

## Biyopolimer katkıların killi ve kumlu zeminlerin permeabilite ve kayma dayanımına etkisinin araştırılması

### Investigation of the biopolymer additives effect on permeability and shear strength of clayey and sandy soils

Hasan Fırat PULAT<sup>1</sup>, Başar TAYTAK<sup>2</sup>, Yeliz YÜKSELEN AKSOY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
hfirat.pulat@ikc.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye.  
basartaytak@hotmail.com

<sup>3</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
yeliz.yukselen@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 27.03.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 27.07.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.01328

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla birçok metot kullanılmaktadır. Geliştirilen metotların bazılarının etkili bir çözüm üretirken bazılarıysa pratik amaçlar için ekonomik olmayabilir. Bu çalışmada doğal kaolin, bentonit ve kum karışımlarının permeabilite ve kayma dayanımı davranışları üç farklı tür biyopolimerin (zantan gam, kitosan ve kitin) %0.25, %0.5, %0.75, %1 konsantrasyonları varlığında incelenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde zantan gam ve kitosanın permeabilite katsayısında 30 katı bulan azalmalara neden olduğu görülmüştür. Biyopolimerlerin kayma dayanımına etkisine bakıldığında %1'lik zantan gam ve kitosan konsantrasyonunun içsel sürtünme açısı değerinde %10-15 oranında bir artış sağladığı belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar biyopolimerlerin geçirimsiz kil bariyerlere ihtiyaç duyulan baraj gövdelerinde ve çöp depolama alanlarında kullanılabilirliğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyopolimer, Kayma dayanımı, Kitin, Kitosan, Permeabilite, Zantan gam

#### Abstract

Many methods are used to improve the engineering properties of the soils. While the some of the developed methods cannot produce an effective solution, some of them are not economical for practical solution. In this study, permeability and shear strength behaviors of natural kaolin, bentonite and sand mixtures have been investigated in the presence of three different biopolymers (xanthan gum, chitosan and chitin) and different concentrations (0.25-0.50-0.75 and 1%). The results have shown that, the xanthan gum and chitosan addition decreased the permeability coefficient almost 30 fold. While the biopolymer effect on shear strength behavior is investigated, 1% xanthan gum and chitosan concentration addition provided 15-10% increase in angle of internal friction. The obtained test results have shown that, biopolymers can be used in dams and landfills at impermeable clay liner applications.

**Keywords:** Biopolymers, Chitin, Chitosan, Permeability, Shear strength, Xanthan gum

## 1 Giriş

Biyoteknoloji alanındaki gelişmeler paralel olarak çeşitli biyopolimerlerin farklı sektörler içerisinde etkili kullanımı her geçen gün artış göstermiştir [1]. Geleneksel kimyasal polimerlere çevre dostu bir alternatif olan biyopolimerler düşük maliyetleri, toksik madde içermemesi, ikincil kirlenmeye sebep olmamasıyla dikkat çekmektedir [2],[3]. Literatürde son yıllarda yapılan çalışmalar zemin içindeki bakteriler veya biyopolimerlerle oluşturulan biyolojik aktivitelerin, zeminlerin yapısını etkilediğini ortaya koymuştur [4]. Geoteknik mühendisliğinde taşıma gücünün ve sıvılaşma direncinin artırılması, zemin erozyonu ve yer altı suyu kontrolü, zemin ve yer altı suyunun arıtılması geçirimsiz bariyer oluşturulması, tarama malzemelerinin stabilizasyonu gibi birçok uygulamada biyopolimerler kullanılmaktadır [5],[6]. Geçmişten günümüze yapılan sınırlı sayıda çalışmada, az miktardaki (%0.5) biyopolimer katkısının bile zeminlerin kayma dayanımında önemli bir artışa neden olduğunu vurgulamıştır [3],[7]. Biyopolimer, zemin ile farklı yollarla etkileşim halindedir. İyonik olmayan polimerler hidrojen bağlarıyla zemin partiküllerine bağlanır. Katyonik polimerler eksi yüklenmiş zemin parçacıkları tarafından yüzeye doğru çekilirler. Anyonik polimerler ise katyon köprüler, polimer ve anyonik zemin bileşenleri arasında

