

# KENEVİR LİFLERİNDEN ÜRETİLMİŞ GEOTEKSTİLLERİN ZEMİN DAYANIMINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GEOTEXTILES MADE FROM HEMP FIBERS ON SOIL STRENGTH

Eren BAYRAKCI<sup>1</sup>, Eren BALABAN<sup>2</sup>, Mehmet İnanç ONUR<sup>3</sup>  
Yücel GÜNEY<sup>4</sup>, Yekta KARADUMAN<sup>5</sup>

### ÖZET

Geotekstiller zayıf zeminlerin taşıma gücünü artırmak amacıyla, istinat yapılarının inşasında ve yol dolgularının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde uygulamalarda kullanılan geotekstillerin büyük çoğunluğu petrol yağlarından elde edilen polipropilen ve polietilen gibi polimerlerden üretilmektedir. Dünya'da petrol kullanımının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar iklim değişikliği nedeniyle önem kazanmaktadır. Bu nedenle doğal liflerden elde edilen geotekstillerin üretimi ve geoteknik mühendisliğinde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada kenevir bitkisinden elde edilen iplikler kullanılarak geotekstil üretimi yapılmıştır. Üretilen kenevir esaslı geotekstillerin (Geo-Kenteks) zemin iyileştirmede kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi amacıyla konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli (UU) deneyler yapılmıştır. Üç eksenli deneyler sırasında Geo-Kenteksler granüler zemin içerisine iki tabaka halinde yerleştirilmiştir. Deneyler sırasında çevre basıncı 25 kPa, 50 kPa ve 100 kPa olarak seçilmiştir. Üç eksenli deneyler polipropilen örgülü geotekstil için aynı yerleşim düzeninde ve çevre basıncı altında tekrarlanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlarla Geo-Kenteks ve geotekstilin granüler zeminin mukavemetine olan etkileri değerlendirilmiştir. İki tabaka halinde kullanılan Geo-Kenteks ve geotekstilin, kırılma anındaki deviyör gerilmede artış meydana getirdiği görülmüştür. Geo-Kenteks ile hazırlanan numunelerin dayanımlarının, örgülü geotekstil kullanılarak hazırlanan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

*Anahtar Kelimeler: Geo-Kenteks, geotekstil, zemin dayanımı, üç eksenli deney*

### ABSTRACT

Geotextiles are used to increase bearing capacity of soil; in construction of retaining walls and road embankments. Majority geotextiles which are used in field application produced

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, [erenbayrakci@eskisehir.edu.tr](mailto:erenbayrakci@eskisehir.edu.tr) (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, [erenb@eskisehir.edu.tr](mailto:erenb@eskisehir.edu.tr)

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, [mionur@eskisehir.edu.tr](mailto:mionur@eskisehir.edu.tr)

<sup>4</sup> Prof. Dr., Anadolu Üniversitesi, [yucelguney@anadolu.edu.tr](mailto:yucelguney@anadolu.edu.tr)

<sup>5</sup> Doç. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, [yekta.karaduman@bozok.edu.tr](mailto:yekta.karaduman@bozok.edu.tr)

from polymers such as polypropylene and polyethylene which are by-product of crude oil. Decreasing oil demand is gaining importance all around the globe due to climate change. Therefore, production of geotextiles from natural fibers and their use in current projects increase. Geotextile was produced from hemp fibers in this study. Unconsolidated undrained (UU) tests were carried out in order to determine if hemp geotextiles (Geo-Hemptex) may be used for soil improvement. Geo-hemptex were placed inside a granular soil sample in two layers. Tests were carried out in three different cell pressures such as 25 kPa, 50 kPa and 100 kPa. Unconsolidated-undrained triaxial tests were repeated for polypropylene woven geotextile under same conditions. Effect of geo-hemptex and polypropylene geotextile to granular soil's strenght were evaluated with respect to test results. It is found out that, two layer geotextile and geo-hemptex increase deviator stress at failure. Slightly higher deviator stress is measured when two layer geotextile is placed inside the soil sample.

