıcaklığında daha sonra 50  C civarında etüvde kurutulmuştur. Etüvde kurutulan numuneler seramik havanda  ğ t lerek 40 nolu elekten elenmiştir. Kaolin numunelerinden 10 gram, bentonit numunelerinden 5 gram deneylerde kullanılmıştır. Alınan numuneler 90 ml saf su ile dolu ölçekli mez r içerisine yavaş yavaş d k lm ştir. Her bir dökümde yaklaşık olarak 0.2-0.3 gram numune dökülmesine dikkat

edilmiştir. Her bir döküm işleminden sonra numunenin saf su içerisinde yerleşmesi için belirli bir süre beklenmiştir. Bu işlem yapılırken numunenin sıkışmamasına ve çalkalanmamasına özen gösterilmiştir. Deney sonunda mezür yan yatırılıp hafifçe döndürülerek, numunenin içerisindeki havanın çıkması sağlanmıştır. Daha sonra numuneler cam mezür içerisinde 24 saat bekletilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Modifiye serbest şişme indisinin belirlenmesi

Bu süre sonunda şişen numunelerin hacimleri ölçekli mezürden ölçülerek, şişme yüzdeleri aşağıdaki bağıntı vasıtasıyla bulunmuştur.

$$MSŞS = \frac{V - V_s}{V_s} \quad (2.1)$$

Burada; V = şişen zemin hacmi, V_s = danelerin hacmidir.

Burada;

$$V_s = \frac{W_s}{G_s \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

W_s =kuru zemin ağırlığı

G_s =özümlü ağırlık

γ_w =suyun birim hacim ağırlığıdır.

2.2.5 Konsolidasyon Deneyi

Killi zemin numunelerinin konsolidasyon özellikleri ASTM D-2435 standardına göre belirlenmiştir. Bunun için 40 nolu elekten geçen bentonit ve kaolin numunelerinden en az 100 gram ağırlığında numuneler alınıp, kaplar içerisine konulmuş, numuneler saf su ve biyopolimerlerin %0.25, %0.50, %0.75 oranındaki çözeltileri ile homojen bir duruma gelene kadar spatula vasıtasıyla iyice karıştırılmıştır.

Çapı 5 cm olan halka bir miktar malzeme ile doldurulmuş ve konsolidasyon halkası sert bir yüzeye vurularak malzemenin kabın kenarlarına yayılması sağlanmıştır. Vurma işlemi vasıtasıyla numune içerisinde hava kalması engellenmiştir. Fazla malzeme, konsolidasyon halkası üst ve alt yüzeyi spatula ile düzgün bir biçimde düzeltilmiştir. Halkanın etrafı temizlenmiştir. Halkanın alt ve üst kısmı filtre kağıdı ile kapatılmıştır ve halka zemin ile birlikte tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra konsolidasyon halkası hücre içerisine yerleştirilmiştir. Hücre saf su ile doldurularak yükleme yapılmıştır.

Konsolidasyon hücresine yerleştirilen numuneler birincil konsolidasyon tamamlandıktan sonra yük artırımına maruz bırakılmıştır. Uygulanan yük miktarı bir önceki yüklemenin iki katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Uygulanan yük artırım oranı 1'dir. Her yük kademesi için birincil konsolidasyon tamamlanıncaya kadaren az 24 süreyle beklenilmiş ve belirli zaman aralıklarında deformasyon saati okunup, kaydedilmiştir.

Yükleme aşamaları tamamlandıktan sonra, zeminlerin şişme indislerinin belirlenebilmesi için yük boşaltma aşamalarına geçilmiştir. Bu amaçla numune üzerindeki yükler 1/4 oranına indirmek suretiyle kademeli indirilmiştir. En son yükleme 8 kg/cm² olduğundan numunelerin üzerindeki yük öncelikle 2 kg/cm² ve daha sonra 0,5 kg/cm²'ye düşürülmüştür. Her bir kademede şişme tamamlanana kadar beklenmiş, okuma alınarak deney sonlandırılmıştır. Numuneler tartılmış ve etüvde kurutulmuştur.

2.2.6 Permeabilite

Zemin numunelerinin permeabilite değerleri tek yönlü ödeometre deneyi vasıtası ile belirlenmiştir. Rijit duvarlı permeabilite deneyi laboratuvar olanakları içerisinde bulunmadığından permeabilite değerleri ASTM D-2435 standardına uygun olarak yapılan konsolidasyon deneyi vasıtasıyla belirlenmiştir. Her bir yük kademesinde elde edilen konsolidasyon katsayısı (c_v) ile hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) vasıtası ile aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır:

$$c_v = \frac{k}{m_v \gamma_v} \quad (2.3)$$

3. DENEYSEL SONUÇLAR

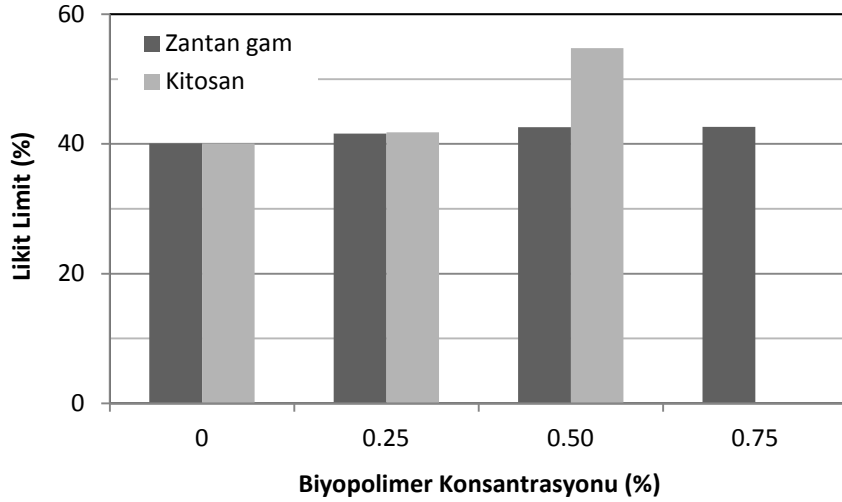
Bu çalışmada iki farklı biyopolimer olan zantangam ve kitosanın farklı konsantrasyonları varlığında killi zemin numunelerinin kıvam limitleri, oturma, permeabilite ve şişme davranışları değerlendirilmiştir.

3.1 Likit Limit

Kil numunelerinin zantangam ve kitosan biyopolimerlerinin farklı konsantrasyonları varlığında likit limitleri belirlenmiştir. Biyopolimerlerin istenen konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanmış ve kil numuneleriyle homojen şekilde karıştırılmıştır. Zantangam ve kitosan biyopolimeri varlığında kaolin numunesi için elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Şekil 3.1’ de ise kaolin numunesinin likit limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Kaolin numunesi likit limit deney sonuçları W_L (%)

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	% 0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	40.07	41.59	42.56	42.64
Kitosan	40.07	41.80	54.74	-



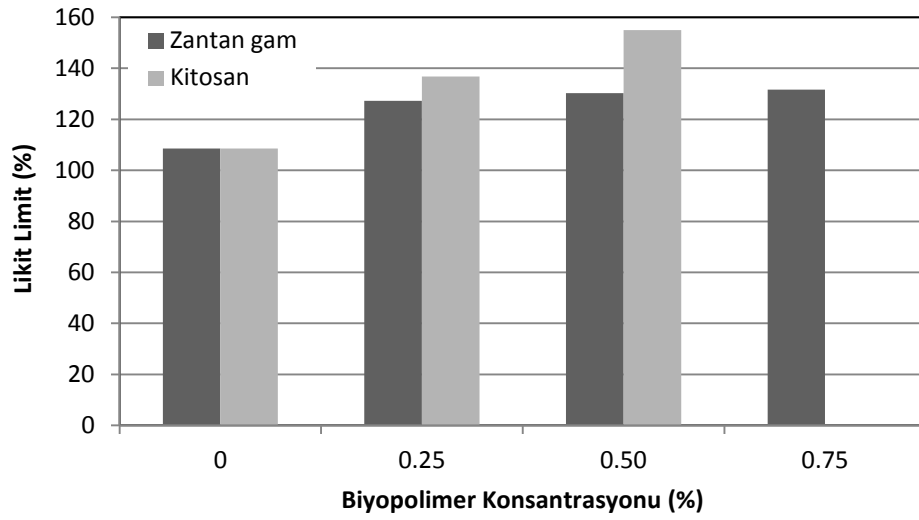
Şekil 3.1 Kaolinin likit limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi

Şekil 3.1 'den görüldüğü üzere kaolin içeren killi zemin numunesi için zantangam yüzdesi arttıkça likit limit değeri de artmaktadır. Saf haldeki likit limit değeri %40.07 iken, konsantrasyon %0.75'e çıkarıldığında likit limit değerindeki artış sadece %2.5 kadar olmaktadır. Kitosan varlığında ise kaolinin likit limit değerinde zantangama göre daha fazla bir artış olmaktadır. Zantangam ve kitosan %0.25 konsantrasyonunda aynı oranda etki göstermiştir. Fakat kitosan %0.5 oranında eklendiğinde %36 kadar likit limit değerinde bir artış oluşmuştur. Kitosan numunesi az miktarda bulunduğundan %0.75 konsantrasyonundaki deneyler yapılamamıştır. Kaolin numunesi likit limit değeri çok yüksek olmayan düşük plastisiteli bir zemin olduğu için biyopolimer etkisi çok az miktarda görülmektedir. Fakat elde edilen sonuçlardan bu çalışmada kullanılan biyopolimerlerin kaolinitik killi zeminlerin likit limitini arttırmada kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.2'de bentonit numunesine zantangam ve kitosanın farklı konsantrasyonları eklendiğinde elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Şekil 3.2'de ise bu sonuçlar değişimlerin daha rahat gözlenebilmesi için bar grafik şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Bentonit numunesi likit limit deney sonuçları W_L (%)

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	108.60	127.20	130.28	131.69
Kitosan	108.60	136.81	155.05	-

**Şekil 3.2** Bentonitin likit limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi

Şekil 3.2' den görüldüğü gibi bentonitte artan zantangam yüzdesi likit limit değerini artırmaktadır. Saf haldeki likit limit değeri % 108.60 iken, konsantrasyon % 0.75'e çıkarıldığında likit limit değerindeki artış %23 civarındadır. Kitosan varlığında ise likit limit değerlerindeki artış çok daha fazladır. Kitosan %0.25 eklendiğinde likit limit değeri %26 oranında artarken, %0.5 oranında eklendiğinde bu değer %43' e kadar yükselmektedir. Kaolin ile kıyaslandığı zaman bentonitin likit limit değeri daha yüksek olduğu için biyopolimerin etkisi daha açık bir şekilde görülmektedir. Elde edilen sonuçlara bakılarak zantangam ve kitosanın bentonitin likit limit değerini arttırmada kullanılabileceği söylenebilir.

Biyopolimerlerin suda çözünen formlarında çevrelerinde bulunan hidroksil grupları (OH^-) killerin yüzeylerinde yerleşerek kaolin ve bentonitin likit limit değerlerini arttırmışlardır. Hidroksil (OH^-) grubunun konsantrasyonunun artışı killerin çevresinde bulunan difüz çift tabakanın artışına neden olmaktadır. Ayrıca kilin üzerindeki negatif yük artışı olmaktadır. Böylelikle likit limit

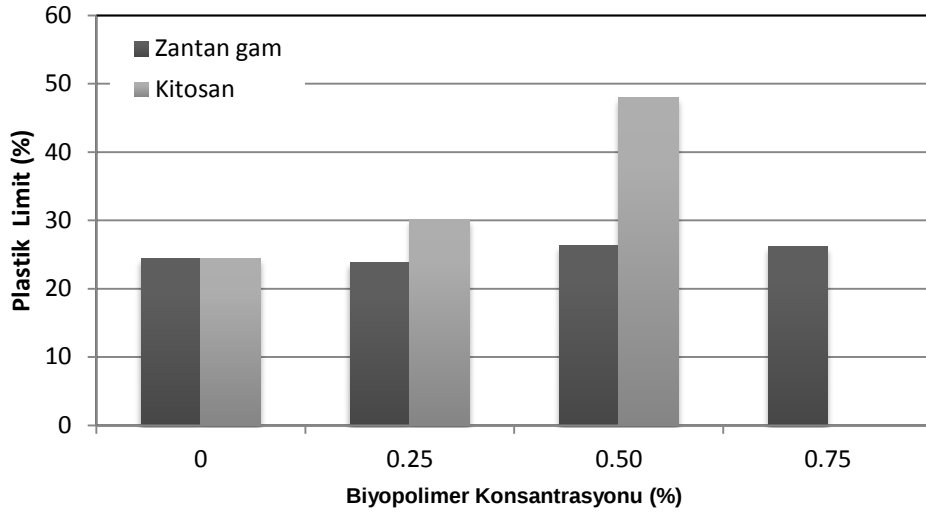
değerlerinde artış gözlenmektedir.

3.2 Plastik Limit

Kil numunelerinin zantangam ve kitosan biyopolimerlerinin farklı konsantrasyonları varlığında plastik limitleri belirlenmiştir. Biyopolimerler çözeltileri hazırlanmış ve kil numuneleriyle homojen şekilde karıştırılmıştır. Zantangam ve kitosan biyopolimerleri varlığında kaolin numunesine ait elde edilen sonuçlar Tablo 3.3' de gösterilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar Şekil 3.3'de grafik şeklinde verilmektedir.