oluşur. Bu katyon köprüler negatif yüklü iki grup arasında, agregasyona neden olmaktadır [8]. Dünyada en fazla miktarda ve yaygın bulunan biyopolimer selülozdur. Kitin (Chitin) ise, doğada ikinci en yaygın amino polisakarit olup, yıllık üretimi selüloza oldukça yakındır. Kitin ve kitosan (chitosan) polimeri, yengeç, istakoz ve karides gibi deniz kabuklularının dış iskelet yapılarından, böceklerden ve fungusların hücre duvarlarından elde edilmektedir [9]. Kitinin birçok türevi bulunmakla beraber, bunlar arasında en önemlisi kitosandır. Kitin ve kitosanın moleküler yapıları benzer görünmesine rağmen, kimyasal özellikleri önemli derecede farklıdır. Kitin, yapısındaki molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağları veya hidrofobik interaksiyonlar nedeniyle, kimyasal olarak daha yüksek stabiliteye sahiptir. Ayrıca, kitinin kitosandan daha fazla kristalizasyona sahip olması, çeşitli uygulamalarda daha az reaktif olmasına neden olmaktadır [10]. Ancak kitosanın ticari olarak elde edilebilirliği ve birçok formda kullanılabilirliği, günümüzde kitine kıyasla daha ilgi çeken bir materyal olmasını sağlamıştır [11]. Zantan gam (xanthan gam), Xanthomonas Campestris mikro organizması tarafından salgılanan hücre dışı polisakarittir [12]. Soğuk suda çözünür ve karışım yüksek derecede psödoplastik akış sergiler. Bu viskozite, geniş bir pH ve sıcaklık aralığı üzerinde mükemmel bir stabiliteye sahiptir. Özellikle %1 veya daha yüksek konsantrasyonda zantan gam solüsyonları neredeyse jel gibi

görünür. Bu durumda solüsyon kolay dökülebilir fakat zor karıştırılabilir ve pompalanabilir. Ayrıca zantan gam karışımının yüksek viskozitesi düşük kayma dayanımı altında uzun zamanlı stabilite sağlamaktadır. Geoteknik mühendisliğinde de zantan gam, kitosan, polihidroksi butyrate, guar gam gibi biyopolimerlerin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir [4],[13],[14].

Çevresel geoteknoloji alanında nükleer ve diğer aşırı zararlı atıkların bertarafını amaçlayan teknolojilerde biyopolimerler kullanılmaktadır [15]. Geoteknik mühendisliğinde ise biyopolimerler daha çok sondaj çukurları ve kazıların desteklenmesinde geçici amaçlarla kullanılmaktadır [2],[4]. Martin ve diğ. [16], zantan gam ile sıkıştırılmış Bonnie siltli zemini üzerinde hidrolik iletkenlik deneyleri yapmıştır. Bonnie siltli zemini sadece % 0.3 oranında zantan gam ile karıştırıldığında, optimum su içeriğinden daha yüksek su içeriğinde sıkıştırıldığında hidrolik iletkenlik iki kat azalmıştır ve bu etki altı ay boyunca devam etmiştir. Karimi [13], %1 zantan gam eklenmesi ile Bonnie siltli zemini üzerinde permeabilite üzerinde yaklaşık 10 kat bir azalma elde etmiştir. Karimi [13] ise yine zantan gam ile karıştırılmış Bonnie siltli zemini üzerinde yaptığı konsolidasyonlu-direnajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre ise sıkıştırılmış zeminin kayma dayanımında zamanla artış gözlemlenmiştir. Zeminin maksimum deviator kayma dayanımında %30 artışı, %1 gam solüsyon katkısı ile 1 hafta içinde, %3 gam solüsyonu katkısı ile 4 hafta süre sonunda sağlanmıştır. Li ve diğ. [17] yaptığı çalışmalarda salgı oluşturan bakterilerin ve biyopolimerlerin kumlu zeminlere eklenmesiyle oluşan etkileşimleri incelemiştir. Mevcut durumu yer altı ortamına benzetmek için aynı statik direnaja ve basınçlı pompalama akım sisteminden faydalanılmıştır. *A. eutrophus* bakterisi kullanılarak basınçlı akımdaki kum kolonunun permeabilite değerlerinin azaldığı görülmüştür. Zemin iyileştirme olarak uygulanan salgı salgılayan bakteri ya da ticari biyopolimer örnek olarak PHB, zantan gam ve sodyum alginatın iyileştirme boyutu Yang ve diğ. [6] tarafından incelenmiştir. Zantan gam ve sodyum alginatı ayrı ayrı saf su ile çözelti oluşturularak karıştırılmıştır. Oluşturulan karışımlarda yapılan kayma dayanımı ölçümlerinde iyileştirmeler olduğu gözlemlenmiştir.