*Keywords: Geo-Hemptex, geotextile, soil strength, triaxial test*

## 1. GİRİŞ

Geotekstiller zeminlerin taşıma gücünü arttırmak için temel altlarında, stabilitenin sağlanması amacıyla istinat duvarlarında, karayolu ve demiryolu dolgularında şev stabilitesini sağlamak amaçlarıyla kullanılmaktadırlar. Bu nedenle polipropilen, polyester, poliamid ve polietilen gibi petrolden elde edilen lifler kullanılarak üretilen geotekstiller yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Geotekstillerin zemin ile olan ilişkileri yapılan çalışmalarla literatürde çalışılmıştır (Markou, 2018; Jotisankasa and Rurgchaisri, 2018; Toufigh vd., 2016; Sayeed vd., 2014; Vieira vd., 2013; Subaida vd., 2008; Wasti and Özdüzgün 2001; Pradhan and Pothal, 2024; Kantesaria and Sachan, 2021; Talamkhani and Naeini 2021; Rezvani, 2020; Jayawardane vd., 2020; Çiçek, 2019; Nouri vd., 2016; Latha and Murthy 2007). Yapılan bu çalışmalarda zemin ile geotekstil arasındaki arayüz mukavemetinin bulunması için modifiye kesme kutusu deneyleri; çeşitli sayıda geotekstilin zemin mukavemetine olan etkilerinin bulunabilmesi için üç eksenli deneyler yapılmıştır.

Son yıllarda artan çevresel farkındalık nedeniyle doğal liflerden üretilen geotekstillerle ilgili olarak yapılmış çalışmalar artmaktadır. Doğal geotekstiller ile ilgili olarak yapılan çalışmalar genellikle jüt, Hindistan cevizi, sisal ve keten bitkilerinden elde edilen liflerden üretilmektedir (Jaswal, 2022; Vivek ve Dutta, 2022; Sharma vd., 2022; Rawal ve Anandjiwala, 2007; Mwashwa ve Petersen, 2010). Literatürde yer alan bilgilere göre ise kenevir liflerinin mekanik özellikleri hem doğal hem de sentetik liflerden daha yüksektir (Hao vd., 2018; Ku vd., 2011). Bunun yanında kenevir lifleri selülaz enzimlerine ya da bakterilere maruz kaldıkları zaman mekanik özelliklerini Hindistan cevizi liflerinin mekanik özelliklerine göre çok daha iyi korudukları görülmüştür (Ouagne vd., 2017). Kenevir bitkisinden lif elde edilme yöntemlerinin, elde edilen liflerin mekanik özelliklerine etkisi de araştırılmıştır. Gregoire vd. (2020)'ye göre kenevir bitkilerinden elde edilen liflerin mekanik özellikleri saf halde en yüksek iken, makinalar ile işlendikçe mekanik özelliklerinin azaldığı belirtilmiştir. Gregoire vd. (2021) yaptığı çalışmada da benzer sonuçlara ulaşmışlardır. İşleme tabii tutuldukça kenevir liflerinin mekanik özelliklerinin azalmasının sebebi ise, makine işlemleri sırasında lifler üzerinde meydana gelen mikro katlanmalar olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte kenevir liflerinin karbon ayak izi hem sentetik hem diğer doğal liflerden daha düşüktür. Kenevir liflerinin üretilebilmesi için gerekli olan su miktarı, sentetik

liflerin üretilmesi için gerekli olan miktardan oldukça düşüktür (Ashby, 2013). Bu nedenlerden dolayı kenevir lifleri yük taşıma özelliği olan geotekstil üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir (Gregoire vd., 2020; Gregoire vd., 2021).

Kenevir liflerinin mekanik özelliklerinin oldukça iyi olması ve jüt ve Hindistan cevizi liflerine göre biyobozunurluğa karşı daha dayanıklı olmasından dolayı geotekstil üretimi için iyi bir alternatif malzemedir. Bu çalışmada kenevir liflerinden ilk defa örgülü tip geotekstil (Geo-Kenteks) üretilmiştir. Daha sonra yapılan konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli deneyler ile granüler zeminlerin dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Sentetik örgülü ve örgüsüz geotekstiller ile UU deneyleri tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada granüler bir zemin kullanılarak UU deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan zemin Eskişehir'de faaliyet gösteren bir firmadan temin edilmiştir. Malzeme üzerinde ASTM D6913-17'ye uygun olarak elek analizi, ASTM D7928-21e1'e uygun olarak hidrometre deneyi yapılmıştır. Zemin sınıflandırma ise elde edilen tane çapı büyüklüğüne göre ASTM D2487-11'de tarif edildiği şekilde birleşik sınıflandırma sistemine uygun olarak yapılmış, özgül ağırlık ise ASTM D854-14'e uygun olarak bulunmuştur. Kullanılan granüler zeminin minimum ve maksimum boşluk oranları ise ASTM D4253-16 ve ASTM D4254-16'da tarif edildiği şekilde belirlenmiştir. Standard proktor deneyi ASTM D698-12'ye uygun olarak bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda zeminin fiziksel özellikleri aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Zeminin fiziksel özellikleri

