

Geotekstil Donatılı Kum Zeminlerin Mekanik Davranışlarının İrdelenmesi

Şahin Çağlar TUNA¹
Eyyüb KARAKAN²
Selim ALTUN³

ÖZ

Donatılı zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi uygulamada sıkça kullanılmaya başladıklarından dolayı önem arz etmektedir. Bu çalışmada geotekstil donatılı nehir kumunun gerilme-deformasyon ve kabarma özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla laboratuvar üç eksenli deneyleri ve direkt kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri geotekstil tipi ve çevresel basınç değişimleriyle incelenmiştir. Direkt kesme kutusu deneyleri ile geotekstil donatılı numunenin arayüzey özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlar, geotekstil donatının pik dayanımı arttırdığını ve özellikle yüksek çevresel basınçlar altında kabarmayı azalttığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Üç eksenli basınç deneyi, direkt kesme kutusu deneyi, geotekstil, kum, donatılı zemin.

ABSTRACT

Evaluating the Mechanical Behaviour of Geotextile Reinforced Sand

It is important to determine the mechanical properties of reinforced soils, since they are extensively used in practice. In this study, laboratory triaxial tests and direct shear tests were carried out in order to determine the stress-strain and dilation characteristics of geotextile-reinforced river sand. The mechanical behaviour of the composite material was investigated through varying the type of geotextile and confining pressure. Interface properties of geotextile-reinforced samples were evaluated with the direct shear tests. The results demonstrated that geotextile inclusion increases the peak strength, and reduces dilation especially at higher confining pressures.

Keywords: Triaxial test, direct shear test, geotextile, sand, reinforced soil.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 12.03.2012 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

¹ Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - tunasahincaglar@hotmail.com

² Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir - eyyubkarakan@gmail.com

³ Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - sealtun@gmail.com

1. GİRİŞ

Uygun maliyeti ve inşaa kolaylığı nedeniyle, donatılandırılan zeminler birçok geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır [1]. Yol yapımında, şev stabilizasyonlarında zayıf zeminlerin güçlendirilmelerinde ve çevre geotekniği gibi önemli alanlarda birçok örnek uygulamaları mevcuttur.

Konunun mekanizmasının araştırılması aşamalarında üçeksenli basınç deneyleri [2]; direkt kesme kutusu deneyleri [3] ve [4] yapılagelmiştir. Bu çalışmalarda kompozit sistem gerek zemin yükü ve gerekse de muhtemel sürşarj yükleri etkisi altında kalmaktadır. Dolayısıyla, farklı normal basınçlar altındaki bu malzemelerin davranışları incelenmektedir. Bu çalışmanın amacı, farklı normal basınçlar altında seçilen farklı özelliklerdeki geosentetiklerin kumun mekanik davranışı üzerindeki muhtemel etkilerinin üç eksenli basınç deneyleri ve kesme kutusu deneyleri ile incelemektir. Bu amaçla, piyasada kolayca bulunabilen 3 adet farklı özelliklere sahip geosentetik malzeme deneylerde kullanılmıştır.

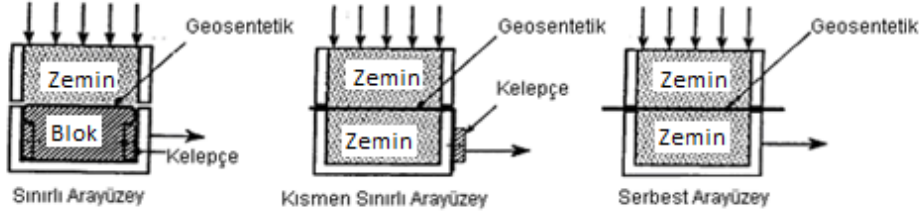
2. KULLANILAN DENEYSEL PROGRAM, MALZEME VE YÖNTEM

Deneyler Ege Üniversitesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapımında ASTM D4767 - 11 “Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils” ve ASTM D 5321-08 “Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method” yöntemleri takip edilmiştir. Üç eksenli basınç deneylerinde 5 cm çapında ve 10 cm yüksekliğinde numuneler kullanılmıştır. Önceden kurutulmuş kum zeminler istenilen rölatif sıklığı oluşturmak amacıyla hazırlanmış membran içerisine kuru yağmurlama yöntemi ile yerleştirilip geotekstillerin de numunenin ortasına gelecek şekilde ayarlaması yapılmıştır. Deneyler 50, 100, 200 ve 300 kPa’da yapılmıştır.