Biyopolimerler, aynı zamanda yarı-kurak ortamlarda zeminleri iyileştirmek için kullanılmıştır. İtalya'da zemine biyopolimer ile birlikte alçı eklenmiştir [18]. Zemin kurduğunda ise polimer geri dönüşü olmayacak şekilde zemine bağlanmıştır [19]. Düşük organik madde içeriğindeki kuru zeminlerde biyopolimerler stabiliteyi arttırmaktadır. Düşük organik madde içeren yarı kuru zeminlerde yüksek moleküler ağırlıklı anyonik polimerler büyük ölçüde sızdırmayı arttırmaktadır, yüzeyel akış ile toprak kaybını azaltmaktadır [20].

Biyopolimerler ile yapılan çalışmalar biyopolimerlerin zamanla bozunmaya (degradasyona) uğradıklarını göstermiştir [2],[3], [5],[21]. Bu nedenle biyopolimerlerin uzun süreli etkisinin kullanılacağı yerlerde ön deneylerle etkinin hangi oranda ne kadar oranda azaldığının belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli kimyasal katkı ve asit çözeltilerinin biyopolimerlerin etkili hizmet ömrünü uzattığı belirlenmiştir [2],[3],[5].

Bu çalışma kapsamında ilk olarak, %30 kaolin-%70 kum oranlarında hazırlanan zemin numunelerine %0, %0.25, %0.50, %0.75 ve %1 oranlarında zantan gam, kitin ve kitosan biyopolimerleri eklenerek rijit duvarlı permeabilite deneyleri

gerçekleştirilmiştir. Biyopolimerlerin permeabilite üzerindeki etkilerinin zaman içerisindeki değişimlerini incelemek amacıyla üç hafta boyunca deneylere devam edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, farklı oranlarda hazırlanan kum, kaolin, bentonit (%40-%40-%20 ve %40-%30-%30) karışımlarının kayma mukavemeti davranışları %0, %0.25, %0.50, %0.75 ve %1 zantan gam ve kitosan biyopolimerlerinin varlığında incelenmiştir.

## 2 Malzeme ve yöntem

### 2.1 Malzeme

Bu çalışmada doğal ve işlem görmemiş kaolin, bentonit ve kum numuneleri kullanılmıştır. Kaolin numunesi Omya Madencilik A.Ş. (İzmir-Kemalpaşa)'den, bentonit numunesi Karakaya Madencilik A.Ş. (Ankara)'dan temin edilmiştir. Alınan kaolin ve bentonit numuneleri öncelikle etüvde 105 °C'de kurutulup 40 No.lu elekten, kum numunesi ise 30 No.lu elekten elenerek kullanılmıştır.

Biyopolimer çözeltileri ise istenen konsantrasyonlarda mekanik karıştırıcılarda karıştırılarak hazırlanmıştır. Zantan gam biyopolimeri saf su içerisinde, kitosan biyopolimeri seyreltik asetik asit çözeltisi ile, kitin ise seyreltik dimetilasetamid çözeltisi ile hazırlanmıştır. Biyopolimerler, deneylerde numunelere eklenen su içeriği içerisinde %0.25, %0.5, %0.75 ve %1.0 konsantrasyonlarında hazırlanarak eklenmiştir.

### 2.2 Yöntem

Çalışma kapsamında ilk olarak kullanılan malzemelerin fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra permeabilite ve direk kesme deneyleri yapılarak farklı özelliklerdeki numunelerin permeabilite katsayıları ve kayma mukavemeti parametreleri biyopolimer katkıları varlığında belirlenmiştir.

#### 2.2.1 Zeminlerin fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

Kaolin ve bentonit numunelerinin X-ray analizleri TÜBİTAK Malzeme Araştırma Merkezi (MAM)'nde belirlenmiştir. X-ray analizlerinde Shimadzu XRD-6000 cihazı ile Cu X-ışını tüpü ( $\lambda=1.54$  Angstrom) kullanılmıştır. Kaolin ve bentonit numunelerinin özgül ağırlık değerleri ASTM D 854-92 standardına, likit limit ve plastik limit değerleri ASTM D 4318-98 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

#### 2.2.2 Permeabilite ve direk kesme deneyleri

Permeabilite deneyi rijit duvarlı permeabilite deney düzeneği ile ASTM D 5856-95 standardına göre düşen seviyeli olarak yapılmıştır. No 30 elekten elenmiş kum ve 40 nolu elekten elenmiş kaolin numuneleri ile %70 kum ve %30 kaolin oranındaki karışım oluşturulmuştur. Kompaksiyon deneyindeki işlemler uygulanarak optimum su içeriğinde sıkıştırılan zemin numunelerinin, alt ve üst tarafına filtre kağıtları yerleştirilip düşen seviyeli permeabilite sistemine yerleştirilmiştir. Boşluk hacminin yaklaşık 2-3 katı kadar hacimdeki suyun numune içerisinden geçişine izin verilerek numunelerin doymuş hale gelmesi sağlandıktan sonra deneylere başlanmıştır. Elde edilen veriler Denklem 1'de yerine konularak hidrolik iletkenlik katsayıları hesaplanmıştır [22].