| Parametre                                      | Değer |
|--|-------|
| Özgül Ağırlık                                  | 2,71  |
| Çakıl (%)                                      | 6,2   |
| Kum (%)  | 82,1  |
| Silt (%)                                       | 10,2  |
| Kil (%)  | 1,5   |
| Üniformluk Katsayısı ( $C_u$ )                 | 43,14 |
| Eğrilik Katsayısı ( $C_c$ )                    | 3,21  |
| Optimum Su Muhtevası (%)                       | 4     |
| Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık ( $g/cm^3$ ) | 2,17  |
| Maksimum Boşluk Oranı ( $e_{max}$ )            | 0,635 |
| Minimum Boşluk Oranı ( $e_{min}$ )             | 0,282 |

Bu çalışma kapsamında kullanılan kenevir geotekstillerin dokunabilmesi için gerekli olan iplikler Malatya'da faaliyet gösteren bir şirketten iplik numarası Nm 9,6 (104 tex) olacak şekilde temin edilmiştir. Temin edilen iplikler 5 kat olarak katlanmış böylelikle iplik numarası Nm 1,92 (520 tex) olan iplikler elde edilmiştir. İplik numarası 1,92 olan ipliklerden ise kenevir geotekstil (Geo-Kenteks) bezayağı yöntemiyle dokunmuştur. Geo-Kenteks üretimi sırasında atkı sıklığı 4 adet/cm, çözgü sıklığı ise 6 adet/cm olarak seçilmiştir. Geo-Kenteks'in üretimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



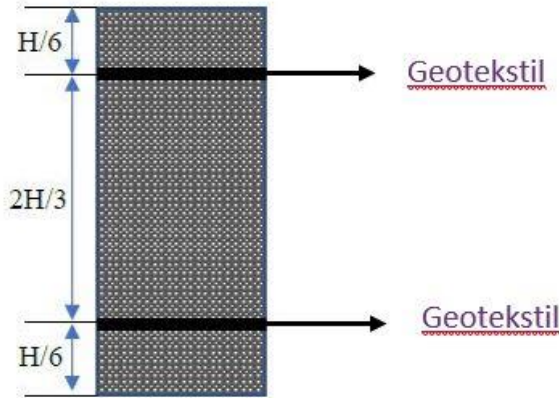
Şekil 1. Geo-Kenteks üretimi

Üretilen Geo-Kenteks'in birim alan ağırlık tayini, maksimum yükteki çekme dayanımı, statik delinme kuvveti ve dinamik delinme direnci sırasıyla TS EN ISO 9864, TS EN ISO 10319, TS EN ISO 12236 ve TS EN ISO 13433'e göre bulunmuştur. Geo-Kenteks'in sektörde kullanılabilirliğinin gösterilmesi için ise, sektörde kullanılan polipropilen'den üretilmiş örgülü ve örgüsüz geotekstillerde bu çalışmada kullanılmıştır. Örgülü ve örgüsüz geotekstillerin fiziksel ve mekanik özellikleri tedarikçi tarafından sağlanmıştır. Üretilen Geo-Kenteks ve sektörden temin edilen geotekstillerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan geotekstillerin fiziksel ve mekanik özellikleri

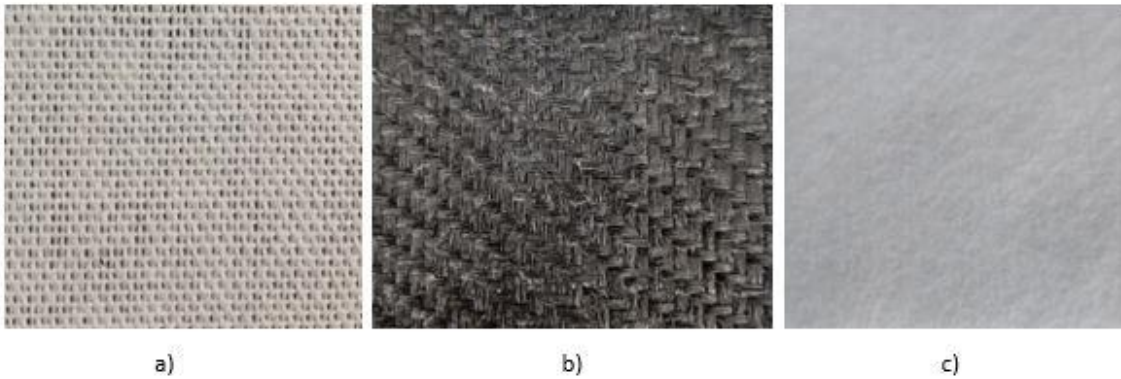
| Geotekstil Tipi    | Birim Alan Kütlesi (g/m <sup>2</sup> ) | Maksimum Yükteki Boy ve En Yönünde Çekme Dayanımı (kN/m) | Statik Delinme Kuvveti (CBR) (kN) | Dinamik Delinme Direnci (mm) | Eksenel Rijitlik (kN/m) |
|--------------------|--|--|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Geo-Kenteks        | 424                                    | 34   | 4,06                              | 8,32                         | 388                     |
| Örgülü Geotekstil  | 308                                    | 33   | 9                                 | 7                            | 1100                    |
| Örgüsüz Geotekstil | 525                                    | 34   | 6,03                              | 3                            | 68                      |

