

KUM / GEOTEKSTİL ARAYÜZEY KAYMA DAYANIMININ KESME KUTUSU DENEYLERİ İLE BELİRLENMESİ

Devrim ERDOĞAN, Selim ALTUN

EGE Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR

ÖZET: Geoteknik mühendisliği alanında geosentetik malzemelerin kullanımına günümüzde oldukça yaygın bir şekilde rastlanmaktadır. Geoteknik uygulamalarda geosentetikler ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme işlevlerinden biri esas olmak üzere birçok işlevi bir arada yerine getirirler. Yüksek çekme dayanımına sahip bir geosentetik malzeme olan geotekstillere zeminin kayma mukavemetinde iyileşmeye neden olarak zemini güçlendirme görevini görürler, bu nedenle geotekstillere güçlendirilmiş zeminler donatılı zemin olarak da adlandırılırlar.

Özellikle yol inşaatlarında stabiliteyi artırmada ve temel altı tabakasını güçlendirmede kullanılan geosentetik malzemelerinin zeminin mekanik özelliklerini ne ölçüde iyileştirdiği birçok çalışmanın konusu olmuştur. Bu çalışma kapsamında, kumlu zeminlerde geotekstil kullanımının statik yükleme koşulları altında zeminin stabilitesindeki artış miktarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bir seri kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda farklı tip ve özelliklerdeki geotekstillere kullanılarak kumların kayma direnci özelliklerinin ne ölçüde değiştiği araştırılmıştır. Deney sonuçları, geotekstil tipi, kum zeminin granülometrisi ve relatif sıklığı ile deneysel koşullardaki farklılıkların ara yüzey kayma dayanımı parametreleri üzerinde büyük ölçüde etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kum, geotekstil, kesme kutusu deneyi, ara yüzey sürtünme açısı, ara yüzey etkileşim katsayısı.

Determination of Sand / Geotextile Interface Shear Strength by Direct Shear Tests

ABSTRACT: Recently, in geotechnical engineering field, applications of geosynthetics are getting rather more common. Geosynthetics are capable of overcoming a number of problems including separation, filtration, drainage, reinforcement; which multiple functions can be fulfilled once at a time. Particularly, application of a type of geosynthetics, namely, geotextiles, which are possessing rather high tensile strength, lead to increase in the shear strength of soil, hence, soils strengthened with geosynthetics are named as reinforced soil.

In particular, many studies in the literature are related with the investigation of the rate of increase in soil strength by application of geosynthetic materials, which are used for increasing the stability and reinforcing the subgrade material in highway construction. In the scope of this study, the effect of geotextile type on the rate of increase in stability of sandy soils, is investigated under static loading conditions. Shear box tests on specimens prepared by inclusion of geotextiles of different types and properties, were carried out to assess the rate of variation in sand shear strength properties. It was observed that geotextile type, grain size distribution, relative density of sand and the test parameters cause drastic variations in the sand / geotextile interface shear strength behaviour.

Keywords: Sand, geotextiles, direct shear test, interface friction angle, interface coefficient of friction.

