

**T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ  
SONUÇ RAPORU**

**ÇİMENTO KATKILI VE GEOTEKSTİL İLE  
İYİLEŞTİRİLEN SIVILAŞABİLİR KUMLU ZEMİNLERİN  
GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ:Doç. Dr. Nazile URAL  
PROJE NOSU: 2017-01.BŞEÜ.03-05**

**Sonuç Rapor Dönemi Tarihi:23.08.2019**

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
BİLECİK, 2019**

## İÇİNDEKİLER

Özet .....	3
1. Ara Rapor Döneminde Yapılan Çalışmalar .....	4
1.1. Literatür Taraması .....	4
2. Mali Etkinlikler .....	6
3. Kullanılan Malzemeler ve Yöntem .....	7
3.1. Malzeme .....	7
3.2. Yöntem .....	7
4. Deney Sonuçları .....	11
5. Sonuçlar .....	20
6. Kaynaklar .....	22

## Özet

Ülkemizde son yıllarda ulaştırma alanında çok ciddi projeler tamamlanmıştır. Bununla birlikte yeni yolların üzerine yapılacak olan zeminler her zaman istenilen özelliklere sahip olmamaktadır. Yol çalışmalarında karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi de problemli zeminlerdir. Ülkemizde de birçok bölgede yeni yapılacak yol güzergâhlarında problemli zeminler bulunmaktadır. Kil zemin çoğunlukla dayanımı düşük malzemelerdir. Bu çalışmada, zemin problemlerine yol açan killerin katkısız ve çimento katkılı olmak üzere fiziksel deneyleri ile 3 farklı geotekstil sayesinde zemin iyileştirilerek, numunelerde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Katkı malzemesi olarak kullanılan çimentodan kil zemine %0, %5 ve %10 oranında katılarak zemindeki etkisi incelenmiştir. Çimento ve geotekstil katkısıyla optimum su muhtevasının arttığı görülmüş, fakat aynı oranda farklı uzunluktaki geotekstil katkısının ise optimum su muhtevasında etkisi olmadığı görülmüştür. 0 ve 28 günlük küre tabii tutulan zemin numuneler çimento ve farklı uzunluklardaki geotekstillere ile iyileştirilerek, numunelerde tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Genel olarak, kum zemine çimento eklenmesiyle dayanım artarken, kuma geotekstil eklenildiğinde, geotekstilin uzunluğu arttıkça dayanım çok az da olsa artmıştır. Fakat 28 günlük kür zeminlerde, çimento miktarı ve geotekstil uzunluğu 3mm'den 6mm'ye çıktığında dayanım artarken, uzunluk 12mm'ye çıktığında dayanım 3mm'lik geotekstilli karışımın dayanımından büyük fakat 6mm'lik geotekstilli karışımın dayanımından düşük çıkmıştır. Bu çalışma sonunda, efektif yüzde değeri olarak dayanımın fazla olmasından dolayı %10 çimento ve 6mm uzunluktaki geotekstil katkılı karışımın en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler;** Kil, Kompaksiyon, Geotekstil, Tek eksenli basınç deneyi, Zemin İyileştirilmesi

# 1. Ara Rapor Döneminde Yapılan Çalışmalar

Bu 6 (altı) aylık dönemde literatür çalışması, malzeme temini (kum, geotekstil) ve cihaz alımı yapılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi çalışır hale getirilmiştir. Yapılan literatür çalışması aşağıda sunulmuştur.

## 1.1. Literatür Taraması

Yerleşim yerlerinin killer üzerinde olduğu durumda birçok belirsizliğin varlığından söz edilebilir. Bu durumda zeminlerin iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Katkı malzemesi katarak zeminin iyileştirilmesi uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Çimento katkı maddesi olarak kullanarak zeminin iyileştirilmesi A.B.D.'de eyalet karayollarının 1920'deki uygulamalarına kadar gitmektedir. Trafik yüklerinin artması ve yerleşim yerlerinin çeşitlenmesi nedeniyle ulaşım yollarında çimento ile stabilize edilmiş temel ve alt temel uygulamasını zorunlu hale getirmektedir (Tumluer, 2006). Dokuma ürünlerin yolların güçlendirilmesinde kullanılması çalışmaları ilk olarak Güney Carolina Karayolu Bölümünde 1926 yılında yapılmıştır. Doğal zeminlerin dayanımının artırılması için geotekstil kullanımı çoğu projede fiyat/performans açısından özellikle kimyasal katkılara oranla büyük avantaj sağlamaktadır (Erdoğan ve Altun, 2008). Bu çalışmada, geoteknik mühendisliğinde problemlili zeminlerden birisi olan killi zeminlere %0, %5 ve %10 oranında çimento katılarak 0 ve 28 günlük küre tabi tutulacaktır. Çimento katkılı ve katkısız numuneler 3 farklı boyutta bir geotekstil malzemesi çeşidi olan geotekstil ile iyileştirilecek, bu sayede çalışma sonrasında hem çimento katkısının hem geotekstil ile zemin iyileştirilmesinin hem de her ikisinin kullanılması durumundaki dayanım değişiklikleri incelenecektir.

Freitag (1986) ince taneli zeminlerde, hacimsel olarak %1 ve 20 mm uzunluğunda polyester lifi katarak numuneler hazırlamıştır. Hazırlamış olduğu numunelerde kompaksiyon deneyi ile numunelerin su muhtevalılarını tespit ederek serbest basma deneyi gerçekleştirmiştir. Polyester lifi katılmış numunelerin lif içermeyen numunelere kıyasla yenilmeye karşı daha % 25'e kadar mukavemetli olduğu sonucuna varmıştır. Çalışmasında kullanmış olduğu naylon ve polipropilen liflerinin benzer sonuçlar

verdiğini ifade ederek, liflerin 0.20mm'den ince taneli zeminlerde homojen karışmasının oldukça zor olduğunu belirtmiştir.