Geo-Kenteks ve çalışmada kullanılan geotekstillerin zeminlerin kayma mukavemetine olan etkileri yapılan UU deneyleri ile ortaya konmuştur. UU deneyleri için zemin numunesi yapılan tüm deneylerde %50 rölafet sıklığına sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Üç eksenli deney numuneleri 70 mm çapa ve 140 mm boya sahiptir. Numune hazırlanırken kullanılacak olan geotekstil numune çapına uygun olarak kesilmiş ve Şekil 2'de gösterilen şekilde numuneye yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışma sırasında kullanılan geotekstil yerleşim düzeni

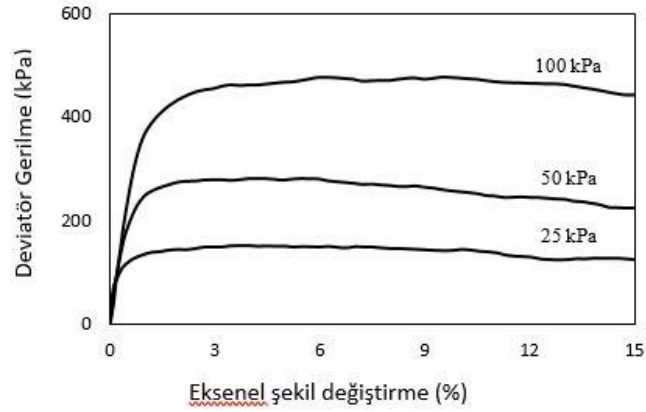
Çalışma kapsamında dokunmuş olan Geo-Kenteks ve kullanılan polipropilen (PP) geotekstiller ise Şekil 3'de görülmektedir. Yapılan UU deneyleri ASTM D2850-23'e uygun şekilde yapılmıştır. Numuneler optimum su muhtevasında ıslak tokmakla yöntemi ile Gürbüz ve Afacan (2022)'de tarif edildiği şekilde hazırlanmıştır. Çalışma sırasında granüler numune kullanıldığı için, numune hazırlama aşamasında numunenin ayakta kalabilmesi için numuneye vakum uygulanmıştır. UU deneyler 25 kPa, 50 kPa ve 100 kPa çevre basınçları altında deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır. Deney sırasında yükleme hızı 0.9 mm/dk olarak seçilmiştir. Deneyler sırasında %0.5 deformasyon miktarına kadar her %0.1 deformasyonda bir veri okuması alınmış, %0.5'ten daha yüksek deformasyon değerlerinde her %0.25 deformasyonda bir olacak şekilde veri okuması yapılmıştır. ASTM D2850-23'e göre UU deneyleri %15 eksenel deformasyona ulaştığında ya da deney sırasında ölçülen en büyük deviator gerilme %20 azaldığında veya en yüksek deviator gerilmeye karşılık gelen deformasyon seviyesinden %5 deformasyon sonrasında deney sonlandırılır. Bu çalışmada ise her bir deney %15 eksenel deformasyona ulaştığında sonlandırılmıştır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan a) Geo-Kenteks, b) Örgülü Geotekstil ve c) Örgüsüz Geotekstil