$$k = 2.3x \left( \frac{axL}{Axt_1} \right) x \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (1)$$

- k : Permeabilite katsayısı (cm/s),  
a : Cam tüp en kesit alanı (cm<sup>2</sup>),  
L : Deney yapılan numunenin boyu (cm),  
A : Deney yapılan numunenin en kesit alanı (cm<sup>2</sup>),  
t<sub>1</sub> : Deney süresi (s),  
h<sub>1</sub> : Başlangıçtaki su yüksekliği (cm),  
h<sub>2</sub> : t<sub>1</sub> süresi sonundaki su yüksekliği (cm).

Direk kesme deneyi, ASTM D 3080/3080M-11 standardına göre yapılmıştır. Birim hacim ağırlık yaklaşık olarak 1.45 g/cm<sup>3</sup> olacak şekilde hazırlanan kum, bentonit ve kaolin karışımı alt ve üste poroz taşları yerleştirilerek kesme kutusuna yerleştirilmiştir. Kesme kutusu aletine yerleştirilen hücre sabitlenerek yanal hareket, düşey hareket ve yük halkası okumaları için hazır hale getirilmiş, yükleme yapılmış ve konsolidasyon için hücre su ile doldurulmuştur. Normal gerilme 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, 1 kg/cm<sup>2</sup>, 2 kg/cm<sup>2</sup> olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Deneyler konsolidasyonlu-drenajlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde öncelikle normal gerilme altında zeminlerin konsolide olmaları beklenmiş, daha sonra direnaja izin verecek şekilde t<sub>50</sub> değerinden yararlanılarak hesaplanan hızlarda deneylere devam edilmiştir. Deneylerde kullanılan numuneler yapay yolla hazırlandığından numuneler normal konsolide (NC) olarak kabul edilmiştir.

### 3 Bulgular ve tartışma

Farklı oranlarda kum, kaolin ve bentonit karışımlarıyla hazırlanan zemin numunelerinin permeabilite ve kayma mukavemeti parametreleri %0, %0.25, %0.50, %0.75 ve %1'lik zantan gam, kitin ve kitosan biyopolimerleri varlığında belirlenmiş ve biyopolimerler katkılarının killi zeminlerin permeabilite ve kayma davranışı üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

#### 3.1 Numunelerin fiziko-kimyasal karakterizasyonu

Çalışma kapsamında kullanılan doğal kaolin ve bentonit killilerinin fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Zemin numunelerinin mineralojik içerikleri incelendiğinde kaolin kilinin kaolinit, alunit ve kuvars minerallerinden, bentonit kilinin montmorillonit, feldispat, kuvars ve illit minerallerinden meydana geldiği belirlenmiştir. Kum numunesinin %1.4'lük bölümünün No. 200 elekten geçtiği belirlenmiş, maksimum dane boyutu 600 µm ile sınırlanmıştır. Özgül ağırlık deneyleri sonucunda kaolin ve bentonitin özgül ağırlık değerleri sırasıyla 2.69 ve 2.64 olarak belirlenmiştir. Büyük özgül yüzey alanına sahip bentonit kilinin kaolinden çok daha yüksek modifiye serbest şişme indeksi (MFSI) değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1: Killerin fiziko-kimyasal özellikleri.

Özellikler	Kaolin	Bentonit
	Kaolinit Alunit Kuvars	Montmorillonit Feldispat Kuvars İllit
Likit Limit (%)	33.9	421.4
Plastik Limit (%)	27.3	58.2
Özgül ağırlık	2.69	2.64
USCS sınıfı	CL	CH
MFSI	2.88	17.16

Tablo 1'den görüldüğü gibi kaolinin likit limiti %33.9, plastik limiti %27.3, bentonitin ise likit limiti %421.4, plastik limiti %58.2 bulunmuştur.

Permeabilite deneylerinde kullanılan %30 Kaolin-%70 Kum numunesi ve direk kesme deneylerinde kullanılan %40 Kum-%40 Kaolin-%20 Bentonit ve %40 Kum-%30 Kaolin-%30 Bentonit numunelerinin dane dağılım ve kıvam limitleri deneyleri yapılarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ne göre zemin sınıfları belirlenmiştir.