Tablo 3.3. Kaolin numunesi plastik limit deney sonuçları

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	24.40	23.77	26.30	26.13
Kitosan	24.40	30.10	47.95	-



Şekil 3.3 Kaolinin plastik limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi

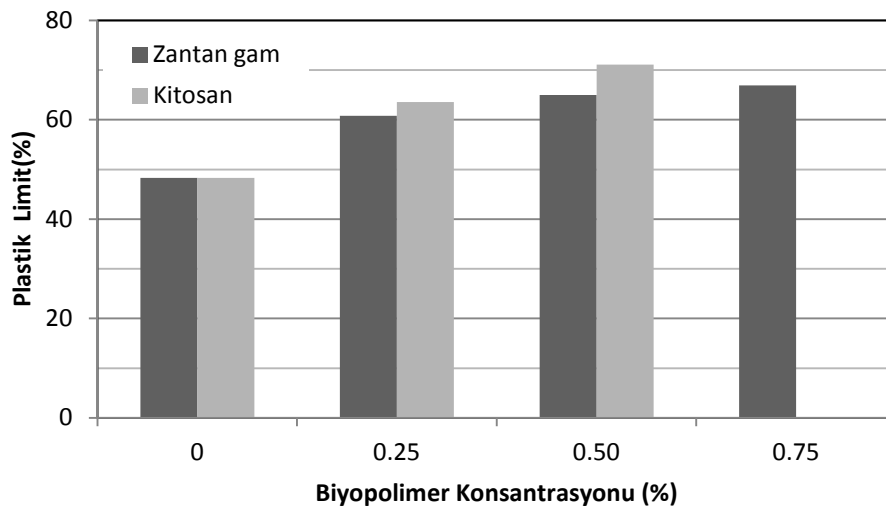
Şekil 3.3' den görüldüğü üzere kaolin içeren killi zemin numunesi için zantangam

yüzdesi arttıkça plastik limitte kararlı bir davranış gözlemlenmemiştir. Zantangamın %0.25 konsantrasyonundaki çözeltisi ile hazırlanan numunenin plastik limitinde düşme gerçekleşirken. %0.50 zantangam çözeltisi ile hazırlanan numunenin plastik limitinde artış gözlemlenmiştir. Fakat saf haldeki plastik limit değeri ile %0.25 konsantrasyonundaki plastik limit değeri birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu nedenle zantangam yüzdesi arttıkça plastik limit değerinin arttığı söylenebilir. Fakat bu artış zantangamın %0.75 konsantrasyonunda bile %1 oranında olmaktadır. Kitosan varlığında ise kaolinin plastik limit değerlerinde gözle görülür bir artış olmaktadır. Kitosanın %0.5 oranındaki konsantrasyonunda kaolinin plastik limit değeri yaklaşık olarak %97 'lik bir artışla iki katına çıkmıştır.

Tablo 3.4'de bentonit numunesine zantangam ve kitosanın farklı konsantrasyonları eklendiğinde plastik limitte elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Şekil 3.4'de ise bu sonuçlar grafik şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Bentonit numunesi plastik limit deney sonuçları

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	48.30	60.80	64.96	66.90
Kitosan	48.30	63.53	71.125	-



Şekil 3.4 Bentonitin plastik limit değerleri üzerinde biyopolimer katkı etkisi

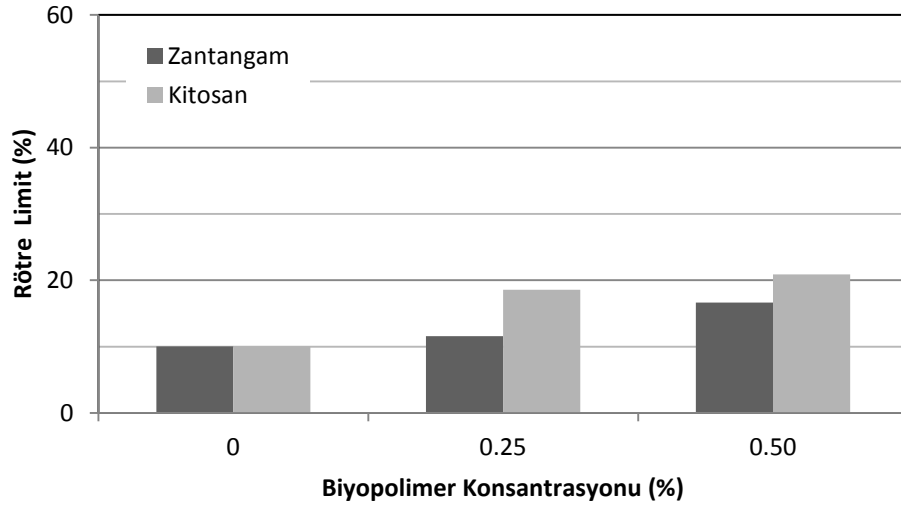
Şekil 3.4'de görüldüğü üzere bentonitte artan zantangam yüzdesi ile plastik limit değeride artmaktadır. Bu artış kaolinle kıyaslandığında çok daha fazla oranda olmaktadır. Zantangam'ın %0.75 konsantrasyonu varlığında bentonitin plastik limit değeri saf halde %48.3 iken %39'luk bir artışla %66.9'a yükselmiştir. Kitosan, zantangama göre plastik limit değerinde daha fazla bir artışa neden olmaktadır. Kitosan biyopolimerinin %0.5 oranındaki konsantrasyonu bentonitin plastik limit değerini %47 oranında arttırmıştır. Likit limitte olduğu gibi plastik limitte de biyopolimerler varlığında killi zemin numunelerinin plastik limitlerinde artış gözlenmektedir. Biyopolimerlerin suda çözünen formlarında ortaya çıkan hidroksil (OH⁻) grupları killerin çevresindeki difüz çift tabakanın genişlemesine ve dolayısıyla da plastik limitin artışına neden olmuşlardır.

3.3 Rötre Limiti

Kil numunelerinin zantangam ve kitosan biyopolimerlerinin farklı konsantrasyonları varlığında rötre limitleri belirlenmiştir. Zantangam saf suda, kitosan ise seyreltilmiş asetik asit çözeltisinde çözülerek çözeltileri hazırlanmış ve kil numuneleriyle homojen şekilde karıştırılmıştır. Zantangam ve kitosan biyopolimerleri varlığında kaolin numunesinin rötre limitine ait sonuçlar Tablo 3.5' de ve grafik halinde Şekil 3.5'de gösterilmektedir.

Tablo 3.5 Kaolin numunesi rötre limiti deney sonuçları

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu		
	%0	%0.25	%0.50
Zantangam	10.05	11.56	16.64
Kitosan	10.05	18.59	20.89



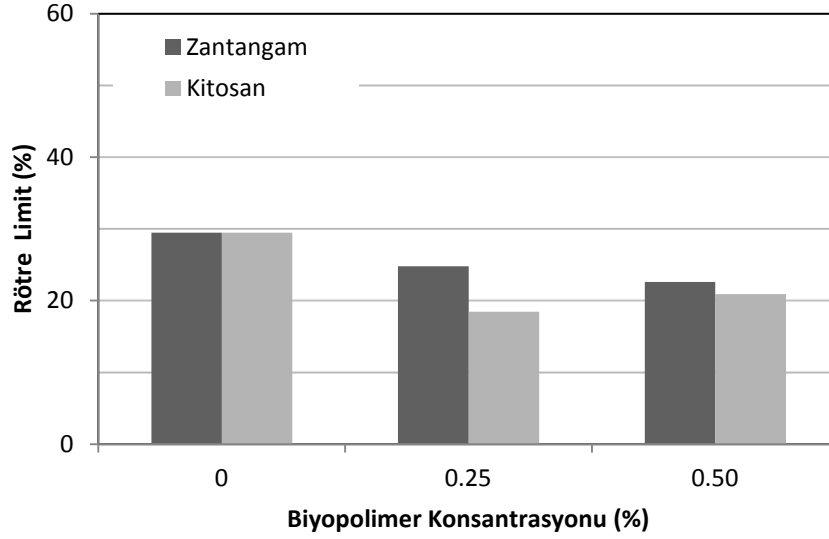
Şekil 3.5 Kaolinin rötre limitine biyopolimer katkılarının etkisi

Şekil 3.5' den görüldüğü üzere kaolin içeren killi zemin numunesi için zantangam yüzdesi arttıkça rötre limit değeri artmaktadır. Saf halde rötre limit değeri %10.05 iken konsantrasyon % 0.50 'ye çıkarıldığında rötre limiti %7 oranında artmıştır. Kitosan varlığında ise %0.5 oranındaki konsantrasyonda rötre limiti yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır.

Bentonit numunesine ait biyopolimerler varlığında rötre limiti sonuçları Tablo 3.6'da ve bu sonuçlar grafik şeklinde Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

Tablo 3.6 Bentonit için rötre limit deney sonuçları

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu		
	%0	%0.25	%0.50
Zantangam	29.49	24.80	22.61
Kitosan	29.49	18.44	20,89



Şekil 3.6 Bentonitin rötre limitine biyopolimer katkılarının etkisi

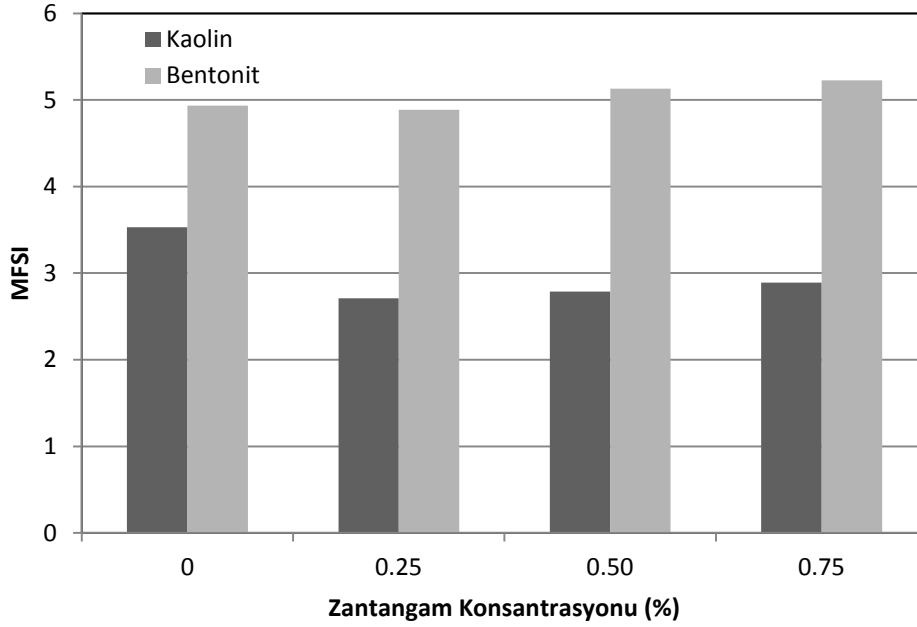
Şekil3.6 'da görüldüğü gibi bentonitte artan zantangam yüzdesi rötre limit değerinde azalmaya sebep olmuştur. Kitosanın %0.5 oranındaki konsantrasyonu rötre limiti değerinde %84' lük bir azalmaya neden olmuştur. Elde edilen sonuçlardan kullanılan biyopolimerlerin kaolinin rötre limitini arttırdığı, bentonitin ise rötre limitini düşürdüğü söylenebilir.

3.4. Modifiye Serbest Şişme İndisi (MSŞi)

Numunelerin serbest şişme deneyleri ASTM D-5890 standardı and Sivapullaiah vd. (1987)'e göre belirlenmiştir. Biyopolimerler ile homojen karıştırılan numuneler açık hava kurutulup öğütüldükten sonra ölçekli mezür içerisinde 24 saat boyunca serbest şişmeye bırakılmışlardır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de sırasıyla zantangam ve kitosan biyopolimerleri için gösterilmektedir. Şekil 3.7'de zantangam biyopolimerinin farklı konsantrasyonlarında kaolin ve bentonit numunelerinin modifiye serbest şişme indisleri gösterilmektedir.

Tablo 3.7 Zantangam varlığında modifiye serbest şişme indisleri

	Kaolin	Bentonit
Zantangam konsantrasyonu		
% 0	3.532	4.935
% 0.25	2.710	4.886
% 0.50	2.788	5.129
% 0.75	2.892	5.226

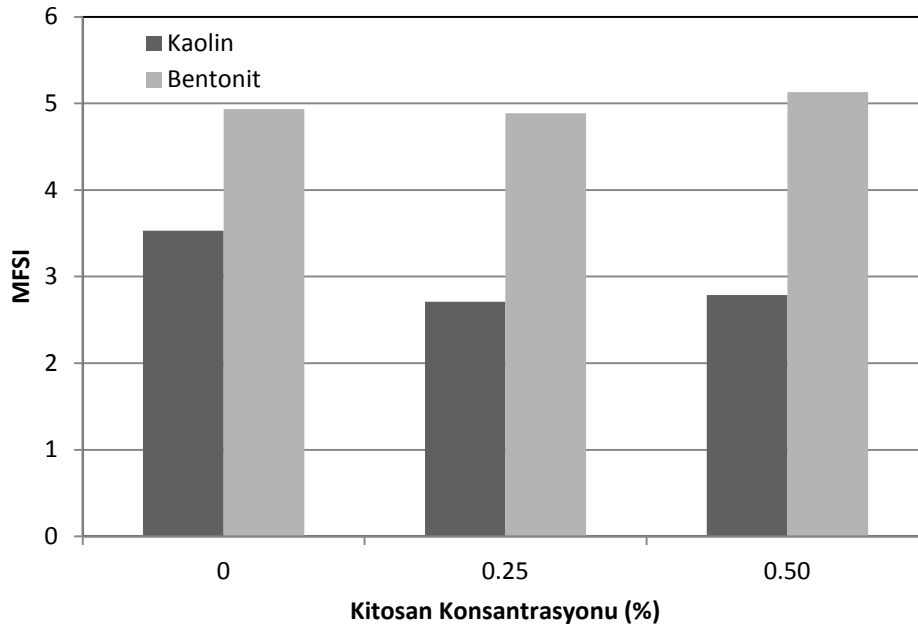
**Şekil 3.7** Zantangam varlığında modifiye serbest şişme indisleri

Tablo 3.7' de görüldüğü gibi; kaolin içeren killi zemin numunesi için zantangam yüzdesi arttıkça şişme indisinde azalma gözlemlenmiştir. Saf haldeki serbest şişme indisi 3.532 iken konsantrasyon %0.75'e çıktığında indis değerinde 0.64 azalma gözlemlenmiştir. Bentonit içeren killi zemin numunesi için ise, kararlı bir davranış görülmemektedir. %0.25 zantangam çözeltisi ile hazırlanan numunenin şişme indisinde düşme gerçekleşirken, %0.50 ve %0.75 zantangam çözeltisi ile hazırlanan numunenin şişme indisinde artış gözlemlenmiştir (Şekil 3.7). Genel olarak zantangam yüzdesi arttıkça şişme indisinde artış gözlemlendiği söylenebilir. Böylece sonuçlara bakılarak zantangam'ın kaolinin şişme indisini düşürdüğü, bentonitin ise şişme indisini arttırdığı söylenebilir.