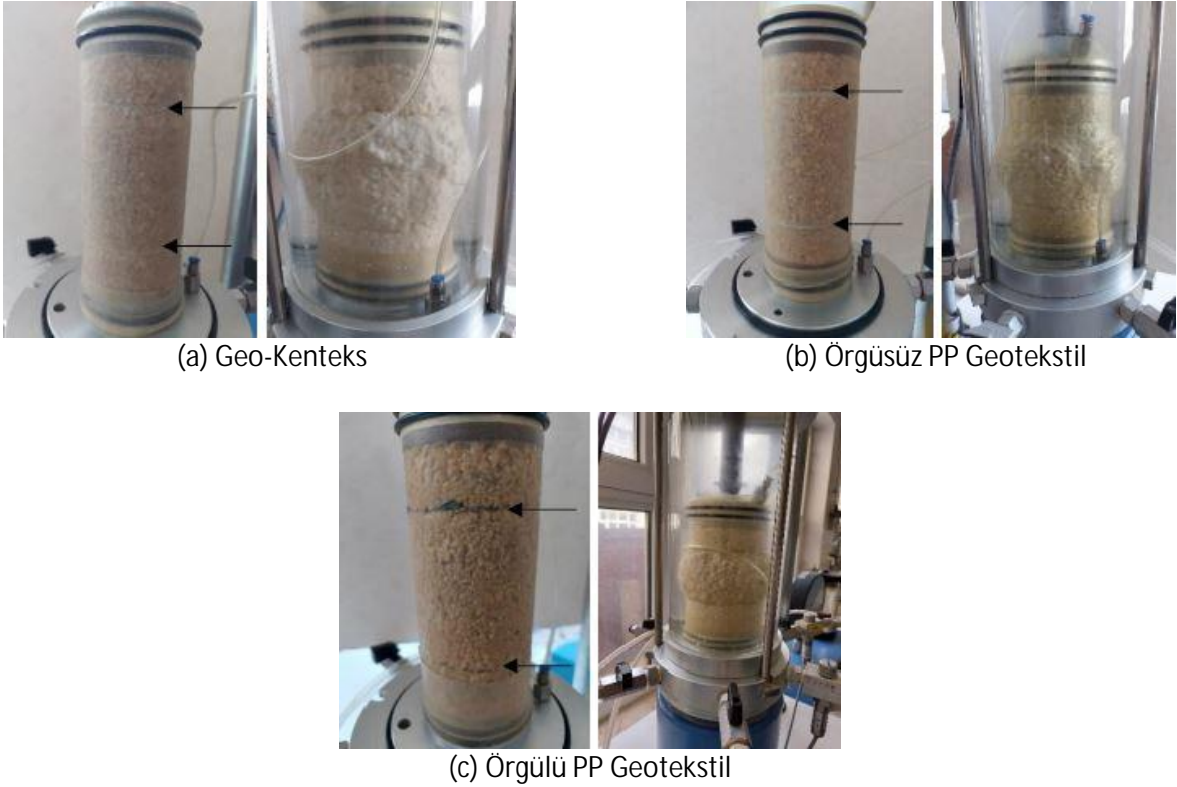
### 3. BULGULAR

Çalışmada kullanılan granüler zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri  $44^\circ$  ve 9 kPa olarak bulunmuştur. Yapılan UU deneylerinden elde edilen gerilme şekil değiştirme grafikleri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Granüler zemin UU deneyleri sonucunda elde edilmiş gerilme-şekil değiştirme grafiği

Geotekstiller numuneye yerleştirildiği zaman kırılma iki geotekstil arasında kalan bölgede gerçekleşmiştir. Granüler zemine geotekstil eklenmesiyle meydana gelen deviator gerilme artışı en çok örgülü geotekstilde gerçekleşirken, deviator gerilmede en çok artışa sırasıyla Geo-Kenteks ve örgüsüz geotekstil de meydana gelmiştir. Deney öncesi ve deney sonrasındaki numunelerin görünüşlerinde oluşan değişim ile yanal deformasyonlar Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. UU deneyi öncesi ve sonrasında numunelerin genel görünümü

Tüm geotekstiller için numuneler iki geotekstil arasında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi ise geotekstil ile zemin arasında meydana gelen sürtünme kuvvetleridir. Zemin ile geotekstiller arasında oluşan sürtünme kuvvetleri, geotekstillerin üst ve altlarında bulunan zeminin deforme olmasını engellemiş ve kırılmanın numunenin orta kısmında olmasına neden olmuştur. Geotekstil nedeniyle numune dayanımının artması da aynı mekanizma nedeniyle