Tablo 2: Killi kumlu zeminlerin fiziko-kimyasal özellikleri.

Numune % Bileşenler	LL	PI	-No.200	USCS
70 kum-30 kaolin	16	NP	19	SM
40 kum-40 kaolin-20 bentonit	108	94	34	SC
40 kum-30 kaolin-30 bentonit	136	117	41	SC

Bentonit içeren numuneler kötü derecelendirilmiş kum-kil karışımları (SC) sınıfında, bentonit içermeyen numune ise kötü derecelenmiş kum - silt karışımları (SM) sınıfında yer almıştır.

#### 3.2 Permeabilite deneyleri

Standart Proctor enerjisi ile optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinde hazırlanan numunelerin farklı konsantrasyonlardaki zantan gam, kitosan ve kitin biyopolimerlerinin etkisi altında düşen seviyeli permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir.

##### 3.2.1 Zantan gam etkisi

Farklı konsantrasyonlardaki zantan gam biyopolimeri, %70 kum-%30 kaolin oranında hazırlanmış zemin numunelerine karıştırılarak zamana bağlı permeabilite (k) değerleri belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Zantan gam katkısının %30 kaolin-%70 kum numunesinin permeabilitesine etkisi.

Zantan gam konsantrasyonu (%)	k (x10 <sup>-5</sup> cm/dk)		
	1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta
0	5.33	5.33	5.33
0.25	2.40	2.72	3.07
0.50	1.66	2.00	-
0.75	0.81	1.20	-
1.00	0.21	0.29	0.37

Deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde zantan gam katkı yüzdesi arttıkça permeabilite değerinin düştüğü görülmüştür. Zantan gam boşluk suyunun viskozitesini arttıran bir etkiye sahiptir. Bu nedenle eğer zemin belirli bir su içeriğine sahipse zantan gam su üzerindeki etkisiyle lifli bir ağ gibi genişler ve boşlukları doldurarak geçirimsizliği azaltır [23]. Bu etki sonucunda permeabilite katsayısı da azalmaktadır. Fakat zamana bağlı permeabilite ölçümlerine bakıldığında, zamanla zantan gam etkisinde degradasyona bağlı az miktarda artış görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer olarak Karimi [13] yaptığı çalışmada zemin ağırlığının %0.4 oranındaki zantan gam katkısı ile Bonnie sitli zeminin permeabilite değerinde yaklaşık 100 kat azalma olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yine bu çalışmada yapılan ölçümlerde 6 aydan 1 yıla kadar biyopolimerlerin permeabilite üzerindeki etkisinin devam ettiği rapor edilmiştir.

### 3.2.2 Kitosan etkisi

Aşağıdaki Tablo 4'de verilen %30 kaolin - %70 kum karışımına ait zamana bağlı permeabilite değerleri farklı konsantrasyonlarındaki kitosan biyopolimeri varlığında belirlenmiştir.

Tablo 4: Kitosan katkısının %30 kaolin-%70 kum numunesinin permeabilitesine etkisi.

Kitosan konsantrasyonu (%)	k ( $\times 10^{-5}$ cm/dk)		
	1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta
0	5.33	5.33	5.33
0.25	0.91	1.06	1.24
0.50	0.76	0.88	1.07
1.00	0.60	0.73	-

Deney sonuçları incelendiğinde zantan gam etkisine benzer olarak kitosan yüzdesi arttıkça permeabilite değeri de düşmektedir. Kitosan katkısının, zantan gama göre permeabilite üzerinde daha büyük düşüslere neden olduğu belirlenmiştir. Kitosanın %1 oranında katkısının permeabilite değerinde yaklaşık 9 kat bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Zamana bağlı permeabilite ölçümlerine bakıldığında, zamanla kitosanın etkisinde az da olsa bir azalma görülmektedir.

### 3.2.3 Kitin etkisi

Çeşitli konsantrasyonlardaki kitin katkısının etkisi altında, %30 kaolin-%70 kum karışımları için belirlenmiş zamana bağlı permeabilite değerleri Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5: Kitin katkısının %30 kaolin-%70 kum numunesinin permeabilitesine etkisi.

Kitin konsantrasyonu (%)	k ( $\times 10^{-5}$ cm/dk)		
	1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta
0	5.33	5.33	5.33
0.50	0.14	0.15	0.16
1.00	0.08	0.09	0.10

Kitin biyopolimeri, zantan gam ve kitosana göre permeabilite üzerinde daha etkin olarak permeabilite katsayısı değerlerinde daha büyük düşüslere neden olmuştur. Kitin biyopolimeri %1 oranında eklendiğinde permeabilite yaklaşık 66 kat düşmüştür. Ayrıca degradasyona bağlı olarak permeabilite değerlerindeki artış diğer biyopolimerlere göre oldukça azdır.