Tablo 3.8' de görüldüğü gibi; kaolin içeren killi zemin numunesi için kitosan yüzdesi arttıkça şişme indisinde azalma gözlemlenmiştir. Saf haldeki serbest şişme indisi 3.532 iken konsantrasyon %0.50'e çıktığında indis değerinde 0.27 azalma gözlemlenmiştir. Bentonit içeren killi zemin numunesi için ise kitosan yüzdesi arttıkça şişme değerinde azalma gözlemlenmektedir (Şekil 3.8). Genel olarak kitosan yüzdesi arttıkça kaolinin ve bentonitin modifiye serbest şişme indislerinde azalma gözlemlenmiştir.

Tablo 3.8 Kitosan varlığında modifiye serbest şişme indisleri

	Kaolin	Bentonit
Kitosan konsantrasyonu		
% 0	3.532	4.935
% 0.25	3.344	4.884
% 0.50	3.265	4.737



Şekil 3.8 Kitosan varlığında modifiye serbest şişme indisleri

3.5 Konsolidasyon Deneyi

3.5.1 Sıkışma İndisi (C_c)

Zemin numunelerinin sıkışma indisleri biyopolimerler varlığında ödeometre deneyleri ile belirlenmiştir. Her yük kademesinde birincil konsolidasyon tamamlanana kadar beklenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.9'da kaolin numunesi için, Tablo 3.10'da bentonit numunesi için zantangam ve kitosan varlığında gösterilmektedir.

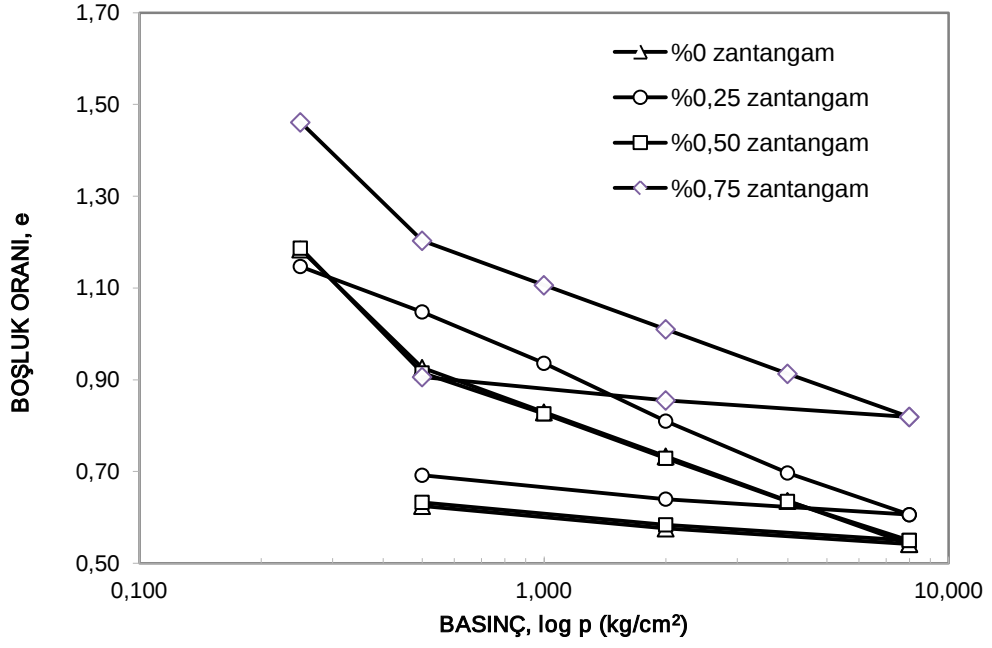
Tablo 3.9 Kaolin için konsolidasyon deney sonuçları (C_c)

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	0.317	0.339	0.297	0.317
Kitosan	0.317	0.503	0.707	-

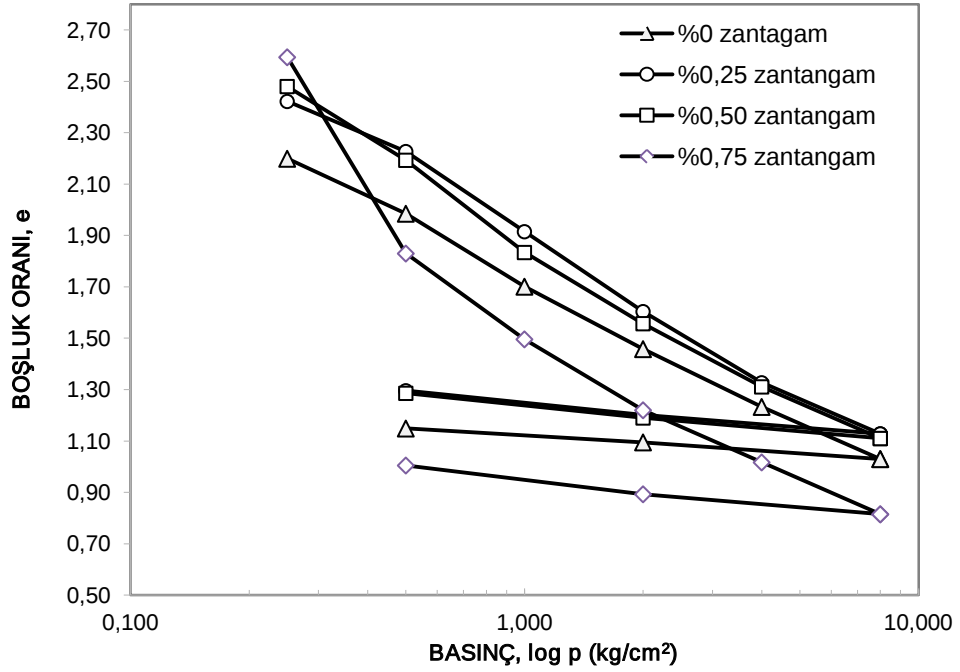
Tablo 3.10 Bentonit için konsolidasyon deney sonuçları (C_c)

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	0.711	0.791	0.743	0.673
Kitosan	0.711	0.999	-	-

Şekil 3.1'de zantangam konsantrasyonunun kaolin ve bentonit numunelerinin sıkışma davranışına etkisi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.9 Zantangam konsantrasyonunun numunelerin sıkışma davranışına etkisi a) kaolin, b) bentonit

Zantangam varlığında numunelerin sıkışma indislerinde belirli bir trend görülmezken, kitosan varlığında her iki numunenin de sıkışma indislerinde biyopolimer konsantrasyonu arttıkça artış görülmektedir. Bu sonuçlar likit limit ve plastik limit deneylerinden elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Biyopolimerlerin suda çözünmüş halleri dolayısıyla kil danelerinin etrafında bulunan difüz çift tabakanın kalınlaşmış ve bunun sonucunda numunelerin sıkışma indislerinde artış meydana gelmiştir.

3.5.2 Şişme İndisi (C_s)

Zemin numunelerinin şişme indisleri ödeometre deneyinde yükleme tamamlandıktan sonra boşaltma yapılarak belirlenmiştir. Numuneler 8 kg/cm^2 ye kadar yüklendikten sonra önce 2 kg/cm^2 ye daha sonra 0.5 kg/cm^2 ye boşaltılmış ve şişme tamamlanana kadar beklenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.11 ve Tablo 3.12' de sırasıyla kaolin ve bentonit numuneleri için gösterilmektedir.

Tablo 3.11 Kaolin için konsolidasyon deney sonuçları (C_s)

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	0.081	0,086	0.081	0.085
Kitosan	0.081	0.098	0,091	-

Tablo 3.11' de görüldüğü gibi; kaolin içeren killi zemin numunesi için zantangam yüzdesi arttıkça şişme indisinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Zantangamın %0.75 konsantrasyonunda 0.004'lük bir artış gözlemlenmiştir. Kitosan biyopolimerinin %0.25 konsantrasyonunda ise şişme indisinde %20 'lik bir artış olmuştur.

Tablo 3.12. Bentonit için konsolidasyon deney sonuçları (Cs)

Biyopolimer	Biyopolimer konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Zantangam	0.090	0.156	0.159	0.186
Kitosan	0.090	0.169	-	-

Tablo 3.12' de görüldüğü gibi; bentonit içeren killi zemin numunesi için zantangam ve kitosan biyopolimerinin yüzdesi arttıkça şişme indisinde artış gözlemlenmiştir. Saf haldeki şişme indisi 0.090 iken konsantrasyon %0.50'e çıktığında indis değeri yaklaşık iki katına çıkarak 0.186 olmuştur. Kitosan biyopolimerinin %0.25 konsantrasyonunda ise şişme indisinde %88 'lik bir artış gözlemlenmiştir.

3.5.3 Konsolidasyon Katsayısı (c_v)

Numunelerin konsolidasyon katsayıları log-zaman methoduyla her bir yük kademesinden hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 3.13 ve Tablo 3.14' de gösterilmektedir.

Tablo 3.13 Kaolin numunesinin konsolidasyon katsayısına zantangam etkisi

Yük kademesi	ZantanGam Konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
0.0-0.25 kg/cm ²	0.0942	0,0028	0.0093	0.0006
0.25-0.50 kg/cm ²	0.0021	0,0026	0.0033	0.0016
0.50-1.00 kg/cm ²	0.0187	0,0066	0.0048	0.0019
1.00-2.00 kg/cm ²	0.0274	0,0070	0.0051	0.0015
2.00-4.00 kg/cm ²	0.0351	0,0092	0.0070	0.0014
4.00-8.00 kg/cm ²	0.0348	0,0101	0.0094	0.0013

Tablo 3.13 'den görüldüğü gibi yük arttıkça konsolidasyon katsayısı azalmaktadır. Genel olarak zantangam konsantrasyonu arttıkça konsolidasyon katsayıları aynı yük kademesinde azalmaktadır.

Tablo 3.14 Bentonit numunesinin konsolidasyon katsayısına zantangam etkisi

Yük kademesi	ZantanGam Konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
0.0-0.25 kg/cm ²	0.0097	0.0031	0.0036	0.0027
0.25-0.50 kg/cm ²	0.0053	0.0020	0.0013	0.0012
0.50-1.00 kg/cm ²	0.0064	0.0020	0.0011	0.0007
1.00-2.00 kg/cm ²	0.0047	0.0020	0.0010	0.0006
2.00-4.00 kg/cm ²	0.0038	0.0018	0.0009	0.0008
4.00-8.00 kg/cm ²	0.0034	0.0013	0.0008	0.0005

Tablo 3.14 'den görüldüğü gibi kaolindeki davranışa benzer olarak yük arttıkça konsolidasyon katsayısı azalmaktadır. Genel olarak zantangam konsantrasyonu arttıkça konsolidasyon katsayıları aynı yük kademesinde azalmaktadır.

Tablo 3.15 Kaolin numunesinin konsolidasyon katsayısına kitosan etkisi

Yük kademesi	Kitosan Konsantrasyonu		
	%0	%0.25	%0.50
0.0-0.25 kg/cm ²	0.0942	0.0563	0,0969
0.25-0.50 kg/cm ²	0.0021	0.0773	0,0845
0.50-1.00 kg/cm ²	0.0187	0.0728	0,0392
1.00-2.00 kg/cm ²	0.0274	0.0719	0,0340
2.00-4.00 kg/cm ²	0.0351	0.0707	0,0253
4.00-8.00 kg/cm ²	0.0348	0.1204	0,0218

Tablo 3.15 'den görüldüğü gibi kitosan konsantrasyonu arttıkça kaolin numunesinin konsolidasyon katsayısı da artmaktadır. Zantangam biyopolimeri konsolidasyon katsayısını düşürmesine rağmen kitosan biyopolimeri ters bir etki yaparak konsolidasyon katsayısını arttırmaktadır.

Tablo 3.16 Bentonit numunesinin konsolidasyon katsayısına kitosan etkisi

Yük kademesi	Kitosan Konsantrasyonu		
	%0	%0.25	%0.50
0.0-0.25 kg/cm ²	0.0097	0.0205	-
0.25-0.50 kg/cm ²	0.0053	0.0269	-
0.50-1.00 kg/cm ²	0.0064	0.0266	-
1.00-2.00 kg/cm ²	0.0047	0.0244	-
2.00-4.00 kg/cm ²	0.0038	0.0179	-
4.00-8.00 kg/cm ²	0.0034	0.0093	-

Tablo 3.16' de görüldüğü gibi kitosan konsantrasyonu arttıkça bentonit numunesinin konsolidasyon katsayısıda artmaktadır. Zantangam biyopolimeri bentonit numunesinin konsolidasyon katsayısını düşürmesine rağmen kitosan biyopolimeri ters bir etki yaparak konsolidasyon katsayısını arttırmaktadır.

3.6 Permeabilite

Zemin numunlerinin permeabilite katsayıları tek yönlü ödeometre deneyinden elde edilmiştir. Her bir yük kademesinde permeabilite katsayısı formül 2.2 vasıtasıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.17 ve 3.18 'de zantangam biyopolimeri varlığında gösterilmiştir.