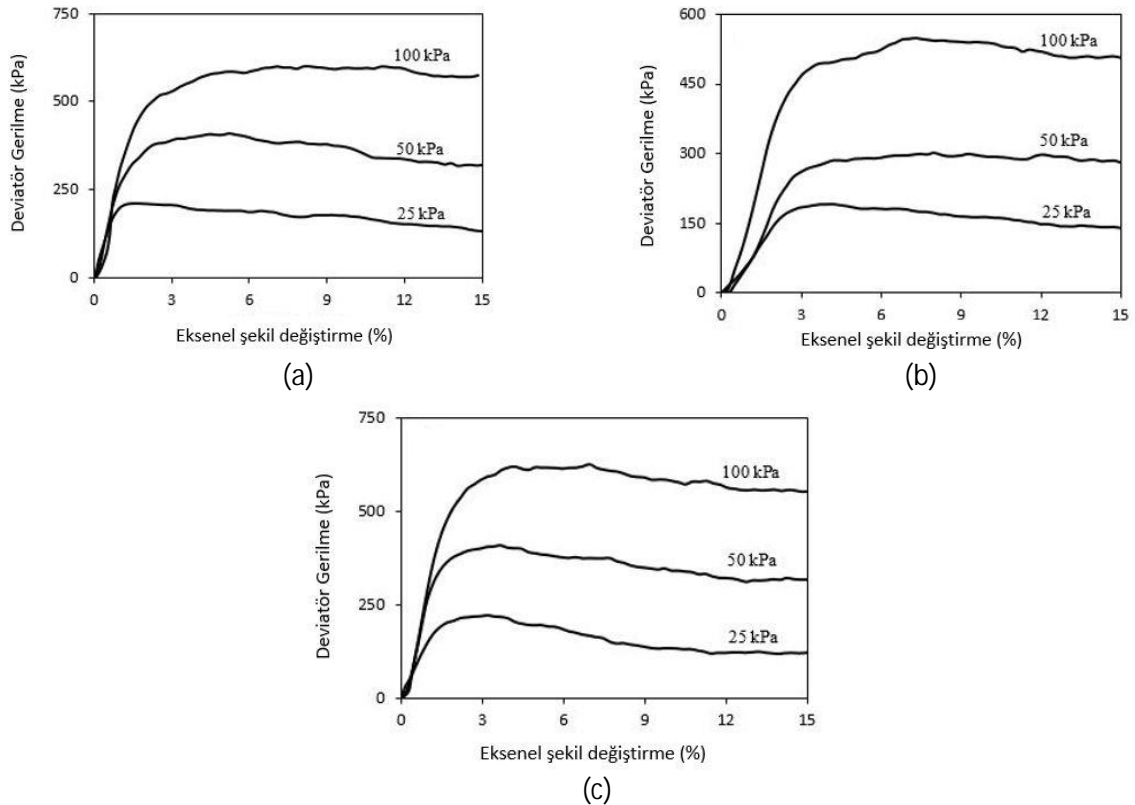
olmuştur. Her bir geotekstil türü için deney sırasında ölçülen en yüksek deviatör gerilmeler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı geotekstil türleri için ölçülen en büyük deviatör gerilmeler

| Geotekstil Tipi    | Deviatör Gerilme<br>(25 kPa) | Deviatör Gerilme<br>(50 kPa) | Deviatör Gerilme<br>(100 kPa) |
|--------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Granüler Zemin     | 150,40                       | 282,80                       | 477,50                        |
| Geo-Kenteks        | 211,50                       | 408,50                       | 598,80                        |
| Örgülü Geotekstil  | 221,90                       | 409,60                       | 628,50                        |
| Örgüsüz Geotekstil | 190,40                       | 302,70                       | 548,60                        |

Tüm geotekstiller granüler zeminin dayanımını artırmıştır. Granüler zeminde meydana gelen numune artışının ise geotekstillerin aksel rijitliğiyle orantılı olduğu görülmüştür. En yüksek artışın görüldüğü örgülü geotekstilin, aksel rijitliği en yüksek olan polipropilen örgülü geotekstilde meydana gelirken, en düşük artış aksel rijitliği en düşük olan polipropilen örgüsüz geotekstilde meydana geldiği görülmüştür.

Numuneye iki tabaka ve farklı türde geotekstil eklenmesinin numunenin gerilme-şekil değiştirme davranışını değiştirdiği görülmüştür. Şekil 6'te farklı tip geotekstiller için gerilme-şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



Şekil 6. UU deneyleri sonucu elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri (a) Geo-Kenteks (b) örgüsüz geotekstil (c) örgülü geotekstil

Deney sırasında geotekstiller sıkıştıkları için tüm numunelerde en yüksek deviatör gerilmeye karşılık gelen deformasyon miktarları artmıştır. Örgüsüz geotekstil daha fazla sıkışabilir olduğu için, meydana gelen deformasyon miktarı örgüsüz geotekstil kullanılarak

hazırlanan numunelerde daha fazla olmuştur. Bu durumdan dolayı numunelerin elastisite modüllerinde değişim meydana gelmiştir. Numunelerin elastisite modülleri Tablo 4'te görülmektedir.