Kumar ve ark. (2007) polyester lifi ve kireç stabilizasyonunun uçucu kül-zemin karışımlarının geoteknik özellikleri üzerine etkisini incelemek üzere deneysel bir program yürütmüşlerdir. Deney kapsamında farklı oranlarda uçucu külü şişen zemine katmışlardır. Farklı oranlarda, rastgele yerleştirilen polyesterler uçucu kül-zemin, kireç-zemin ve kireç ve uçucu kül-zemin numunelerine katılarak bu karışımlara ait geoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Deneylerinde kireç ve uçucu külü sırasıyla % 1-10 ve % 1-20 aralığında şişen bir zemine ilave etmişlerdir. Hazırlamış oldukları numuneleri, kompaksiyon deneyi ve serbest basma deneyine tabi tutmuşlardır. Ayrıca numuneler 7, 14 ve 28 gün küre tabi tutularak serbest basma deneyini bu numunelerde de yapmışlardır. Yazarlar kireç ve uçucu kül için elde edilen optimum değerlere dayanarak, 28 gün küre tabi tutulacak numunelere, %0, %0.5, %1.0, %1.5 ve %2 düz ve kıvrımlı polyester lifleri katarak bu numunelerde de serbest basma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçların olumlu olduğunu ifade ederek şişen zeminlerde polyester, kireç ve uçucu külün kombine hareketi ile başarılı bir şekilde stabilize edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Fu ve ark. (2000) da yaptıkları araştırmada klinker, cüruf, uçucu kül ve bazı aktivatörler ile yüksek mukavemetli kompoze portland çimentosu elde etmişlerdir. Çimento içinde mevcut silika stabilizasyon için gerekli pozzolanik maddeyi oluşturmaktadır. Dolayısıyla içinde pozzolanik madde içermeyen yani kil mineralleri olmayan zeminler için de etkili olmaktadır. Zeminin mukavemetindeki artışlar çimento oranına bağlı olmakta ve zaman- mukavemet artışı ilişkisi betondakine benzemektedir. Özaydın (2000) yayınlamış olduğu kitapta katkı malzemesi olarak çimento uygulanan zeminlerin mukavemet ve dayanıklılığını deneysel olarak saptanması gerektiğini söylemiştir. Uzuner (2000) çimento ile stabilizasyonda, zemine kuru birim hacim ağırlığının %5-15'i kadar çimento katılarak, karıştırılarak, kompaksiyon uygulanmasının daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlayacağını belirtmiştir. Shihata ve Baghdadi (2001) çalışmalarında zemine katkı malzemesi olarak çimento katmışlar ve bunun sonucunda serbest basınç dayanımını incelemişlerdir. Numunelere 0 ve 7 günlük kür uygulanmıştır.

Daha sonra numuneler standart donma/çözünme deneyine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda donma/çözünmenin ve kürün serbest basınç dayanımına ve dolayısıyla dayanıklılığa etkisi incelenmiştir.

Yetimoğlu ve Salbaş (2003) çalışmasında fiber içeren kumların dayanımlarını direkt kesme deneyleri yaparak incelemişlerdir. Deney sonuçlarından max. dayanımın ve kumun başlangıç rijitliğinin fiber donatı oranından etkilenmediğini söylemişlerdir. Rezidüel kayma dayanımında ise sünekliğin artmasına bağlı bir artış gözlemlemişlerdir.

Lee ve Manjunath (2000) büyük boyutlu direk kesme deneyi ile zemin-geotekstil arayüzeyini çalışmışlardır. Bir kesme çevriminden sonra dayanımdan önemli bir azalma gözlenmiştir.

Zhang vd. (2006) çalışmasında 3 boyutlu takviye edilmiş zemini üç eksenli deney ile incelemişlerdir. 3D takviyeleri (galvanizli sac ve sert plastikten yapılmış) ile güçlendirilmiş kum üzerinde kapsamlı bir üç eksenli testler seti gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, çift taraflı 3D takviye elemanlarıyla iç sürtünme açısını önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında kil zemine katkı malzemesi olarak %0, %5 ve %10 oranında çimento katılacaktır ve optimum su muhtevalarının bulunması için kompaksiyon deneyi uygulanacaktır. Daha sonra çimento katkılı numunelere 0 ile 28 gün kür uygulanacaktır. Çimento katkılı kür uygulanmış ve uygulanmamış numuneler ile katkı bulunmayan numuneler 3 farklı boyutta (3mm, 6mm ve 12mm) geotekstiller ile iyileştirme işlemine tabi tutulacaktır. Tüm numunelerde tek eksenli basınç deneyi gerçekleştirilecektir. Böylelikle numunelerin dayanımı üzerinde hem geotekstilin ve boyutunun etkisi hem de çimento katkısı ve kür işleminin etkileri incelenecektir.

## **2. Mali Etkinlikler**

Projenin başlangıcındaki ilk 6 aylık dönemde tüm bütçe harcaması yapılmıştır. Kum, Bilecik kentinin Bozüyük ilçesinden temin edilmiştir. Kum kurutulup, elendikten sonra

kullanılacaktır. Bu sebeple kum öncelikle ezilmekte ve elenmekte daha sonra deneye hazır hale getirilmektedir. 3 farklı boyutta geotekstil satın alınmıştır. Proje bütçesinden, Tek eksenli basınç deneyi cihazı alınmıştır (Şekil 6). Tek eksenli basınç deneyi cihazı zeminlerin, kayma direncini ölçmek için laboratuvarında yapılan bir deneydir.



**Şekil 6.** Tek eksenli basınç deneyi

### **3. Kullanılan Malzemeler ve Yöntem**

#### **3.1. Malzeme**

Kum, Bilecik kentinin Bozüyük ilçesinden temin edilmiştir (Şekil 1). Kum kurutulup, elendikten sonra kullanılacaktır. Bu sebeple kum öncelikle elenmekte daha sonra deneye hazır hale getirilmektedir (Şekil 2). 3 Farklı boyutta geotekstillere satın alınmıştır.

#### **3.2. Yöntem**

Öncelikli olarak kil zemin ve katkı malzemesi olan çimento yüzdeleri tartılarak karışımlar hazırlanmıştır (Şekil 3). Karışımların optimum su muhtevalarının belirlenmesi için standart kompaksiyon deneyleri yapılmaya başlanılmıştır. Farklı çimento katkılı numunelere 3 farklı boyutta geotekstil malzemesi eklenmiştir (Şekil 4). Kum, kum+%5 Çimento, kum+%10 Çimento, kum+%5 Çimento+%2Geotekstil(3mm),

kum+%5 Çimento+%2Geotekstil(6mm), kum+%5 Çimento+%2Geotekstil(12mm), kum+%10 Çimento+%2Geotekstil(3mm), kum+%10 Çimento+%2Geotekstil(6mm), kum+%10 Çimento+%2Geotekstil(12mm) karışımlar hazırlanmış ve kompaksiyon deneyleri yapılmıştır (Şekil 5).