Tablo 3.17 Kaolin numunesinin permabilite katsayısına zantangam etkisi

Yük Kademesi	ZantanGam Konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Permeabilite katsayısı (cm/dk)				
0.0-0.25 kg/cm ²	0.0181806	0,0018312	0.0017949	0.0004320
0.25-0.50 kg/cm ²	0.0009450	0,0005798	0.0019206	0.0002656
0.50-1.00 kg/cm ²	0.0015895	0,0008316	0.0004560	0.0012806
1.00-2.00 kg/cm ²	0.0011508	0,0004970	0.0002652	0.0000690
2.00-4.00 kg/cm ²	0.0007371	0,0002944	0.0001750	0.0000294
4.00-8.00 kg/cm ²	0.0003480	0,0001313	0.0001034	0.0000117

Tablo 3.17 den görüleceği gibi. zemin numunesinin üzerindeki basınç arttıkça permeabilite katsayısı düşmektedir. Zantangam yüzdesi arttıkça aynı yük kademesinde permeabilite katsayısı düşmektedir. Bu sonuçlara göre zantangam biyopolimerinin çöp depolama alanlarında geçirimsiz bariyer uygulamalarında, baraj gövdelerinde geçirimsiz kil çekirdeklerinde kullanılabileceği söylenebilir.

Tablo 3.18 Bentonit numunesinin permabilite katsayısına zantangam etkisi

	ZantanGam Konsantrasyonu			
	%0	%0.25	%0.50	%0.75
Yük kademesi	Permeabilite katsayısı (cm/dk)			
0.0-0.25 kg/cm ²	0.0064020	0.0020584	0.0023904	0.0015174
0.25-0.50 kg/cm ²	0.0014257	0.0005040	0.0003276	0.0008772
0.50-1.00 kg/cm ²	0.0003264	0.0000940	0.0000517	0.0001120
1.00-2.00 kg/cm ²	0.0002961	0.0001520	0.0000760	0.0000396
2.00-4.00 kg/cm ²	0.0001102	0.0000612	0.0000306	0.0000192
4.00-8.00 kg/cm ²	0.0000442	0.0000156	0.0000096	0.0000060

Tablo 3.18' de görüleceği gibi zemin numunesi üzerindeki yük kademesi arttıkça permeabilite katsayısı azalmıştır. Zemin üzerindeki basınç arttıkça boşluk oranındaki azalma dolayısıyla permeabilitede azalmaktadır. Zantangam yüzdesi arttıkça aynı yük kademesinde permeabilite katsayısının düştüğü görülmüştür.

Biyopolimerler zemin daneleri arasındaki boşlukların azalmasına neden olarak, permeabilite katsayısında düşüşe neden olmuşlardır. Permeabilite zemin içerisindeki boşluk oranına bağlı olduğundan, boşluk oranı azaldıkça permeabilite de azalmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çeşitli biyopolimer katkılarının killi zeminlerin kıvam limitleri, konsolidasyon davranışı, şişme potansiyeli ve permeabilite gibi mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Endüstride yaygın bir şekilde kullanılan, doğada bol miktarda bulunan ve ekonomik biyopolimerler olan zantangam ve kitosan biyopolimerleri bu çalışma için seçilmiştir. Biyopolimerlerin çeşitli konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

1. Genel olarak kullanılan biyopolimerler kaolin ve bentonit numunelerinin likit limit değerlerini arttırmıştır. Kaolin numunesi için likit limit değerleri incelendiği zaman, kaolin numunesinin saf haline göre zantangam biyopolimerinin %0.75 konsantrasyonu likit limit değerini %2.5 oranında arttırmış, kitosan biyopolimeri ise %0.50 oranındaki konsantrasyonu ile %36 oranında likit limit değerinde bir artışa neden olmuştur (Şekil 3.1). Kullanılan biyopolimerler saf suda veya seyreltilmiş asetik asit çözeltisinde çözüldükleri zaman oluşan hidroksil (OH⁻) grupları kilin yüzeylerine tutunarak killerin likit limit değerlerini arttırmıştır.
2. Bentonit numunesi için likit limit değerleri incelendiğinde, bentonit numunesinin saf haline göre zantangam biyopolimerinin %0.75 konsantrasyonu bentonitin likit limit değerini %23 oranında arttırmış. kitosan biyopolimerinin %0.50 oranındaki konsantrasyonu varlığında %43 oranında likit limit değerinde bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 3.2).
3. Bentonit numunesinin likit limit değeri kaoline göre daha yüksek olduğu için biyopolimerlerin etkisi daha belirgin şekilde bentonit üzerinde görülmektedir. Bentonit daha fazla tabaka yüzeyine sahip olduğu için biyopolimerlerin çözünmesiyle yüzeylerine daha fazla hidroksil grubu (OH⁻) adsorbe edebildiğinden bentonit üzerindeki etkisi daha açık bir şekilde gözlenmektedir.
4. Kaolin numunesinin plastik limit değeri %0.75 zantangamın konsantrasyonu varlığında sadece %1 oranında artmıştır. Kitosan biyopolimerinin %0.5 oranındaki konsantrasyonunda ise kaolinin plastik limit değeri yaklaşık olarak %97 'lik bir artışla iki katına çıkmıştır (Şekil 3.3).
5. Kullanılan biyopolimerler varlığında bentonit numunesinin plastik limit değerindeki artış kaolin numunesine göre belirgin bir şekilde olmuştur.

Zantangam'ın %0.25 'lik konsantrasyonu bile bentonitin plastik limitini %26 oranında arttırmıştır. Bentonit numunesi için kitosan, zantangama göre plastik limit değerinde daha fazla bir artışa neden olmaktadır. Kitosan biyopolimerinin %0.5 oranındaki konsantrasyonu bentonitin plastik limit değerini %47 oranında arttırmıştır (Şekil 3.4).

6. Biyopolimer katkıları kaolinin rötre limit değerinde artışa neden olurken, bentonit numunesinde azalmaya neden olmuştur. Kaolin numunesinin biyopolimer katkısı olmadan rötre limit değeri %10.05 iken konsantrasyon % 0.50' ye çıkarıldığında rötre limit değeri %7 oranında artarak %16.64'e yükselmiştir. Kitosan varlığında ise %0.5 oranındaki konsantrasyonda rötre limiti yaklaşık olarak 2 katına çıkmıştır (Şekil 3.5).
7. Bentonitin rötre limit değeri zantangamın %0.50 konsantrasyonu varlığında %29.49'dan %22.61 değerine düşmüştür. Kitosan biyopolimeri ise %0.5 oranındaki konsantrasyonu ile bentonitin rötre limiti değerinde %84' lük bir azalmaya neden olmuştur (Şekil 3.6).
8. Zantangam biyopolimeri varlığında kaolinin modifiye serbest şişme indisi azalırken, bentonitte ise artış görülmüştür. Kitosan varlığında ise kaolin ve bentonit numunelerinin modifiye serbest şişme indisinde azalma gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu biyopolimer katkılarının şişme potansiyeline sahip killi zeminlerin şişme potansiyellerinin düşürülmesinde kullanılabileceği sonucuna varılabilir (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).
9. Numunelerin sıkışma indislerinde genel olarak biyopolimer katkıları azalmaya neden olmuştur.
10. Genel olarak kaolin ve bentonit numuneleri için zantangam konsantrasyonu arttıkça konsolidasyon katsayıları aynı yük kademesinde azalmaktadır.
11. Genel olarak kaolin ve bentonit numuneleri için zantangam konsantrasyonu arttıkça permeabilite katsayıları aynı yük kademesinde azalmaktadır.
12. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında en uygun biyopolimer kullanım oranı olarak %0.5 oranı önerilebilir. Özellikle geçirimsiz kil bariyerlere ihtiyaç duyulan baraj gövdelerindeki geçirimsiz kil bariyerlerde ve çöp depolama

alanları altındaki kil bariyerlerde bu biyopolimerler kullanılabilir. Ayrıca killerin likit limitini arttırdığı için sanayi uygulamalarında da kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. American Standards of Testing Materials (ASTM), 1999. Annual book of the ASTM standards. ASTM International, 04-08, PA, West Conshohocken.
2. Chen, G., Han, B., and Yan, H., 1998. Interaction of cationic surfactants with iron and sodium montmorillonite suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 201, 158-163.
3. Chen, S.J., Cushman, H.J., and Low, F.P., 1990. Rheological behavior of montmorillonite suspensions at low electrolyte concentrations. *Clays and Clay Minerals*, 38, 57-62.
4. Cho Y.W., Chung S.H., Yoo G., Ko, S.W., 1999. Water soluble chitin as a wound healing accelerator. *Biomaterials*, 20, 2139-2145.
5. Demir, A., Seventekin, N., 2009. Kitin, Kitosan ve Genel Kullanım Alanları. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3 (2), 92-103.
6. 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.
7. Guang, W.Y., 2002. The Effect of Chitosan and Its Derivatives on the Dyeability of Silk. Ph.D. Thesis, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China.
8. Günister, E., İşçi, S., Öztekin, N., Erim, F.B., Ece, Ö.I., Güngör, N., 2006. Effect of cationic surfactant adsorption on the rheological and surface properties of bentonite dispersions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 303, 137-141.
9. Günister, E., Pestreli, D., Ünlü, C.H., Atıcı, O., Güngör, N., 2007. Synthesis and characterization of chitosan-MMT biocomposite systems. *Carbohydrate Polymers*, 67, 358-365.
10. Kılınç, B. ve Çalkı, S., 2004. Marinat Teknolojisi, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 21 (1-2), 145-152.
11. Karakaya, M. Ç., 2006. Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri, *Bizim Büro Basımevi*, Ankara.
12. Karimi, S., 1998. A study of geotechnical applications of biopolymer treated soils with an emphasis on silt. Ph. D. Dissertation, University of Southern California, U.S.A, p. 167.
13. Kavazanjian, Jr. E., Iglesias, E., 2009. Biopolymer Soil Stabilization for Wind Erosion Control. *Proceedings of 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Egypt.
14. Lim, S.H., 2002. Synthesis of a Fiber-Reactive Chitosan Derivative and its Application to Cotton Fabric as an Antimicrobial Finish and a Dyeing-Improving Agent, PHD Thesis, North Carolina State University, U.S.A.

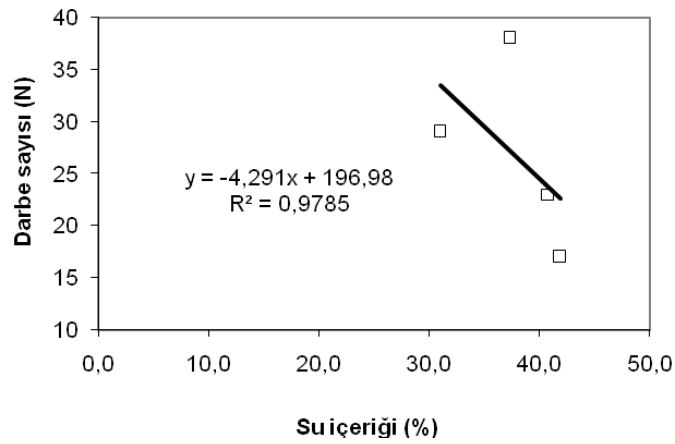
15. Margaritis A., Pace G.W., 1985. Microbial Polysaccharides, In: Blanch H.W., Drew S., Wang, D.I.C., editors, *Comprehensive Biotechnology, The Practice of Biotechnology: Current Commodity Products*, Pergamon Press, Oxford.
16. Mitchell, J.K. and Santamarina, J.C., 2005. Biological Considerations in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131 (10), 1222-1233.
17. Montazer, M., Afjeh, G., 2007. Simultaneous X-Linking and Antimicrobial Finishing of Cotton Fabric, *Journal of Applied Polymer Science*, 103, p. 178- 185.
18. Orts, J.O., 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. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19 (1), 58-66.
19. Önal, M. and Çelik, M., 2006. Polymethacrylamide/Na-Montmorillonite nano composites synthesized by free-radical polymerization. *Materials Letters*, 60, 48-52.
20. Sarıkaya, Y., Önal, M., Alemdaroğlu, T., Noyan, H., 2001. Bir Bentonitin Katyon Değiştirme Kapasitesi ile Şişmesi Arasındaki İlişki. 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya, Türkiye.
21. Seyhan, İ., 1972. Kaolin, Bentonit-Kil ve Tuğla-Kiremit Toprakları Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları ve Madenciligi, Ankara.
22. 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.
23. Yong, R.N. and Warkentin, B.P., 1966. *Introduction to soil behavior*, The MacMillan Company, NewYork.