Numunelerin deformasyon kapasitesi arttıkça elastisite modülünün azaldığı görülmektedir. Geo-Kenteks ile hazırlanan numunelerin diğer donatılı numunelere göre elastisite modülü daha yüksek olduğu Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Farklı çevre basınçlarındaki elastisite modülleri

| Geotekstil Tipi    | Elastisite Modülü (25 kPa) | Elastisite Modülü (50 kPa) | Elastisite Modülü (100 kPa) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Geo-Kenteks        | 25485                      | 29420                      | 32680                       |
| Örgülü Geotekstil  | 15321                      | 24970                      | 30275                       |
| Örgüsüz Geotekstil | 7751                       | 8693                       | 17329                       |

Numunelerin rijitlikleri azalsa da daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşarak numuneler eksenel yük altında daha sünek davranmışlardır. Bu nedenle zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerinde kullanılan geotekstil donatılardan dolayı artış meydana gelmiştir. Çalışmada kullanılan granüler zemin ile birlikte donatılı zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Granüler zemin ve donatılı zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri

| Geotekstil Tipi    | İçsel Sürtünme Açısı (°) | Kohezyon (kPa) |
|--------------------|--------------------------|----------------|
| Granüler Zemin     | 44                       | 9              |
| Geo-Kenteks        | 45                       | 21             |
| Örgülü Geotekstil  | 47                       | 28             |
| Örgüsüz Geotekstil | 44                       | 17             |

Kayma mukavemeti parametrelerinde en büyük artış örgülü geotekstil kullanıldığı durumda görülmüştür. Örgüsüz geotekstil ise sadece kohezyon değerinde bir artışa yol açmıştır. Geo-Kenteks ise hem içsel sürtünme açısında, hem de kohezyonda artış sağlamıştır. Örgülü geotekstil kullanılması durumunda Geo-Kenteks'e göre kayma mukavemeti parametrelerinde daha yüksek artış olmasının sebebi ise, örgülü geotekstilin rijitliğinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Örgülü geotekstilin rijitliğinin daha yüksek olması, zemin danelerinin hareket etmesini zorlaştırmış, bu da daha yüksek kayma mukavemeti parametrelerinin oluşmasına yol açmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, kenevir ipliklerinden ilk defa bir geotekstil üretilmiş ve üretilen geotekstilin granüler bir zemin içerisinde iki tabaka halinde kullanılması halinde zeminin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, sektörde bilinen örgülü ve örgüsüz geotekstiller kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- İki adet donatı yerleştirilen numuneler iki donatı arasındaki bölgeden kırılmıştır.
- Üretilen Geo-Kenteks ikili yerleşimde örgülü geotekstile yakın bir deviyör gerilme artışına yol açarken, örgüsüz geotekstilden daha yüksek deviyör artışına yol açmıştır.



- Tüm geotekstiller kayma mukavemeti parametrelerinde artışa yol açmıştır.
- Geotekstil koyulan numunelerin maksimum yük altındaki deformasyon miktarında artış meydana gelmiştir.
- Örgülü ve örgüsüz geotekstiller ile hazırlanan numuneler ile kıyaslandığında en yüksek elastisite modülü Geo-Kenteks kullanıldığı zaman elde edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

*Bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından 22DRP218 no'lu proje ile desteklenmiştir.*