GİRİŞ

Geoteknik uygulamalarda geosentetikler ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme işlevlerinden biri esas olmak üzere birçok işlevi bir arada yerine getirirler. Doğal zeminlerin, özellikle kumların çekme gerilmesi alamaması, bu tür zeminlerin dayanımının artırılması için fiber veya geotekstil, geomembran, geogrid gibi düzlemsel malzemeler ile güçlendirebileceğini ortaya çıkarmaktadır. Bu tip geosentetik malzemelerin kullanımı sonucu zeminin dayanımında meydana gelen artışlar çoğu projede fiyat/performans açısından özellikle kimyasal katkılara göre oldukça büyük kazanımlar sağlamaktadır. Geosentetik kullanılarak yapılan zemin güçlendirme çalışmalarında en önemli tasarım parametresi, zemin/geosentetik arayüzünün kayma dayanımı davranışdır. Zemin ve geosentetiğin fiziksel ve mekanik özellikleri, kayma dayanımının belirlenmesi için kullanılan deney yöntemi, arayüzey davranışının belirlenmesinde etkili olan en önemli öğelerdir. Bu amaçla, yapılan çalışmaların dikkat çekici olanlarından bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Daniele vd (1993), zemin-geosentetik etkileşimini modelleyebilmek için bir deney düzeneği tasarlamışlardır. Değişik tipte geogridlerle ile güçlendirilmiş siltli kum ve çakıllar üzerinde yaptıkları direkt kesme deneyleri sonucu, geosentetik kullanımının zeminin kohezyonunda bir artışa sebep olmadığı ve bu karışımların alışılmaması türde göçtüğü gözlenmiştir. Long vd. (1997), ayrılmış kil ve siltli kumda zemin-geotekstil arayüzündeki davranışı pull-out deneyleri ile araştırmış, konvansiyonel metodların kayma dayanımı ve pik kayma dayanımını eksik tahmin ettiğini göstermiştir. Tan vd. (1998), zemin-geotekstil arayüzündeki kayma mukavemetini halka kesme deneyi ile araştırmışlardır. Kum-geotekstil arayüzündeki pik ve rezidüel sürtünme açılarının geotekstilin nominal kütlesinden ve yüklenme hızından büyük oranda etkilenmediğini savunan yazarlar, aynı şartlarda oluşturdukları

numuneler üzerinde hem direkt kesme, hem de halka kesme deneyleri yapmış ve sonuçları karşılaştırmıştır. Limit bir kayma deformasyonu geçildiğinde, direkt kesme deneyinden halka kesme deneyine oranla daha yüksek içsel sürtünme açısı elde edildiği rapor edilmiştir. Rajagopal vd. (1999), granüler zeminlere geocell kullanımı sonucu dayanım ve rijitlikteki artışları araştırmıştır. Yazarlar, yaptıkları üç eksenli deney sonuçlarına istinaden, granüler zeminde geocell kullanımının "görünür kohezyonda" hissedilir bir artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Zemin içerisine yerleştirilen Geocell zeminin rijitliğinde de bir artışa yol açmıştır. Haeri vd. (2000) üç eksenli basınç deneyleri ile kuru sahil kumu ile geotekstil arayüzündeki gerilme-deformasyon ve genişleme davranışını belirlemeye çalışmıştır. Kompozit malzemenin mekanik davranışına geotekstil tabaka sayısı, çevre basıncı ve geotekstil yerleşimi parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Zeminin geotekstil ile donatılabilmesi sonucu pik dayanımda, eksenel deformasyonda ve düktilitede artış kaydedilmiştir. Yetimoglu ve Salbaş (2003), rastgele fiber içeren kumların dayanımlarını direkt kesme deneyleri ile incelemişlerdir. Fiber donatı oranının kayma dayanımına etkisini inceleyen yazarlar, pik dayanımın ve kumun başlangıç rijitliğinin fiber donatı oranından etkilenmediğini ileri sürmüşlerdir. Rezidüel kayma dayanımında sünekliğin artmasına bağlı bir artış elde edilmiştir. Bununla birlikte, Lee ve Manjunath (2000), Zhang vd. (2006) ve daha birçok çalışma geosentetiklerin zeminlerin dayanımına etkisinin değişik zeminlerde değişik tipte geotekstil malzemelerle incelenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Makale kapsamında ele alınan çalışmada da, farklı tip ve özelliklerdeki geotekstiller kullanılarak kumların kayma direnci özelliklerinin ne ölçüde değiştiği araştırılmıştır.