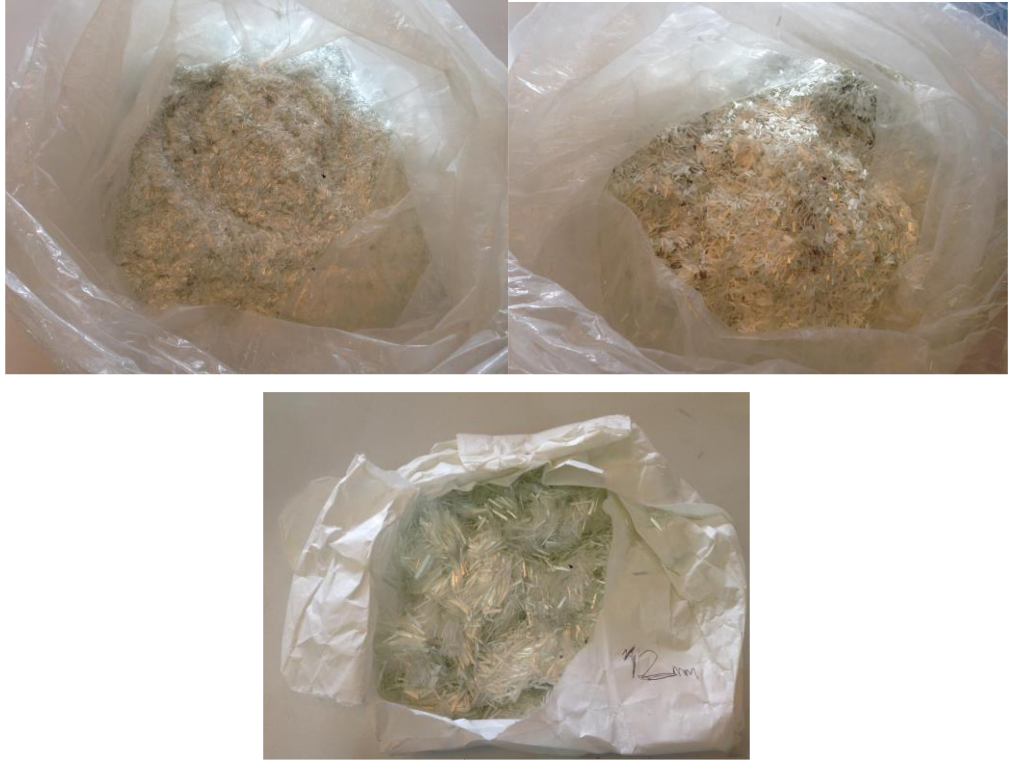
Şekil 1. Bilecik kentinin Bozüyük ilçesinden temin edilen kum



Şekil 2. Kurutulmuş kumların hazırlanması



Şekil 3. Karışımların hazırlanması



Şekil 4. 3 farklı boyutta geotekstil



Şekil 5. Standart kompaksiyon deneyi

#### 4. Deney Sonuçları

Standart kompaksiyon deneyleri her numune için yapıldıktan sonra kompaksiyon eğrilerinden optimum su muhtevası ve max. kuru birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiş ve Tablo 1' de verilmiştir. Kum zemine çimento eklenmesiyle, optimum su muhtevası artmıştır. Kuma geotekstil eklenmesiyle ise optimum su muhtevasında %25 artış olmuştur. Aynı oranda fakat farklı uzunluklardaki geotekstil katkısıyla optimum su muhtevası aynı değerde kalmıştır. Çimento ve geotekstilli karışımlarda ise yine çimento artışıyla optimum su muhtevasında artış görülürken aynı oranda fakat farklı uzunluklardaki geotekstil katkısıyla optimum su muhtevası aynı değerde kalmıştır.

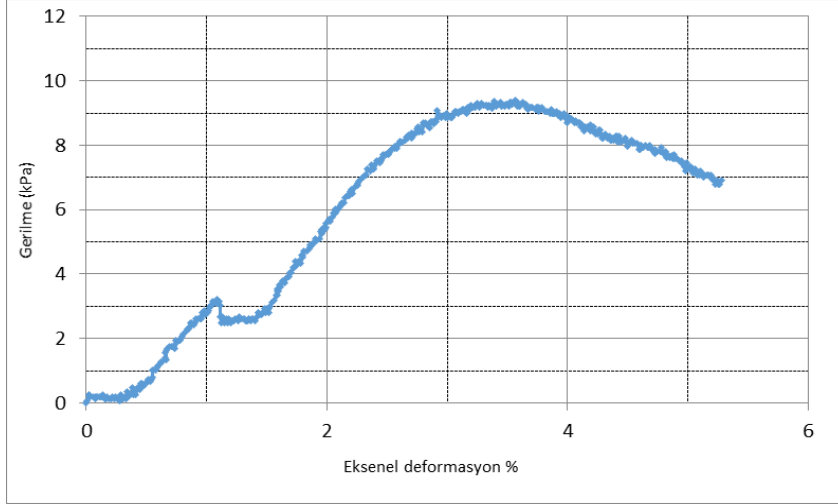
**Tablo 1.** Standart kompaksiyon deneyi sonuçları

Malzeme	$\rho_{kmax}$	$W_{opt}$
Kum	20,10	8
Kum%5C	20,02	9
Kum%10C	18,67	10
Kum%2(3mm)	19,66	10
Kum%2(6mm)	19,09	10
Kum%2(12mm)	19,28	10
Kum%5C%2(3mm)	18,47	11
Kum%5C%2(6mm)	18,71	11
Kum%5C%2(12mm)	18,57	11
Kum%10C%2(3mm)	18,46	12
Kum%10C%2(6mm)	18,49	12
Kum%10C%2(12mm)	18,37	12

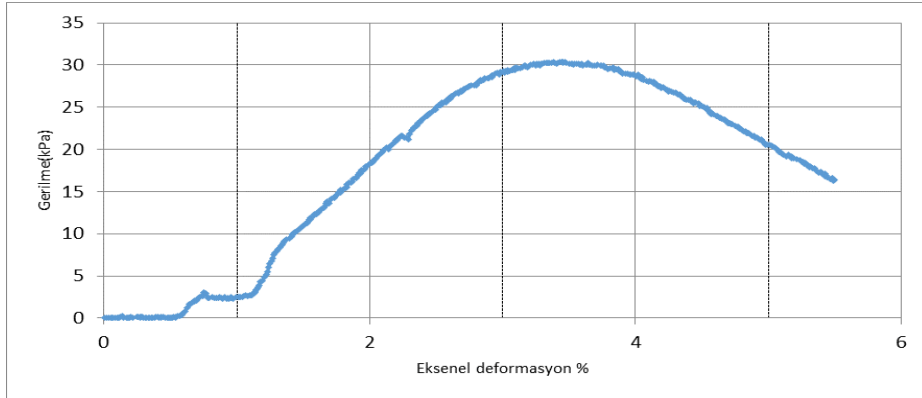
$\rho_n$ :doğal birim hacim ağırlık  $w$ :su muhtevası

Optimum su muhtevası ve max. kuru birim hacim ağırlık değerleri hesaplanan karışımlardan serbest basma dayanımını elde edebilmek için numuneler yine standart kompaksiyonla hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde proje bütçesiyle satın alınan tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Herbir numunenin 0 ve 28 günlük kür

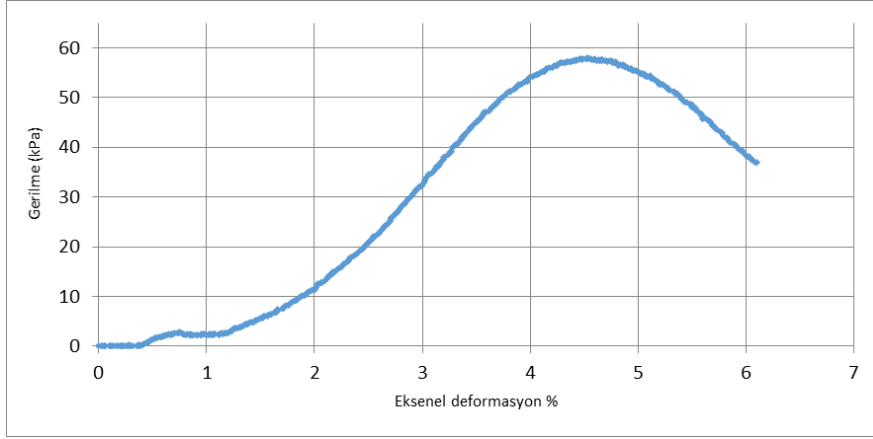
numuneleri üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Şekil 7.' de 0 günlük küre tabi tutulan numunelerin gerilme-eksenel deformasyon grafikleri verilmiştir. Şekil 8.' de ise 28 günlük küre tabi tutulan numunelerin gerilme-eksenel deformasyon grafikleri verilmiştir.