## KAYNAKLAR

- Markou, I.N. (2018), "A Study on Geotextile—Sand Interface Behavior Based on Direct Shear and Triaxial Compression Tests" *Int. J. of Geosynth. and Ground Eng*, 4, 8. <https://doi.org/10.1007/s40891-017-0121-7>.
- Jotisankasa, A., Rurgchaisri, N. (2018), "Shear strength of interfaces between unsaturated soils and composite geotextile with polyester yarn reinforcement" *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 46(3), 338-353.
- Toufigh, V., Ouria, A., Desai, C. S., Javid, N., Toufigh, V., ve Saadatmanesh, H. (2016), "Interface behavior between carbon-fiber polymer and sand" *Journal of Testing and Evaluation*, Vol 44(1), 385-390.
- Sayeed, M. M. A., Ramaiah, B. J., ve Rawal, A. (2014), "Interface shear characteristics of jute/polypropylene hybrid nonwoven geotextiles and sand using large size direct shear test" *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 42(1), 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2013.12.001>.
- Vieira, C. S., Lopes, M. L. ve Caldeira, L. (2013), "Soil-geosynthetic interface shear strength by simple and direct shear tests" In *Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, Paris, 3497-3500.
- Subaida, E. A., Chandrakaran, S., ve Sankar, N. (2008) "Experimental investigations on tensile and pullout behaviour of woven coir geotextiles" *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 26(5), 384-392, <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2008.02.005>.
- Wasti, Y., ve Özdüzgün, Z. B. (2001), "Geomembrane–geotextile interface shear properties as determined by inclined board and direct shear box tests" *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 19(1), 45-57.
- Pradhan, S. K., ve Pothal, G. K. (2024), "Shear Strength Characteristics of Pond Ash Reinforced with Polymeric and Natural Fiber Geosynthetic" *Geotechnical and Geological Engineering*, 1-22.
- Kantesaria, N., ve Sachan, A. (2021), "Undrained shear behaviour of fly ash-geosynthetic system with woven and non-woven geotextile" In *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference 2019: IGC-2019 Volume V* (pp. 153-165). Springer Singapore.
- Talamkhani, S., ve Naeini, S. A. (2021), "The undrained shear behavior of reinforced clayey sand" *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol 39, 265-283.

- Rezvani, R. (2020), "Shearing response of geotextile-reinforced calcareous soils using monotonic triaxial tests", *Marine Georesources & Geotechnology*, Vol 38(2), 238-249.
- Jayawardane, V. S., Anggraini, V., Li-Shen, A. T., Paul, S. C., ve Nimbalkar, S. (2020), "Strength enhancement of geotextile-reinforced fly-ash-based geopolymer stabilized residual soil", *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, Vol 6(4), 50.
- Cicek, E. (2019), "The effects of different types of fibres and geotextiles for pavement design", *Road Materials and Pavement Design*, Vol 20(4), 793-814.
- Nouri, S., Nechnech, A., Lamri, B., ve Lopes, M. L. (2016), "Triaxial test of drained sand reinforced with plastic layers", *Arabian Journal of Geosciences*, Vol 9, 1-9.
- Latha, G. M., ve Murthy, V. S. (2007), "Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 25(1), 23-32.
- Jaswal, P., Vivek ve Sinha, S. K. (2022), "Improvement in the performance of two layered model pavement with treated coir geotextile at the interface", *Journal of Industrial Textiles*, Vol 52. <https://doi.org/10.1177/15280837221114161>.
- Vivek ve Dutta, R. K. (2022), "Bearing ratio behavior of sand overlying clay with treated coir geotextiles at the interface", *Journal of Natural Fibers*, Vol 19(14), 7534-7541. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1952135>.
- Sharma, A., Sharma, A., ve Singh, K. (2022), "Bearing capacity of sand admixed pond ash reinforced with natural fiber", *Journal of Natural Fibers*, Vol 19(9), 3394-3407. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1848699>.
- Rawal, A., Anandjiwala, R. (2007), "Comparative study between needlepunched nonwoven geotextile structures made from flax and polyester fibres", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 25, 61-65.
- Mwasha, A., Petersen, A. (2010), "Thinking outside the box: The time dependent behaviour of a reinforced embankment on soft soil", *Materials & Design*, Vol 31, 2360-2367.
- Hao, L.C., Sapuan, S.M., Hassan, M.R. ve Sheltami, R.M. (2018), "Natural fiber reinforced vinyl polymer composites", *Natural Fibre Reinforced Vinyl Ester and Vinyl Polymer Composites* 27 – 70.
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoo, N. ve Trada, M. (2011), "A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites", *Compos. Part B Eng.* Vol 42, 856 – 873.
- Ouagne, P., Renouard, S., Michel, D. ve Laine, E. (2017), "Mechanical properties of flax and hemp yarns designed for the manufacturing of geo textiles. Improvement of the resistance to soil born microorganisms", *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, Vol 1(5).
- Gregoire, M., Barthod-Malat, B., Labonne, L., Evon, P., De Luycker, E. ve Ouagne, P. (2020), "Investigation of the potential of hemp fibre straws harvested using a combine machine for the production of technical load-bearing textiles", *Industrial Corps & Products*, Vol 145.
- Gregoire, M., Bar, M., De Luycker, E., Musio, S., Amaducci, S., Gabrion, X., Placet, V., Ouagne, P. (2021). Comparing flax and hemp fibres yield and mechanical properties after scutching/hackling processing. *Industrial Corps & Products* 72.
- Ashby, M. (2013), "Materials and the Environment 2nd Edition", Oxford:Elsevier.