ZEMİN / GEOSENTETİK ARAYÜZEY KAYMA DAYANIMI

Zemin/geosentetik ara yüzey kayma dayanımını, zeminlerde olduğu gibi sürtünme

açısı ve kohezyon şeklinde ifade etmek mümkündür. Ancak zemin/geosentetik durumunda, bu parametreler, Denklem 1'de görüldüğü gibi zemin ile geosentetik arasında meydana gelen sürtünme açısı ve adhezyon şeklini alırlar (Ingold, 1982; Ingold, 1991). Cowell ve Sprague (1993), Koutsourais vd. (1991), Tatlısöz vd. (1998) tarafından yapılan çalışmalarda, etkileşim katsayısı adı verilen ve geosentetik ile zemin arasındaki arayüzey dayanımının zeminin kayma dayanımına oranı olarak tanımlanan bir parametre kullanılmıştır (Denklem 2). Bu katsayı bir tasarım parametresi olarak daha sonraki birçok çalışmada da kullanılmıştır.

$$\tau_f = c_a + \sigma_n \tan \delta \quad (1)$$

$$c_i = \frac{c_a + \sigma_n \tan \delta}{c + \sigma_n \tan \phi} \quad (2)$$

Burada; c: zeminin kohezyonu, c_a : zemin/geosentetik arayüzeyindeki adhezyon, ϕ : zeminin içsel sürtünme açısı, δ : zemin/geosentetik arayüzeyindeki sürtünme açısı, σ_n : normal gerilme, c_i : etkileşim katsayısı veya arayüzey verimi, τ_f : arayüzey kayma dayanımı.

MALZEME VE YÖNTEM

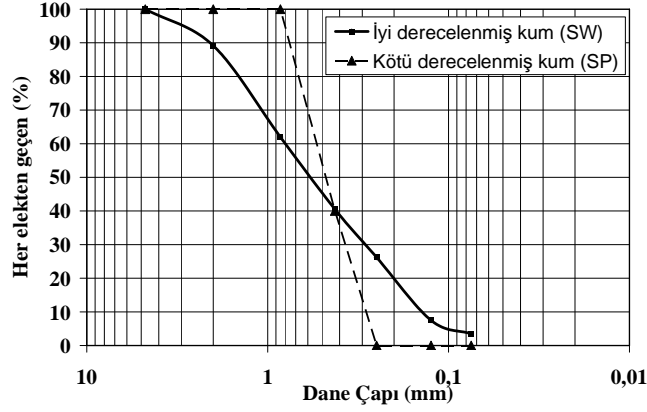
Bu çalışma kapsamında, farklı geotekstiller ile güçlendirilmiş kum zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerindeki değişim kum/geotekstil ara yüzey dayanımına etkisi kesme kutusu deneyleri ile incelenmiştir. Deneyler, ASTM 5321-02'ye uygun olarak yürütülmüştür. Deneylerde kullanılan kesme kutusunun plandaki boyutları 100 mm.x100 mm. olup yükleme hızı 1 mm/dak olarak seçilmiştir. Kum zemin alt kutu içerisine belirlenen sıklıkta yerleştirildikten sonra geosentetik alt kutuya sabitlenmiştir. Daha sonra ise üst kutu yerleştirilip zemin seçilen kuru birim hacim ağırlıkta üst parça içerisine sıkıştırılmıştır. Deneysel çalışmada, İzmir'in Torbalı ilçesinden temin edilmiş olan iyi derecelenmiş dere kumu (SW) kullanılmıştır. Ayrıca, derecelenmenin zemin-geosentetik ara yüzey kayma dayanımı davranışına etkisini araştırmak için, SW kumunun elek analizi sonucunda, No.20 ve No.60 elekleri arasında

kalan kısmı kullanılarak kötü derecelenmiş bir kum (SP) elde edilmiştir. SW ve SP zeminler yarı köşeli ve yarı yuvarlak danelerden oluşmaktadır. Bu zeminlere ait olan dane çapı dağılımı eğrileri Şekil 1'de, indeks ve kompaksiyon özellikleri ise Tablo 1.'de görülmektedir. Standard proktor enerjisinde sıkıştırılmış SW ve SP zeminlerin relatif sıklıkları sırası ile %66.7 ve %63, diğer bir deyişle sıklıdır. Sıklığın ara yüzey kayma dayanımına etkilerini araştırmak için bu sıklıklara ek olarak her iki kum zeminin %25 sıklıktaki (gevşek) davranışları da deneysel çalışma kapsamında incelenmiştir.