6.EKLER

Ek 1. Kaolin numunesi için likit limit deney sonuçları

Tablo E.1 Kaolin numunesi için likit limit deney verileri

Likit Limit Tayini					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	29.25	27.73	32.52	25.20
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	25.34	23.78	27.80	22.16
Su Ağırlığı	gr	3.91	3.95	4.72	3.04
Kap Ağırlığı	gr	16.01	14.09	15.14	14.31
Kuru Numune Ağırlığı	gr	9.33	9.69	12.66	7.85
Su Muhtevası	w%	41.9	40.8	37.3	31.0
Darbe Sayısı	N	17	23	38	29

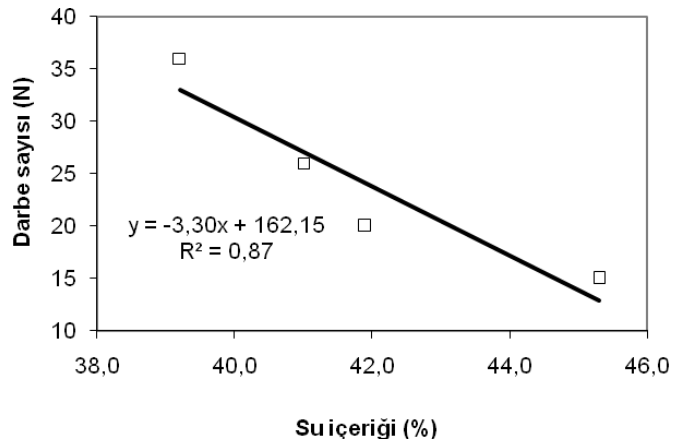


Şekil E.1 Kaolin numunesi için likit limit grafiği

Ek 2. Kaolin numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.2 Kaolin numunesi için %0.25 xantangam biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Tayini					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	25.30	27.03	23.87	27.40
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	22.29	24.25	21.36	23.86
Su Ağırlığı	gr	3.01	2.78	2.51	3.54
Kap Ağırlığı	gr	15.64	17.61	14.95	15.22
Kuru Numune Ağırlığı	gr	6.65	6.64	6.41	8.64
Su Muhtevası	w%	45.30	41.90	39.20	41.00
Darbe Sayısı	N	15	20	36	26

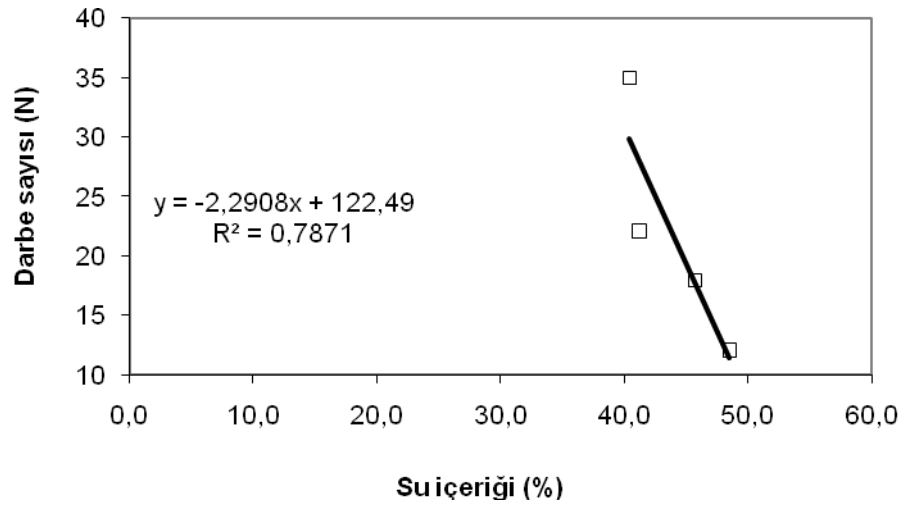


Şekil E.2 Kaolin numunesi için %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 3. Kaolin numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.3 Kaolin numunesi için %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Tayini					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	22.21	21.49	21.51	28.52
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	19.84	19.53	19.82	25.33
Su Ağırlığı	gr	2.37	1.96	1.69	3.19
Kap Ağırlığı	gr	14.95	15.24	15.64	17.61
Kuru Numune Ağırlığı	gr	4.89	4.29	4.18	7.72
Su Muhtevası	w%	48.50	45.70	40.40	41.30
Darbe Sayısı	N	12	18	35	22

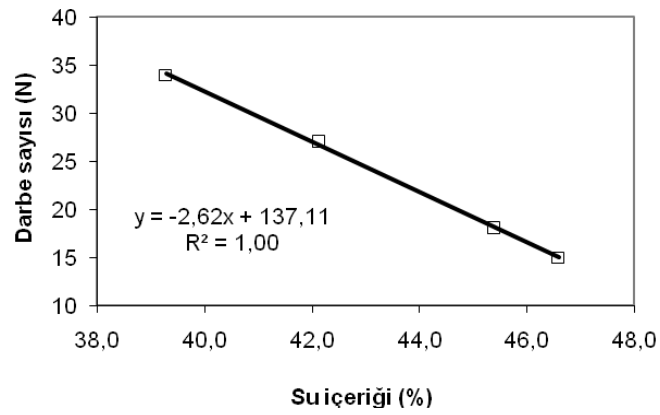


Şekil E.3 Kaolin numunesi için %0.50zantangam biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 4.Kaolin numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.4 Kaolin numunesi için %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Tayini					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	26.36	29.77	29.87	32.44
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	23.35	25.23	25.53	27.73
Su Ağırlığı	gr	3.01	4.54	4.34	4.71
Kap Ağırlığı	gr	16.89	15.23	15.23	15.74
Kuru Numune Ağırlığı	gr	6.46	10	10.30	11.99
Su Muhtevası	w%	46.60	45.40	42.10	39.30
Darbe Sayısı	N	15	18	27	34



Şekil E.4 Kaolin numunesi için %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 5. Kaolin numunesi için plastik limit deney sonuçları**Tablo E.5** Kaolin numunesi için plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi						
Kap No		1	2	3	4	5
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	21.64	19.20	18.63	18.81	18.73
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	20.52	18.31	17.96	17.91	18.01
Su Ağırlığı	gr	1.12	0.89	0.67	0.90	0.72
Kap Ağırlığı	gr	16.03	14.48	15.14	14.31	14.96
Kuru Numune Ağırlığı	gr	4.49	3.63	2.82	3.60	3.05
Su Muhtevası	%	24.9	24.5	23.8	25.0	23.6

Ek 6. Kaolin numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.6 Kaolin numunesi için %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi				
Kap No		1	2	3
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	16.63	18.13	15.96
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	16.44	18.04	15.76
Su Ağırlığı	gr	0.19	0.09	0.20
Kap Ağırlığı	gr	15.65	17.63	14.97
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.79	0.41	0.79
Su Muhtevası	%	24.10	22.00	25.30

Ek 7. Kaolin numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.7 Kaolin numunesi için %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi				
Kap No		1	2	3
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	16.61	18.60	16.02
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	16.44	18.44	15.84
Su Ağırlığı	gr	0.17	0.16	0.18
Kap Ağırlığı	gr	15.65	17.62	14.96
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.79	0.82	0.88
Su Muhtevası	%	21.50	19.50	20.50

Ek 8. Kaolin numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.8 Kaolin numunesi için %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi				
Kap No		1	2	3
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	16.72	16.66	18.85
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	16.58	16.47	18.59
Su Ağırlığı	gr	0.14	0.19	0.26
Kap Ağırlığı	gr	16.02	15.73	17.65
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.56	0.74	0.94
Su Muhtevası	%	25	25.70	27.70

Ek 9. Kaolin numunesi için rötre limit deney sonuçları**Tablo E.9** Kaolin numunesi için rötre limit deneyi verileri

Rötre Limit Deneyi				
Kap No		1	2	3
A Kap Ağırlığı	gr	35.34	30.18	30.90
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	57.53	53.56	53.58
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	49.28	44.85	45.19
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.03	14.18	14.31
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	7.06	7.23	7.20
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	13.94	14.67	14.29
m Su Muhtevası %		59.20	59.40	58.70
Rötre Limiti RL=m- [(D-E/F) * 100]%		9.18	12.00	8.96

Ek 10. Kaolin numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi sonuçları

Tablo E.10 Kaolin numunesi için %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi verileri

Rötire Limit Deneyi			
Kap No		1	2
A Kap Ağırlığı	gr	35.88	30.27
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	59.03	53.35
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	50.28	44.70
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.23	14.31
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	7.17	7.30
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	14.40	14.43
m Su Muhtevası	%	60.76	59.94
Rötire Limiti RL=m- [(D-E/F) * 100]	%	11.74	11.37

Ek 10. Kaolin numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi sonuçları

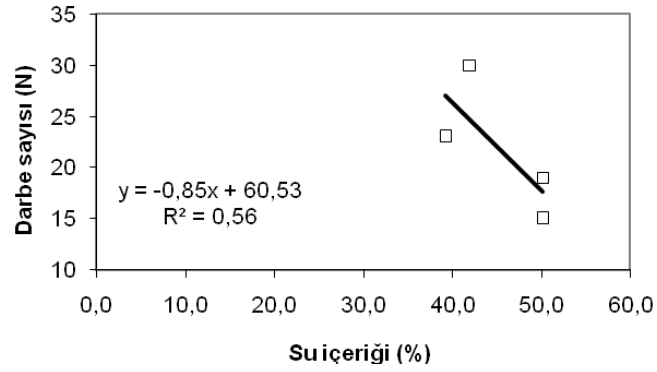
Tablo E.10 Kaolin numunesi için %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi verileri

Rötire Limit Deneyi				
Kap No		1	2	3
A Kap Ağırlığı	gr	35.80	35.33	30.92
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	60.05	59.30	55.26
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	52.06	51.40	47.26
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.26	14.00	14.34
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	8.95	8.81	9.05
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	16.26	16.07	16.34
m Su Muhtevası	%	49.10	49.00	49.00
Rötire Limiti RL=m- [(D-E/F) * 100]	%	16.48	16.86	16.59

Ek 11. Kaolin numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.11 Kaolin numunesi için %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Tayini					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	31.63	24.26	23.16	29.40
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	27.35	21.22	20.11	25.53
Su Ağırlığı	gr	4.28	3.04	3.05	3.87
Kap Ağırlığı	gr	17.16	15.16	14.03	15.67
Kuru Numune Ağırlığı	gr	10.19	6.06	6.08	9.86
Su Muhtevası	w%	42.00	50.20	50.20	39.20
Darbe Sayısı	N	30	15	19	23

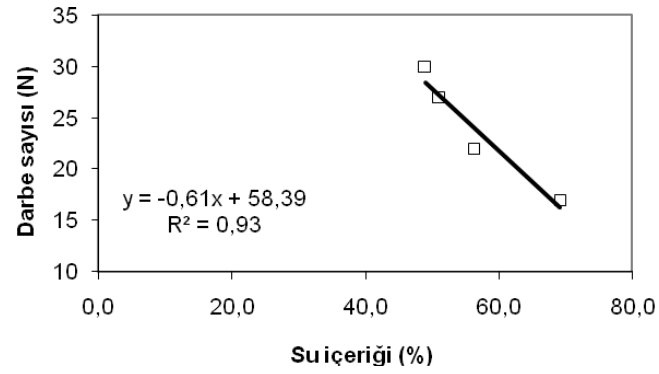


Şekil E.5 Kaolin numunesi için %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 12. Kaolin numunesinin %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.12 Kaolin numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	30.09	28.48	27.50	29.18
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	24.80	23.68	23.07	24.74
Su Ağırlığı	gr	5.29	4.80	4.43	4.44
Kap Ağırlığı	gr	17.15	15.15	14.03	16.05
Kuru Numune Ağırlığı	gr	7.65	8.53	9.04	8.69
Su Muhtevası	w%	69.02	56.30	49.00	51.10
Darbe Sayısı	N	17	22	30	27



Şekil E.6 Kaolin numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 13. Kaolin numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.13 Kaolin numunesi için %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	17.68	15.87	14.75	16.26
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	17.57	15.71	14.58	16.12
Su Ağırlığı	gr	0.11	0.16	0.17	0.14
Kap Ağırlığı	gr	17.18	15.17	14.04	15.67
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.39	0.54	0.54	0.45
Su Muhtevası	%	28.20	29.60	31.50	31.11

Ek 14. Kaolin numunesinin %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.14 Kaolin numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	17.64	15.92	14.77	16.50
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	17.49	15.68	14.53	16.23
Su Ağırlığı	gr	0.15	0.24	0.24	0.27
Kap Ağırlığı	gr	17.18	15.17	14.04	15.67
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.31	0.52	0.49	0.56
Su Muhtevası	%	48.40	46.20	49.00	48.20

Ek 15. Kaolin numunesinin %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında rötre limit deneyi sonuçları

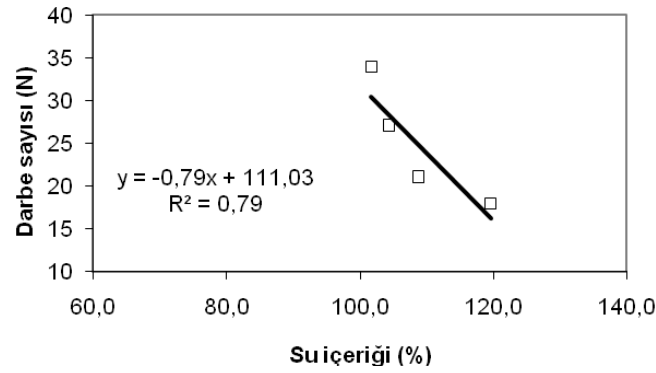
Tablo E.15 Kaolin numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında rötre limit deneyi verileri

Rötre Limit Deneyi			
Kap No		1	2
A Kap Ağırlığı	gr	30.98	30.24
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	50.14	48.98
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	40.12	37.135
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.43	16.45
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	6.32	6.89
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	9.14	14.43
m Su Muhtevası	%	109.63	171.79
Rötre Limiti RL=m- [(D-E/F) * 100]	%	20.89	20.89

Ek 16. Bentonit numunesi için likit limit deney sonuçları

Tablo E.16 Betonit numunesi için likit limit deney verileri

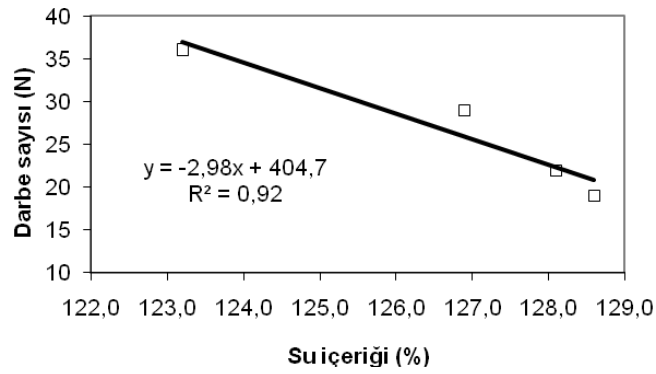
Likit Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	29.37	31.32	30.40	27.13
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	22.11	22.83	22.50	20.73
Su Ağırlığı	gr	7.26	8.49	7.90	6.40
Kap Ağırlığı	gr	14.97	14.69	15.24	15.38
Kuru Numune Ağırlığı	gr	7.14	8.14	7.26	5.35
Su Muhtevası	w%	101.7	104.3	108.8	119.6
Darbe Sayısı	N	34	27	21	18