Genel olarak sonuçlar incelendiğinde, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'ten görüleceği gibi zantan gam, kitosan ve kitin yüzdesi arttıkça permeabilite azalmaktadır. Zaman etkisine bakıldığında, biyopolimerlerin bozunma etkisi nedeniyle permeabilitede zamanla belirli bir artış görülmektedir.

### 3.3 Kesme kutusu deneyleri

Biyopolimerlerin kayma mukavemeti üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla, iki farklı su içeriğinde (%25 ve %50), %40 kum-%40 kaolin-%20 bentonit ve %40 kum-%30 kaolin-%30 bentonit oranlarında hazırlanan numunelerin zantan gam ve kitosan katkıları varlığında kesme kutusu deneyleri yapılmıştır.

### 3.3.1 Zantan Gam Etkisi

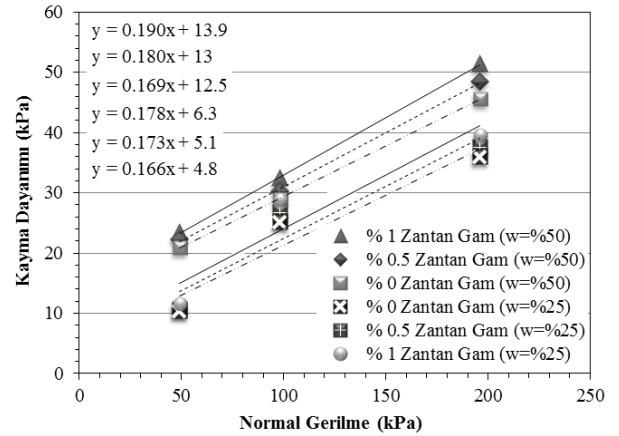
Farklı konsantrasyonlardaki zantan gam biyopolimerinin varlığında, %25 ve %50 su içeriğindeki %40 kum-%40 kaolin-%20 bentonit numunelerinin kesme kutusu deneyleri yapılmış ve elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Genel olarak, zantan gamın tüm konsantrasyonlarının %40 kum-%40 kaolin - %20 bentonit numunesinin içsel sürtünme açısına çok önemli bir etkisi olmamıştır. %1 oranındaki zantan gam katkısıyla içsel sürtünme açısı yaklaşık %10 oranında artış göstermiştir. Numunelerin su içeriğindeki artışın ise içsel sürtünme açısı üzerinde %10-15'lik bir düşüslere neden olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6: Zantan gam katkısının %40 kum - %40 kaolin-%20 bentonit üzerinde içsel sürtünme açısına etkisi

Zantan gam konsantrasyonu (%)	İçsel sürtünme açısı, $\phi$ (°)	
	%25 su içeriği	%50 su içeriği
0	13.25	11.79
0.5	14.13	12.33
1	14.76	13.07

Kesme kutusu deneylerine zemin kompozisyonunun %40 kum- %30 kaolin-%30 bentonit olarak değiştirilmesiyle devam edilmiştir. İki farklı su içeriği ve çeşitli zantan gam konsantrasyonlarının etkisi altındaki kesme kutusu deneylerinden Şekil 1'de ki kayma zarfları elde edilmiştir.



Şekil 1: Çeşitli zantan gam konsantrasyonlarındaki numunelerin kayma zarfları.

Tablo 7'de numunelerin kayma zarflarından elde edilen içsel sürtünme açıları özetlenmiştir.

Tablo 7: Zantan gam katkısının %40 kum-%30 kaolin - %30 bentonit üzerinde içsel sürtünme açısına etkisi.

Zantan gam konsantrasyonu (%)	İçsel sürtünme açısı, $\phi$ (°)	
	%25 su içeriği	%50 su içeriği
0	9.55	9.39
0.5	10.19	9.81
1	10.77	10.09

Deney sonuçları incelendiğinde %1'lik zantan gam konsantrasyonunun içsel sürtünme açısını yaklaşık %12 oranında arttırdığı görülmüştür. Su içeriğinde meydana gelen artış içsel sürtünme açısının düşmesine neden olmuştur.