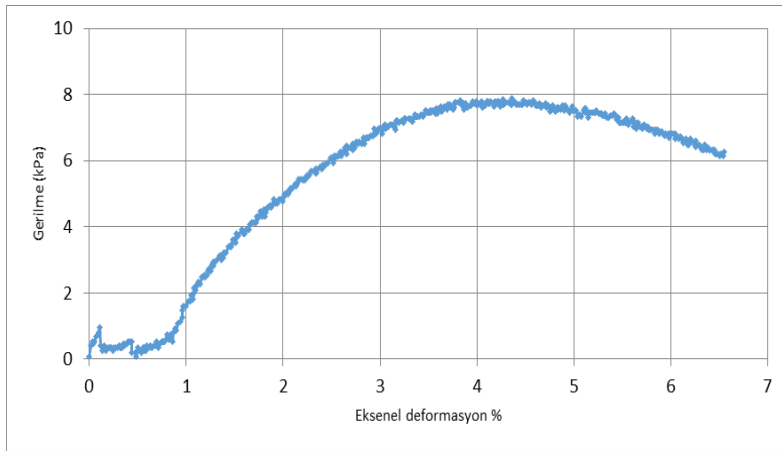
a. Kum



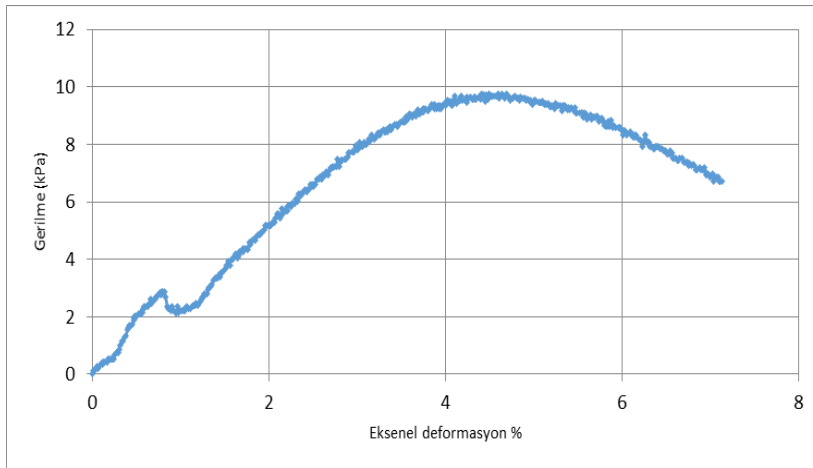
b. Kum%5C



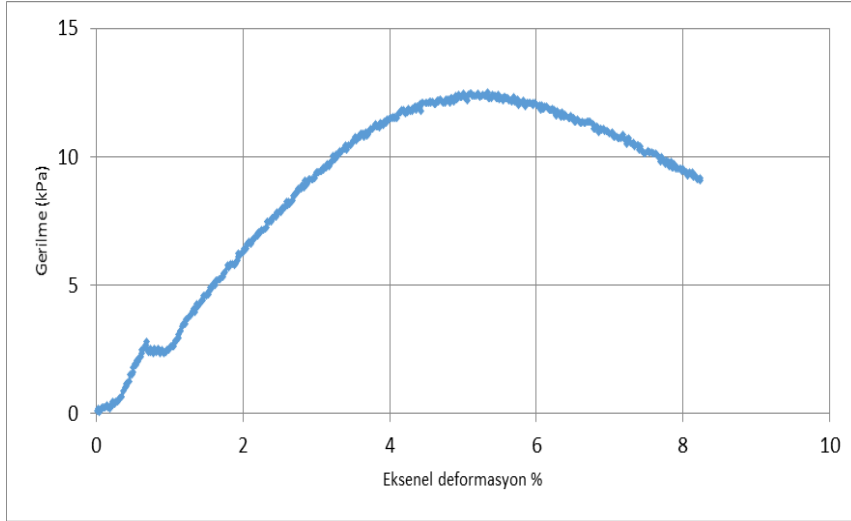
c. Kum%10C



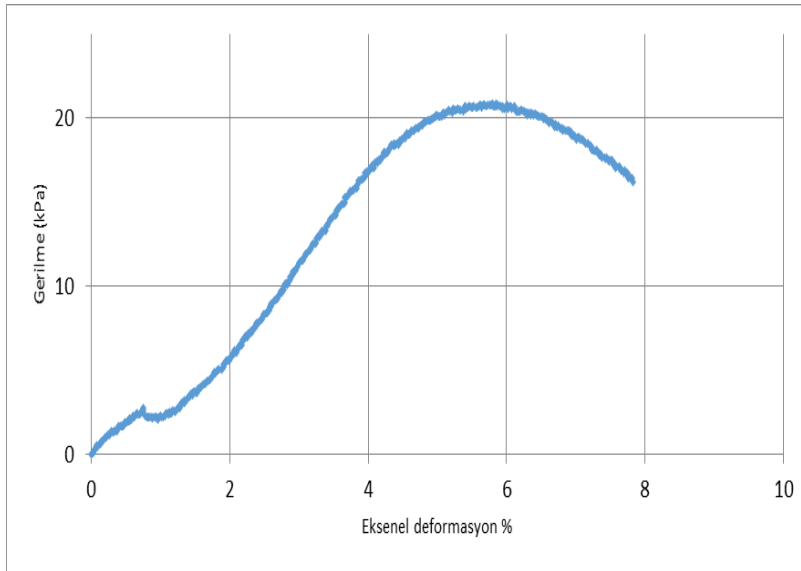
d. Kum%2(3mm)



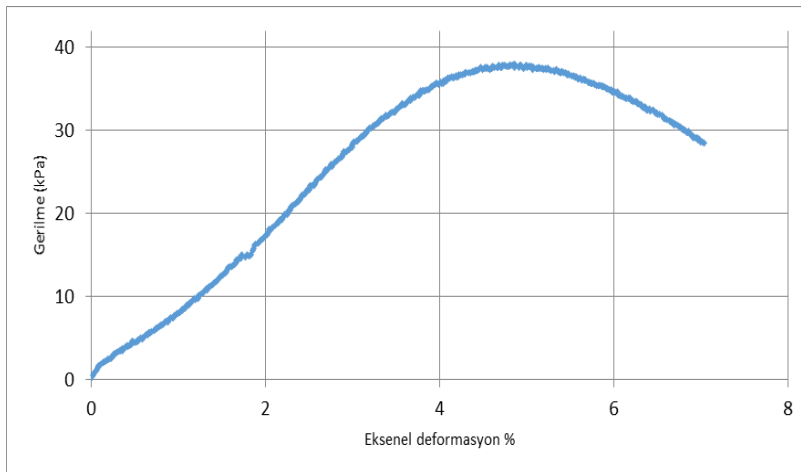
e. Kum%2(6mm)