Direkt kesme kutusu deneyleri 60*60 mm’lik boyutlarda yapılmıştır. ASTM D 5321-08 içerisinde deneysel çalışmalarda kullanılabilecek kesme kutusu boyutları çeşitli kıstaslar ile belirlenmiştir. Bu kutular dikdörtgen veya kare olabilmekle beraber, minimum 300 mm uzunluğa, deneylerde kullanılan zemin danelerinin D_{85} boyutundan 15 katı veya kullanılan geosentetiğin maksimum açıklık boyutundan 5 katı şartlarını sağlamalıdır. Deneysel çalışmalarda kullanılan geosentetik maksimum açıklık oranları (0.23 mm) ve zemin D_{85} değeri (1.92 mm) değerlendirilerek kullanılan kesme kutusu boyutunun yeterli olduğu kanısına varılmıştır.

Kaynaklarda arayüze konulan geosentetik malzemenin sabitleme yöntemlerindeki farklılıklara bağlı olarak Şekil 1’de görünen 3 farklı tip deney yönteminden bahsedilmektedir [5]. Her birinin farklı avantaj ve dezavantajları olsa da arayüzeyde serbest bırakılan geotekstillere uygulanan kayma gerilimleri ile yatay olarak kaymadıkça ve alttaki kutuya doğru deforme olmadıkça daha doğru bir yöntem olduğu düşünülmüştür. Bunun için arayüzeyin ölçüsünden biraz daha geniş ve uzun tutulan geotekstil numuneler arayüzey boyunca kutunun boyuna göre uzun gelen kısımları alttaki kutuya alt kısımdan sıkıştırılmıştır. Bu şekilde donatının rahatça deforme olabilmesi ve boyuna sabit kalması sağlanmış ve yapılan ölçümlerin daha sağlıklı olması hedeflenmiştir. Deney sonrası

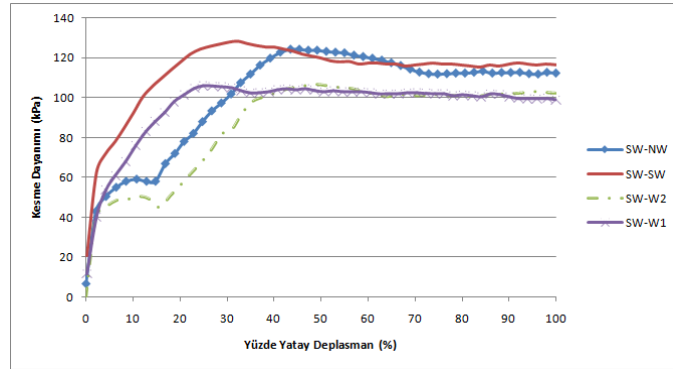
yapılan gözlemlerden geotekstilin ilk etapta yerleştirildiği gibi arayüzeyde ve etkileşime geçmiş halde olduğu bulunmuştur.



Şekil 1. 3 Farklı Tip Kesme Kutusu Deneyi [5]

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Deneysel çalışma programı içerisinde ilk olarak direkt kesme kutusu deneyleri yapılarak ara yüzey sürtünme açıları ve ara yüzey davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler üç farklı normal basınç altında yapılmış, deney sonuçlarında elde edilen yatay deplasmanlar 5-7 mm aralığında olmuş ve % deplasman olarak ifade edilmiştir. Yapılan deney sonuçları kısaca Şekil 2 ve Tablo 1'de görülmektedir. Şekil 2'de 109 kPa normal basınç altında yapılan deney sonuçları verilmiştir. Geotekstil ile donatılan zeminlerde kesme-deformasyon zarfının farklılaştığı, pik dayanım sonrası mukavemet kaybının azaldığı ve rijitliğinin değiştiği deney sonuçlarından belirlenmiştir.



Şekil 2. 109 kPa Normal Basınç Altında Yapılan Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

Deney sonuçlarına göre, arayüzey sürtünme açıları örgüsüz geotekstilde örgülü geotekstillere kıyasla daha fazladır. Örgülü geotekstillerin mekanik dayanım parametreleri (rijitlik ve çekme mukavemetleri) daha fazla olmasına karşın, yüzey özellikleri (pürüzlülük ve rititlik-deforme olabilme) dikkate alınınca arayüzey kayma dayanımları örgüsüz geotekstillere göre daha az olmaktadır. Gerek elle yapılan kontrollerde ve gerekse de

malzeme mekanik özelliklerinden anlaşılacağı üzere örgüsüz geotekstillerin yüzey pürüzlülüğü ve deforme olabilme yatkınlığı daha fazladır. Bu sebeple, uygulamalarda zeminle direkt ilişkilendirilerek kullanılırlar. Yapılan deneyler sonucunda geotekstil donatının pik dayanımı arttırdığı ve göçme anından sonraki dayanım kaybının azaldığı gözlemlenmiştir. Donatılandırılan numunelerdeki gerilme-deformasyon grafikleri incelendiğinde duktıl davranışın arttığı gözlenmektedir.