%40 kum-%40 kaolin-%20 bentonit ve %40 kum-%30 kaolin-%30 bentonit karışımları karşılaştırıldığında karışım içerisinde bentonit miktarının artışı içsel sürtünme açısından genel olarak düşüğe neden olmuştur. Bentonit danelerinin etrafında bulunan kaoline göre daha kalın olan difüz çift tabaka daneler arası sürtünme kuvvetlerini azaltarak içsel sürtünme açısı değerinin düşmesine neden olmuştur. Aynı zamanda karışım içerisindeki bentonit miktarının artması zantan gam etkisinin daha fazla görülmesine neden olmuştur.

### 3.3.2 Kitosan etkisi

Çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanmış kitosan biyopolimerinin %40 kum-%40 kaolin-%20 bentonit karışımının içsel sürtünme değeri üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla iki farklı su içeriğinde kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: Kitosanın %40 kum-%40 kaolin-%20 bentonit üzerinde içsel sürtünme açısına etkisi.

Kitosan konsantrasyonu (%)	İçsel sürtünme açısı, $\theta$ (°)	
	%25 su içeriği	%50 su içeriği
0	13.25	11.79
1	14.83	13.12

Elde edilen deney sonuçlarına göre %1'lik kitosan konsantrasyonunun içsel sürtünme açısını %10-12 aralığında arttırdığı belirlenmiştir. Zantan gam ile kitosan biyopolimerlerinin hemen hemen aynı değerlerde içsel sürtünme açısı değerlerini etkilediği görülmektedir.

Genel olarak, zantan gam ve kitosan biyopolimerlerinin etkisi altında zeminlerin içsel sürtünme açılarının %5 ile %15 arasında bir artış gösterdiği belirlenmiştir.

## 4 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında biyopolimer katkıların killi zeminlerin permeabilite ve kayma dayanımı özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Biyopolimer olarak zantan gam, kitosan ve kitin seçilmiş, farklı konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanarak zemin numunelerine karıştırılmıştır. Farklı mühendislik özellikleri (kompozisyon, su içeriği)'ne sahip numunelerin düşen seviyeli permeabilite ve kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler varlığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Zantan gamın %1'lik konsantrasyonunun %70 kum-%30 kaolin karışımının permeabilitesini yaklaşık 25 kat azalmasına neden olduğu belirlenmiştir,
2. Biyopolimerlerin zaman içerisinde bozunmaya (degradasyona) uğraması zantan gamın zaman içerisinde permeabilite etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Ancak, üç hafta sonundaki ölçümlerde dahi ilk duruma kıyasla permeabilite değerlerinde az da olsa bir artış olduğu görülmüştür,
3. Katyonik bir biyopolimer olan kitosan negatif yüklü kaolin danelerini pozitif yapısıyla kendine doğru çekerek adsorbe etmektedir. Bu adsorpsiyon sonucunda kaolin floküle bir yapı oluşur. Kitosanın da permeabiliteyi önemli ölçüde düşürdüğü belirlenmiştir,
4. Zeminlere karıştırılacak biyopolimer yüzdelерinin permeabilite katsayılarında meydana getirdikleri azalma miktarı % cinsinden kademeli olarak

incelendiğinde %0.25'lik biyopolimer katkısının %0.50-1.00'den daha etkin rol oynadığı belirlenmiştir,

5. Biyopolimer katkıların kayma mukavemeti üzerindeki etkileri incelendiğinde %1'lik zantan gam ve kitosan konsantrasyonlarının yaklaşık %10-15'lik bir içsel sürtünme artışına neden oldukları görülmüştür,
6. Zantan gam ve kitosan birbiriyle karşılaştırıldığında, kayma dayanımı üzerindeki pozitif etkilerinin birbirine oldukça yakın değerler aldığı belirlenmiştir,
7. Genel olarak biyopolimer katkıların kum-kaolin-bentonit zemin karışımlarının permeabilitesini azalttığı, içsel sürtünme açısını arttırdığı görülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak biyopolimer katkıların geçirimsiz kil bariyerlerde ihtiyaç duyulan baraj gövdelerinde ve düzenli atık depolama sahalarında kullanılabilmesi mümkün gözükmektedir. Bunlara ek olarak yapılan çalışmalar göz önüne alındığında biyopolimerler;kirli atık sahaları ve sınırlarına harç enjeksiyonu yapmak için, sıvılaşma riskini azaltmak için ve erozyon kontrol uygulamalarında da kullanılabilir,
8. Biyopolimerlerin zaman içerisinde degradasyona uğramaları nedeniyle uzun dönemli performanslarının araştırılması gerekmektedir.