**Şekil E.6** Bentonit numunesi likit limit grafiği

Ek 17. Bentonit numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.17 Bentonit numunesi için %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	25.14	23.19	20.32	25.53
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	20.04	19.36	17.40	20.91
Su Ağırlığı	gr	5.10	3.83	2.92	4.62
Kap Ağırlığı	gr	16.02	16.37	15.13	17.16
Kuru Numune Ağırlığı	gr	4.02	2.99	2.27	3.75
Su Muhtevası	w%	126.9	128.1	128.6	123.2
Darbe Sayısı	N	29	22	19	36

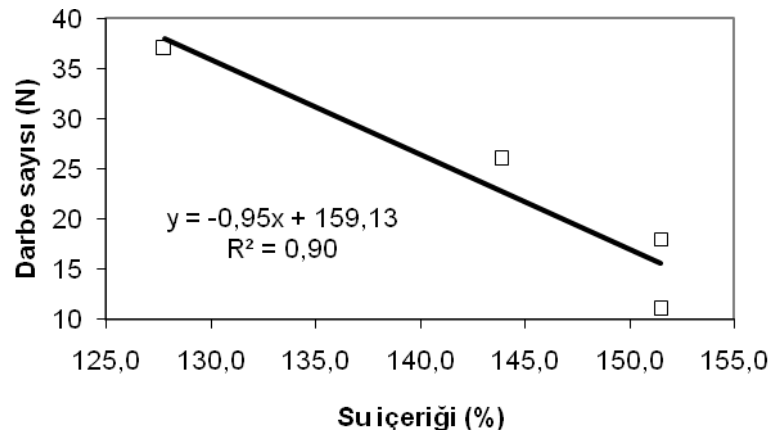


Şekil E.7 Bentonit numunesi için %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 18. Bentonit numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.18 Kaolin numunesi için %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	26.09	24.54	26.18	22.60
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	21.08	19.72	20.06	18.10
Su Ağırlığı	gr	5.01	4.82	6.12	4.50
Kap Ağırlığı	gr	17.16	16.37	16.02	15.13
Kuru Numune Ağırlığı	gr	3.92	3.35	4.04	2.97
Su Muhtevası	w%	127.80	143.90	151.50	151.50
Darbe Sayısı	N	37	26	18	11

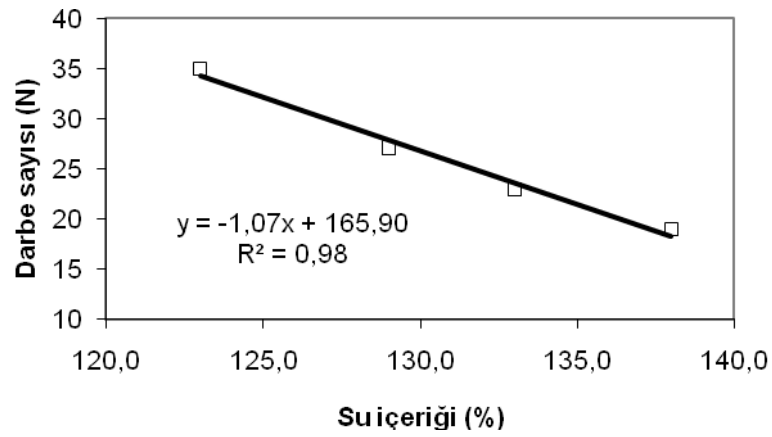


Şekil E.8 Bentonit numunesi için %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 19. Bentonit numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.19 Kaolin numunesi için %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	26.20	26.33	24.24	24.68
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	21.49	19.92	19.05	19.65
Su Ağırlığı	gr	4.71	6.41	5.19	5.03
Kap Ağırlığı	gr	17.65	14.97	15.15	16.00
Kuru Numune Ağırlığı	gr	3.84	4.95	3.90	3.65
Su Muhtevası	w%	123.00	129.00	133.00	138.00
Darbe Sayısı	N	35	27	23	19



Şekil E.9 Bentonit numunesi için %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 20. Bentonit numunesi için plastik limit deney sonuçları**Tablo E.20** Bentonit numunesi için plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi						
Kap No		1	2	3	4	5
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	20.33	20.88	17.72	19.64	20.31
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	18.84	19.40	17.09	18.18	18.97
Su Ağırlığı	gr	1.49	1.48	0.63	1.46	1.34
Kap Ağırlığı	gr	15.77	16.46	15.73	15.30	16.05
Kuru Numune Ağırlığı	gr	3.07	2.94	1.36	2.88	2.92
Su Muhtevası	%	48.5	50.3	46.3	50.7	45.9

Ek 21. Bentonit numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.21 Kaolin numunesi için %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi				
Kap No		1	2	3
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	16.58	17.20	16.12
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	16.37	16.88	15.75
Su Ağırlığı	gr	0.21	0.32	0.37
Kap Ağırlığı	gr	16.02	16.37	15.15
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.35	0.51	0.60
Su Muhtevası	%	60.0	62.70	61.70

Ek 22. Bentonit numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.22 Kaolin numunesi için %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi			
Kap No		1	2
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	17.06	17.12
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	16.73	16.89
Su Ağırlığı	gr	0.33	0.23
Kap Ağırlığı	gr	16.01	16.37
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.72	0.52
Su Muhtevası	%	45.80	44.20

Ek 22. Bentonit numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.22 Kaolin numunesi için %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Tayini				
Kap No		1	2	3
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	16.41	16.18	15.61
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	16.14	15.77	15.24
Su Ağırlığı	gr	0.27	0.41	0.37
Kap Ağırlığı	gr	15.74	15.16	14.68
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.40	0.61	0.56
Su Muhtevası	%	67.50	67.20	66.10

Ek 23. Bentonit numunesi için rötre limit deneyi sonuçları**Tablo E.23** Bentonit numunesi için rötre limit deneyi verileri

Rötre Limiti Tayini				
Kap No		1	2	3
A Kap Ağırlığı	gr	35.32	30.16	30.89
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	54.52	49.40	49.51
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	44.02	38.85	39.25
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.06	14.18	14.31
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	6.41	6.29	6.16
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	8.70	8.69	8.36
m Su Muhtevası	%	120.70	121.00	123.00
Rötre Limiti RL=m- [(D-E/F) * 100]%		32.76	30.21	25.51

Ek 24. Bentonit numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi sonuçları

Tablo E.24 Bentonit numunesi için %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi verileri

Rötire Limit Deneyi			
Kap No		1	2
A Kap Ağırlığı	gr	30.27	30.30
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	49.14	48.69
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	38.64	39.28
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.16	14.18
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	5.74	5.74
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	8.37	8.98
m Su Muhtevası	%	125.40	104.79
Rötire Limiti RL=m- [(D-E/F) * 100]	%	24.80	10.80

Ek 25. Bentonit numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi sonuçları

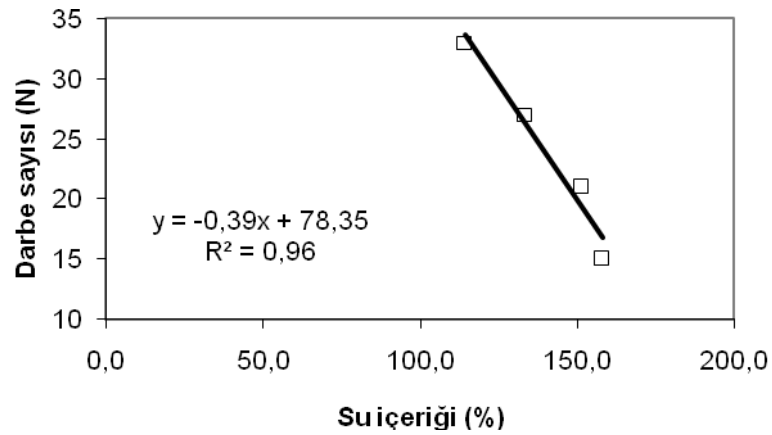
Tablo E.25 Bentonit numunesi için %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında rötire limit deneyi verileri

Rötre Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
A Kap Ağırlığı	gr	35.80	30.21	35.40	30.92
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	54.06	48.36	53.91	49.29
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	43.30	37.58	43.03	38.45
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.23	14.31	13.90	14.31
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	5.04	4.89	5.05	5.31
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	7.50	7.37	7.63	7.53
m Su Muhtevası	%	143.5	146.00	143.00	144.00
Rötre Limiti		20.93	18.45	26.61	24.44
RL=m- [(D-E/F) * 100] %					

Ek 26. Bentonit numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.26 Bentonit numunesi için %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	29.89	24.85	27.50	31.32
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	23.60	18.37	19.35	23.17
Su Ağırlığı	gr	6.29	6.48	8.15	8.15
Kap Ağırlığı	gr	19.45	14.27	13.25	16.04
Kuru Numune Ağırlığı	gr	4.15	4.10	6.10	7.13
Su Muhtevası	w%	151.60	158.00	133.60	114.30
Darbe Sayısı	N	21	15	27	33

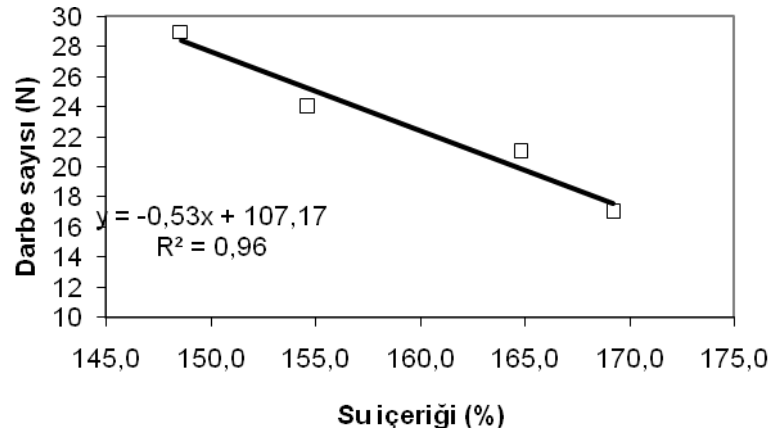


Şekil E.10 Bentonit numunesi için %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 27. Bentonit numunesinin %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deneyi sonuçları

Tablo E.27 Bentonit numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit deney verileri

Likit Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	30.96	24.02	23.74	28.03
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	23.79	18.18	17.14	20.73
Su Ağırlığı	gr	7.17	5.84	6.60	7.30
Kap Ağırlığı	gr	19.44	14.25	13.24	16.01
Kuru Numune Ağırlığı	gr	4.35	3.93	3.90	4.72
Su Muhtevası	w%	164.80	148.60	169.20	154.70
Darbe Sayısı	N	21	29	17	24



Şekil E.11 Bentonit numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında likit limit grafiği

Ek 28. Bentonit numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.28 Kaolin numunesi için %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi				
Kap No		1	2	3
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	14.78	13.87	16.65
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	14.58	13.62	16.42
Su Ağırlığı	gr	0.20	0.25	0.23
Kap Ağırlığı	gr	14.26	13.25	16.04
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.32	0.37	0.38
Su Muhtevası	%	62.50	67.60	60.50

Ek 29. Bentonit numunesinin %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deneyi sonuçları

Tablo E.29 Kaolin numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında plastik limit deney verileri

Plastik Limit Deneyi					
Kap No		1	2	3	4
Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	20.01	14.56	13.68	16.44
Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	19.77	14.44	13.50	16.26
Su Ağırlığı	gr	0.24	0.12	0.18	0.18
Kap Ağırlığı	gr	19.44	14.27	13.25	16.00
Kuru Numune Ağırlığı	gr	0.33	0.17	0.25	0.18
Su Muhtevası	%	72.70	70.60	72.0	69.20

Ek 30. Bentonit numunesinin %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında rötre limit deneyi sonuçları

Tablo E.30 Bentonit numunesi için %0.50 kitosan biyopolimeri varlığında rötre limit deneyi verileri

Rötre LimitDeneyi			
Kap No		1	2
A Kap Ağırlığı	gr	35.39	35.82
B Kap+Yaş Numune Ağırlığı	gr	53.29	53.84
C Kap+Kuru Numune Ağırlığı	gr	44.02	42.10
D Yaş Numune Hacmi	cm ³	14.06	16.84
E Kuru Numune Hacmi	cm ³	6.17	6.10
F Kuru Numune Ağırlığı	gr	8.63	6.28
m Su Muhtevası	%	107.42	186.94
Rötre Limiti RL=m- [(D-E/F) * 100]	%	15.99	15.98

Ek 31. Kaolin numunesi için konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.31 Kaolin numunesi için konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLİDASYON DENEYİ (CONSOLIDATION TEST)								
İşin Adı		(Job Name):Saf kaolin						
Sondaj No		(Boring No):						
Örnek No		(Sample No):1						
Derinlik		(Depth):						
Özgül Ağırlık: 2,623 (Specific Gravity)			Örnek Çapı: 5 (Sample Diam.)			Ring No :2 (Ring No)		
Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)		
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				134,38		130,00		
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				112,46		112,46		
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				21,92		17,54		
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				67,56		67,56		
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				44,90		44,90		
Su Muhtevası (Water Content) % :				48,8		39,1		
Yükler (Load) kg/cm ²	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)							
0 Db		4658,0	4171,0	5429,0	5005,0	4591,0	4170,0	
10 Saniye(second)		4375,0	4119,0	5370,0	4943,0	4509,0	4072,0	
15 Saniye(second)		4366,0	4116,0	5363,0	4934,0	4503,0	4063,0	
30 Saniye(second)		4350,0	4109,0	5349,0	4919,0	4484,0	4041,0	
1 Dakika(minute)		4328,0	4100,0	5330,0	4895,0	4455,0	4013,0	
2 Dakika(minute)		4298,0	4085,0	5287,0	4861,0	4417,0	3971,0	
4 Dakika(minute)		4259,0	4064,0	5258,0	4815,0	4352,0	3919,0	
8 Dakika(minute)		4233,0	4036,5	5201,0	4753,0	4298,0	3856,0	
15 Dakika(minute)		4209,0	4001,5	5143,0	4693,0	4247,0	3823,0	
30 Dakika(minute)		4191,0	3904,0	5087,0	4653,0	4211,0	3800,0	
1 Saat(hour)		4181,0	3650,0	5049,0	4619,0	4200,0	3786,0	
2 Saat(hour)		4176,0	3475,0	5034,0	4613,0	4189,0	3776,0	
4 Saat(hour)		4172,5	3052,5	5024,0	4604,0	4178,0	3768,0	
8 Saat(hour) Df		4172,0	3045,0	5014,0	4598,0	4178,0	3762,0	
24 Saat(hour)		4171,0	3045,0	5005,0	4589,0	4170,0	3762,0	
48 Saat(hour)								
72 Saat(hour)								
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)								
(Change in sample height)								
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,0974	0,2252	0,0848	0,0832	0,0842	0,0816	
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)								
(Length of longest drainage path)								
H ₀ =	2,000	2,000	1,903	1,677	1,593	1,509	1,425	
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,903	1,677	1,593	1,509	1,425	1,344	
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,951	1,790	1,635	1,551	1,467	1,384	
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,976	0,895	0,818	0,776	0,734	0,692	
H _{dr} ² cm	1,000	0,952	0,801	0,668	0,601	0,538	0,479	