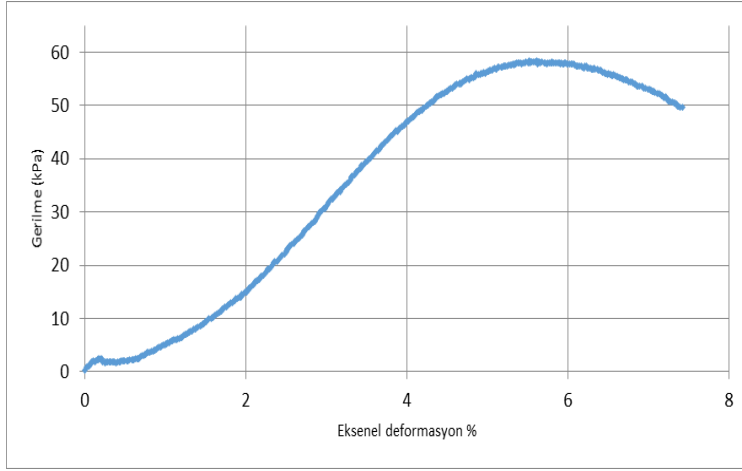
f. Kum%2(12mm)



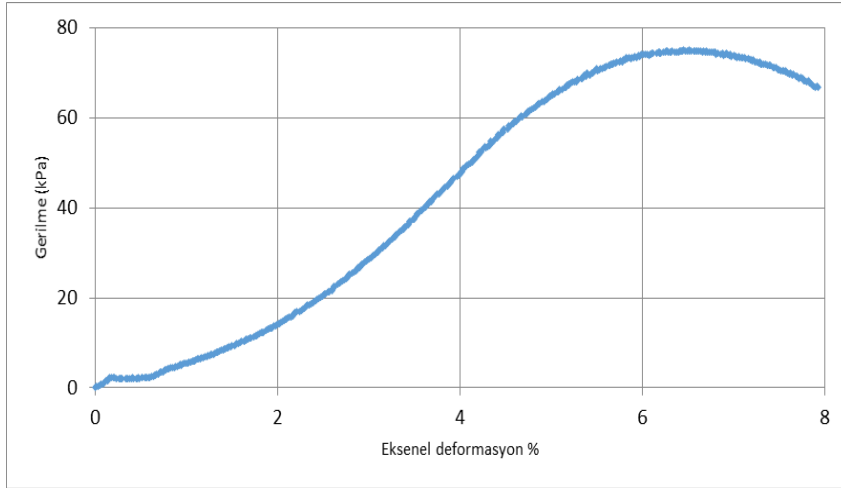
g. Kum%5C%2(3mm)



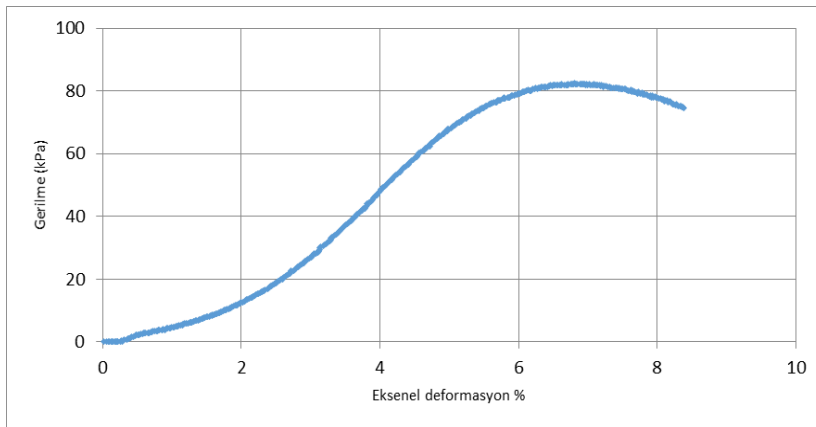
h. Kum%5C%2(6mm)



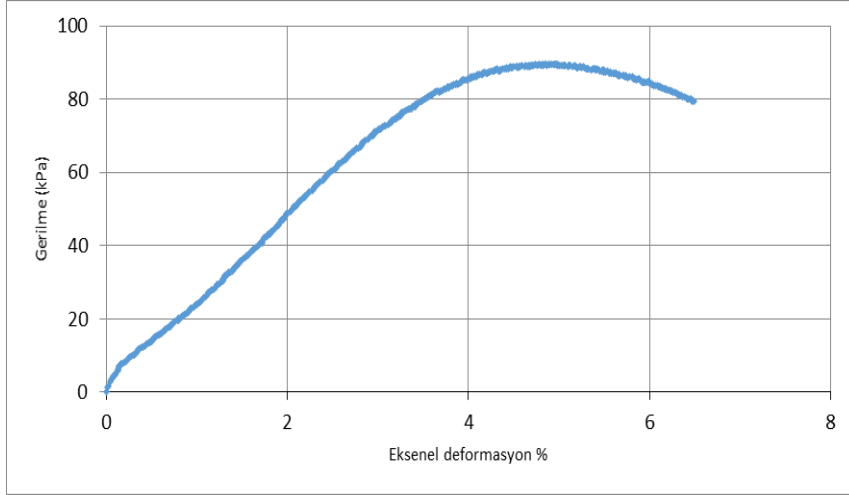
i. Kum%5C%2(12mm)



j. Kum%10C%2(3mm)

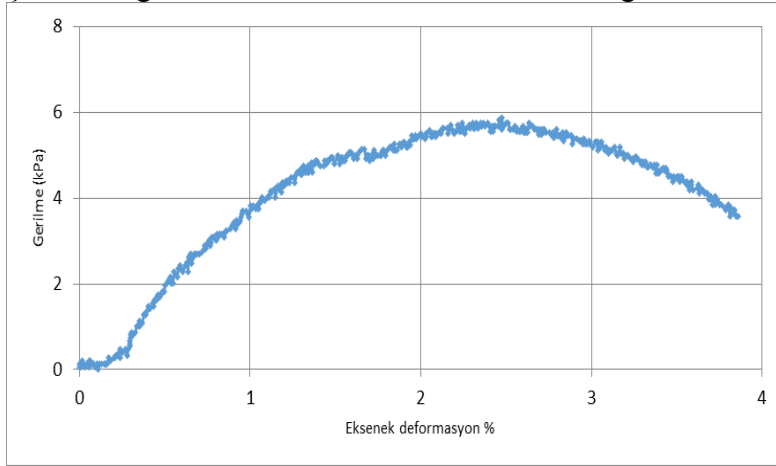


k. Kum%10C%2(6mm)