## 5 Kaynaklar

- [1] De Boedt M, Verdock O, Penninck R. "The physical properties of different horticultural substrates". *Acta Horticulturae*, 150, 155-160, 1984.
- [2] Aminpour M, O Kelly BC. Applications of biopolymers in dam construction and operation activities. Editors: Pina C, Portela E, Caldeira L, Batista A, Dias I, and Santos R. *Proceedings of the Second International Dam World Conference (DW2015)*, 1, 937 - 946, LNEC, Lisbon, Portugal, 21-24 April 2015.
- [3] Chang I, IM J, Cho GC. "Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally-friendly and sustainable geotechnical engineering". *Sustainability*, 8(3), 251-273, 2016.
- [4] Mitchell JK, Santamarina JC. "Biological considerations in geotechnical engineering". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(10), 1222-1233, 2005.
- [5] Dejong JT, Soga K, Kavazanjian E, Burns S, Van Paassen LA, Al Qabany A, Aydilek A, Bang SS, Burbank M, Caslake LF, Chen CY. "Biogeochemical processes and geotechnical applications: Progress, opportunities and challenges". *Geotechnique*, 63(4), 287-301, 2013.
- [6] Yang ICY, Li Y, Park JK, Yen TF. *The Use of Slime-Forming Bacteria to Enhance the Strength of Soil Matrices*. Editors: Microbial Enhanced Oil Recovery-Recent Advances, In E.T. Premuzic and A. Vwoodhead, Elsevier Scientific Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 1993.
- [7] Kavazanjian E Jr, Karatas, I. *Microbiological improvement of the physical properties of soil*. 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, VA, August 11-16, 2008.
- [8] Seybold CA. "Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fate". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25(11-12), 2171-2185, 1994.
- [9] Münzberg J, Rau U, Wagner F. "Investigations on the regioselective hydrolysis of a branched  $\beta$ -1,3-glucan". *Carbohydrate Polymers*, 27(4), 271-276, 1995.

- [10] Mazeau K, Rinaudo M. "The prediction of the characteristics of some polysaccharides from molecular modelling comparison with effective behavior". *Food Hydrocolloids*, 18, 885-898, 2004.
- [11] Demir A, Seventekin N. "Kitin, Kitosan ve genel kullanım alanları". *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(2), 92-103, 2009.
- [12] Kim JG, Kim TH, Lee JS, Ko KS, Lee GH, Chon CM, Cho CH, Cheong YW. "Soil characteristics and phosphorus accumulation in surface soil in relation to geological and land-use conditions". *Soil Science and Plant Nutrition*, 52, 313-320, 2006.
- [13] Karimi S. A study of geotechnical applications of biopolymer treated soils with an emphasis on silt. Ph.D. Thesis, University of Southern California, Los Angeles, Kaliforniya, USA, 1998.
- [14] Kavazanjian Jr E, Iglesias E. "Biopolymer soil stabilization for wind erosion control". *17<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Alexandria, Egypt, 5-9 October, 2009.
- [15] Etemadi O, Petrisor IG, Kim D, Wan MW, Yen TF. "Stabilization of metals in subsurface by biopolymers: Laboratory drainage flow studies." *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 12(5), 647-661, 2003.
- [16] Martin GR, Yen TF, Karimi S. "Application of biopolymer technology in silty soil matrices to form impervious barriers". *7<sup>th</sup> Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*, Adelaide, Australia, 814-819, 1996.
- [17] Agostini E, Coniglio MS, Milrad SR, Tigier HA, Giuliotti AM. "Phytoremediation of 2,4- dichlorophenol by Brassica napus hairy root cultures". *Biotechnology Applied Biochemistry*, 37(2), 139-144, 2003.
- [18] Letey J. "Adsorption and desorption of polymers on soil". *Soil Science*, 158(4), 244-248, 1994.
- [19] Abu-Zreig, M. "Runoff and Erosion control of silt clay soil with land application of polyacrylamide". *Archive of Agronomy and Soil Science*, 52(3), 289-298, 2006.
- [20] Li Y, Yang IC, Lee Y, Yen TF. *Subsurface Application of Alcaligenes eutrophus for Plugging of Porous Media*. Editors : Premuzic ET. and Woodhead A. Proceeding of 4th International Conference of Microbial Enhanced Oil Recovery, Elsevier Scientific Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 1993.
- [21] Chang I, Im J, Prasadhi AK, Cho GC. "Effects of xanthan gum biopolymer on soil strengthening". *Construction and Building Materials*, 74, 65-72, 2015.
- [22] Uzuner BA. *Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği*. 10. Baskı. Ankara, Türkiye, Derya Kitabevi, 2016.
- [23] Czarnes S, Hallett PD, Bengough AG, Young IM. "Root-and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport". *European Journal Soil Science*, 51(3), 435-443, 2000.