Ek32. Kaolin numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.32 Kaolin numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLİDASYON DENEYİ (CONSOLIDATION TEST)								
İşin Adı (Job Name) : % 0,25 xantangum-kaolin								
Sondaj No (Boring No) :								
Örnek No (Sample No) : 1								
Derinlik (Depth) :								
Özgül Ağırlık: 2,623 (Specific Gravity)			Örnek Çapı: 5 (Sample Diam.)			Ring No : 2 (Ring No)		
Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında the beginning of the		Deney Sonunda At the end of the test		
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				131,98		119,86		
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				108,60		108,60		
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				23,38		11,26		
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				68,45		68,45		
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				40,15		44,85		
Su Muhtevası (Water Content) % :				58,2		25,1		
Yükler (Load) kg/cm ²	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)							
0 Db		5608,0	3973,0	3587,0	3151,0	2659,0	2221,0	
10 Saniye (second)		5470,0	3914,0	3512,0	3058,0	2575,0	2161,0	
15 Saniye (second)		5462,0	3911,0	3505,0	3050,0	2570,0	2155,0	
30 Saniye (second)		5439,0	3904,0	3492,0	3034,0	2555,0	2141,0	
1 Dakika(minute)		5415,0	3892,0	3486,0	3013,0	2535,0	2122,0	
2 Dakika(minute)		5378,0	3879,0	3456,0	2986,0	2506,0	2094,0	
4 Dakika(minute)		5300,0	3860,0	3431,0	2951,0	2464,0	2055,0	
8 Dakika(minute)		5237,0	3832,0	3394,0	2901,0	2410,0	1957,0	
15 Dakika(minute)		5147,0	3797,0	3351,0	2839,0	2340,0	1915,0	
30 Dakika(minute)		5020,0	3745,0	3292,0	2767,0	2289,0	1900,0	
1 Saat(hour)		4855,0	3687,0	3231,0	2716,0	2260,0	1887,0	
2 Saat(hour)		4519,0	3644,0	3195,0	2961,0	2247,0	1879,0	
4 Saat(hour)		4096,0	3621,0	3195,0	2961,0	2237,0	-	
8 Saat(hour) Df		-	-	-	-	-	-	
24 Saat(hour)		3973,0	3601,0	3151,0		2221,0	-	
48 Saat(hour)		-	-	-	2659,0		-	
72 Saat(hour)			3587,0	3151,0			1866,0	
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)								
(Change in sample height)								
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,3270	0,0772	0,0872	0,0984	0,0876	0,0710	
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)								
(Length of longest drainage path)								
H0 =	2,000	2,000	1,673	1,596	1,509	1,410	1,323	
H1 = H0 - Δ Hi cm	2,000	1,673	1,596	1,509	1,410	1,323	1,252	
H = (H0 + H1) / 2 cm	2,000	1,837	1,634	1,552	1,459	1,366	1,287	
Hdr = H / 2 cm	1,000	0,918	0,817	0,776	0,730	0,683	0,644	

Ek33. Kaolin numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.33 Kaolin numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLIDASYON DENEYİ (CONSOLIDATION TEST)								
İşin Adı		(Job Name) : % 0,50 xantangam-kaolin						
Sondaj No		(Boring No) :						
Örnek No		(Sample No) : 1						
Derinlik		(Depth) :						
Özgül Ağırlık:		2,623	Örnek Çapı: 5		Ring No : 2			
(Specific Gravity)			(Sample Diam.)		(Ring No)			
Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)		
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				134,21		124,78		
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				112,41		112,41		
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				21,80		12,37		
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				67,56		67,56		
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				44,85		44,85		
Su Muhtevası (Water Content) % :				48,6		49,7		
Yükler (Load) kg/cm ²	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)							
0	Db	5418,0	4929,0	3745,0	3356,5	5640,0	5231,0	
10	Saniye (second)	5165,0	4876,0	3694,0	3303,0	5592,0	5191,0	
15	Saniye (second)	5161,0	4874,0	3691,0	3298,0	5588,0	5187,0	
30	Saniye (second)	5152,0	4869,0	3685,0	3289,0	5579,0	5177,0	
1	Dakika (minute)	5142,0	4860,0	3676,0	3278,0	5565,0	5164,0	
2	Dakika (minute)	5129,0	4847,0	3664,0	3262,0	5547,0	5144,0	
4	Dakika (minute)	5114,0	4823,0	3647,0	3239,0	5520,0	5112,0	
8	Dakika (minute)	5098,0	4797,5	3623,0	3207,0	5482,0	5073,0	
15	Dakika (minute)	5079,0	4756,0	3591,5	3167,0	5436,0	5028,5	
30	Dakika (minute)	5059,0	4503,0	3548,0	3110,0	5372,0	4969,0	
1	Saat (hour)	5027,0	4319,0	3490,0	3046,0	5309,0	4922,0	
2	Saat (hour)	4996,0	4099,0	3432,0	2993,0	5271,0	4900,0	
4	Saat (hour)	4965,0	3870,0	3399,0	2968,0	5256,0	4886,0	
8	Saat (hour) Df	4936,0	-	-	-	5246,0	-	
24	Saat (hour)	4936,0	3762,0	-	2942,0	-	-	
48	Saat (hour)	-	-	-	2936,0	5231,0	-	
72	Saat (hour)	-	3745,0	3356,5	-	-	4860,0	
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0.002 mm)								
(Change in sample height)								
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,0964	0,2368	0,0777	0,0841	0,0818	0,0742	
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)								
(Length of longest drainage path)								
H0 =	2,000	2,000	1,904	1,667	1,589	1,505	1,423	
H1 = H0 - ΔHi cm	2,000	1,904	1,667	1,589	1,505	1,423	1,349	
H = (H0 + H1) / 2 cm	2,000	1,952	1,785	1,628	1,547	1,464	1,386	
Hdr = H / 2 cm	1,000	0,976	0,893	0,814	0,774	0,732	0,693	
Hdr ² cm	1,000	0,952	0,797	0,663	0,598	0,536	0,480	

Ek 34. Kaolin numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.34 Kaolin numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyiverileri

**KONSOLIDASYON DENEYİ
(CONSOLIDATION TEST)**

İşin Adı
Sondaj No
Örnek No
Derinlik

(Job Name): %0,75 xantangum-kaolin
(Boring No):
(Sample No): 1
(Depth):

Özgül Ağırlık: 2,623
(Specific Gravity)

Örnek Çapı: 5
(Sample Diam.)

Ring No : 2
(Ring No)

Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)	
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				131,09		120,02	
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				107,62		107,62	
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				23,47		12,40	
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				67,56		67,56	
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				40,06		40,06	
Su Muhtevası (Water Content) % :				58,6		31,0	
Yükler (Load) kg/cm2	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)						
0	Db	5586,0	3787,0	3371,0	2837,0	5038,0	4609,0
10	Saniye(second)	5361,0	3770,0	3301,0	2780,0	4980,0	4571,0
15	Saniye(second)	5358,0	3767,0	3297,0	2775,0	4975,0	4567,0
30	Saniye(second)	5354,0	3764,0	3286,0	2763,0	4965,0	4558,0
1	Dakika(minute)	5344,0	3758,0	3274,0	2751,0	4953,0	4546,0
2	Dakika(minute)	5333,0	3751,5	3258,0	2735,0	4934,0	4528,0
4	Dakika(minute)	5318,0	3740,5	3236,0	2712,0	4910,0	4502,0
8	Dakika(minute)	5301,0	3726,0	3206,5	2680,0	4872,0	4465,0
15	Dakika(minute)	5282,5	3706,0	3170,0	2641,0	4831,0	4420,0
30	Dakika(minute)	5250,0	3672,0	3116,0	2584,0	4769,0	4358,0
1	Saat(hour)	5208,0	3626,0	3045,0	2505,0	4698,0	4303,0
2	Saat(hour)	5152,0	3565,0	-	2445,0	4654,0	4273,0
4	Saat(hour)	-	3501,0	2997,0	2402,0	4633,0	-
8	Saat(hour) Df	-	-	-	-	-	-
24	Saat(hour)	3824,0	-	2844,0	2380,0	4613,0	-
48	Saat(hour)	-	-	2837,0	2373,0	4609,0	-
72	Saat(hour)	3787,0	3371,0				4236,0
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)							
(Change in sample height)							
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,3598	0,0832	0,6742	0,0928	0,0858	0,0746
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)							
(Length of longest drainage path)							
H ₀ =	2,000	2,000	1,640	1,557	0,883	0,790	0,704
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,640	1,557	0,883	0,790	0,704	0,630
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,820	1,599	1,220	0,836	0,747	0,667
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,910	0,799	0,610	0,418	0,374	0,333
H _{dr} *2 cm	1,000	0,828	0,639	0,372	0,175	0,140	0,111

Ek 35. Bentonit numunesinin konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.35 Bentonit numunesinin konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLIDASYON DENEYİ (CONSOLIDATION TEST)								
İşin Adı			(Job Name): Saf bentonit					
Sondaj No			(Boring No):					
Örnek No			(Sample No): 1					
Derinlik			(Depth):					
Özgül Ağırlık: 2,428			Örnek Çapı: 5			Ring No : 2		
(Specific Gravity)			(Sample Diam.)			(Ring No)		
Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)		
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				123,06		120,00		
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				93,35		93,35		
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				29,71		26,65		
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				68,45		68,45		
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				24,90		24,90		
Su Muhtevası (Water Content) % :				119,3		107,0		
Yükler (Load) kg/cm ²	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)							
0	Db	5141,0	4634,0	4250,0	5159,0	4525,0	3929,0	
10	Saniye(second)	4987,0	4595,0	4160,0	5109,0	4478,0	3869,0	
15	Saniye(second)	4972,0	4589,0	4152,0	5102,0	4472,0	3865,0	
30	Saniye(second)	4938,0	4578,0	4135,0	5087,0	4457,0	3854,0	
1	Dakika(minute)	4880,0	4561,0	4106,0	5066,0	4439,0	3839,0	
2	Dakika(minute)	4803,0	4539,0	4068,0	5039,0	4413,0	3817,0	
4	Dakika(minute)	4692,0	4504,0	4015,0	4996,0	4375,0	3786,0	
8	Dakika(minute)	4531,0	4456,5	3956,0	4939,0	4325,0	3744,0	
15	Dakika(minute)	4360,0	4399,0	3889,0	4860,0	4262,0	3691,0	
30	Dakika(minute)	3990,0	4321,0	3775,0	4775,0	4178,0	3618,0	
1	Saat(hour)	3856,0	4243,0	3700,0	4687,0	4091,0	3541,0	
2	Saat(hour)	3692,0	4186,0	3680,0	4613,0	4025,0	3483,0	
4	Saat(hour)	3536,0	4150,0	3663,0	4590,0	3987,0	3451,0	
8	Saat(hour) Df	3491,0	-	3541,0	-	3965,0	-	
24	Saat(hour)	3491,0	4075,0	3509,0	4525,0	3939,0	3397,0	
48	Saat(hour)			3502,0		3929,0	3397,0	
72	Saat(hour)						3397,0	
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)								
(Change in sample height)								
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,3300	0,1118	0,1482	0,1268	0,1172	0,1064	
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)								
(Length of longest drainage path)								
H ₀ =	2,000	2,000	1,670	1,558	1,410	1,283	1,166	
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,670	1,558	1,410	1,283	1,166	1,060	
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,835	1,614	1,484	1,347	1,225	1,113	
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,918	0,807	0,742	0,673	0,612	0,556	
H _{dr} ² cm	1,000	0,842	0,651	0,551	0,453	0,375	0,310	

Ek 36. Bentonit numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.36 Bentonit numunesinin %0.25 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLIDASYON DENEYİ
(CONSOLIDATION TEST)

İşin Adı
Sondaj No
Örnek No
Derinlik

(Job Name): %0,25 xantangum-bentonit
(Boring No):
(Sample No): 1
(Depth):

Özgül Ağırlık: 2,428
(Specific Gravity)

Örnek Çapı: 5
(Sample Diam.)