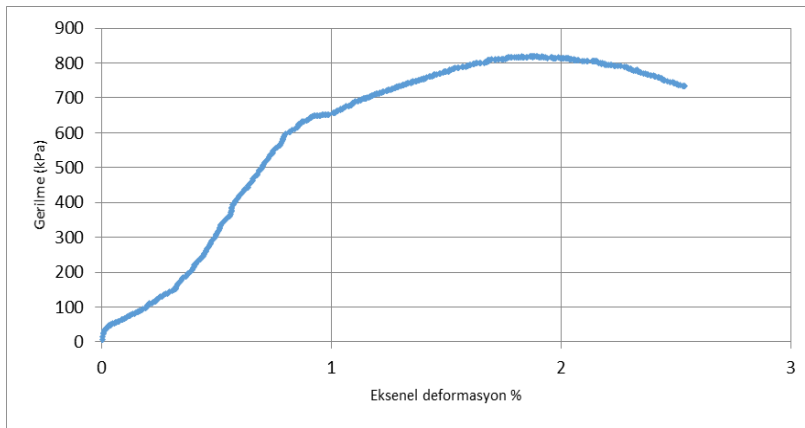


1. Kum%10C%2(12mm)

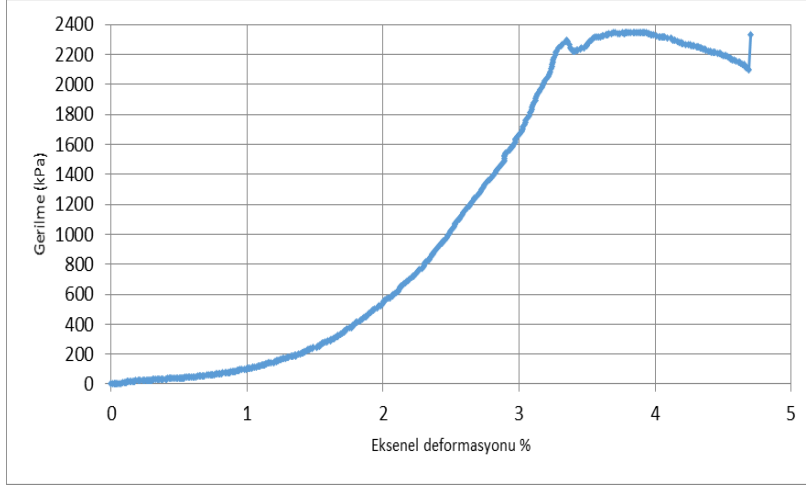
Şekil 7. 0 günlük küre tabi tutulan numunelerin gerilme-eksenel deformasyon grafikleri