Tablo 1. Direkt Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Arayüzey Tipi	Normal Gerilme / Pik Kayma Dayanımı(kPA)			Arayüzey Sürtünme Açısı (°)	Arayüzey Efektif Katsayısı
	27,20	54,50	109,00		$E_{(\phi)}$
SW-SW	39,00	71,10	128,60	36,50	1,00
SW-W1	45,60	75,00	104,70	32,00	0,88
SW-NW	49,10	67,50	124,40	38,40	1,05
SW-W2	67,20	69,20	106,80	33,70	0,92

Farklı kompozit malzemeler üzerinde, farklı normal basınçlar altında drenajsız üç eksenli deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde elde edilen numune kırılma görünümü Şekil 3’de verilmiştir.



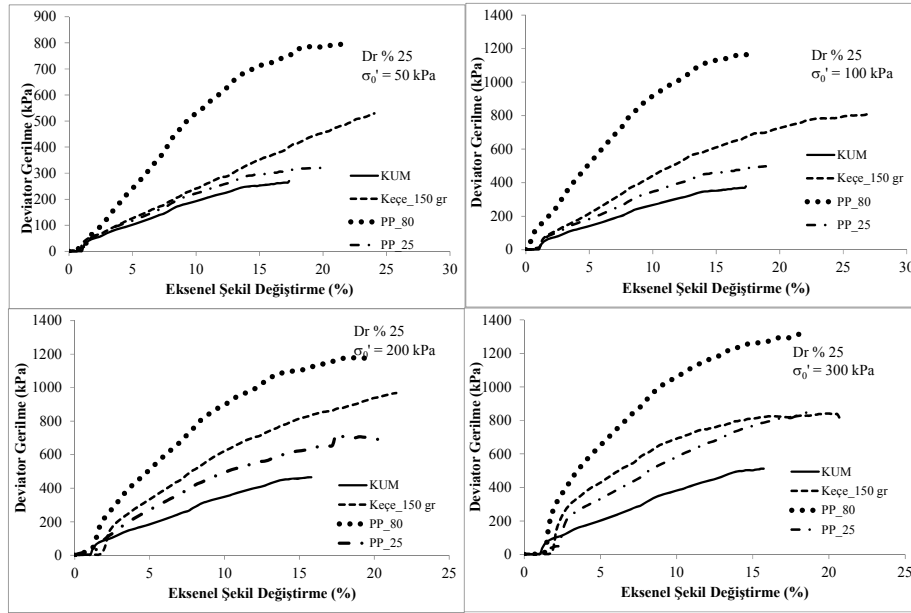
Şekil 3. Tek Sıra Donatılı Kum Zeminlerin Kırılma Şekli

Şekil 4’te 50 kPa efektif basınç altında temiz kum, NW, W2 ve W1 örgülü geotekstilleri kullanılarak yapılan üç eksenli basınç deneyleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, donatısız zeminde deviator gerilme 253 kPa mertebelerinde iken, W1 geotekstil ile donatılandırılan zeminde bu değer 713 kPa’a çıkmıştır. Benzer etkiler farklı çevresel gerilmeler altında da gözlenmektedir. Farklı geotekstillerin kum üzerindeki etkileri de yine kullanılan geotekstil özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Örneğin W1 tipi geotekstil, kullanılan geotekstilller arasında en yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Şekil 4

incelendiği zaman en yüksek mukavemet değeri yine W1 ile donatılan zeminde gözlenmiştir. Benzer biçimde deneylerde kullanılan diğer geotekstiller yine kendi mukavemetleri doğrultusunda etkili olmuşlardır.

W1 tipi örgülü geotekstilin yüksek mukavemet göstermesi ve nispeten düşük kopma uzama değeri yüksek rijitliğe işaret etmekle beraber bu özelliğini, zemin ile beraber uygulanırken de gösterdiği görülmüştür. Diğer geotekstillerde ise artış seviyesi W1 geotekstil kadar belirgin olmamaktadır. Özellikle yüksek çevresel gerilmeler altında geotekstil etkisi daha da fazla gözlenebilmektedir.