Ring No : 2
(Ring No)

Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)	
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				121,00		105,84	
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				91,70		91,70	
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				29,30		14,14	
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				68,45		68,45	
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				23,25		23,25	
Su Muhtevası (Water Content) % :				126,0		60,8	
Yükler (Load) kg/cm2	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)						
0 Db		5740,0	4080,0	3605,0	2846,0	4669,0	3994,0
10 Saniye(second)		5551,0	4054,0	3553,0	2799,0	4595,0	3958,0
15 Saniye(second)		5545,0	4052,0	3547,0	2790,0	4591,0	3955,0
30 Saniye(second)		5524,0	4047,0	3538,0	2778,0	4578,0	3948,0
1 Dakika(minute)		5496,0	4041,0	3522,0	2762,0	4561,0	3939,0
2 Dakika(minute)		5452,0	4031,0	3502,0	2739,0	4539,0	3924,0
4 Dakika(minute)		5400,0	4015,0	3473,0	2710,0	4515,0	3903,0
8 Dakika(minute)		5320,0	3991,0	3444,0	2665,0	4478,0	3875,0
15 Dakika(minute)		5216,0	3960,0	3387,0	2611,0	4453,0	3840,0
30 Dakika(minute)		5055,0	3912,0	3312,0	2529,0	4363,0	3786,0
1 Saat(hour)		4836,0	3851,0	3214,0	2406,0	4270,0	3715,0
2 Saat(hour)		4536,0	3783,0	-	2370,0	4164,0	3645,0
4 Saat(hour)		-	3718,0	2990,0	2127,0	4081,0	-
8 Saat(hour) Df		-	-	-	-	-	-
24 Saat(hour)		4110,0	-	2861,0	2087,0	4005,0	-
48 Saat(hour)		-	-	2846,0	2087,0	3994,0	-
72 Saat(hour)		4080,0	3605,0				3510,0
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)							
(Change in sample height)							
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,3320	0,0950	0,1518	0,1518	0,1350	0,0968
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)							
(Length of longest drainage path)							
H ₀ =	2,000	2,000	1,668	1,573	1,421	1,269	1,134
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,668	1,573	1,421	1,269	1,134	1,038
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,834	1,621	1,497	1,345	1,202	1,086
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,917	0,810	0,749	0,673	0,601	0,543
H _{dr} *2 cm	1,000	0,841	0,657	0,560	0,452	0,361	0,295

Ek 37. Bentonit numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.37 Bentonit numunesinin %0.50 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLIDASYON DENEYİ (CONSOLIDATION TEST)								
İşin Adı		(Job Name): 0,50 xantangum bentonit						
Sondaj No		(Boring No):						
Örnek No		(Sample No): 1						
Derinlik		(Depth):						
Özgül Ağırlık: 2,428 (Specific Gravity)			Örnek Çapı: 5 (Sample Diam.)			Ring No : 2 (Ring No)		
Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)		
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				120,92		120,00		
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				91,71		91,71		
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				29,21		28,29		
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				68,45		68,45		
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				23,26		23,26		
Su Muhtevası (Water Content) % :				125,6		113,6		
Yükler (Load) kg/cm ²	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)							
0 Db		4530,0	2988,0	5849,0	4946,0	4249,0	3650,0	
10 Saniye(second)		4388,0	2964,0	5805,0	4900,0	4200,0	3587,0	
15 Saniye(second)		4382,0	2962,0	5800,0	4885,0	4197,0	3585,0	
30 Saniye(second)		4365,0	2957,0	5790,0	4884,0	4190,0	3579,0	
1 Dakika(minute)		4347,0	2950,0	5776,0	4877,0	4180,0	3571,0	
2 Dakika(minute)		4318,0	2940,0	5759,0	4862,0	4167,0	3561,0	
4 Dakika(minute)		4276,5	2935,0	5736,0	4843,0	4149,0	3546,0	
8 Dakika(minute)		4219,0	2902,0	5703,0	4814,0	4123,0	3525,0	
15 Dakika(minute)		4152,5	2871,0	5662,0	4778,0	4091,0	3498,0	
30 Dakika(minute)		4051,0	2825,0	5596,0	4724,0	4040,5	3456,0	
1 Saat(hour)		3905,0	2756,0	5505,0	4644,0	3969,5	3399,0	
2 Saat(hour)		3694,0	2659,0	5375,0	4537,0	3874,0	3323,0	
4 Saat(hour)		3409,0	2546,0	5219,0	4414,0	3779,0	3248,0	
8 Saat(hour) Df		3246,0	2479,0	5080,0	-	3730,0	3202,0	
24 Saat(hour)		3016,0	2287,0	4975,0	4270,0	3650,0	3160,0	
48 Saat(hour)		2988,0	-	4947,0	4249,0	-	-	
72 Saat(hour)		-	2287,0	-	-	-	-	
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)								
(Change in sample height)								
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,3028	0,1402	0,1748	0,1352	0,1198	0,0980	
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)								
(Length of longest drainage path)								
H ₀ =	2,000	2,000	1,697	1,557	1,382	1,247	1,127	
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,697	1,557	1,382	1,247	1,127	1,029	
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,849	1,627	1,470	1,315	1,187	1,078	
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,924	0,814	0,735	0,657	0,594	0,539	
H _{dr} *2 cm	1,000	0,854	0,662	0,540	0,432	0,352	0,291	

Ek 38. Bentonit numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.38 Bentonit numunesinin %0.75 zantangam biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLIDASYON DENEYİ
(CONSOLIDATION TEST)

İşin Adı (Job Name): %0,75 xantangum-bentonit

Sondaj No (Boring No):

Örnek No (Sample No): 1

Derinlik (Depth):

Ring No : 2
(Ring No)

Özgül Ağırlık: 2,428
(Specific Gravity)

Örnek Çapı: 5
(Sample Diam.)

Ring No : 2
(Ring No)

Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)	
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				123,91		104,88	
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				91,26		91,26	
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				32,65		13,62	
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				68,45		68,45	
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				22,81		22,81	
Su Muhtevası (Water Content) % :				143,1		59,7	
Yükler (Load) kg/cm2	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)						
0 Db		5216,0	3740,0	5890,0	5090,0	4440,0	3853,0
10 Saniye(second)		5011,0	3699,0	5848,0	5056,0	4396,0	3811,0
15 Saniye(second)		4998,0	3697,0	5844,0	5053,0	4393,0	3808,0
30 Saniye(second)		4970,0	3690,0	5837,0	5048,0	4386,0	3802,0
1 Dakika(minute)		4941,0	3679,5	5827,0	5038,0	4377,0	3796,0
2 Dakika(minute)		4905,0	3664,0	5813,0	5026,0	4364,0	3786,0
4 Dakika(minute)		4857,0	3641,0	5795,0	5009,0	4349,0	3771,0
8 Dakika(minute)		4792,0	3605,0	5770,0	4986,0	4326,0	3753,0
15 Dakika(minute)		4710,0	3555,0	5740,0	4957,0	4299,0	3728,0
30 Dakika(minute)		4590,0	3483,0	5701,0	4911,0	4254,0	3690,0
1 Saat(hour)		4423,0	3448,0	5627,0	4848,0	4194,0	3635,0
2 Saat(hour)		4202,0	3154,0	5524,0	4758,0	4106,0	3570,0
4 Saat(hour)		4096,0	-	5502,0	4749,0	4013,0	3489,0
8 Saat(hour) Df		-	2822,0	-	-	3934,0	-
24 Saat(hour)		3811,0	1913,0	5090,0	4430,0	3853,0	3369,0
48 Saat(hour)					4430,0	3853,0	3369,0
72 Saat(hour)			1913,0	5090,0			3369,0
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)							
(Change in sample height)							
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,2810	0,3654	0,1600	0,1320	0,1174	0,0968
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)							
(Length of longest drainage path)							
H ₀ =	2,000	2,000	1,719	1,354	1,194	1,062	0,944
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,719	1,354	1,194	1,062	0,944	0,847
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,860	1,536	1,274	1,128	1,003	0,896
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,930	0,768	0,637	0,564	0,501	0,448
H _{dr} ² cm	1,000	0,864	0,590	0,406	0,318	0,251	0,201

Ek 39. Bentonit numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.39 Bentonit numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi verileri

**KONSOLIDASYON DENEYİ
(CONSOLIDATION TEST)**

İşin Adı (Job Name): % 0,25 kitosan bentonit

Sondaj No (Boring No):

Örnek No (Sample No): 1

Derinlik (Depth):

Özgül Ağırlık: 2,428 (Specific Gravity)

Örnek Çapı: 5 (Sample Diam.)

Ring No : 2 (Ring No)

Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)	
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				119,64		104,93	
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				90,28		90,28	
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				29,36		14,65	
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				68,45		68,45	
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				21,83		21,83	
Su Muhtevası (Water Content) % :				134,5		67,1	
Yükler (Load) kg/cm ²	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00
Zaman (time)	Her Yük Kademeli İçin Dial Okuması (Dial Reading)						
0 Db		5661,0	3954,0	3433,0	2810,0	5574,0	4812,0
10 Saniye(second)		5370,0	3890,0	3342,0	2703,0	5452,0	4740,0
15 Saniye(second)		5352,0	3882,0	3330,0	2687,0	5438,0	4730,0
30 Saniye(second)		5300,0	3863,0	3303,0	2658,0	5406,0	4708,0
1 Dakika(minute)		4913,0	3805,0	3265,0	2612,0	5360,0	4677,0
2 Dakika(minute)		4850,0	3795,0	3216,0	2555,0	5305,0	4637,0
4 Dakika(minute)		4653,0	3744,0	-	2478,0	5228,0	4576,0
8 Dakika(minute)		4480,0	3687,0	3082,0	2385,0	5133,0	4505,0
15 Dakika(minute)		4346,0	3644,0	3028,0	2318,0	5047,0	4432,0
30 Dakika(minute)		4278,0	3606,0	2980,0	2252,0	4972,0	4358,0
1 Saat(hour)		4239,0	3575,0	2945,0	2208,0	4924,0	4308,0
2 Saat(hour)		4088,0	3549,0	2916,0	2174,0	4889,0	4275,0
4 Saat(hour)		-	-	2886,0	2154,0	4862,0	-
8 Saat(hour) Df		-	-	-	-	-	-
24 Saat(hour)		3964,0	-	2828,0	2082,0	4812,0	-
48 Saat(hour)		3954,0	-	2810,0		-	
72 Saat(hour)			3433,0				4197,0
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm)							
(Change in sample height)							
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,3414	0,1042	0,1246	0,1456	0,1524	0,1230
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H)							
(Length of longest drainage path)							
H ₀ =	2,000	2,000	1,659	1,554	1,430	1,284	1,132
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,659	1,554	1,430	1,284	1,132	1,009
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,829	1,607	1,492	1,357	1,208	1,070
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,915	0,803	0,746	0,679	0,604	0,535
H _{dr} *2 cm	1,000	0,837	0,645	0,557	0,460	0,365	0,286

Ek 40. Kaolin numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi sonuçları

Tablo E.40 Kaolin numunesinin %0.25 kitosan biyopolimeri varlığında konsolidasyon deneyi verileri

KONSOLIDASYON DENEYİ
(CONSOLIDATION TEST)

İşin Adı (Job Name): %0,25 kitosan-kaolin

Sondaj No (Boring No):

Örnek No (Sample No): 1

Derinlik (Depth):

Ring No : 2 (Ring No)

Özgül Ağırlık: 2,623
(Specific Gravity)

Örnek Çapı: 5
(Sample Diam.)

Su Muhtevası Hesap Çizelgesi (Water Content Determination)				Deney Başında (At the beginning of the test)		Deney Sonunda (At the end of the test)	
Ring + Yaş Ağırlık (Ring + Wt. Of wet soil) gr :				129,96		118,44	
Ring + Kuru Ağırlık (Ring + Wt. Of dry soil) gr :				104,52		104,52	
Su Ağırlığı (Wt. Of Moisture) gr :				25,44		13,92	
Ring Ağırlığı (Wt. Of Ring) gr :				67,56		67,56	
Kuru Örnek Ağırlığı (Wt. Of dry soil) gr :				36,96		36,96	
Su Muhtevası (Water Content) % :				68,8		37,7	
Yükler (Load) kg/cm2	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00
Zaman (time)	Her Yük Kademesi İçin Dial Okuması (Dial Reading)						
0 Db		4813,0	3681,0	3253,0	2734,0	5423,0	4820,0
10 Saniye(second)		4670,0	3640,0	3129,0	2588,0	5230,0	4798,0
15 Saniye(second)		4565,0	3595,0	3114,0	2571,0	5206,0	4778,0
30 Saniye(second)		4510,0	3571,0	3082,0	2534,0	5155,0	4637,0
1 Dakika(minute)		4452,0	3541,0	3040,0	2481,0	5090,0	4582,0
2 Dakika(minute)		4359,0	3502,0	2934,0	2424,0	5027,0	4528,0
4 Dakika(minute)		4230,0	3458,0	2893,0	2373,0	4974,0	4484,0
8 Dakika(minute)		3995,0	3418,0	2865,0	2337,0	4939,0	4455,0
15 Dakika(minute)		3919,0	3390,0	2843,0	2314,0	4918,0	4435,0
30 Dakika(minute)		3860,0	3368,0	2824,0	2296,0	4899,0	4419,0
1 Saat(hour)		3836,0	3350,0	2806,0	2280,0	4881,0	4403,0
2 Saat(hour)		3714,0	3335,0	2787,0	2264,0	4865,0	4389,0
4 Saat(hour)		-	-	-	2251,0	4852,0	-
8 Saat(hour) Df		-	-	-	-	-	-
24 Saat(hour)		3690,0	-	2753,0	2218,0	4820,0	-
48 Saat(hour)		3681,0	-	2734,0	-	-	-
72 Saat(hour)			3253,0				4338,0
Kademedeki Boy Değişimi (1 dial bölümü, N = 0,002 mm) (Change in sample height)							
Hi = (Df - Db) x 0,1 n	0,0000	0,2264	0,0856	0,1038	0,1032	0,1206	0,0964
Kademedeki Drenaj Boyu Hesabı (H) (Length of longest drainage path)							
H ₀ =	2,000	2,000	1,774	1,688	1,584	1,481	1,360
H ₁ = H ₀ - Δ Hi cm	2,000	1,774	1,688	1,584	1,481	1,360	1,264
H = (H ₀ + H ₁) / 2 cm	2,000	1,887	1,731	1,636	1,533	1,421	1,312
H _{dr} = H / 2 cm	1,000	0,943	0,865	0,818	0,766	0,710	0,656
H _{dr} ² cm	1,000	0,890	0,749	0,669	0,587	0,505	0,430