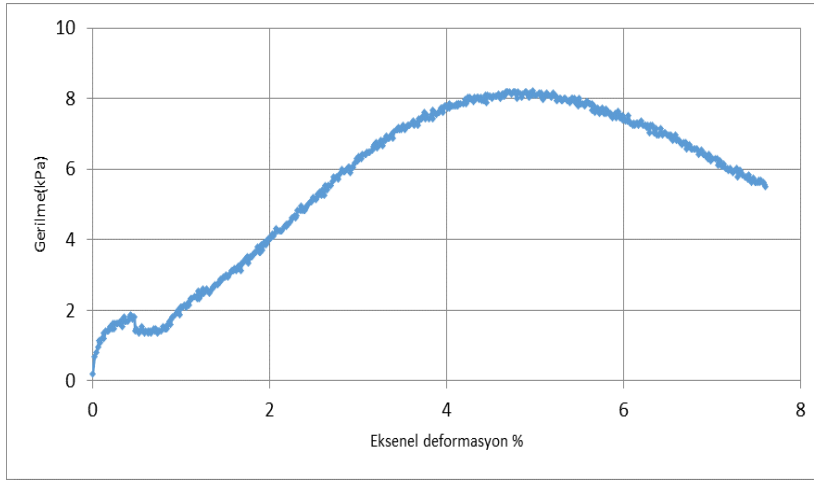
a. Kum



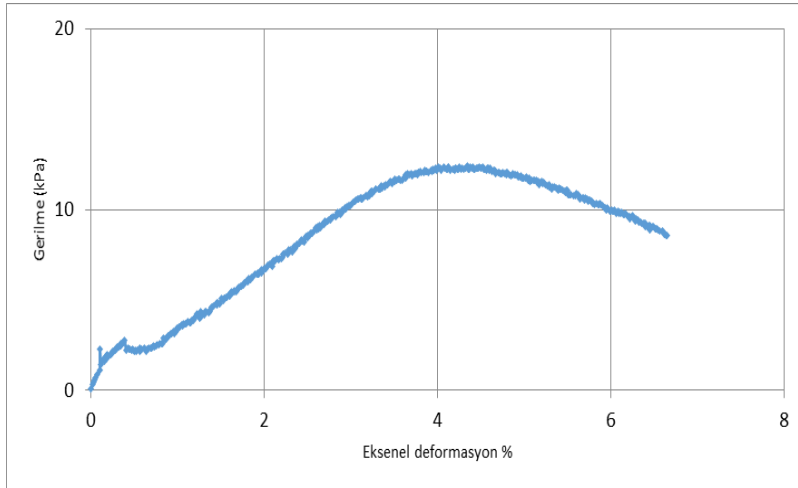
b. Kum%5C



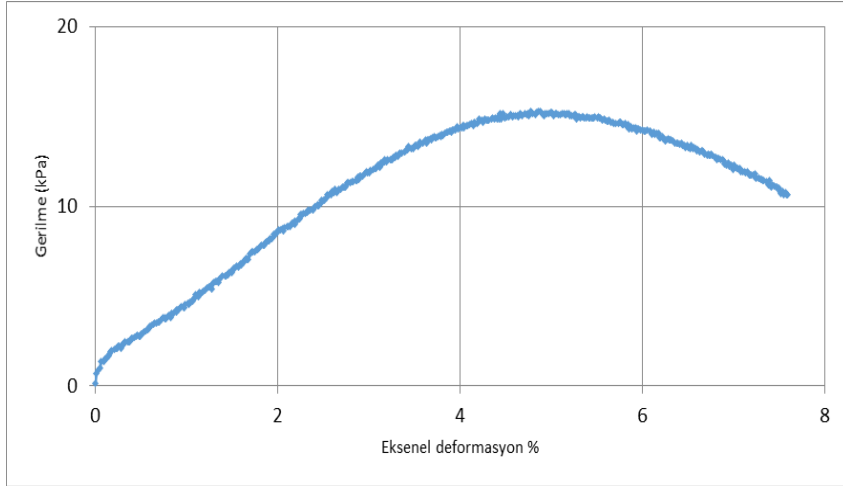
c. Kum%10C



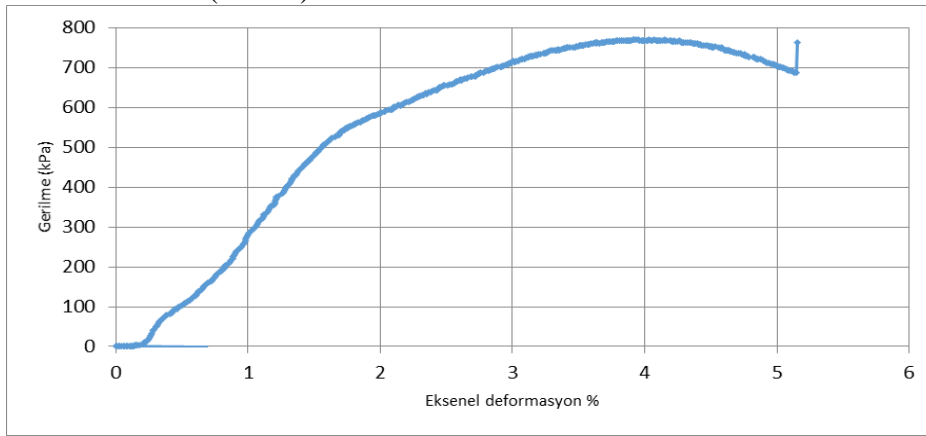
d. Kum%2(3mm)



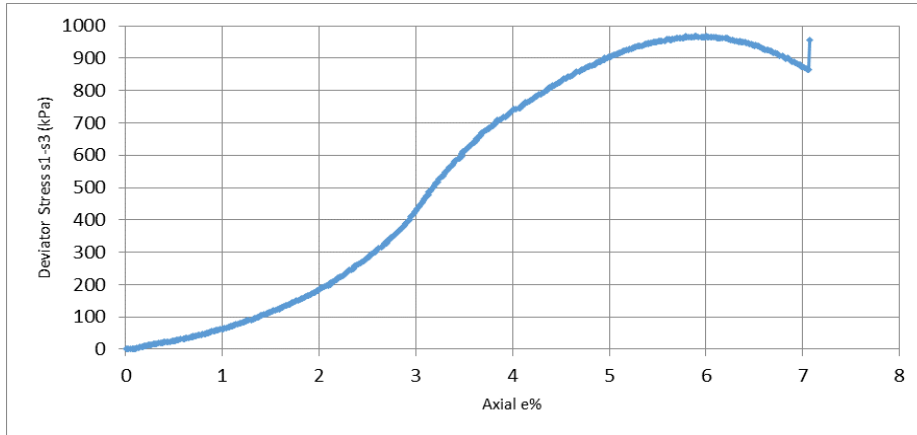
e. Kum%2(6mm)



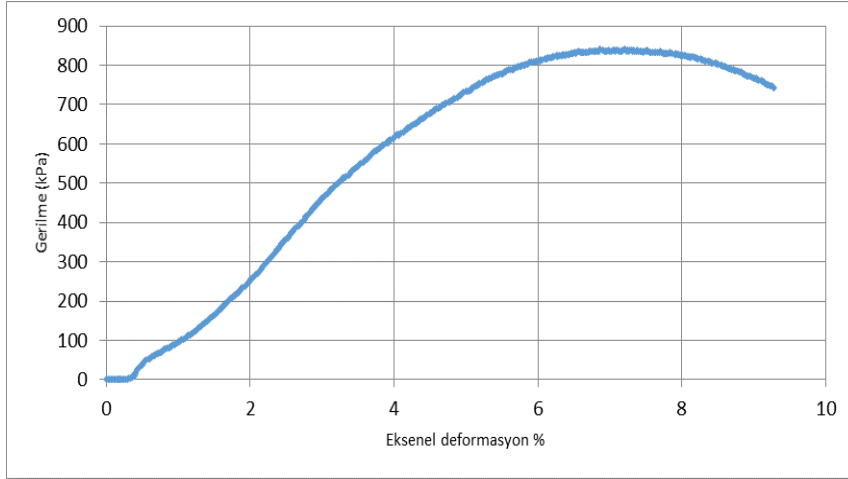
f. Kum%2(12mm)



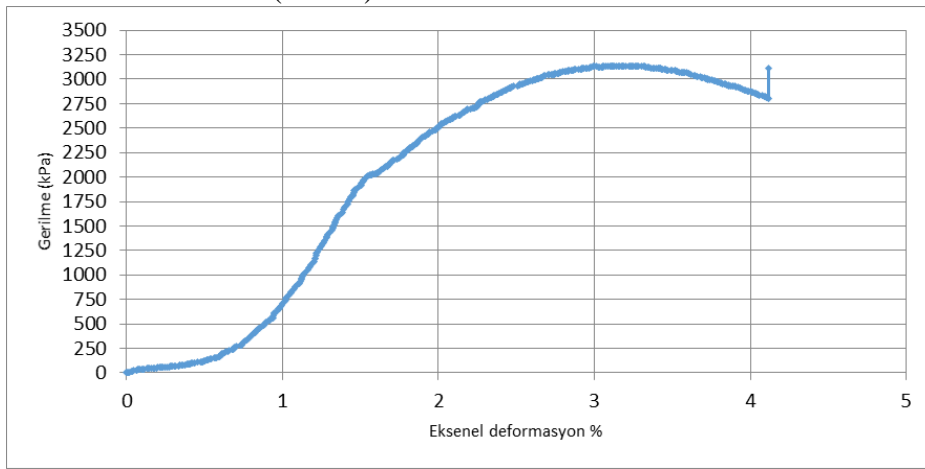
g. Kum%5C%2(3mm)



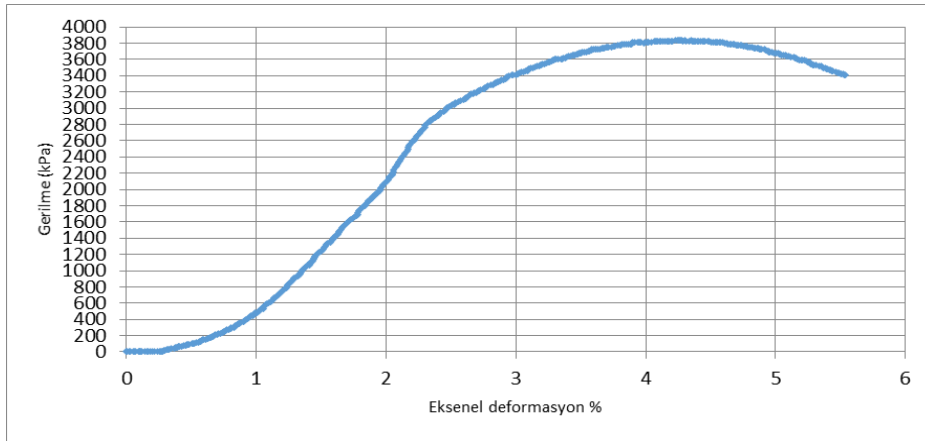
h. Kum%5C%2(6mm)