Deney sonuçlarından elde edilmiş kum ve kum+geotekstil donatılı zeminlerde gözlenen içsel sürtünme açısı değerleri $\phi_{Kum}=34^\circ$, $\phi_{Kum+PP_{25}}=36^\circ$, $\phi_{Kum+Keçe}=41^\circ$, $\phi_{Kum+PP_{80}}=44^\circ$, olarak bulunmuştur. Donatılı zeminlerde gözlenen mukavemet artışı, içsel sürtünme açısı değişimleri ile de gözlenebilmektedir. Kesme kutusu deneylerinde arayüzeyde gözlenen dayanım kaybı, üç eksenli deney sonuçlarında gözlenmemiştir. Ayrıca gerilme-deformasyon grafiklerindeki farklı eğilimlerde, benzer biçimde deneysel mekanizmaların farklı olmasından ileri gelmektedir.



Şekil 4. $\sigma_0'=50-100-200-300$ kPa için $Dr=\%25$, Temiz kum, NW, W1 ve W2 numuneleri Deviator gerilme - Şekil değişirme grafiği

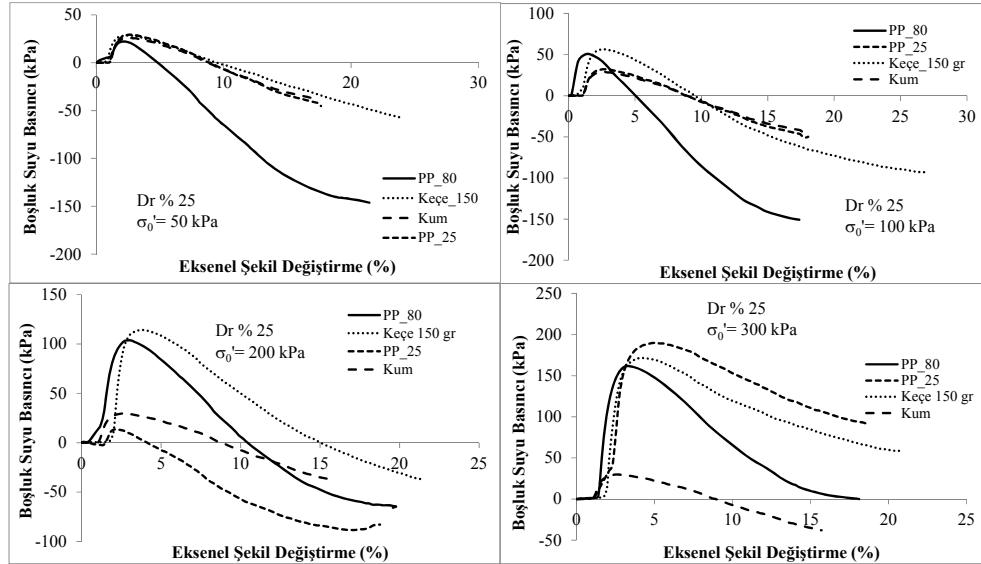
Tablo 2'de % 15 eksenel birim deformasyona karşılık, temiz kumun deviator gerilme değeri %100 kabul edilerek deneyde kullanılan diğer geosentetikler için karşılaştırılması yapılmıştır. Anlaşılabacağı gibi genel olarak çevresel basınç artışı ile beraber geotekstillerin etkisi daha da belirgin bir hale gelmektedir. Mesela 50 kPa basınç altında NW-Kum

numunesi sadece kum ile yapılan deneylere kıyasla mukavemet değerini 1,40 katına çıkartmışken, 100 kPa basınç aile yapılan deneylerde aynı oran 1,74 katına çıkmıştır. Bu etki, artan çevresel basınç ile geotekstil ve kumun daha çok etkileşime girmesi ve neticede, geotekstillerin bünyesel özelliklerini kompozit malzemeye daha çok aktarabilmesi ile meydana gelebilmektedir.

Benzer bir durum W1 ile donatılan kum numunede gözlenmemiştir. 50 kPa çevresel basınç altında mukavemet artış oranı 2.82 kat iken artan çevresel basınçlar ile beraber bu oran 2.50 seviyelerine düşmektedir. Bunun sebebi ise boşluk suyu basıncı-eksenel şekil değiştirme grafikleri incelendiği zaman anlaşılabilir (Şekil 5).

Tablo 2. %15 Aksel Deformasyona Karşılık Yüzde Mukavemet Değerleri

Efektif Gerilme (kPa)	Mukavemet Oranları			
	Kum	W2-Kum	NW-Kum	W1-Kum
50	1.00	1.16	1.40	2.82
100	1.00	1.30	1.74	2.59
200	1.00	1.36	1.79	2.47
300	1.00	1.53	1.63	2.51



Şekil 5. $\sigma_0' = 50-100-200-300$ kPa için $Dr = \%25$, Kum ve Geotekstil Donatılı Kumların Boşluk Suyu Basıncı-Eksenel Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 5'te, W1 ile donatılan numune, artan deviator gerilme ile beraber oluşan negatif boşluk suyu basıncı dikkat çekmektedir. Dolayısıyla numune sıkışma eğiliminden ziyade genleşme ve kabarma eğilimi oluşmuştur. W2 ve NW geotekstilleri ile etkileşimi artan kumun aksine burada azalan bir etkileşimden bahsedilebilmektedir. Bunun sonucunda da mukavemet artış oranları azalmıştır.

Düşük çevresel basınçlar altında, örgülü geotekstillerin numune üzerindeki sınırlama etkileri örgüsüz geotekstile kıyasla daha az gerçekleşmiştir. Bunun sebebi, örgüsüz geotekstilin örgülü geotekstile göre daha fazla deforme olabilen yapısından kaynaklanmaktadır. Artan deviatorik gerilmeler altında, zeminle beraber daha rahat hareket edebilen geotekstik tabakası zemini sınırlandırıcı etkide bulunmamış, dolayısıyla zeminin kendi davranışına benzer bir davranış gözlenmiştir. Buna karşın, Şekil 4'de görülebileceği gibi rijit W1 geotekstili, zemin üzerinde sınırlandırıcı bir etkide bulunmuştur. Yüksek çevresel gerilmeler altında bu davranışın tam olarak gözlenememesi ise, hacimsel değişim hakim mekanizmasının geotekstil özelliklerinden daha çok çevresel gerilme faktörü olmasından kaynaklanmıştır.

4. SONUÇLAR

Deneylerde kullanılan geotekstillere zeminin ortasına yerleştirilerek hazırlanmış ve temiz kumlara kıyasla davranışının ne şekilde değiştiği gözlemlenmiştir. Farklı deneysel sistemler ile yapılan çalışmalardan farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, ara yüzey kayma davranışı ile genel stabilite tahkiklerinde farklı mekanik parametrelerin kullanılması gerekliliğini oluşturmaktadır. Donatılı kohezyonsuz zeminlerin davranışı, tek bir parametreye bağlı olmayıp, birçok etken ile beraber değişebilmektedir. Kullanılan geotekstillerin çekme mukavemetleri, mekanik özellikleri, açıklık oranları ve kullanılacakları zemin ile beraber oluşacak etkileşimleri kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde direkt bir etkisi bulunmaktadır. Özellikle hacimsel değişim grafiklerinden de anlaşıldığı gibi, dane boyutu, geotekstil mekanik özellikleri ve çevresel gerilme etkisi aynı anda etkin olabilmektedir. Geotekstil özelliklerinden farklı olarak, çevresel faktörler de (deneylerin yapıldığı çevresel basınç) deney sonuçları üzerinde etkili olabilmektedir. Özellikle yüksek normal basınç seviyelerinde, diğer faktörlerin etkileri azalmaktadır.

Kaynaklar

- ASTM D4767 - 11 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils
- ASTM D 5321-08 "Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method"
- [1] Zhanga M.X., Javadib A.A., Min X. (2006), "Triaxial tests of sand reinforced with 3D inclusions", Geotextiles and Geomembranes Vol.24 201–209.
- [2] Latha G. M.& Murthy V.S.(2007). Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand; Geotextiles and Geomembranes 25(1): 23–32.

- [3] Mofiz S.A.,Taha M.R., Sharker D.C.(2004). Mechanical stress-strain characteristics and model behaviour of geosynthetic reinforced soil composites; 17th ASCE Engineering Mechanics Conference ,June2004,13-16,University of Delaware, Newark, DE, pp.1-8.
- [4] Palmeria E.M. (2009). Soil–geosynthetic interaction: Modelling and analysis; Geotextiles and Geomembranes 27(5):368–390.
- [5] Richards, E.A., Scott, J.D., 1985. Soil Geotextile Frictional Properties. Second Canadian Symposium on Geotextiles and Geomenbranes, Edmonton. 13–24