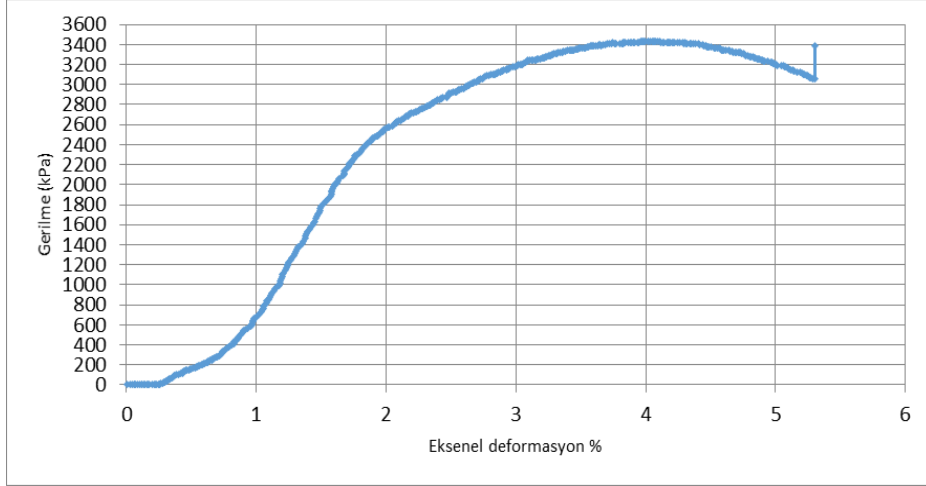
i. Kum%5C%2(12mm)



j. Kum%10C%2(3mm)



k. Kum%10C%2(6mm)



1. Kum%10C%2(12mm)

Şekil 8. 28 günlük küre tabi tutulan numunelerin gerilme-eksenel deformasyon grafikleri

Tek eksenli basınç deneyi eğrilerinden; 0 günlük kür zeminlerde,

1. Kum zemine çimento eklenmesiyle dayanım artmıştır.
2. Kuma geotekstil eklenlendiğinde, geotekstilin uzunluğu arttıkça dayanım çok az da olsa artmıştır.
3. Çimento miktarı ve geotekstil uzunluğu arttıkça dayanım artmıştır.

28 günlük kür zeminlerde;

1. Kum zemine çimento eklenmesiyle dayanım artmıştır.
2. Kuma geotekstil eklenlendiğinde, geotekstilin uzunluğu arttıkça dayanım çok az da olsa artmıştır.
3. Çimento miktarı ve geotekstil uzunluğu 3mm'den 6mm'ye çıktığında dayanım artarken, uzunluk 12mm' ye çıktığında dayanım 3mm'lik geotekstilli karışımın dayanımından büyük fakat 6mm'lik geotekstilli karışımın dayanımından düşük çıkmıştır.

## 5. Sonuçlar

Projenin ilk altı aylık dönemi kapsamında, proje çalışma planına uygun olarak literatür araştırması yapılmış, malzeme temin edilmiş, proje bütçesi kapsamında tüm bütçe cihaz ve alımında kullanılmıştır. Öncelikli olarak deneysel çalışmalarda kullanılacak malzeme

karışımları hazırlanmış ve standart kompaksiyon deneyleri yapılmaya başlanmıştır. Ara rapor sonrasında standart kompaksiyon deneyleri yapılan karışımların optimum su muhtevaları ve max. kuru birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Standart kompaksiyon deney sonuçlarına göre;

**1.**Kum zemine çimento eklenmesiyle, optimum su muhtevası artmıştır.

**2.**Kuma geotekstil eklenmesiyle ise optimum su muhtevasında artış olmuştur.

**3.**Aynı oranda fakat farklı uzunluklardaki geotekstil katkısıyla optimum su muhtevası aynı değerde kalmıştır.

**4.**Çimento ve geotekstilli karışımlarda ise yine çimento artışıyla optimum su muhtevasında artış görülürken aynı oranda fakat farklı uzunluklardaki geotekstil katkısıyla optimum su muhtevası aynı değerde kalmıştır.

Optimum su muhtevaları ve max. kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre numuneler hazırlanıp, tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen gerilme-eksenel deformasyon eğrilerine göre ;

**5.0** günlük kür zeminlerde;

-Kum zemine çimento eklenmesiyle dayanım artmıştır.

-Kuma geotekstil eklenildiğinde, geotekstilin uzunluğu arttıkça dayanım çok az da olsa artmıştır.

-Çimento miktarı ve geotekstil uzunluğu arttıkça dayanım artmıştır.

**6.28** günlük kür zeminlerde;

-Kum zemine çimento eklenmesiyle dayanım artmıştır.

-Kuma geotekstil eklenildiğinde, geotekstilin uzunluğu arttıkça dayanım çok az da olsa artmıştır.

-Çimento miktarı ve geotekstil uzunluğu 3mm'den 6mm'ye çıktığında dayanım artarken, uzunluk 12mm' ye çıktığında dayanım 3mm'lik geotekstilli karışımın dayanımından büyük fakat 6mm'lik geotekstilli karışımın dayanımından düşük çıkmıştır.

Bu çalışma sonunda, efektif yüzde değeri olarak dayanımın fazla olmasından dolayı %10 çimento ve 6mm uzunluktaki geotekstil katkılı karışımın en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bu çalışma sonrası, karışımların üzerinde fiziko-kimyasal deneyler yapılarak içyapının fiziksel ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi düşünülmektedir.

## 6. Kaynaklar

- Tumluer, G., 2006. Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erdoğan, D., & Altun, S. 2008. Kum/Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımının Kesme Kutusu Deneyle Belirlenmesi, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., c.23, s.2, 2008.
- Freitag, D. R. 1986. Soil Randomly Reinforced with Fibers. *Journal of Geotechnical Engineering*, 112(8), 823-826.
- Kumar, A., Walia, B. S., & Bajaj, A. 2007. Influence of fly ash, lime, and polyester fibers on compaction and strength properties of expansive soil. *Journal of materials in Civil Engineering*, 19(3), 242-248.
- Fu, X., Hou, W., Yang, C., Li, D., Wu, X., 2000, Studies on High- Strength Slag and Fly Ash Compound Cement, *Cement and Concrete Research* 30 (2000) 1239- 1243.
- Özaydın,K., 2000. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul, 261s.
- Uzuner, B., 2000. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, Trabzon, 205s. , 2000. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Mühendislik & Mimarlık Yayınları, Ankara., 376s.
- Shihata, S. A., & Baghdadi, Z. A., 2001. Simplified method to assess freeze-thaw durability of soil cement. *Journal of materials in civil engineering*, 13(4), 243-247.
- Yetimoglu, T, Salbas, O. (2003), “A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 21,No.2, 103-110
- Lee, K.M., Manjunath, V.R (2000), “Soil-geotextile interface friction by direct shear tests”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 37, No.1, 238-252.
- Zhang, M.X, Javadi, A.A; Min, X. (2006), Triaxial tests of sand reinforced with 3D inclusions, *Geotextiles and Geomembranes*, 24, 4, 201-209.