Ara yüzey kayma dayanımı deneylerinde, beş tip geotekstil kullanılmıştır. Bu geotekstillerin tümü yurtiçi firmalardan elde edilmiş olup, iki tanesi örgülü, üç tanesi de örgüsüz tip geotekstildir. Örgüsüz izo100 ve izo250 polyester, Typar44 ise polipropilen hammaddesinden ısıtma işlemiyle üretilmişlerdir. Örgülü olan PP 25/25 ve PP 80/80 geotekstilleri de polipropilen elyaftan üretilmişlerdir. Uygulamada, polipropilen esaslı geotekstiller, polyester esaslılara nazaran daha ucuz olmalarından dolayı daha fazla tercih edilmektedirler. Polyester hammaddesinden üretilen geosentetiklerin eğilip bükülmesi daha kolaydır. pp 25/25 ve pp 80/80 örgülü geotekstilleri, örgüsülere göre daha yüksek çekme dayanımlarına sahip olup, maksimum çekme dayanımına diğerlerinden daha düşük uzamalarda ulaşmaktadır. İzo100 en düşük çekme dayanımına sahip olup, kopma uzaması diğerlerine göre çok daha yüksektir. Typar44'ün çekme dayanımı izo250'den daha büyük olmakla beraber birbirlerine yakındır. Geotekstillerin üretici firma kataloglarından temin edilen bazı indeks ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Geotekstil yüzeylerinin dokunma yolu ile incelenmesi sonucunda, izo100 ile izo250 geotekstillерinin birbirlerine yakın yüzey pürüzlülükleri sergilediklerini söylemek mümkündür ve aynı yorum pp 25/25 ve pp 80/80 için de yapılabilir. İzo100 ve İzo250 en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahiptir. Typar44 ise İzo100 ve İzo250'ye göre daha az pürüzlüdür. Kalınlık açısından, İzo250 en kalın, Typar44 ise en ince geotekstildir. pp

25/25 ve pp 80/80'in kalınlıkları ile ilgili üretici edilememesine rağmen birbirlerine yakın firma tarafından herhangi bir bilgi temin kalınlıklarda oldukları söylenebilir.



Şekil 1. Deneyel çalışmada kullanılan iyi derecelenmiş ve kötü derecelenmiş kum zeminlere ait dane çapı dağılımı eğrileri.

Tablo 1. SW ve SP zeminlerinin indeks ve kompaksiyon özellikleri.

İndeks ve Kompaksiyon Parametreleri	İyi Derecelenmiş Kum (SW)	Kötü Derecelenmiş Kum (SP)
D ₁₀	0.13	0.28
D ₃₀	0.30	0.36
D ₆₀	0.80	0.54
Uniformluk katsayısı, C _u	6.1	1.9
Derecelenme katsayısı, C _s	1.1	0.86
Maksimum boşluk oranı, e _{max} ^a	0.72	0.88
Minimum boşluk oranı, e _{min} ^b	0.36	0.56
Standard Proctor enerjisi altında	γ _{k,max} (gr/cm ³) ^c	1.79
	W _{opt} (%)	11

^a Maksimum boşluk oranı deneyi ASTM D-4253-00 (2006),

^b Minimum boşluk oranı deneyi ASTM D-4254-00 (2006),

^c Standard Proctor deneyi ASTM D-698'e göre yapılmıştır.

Tablo 2. Deneyel çalışmada kullanılan geotekstillerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (PY: Polyester, PP: Polipropilen, Ösz: Örgüsüz, Örg: Örgülü).

Geotekstil	Tipi	Hammadde	Ağırlık (gr/m ²) ^a	Kalınlık (mm) ^b	Çekme dayanımı (N/m) ^c		Kopma uzaması ^d (%)		Görünür göz açıklığı (mm.) ^e
					boyuna	enine	boyuna	enine	
İzo100	Ösz	PY	100	1	2500	2500	80	80	0.17
İzo250	Ösz	PY	250	2.5	8000	9000	50	80	-
Typar44	Ösz	PP	150	0.46	10300		52		0.1
PP 25/25	Örg	PP	-	-	25000		13-15		0.23
PP 80/80	Örg	PP	-	-	80000		8.5-13.5		0.12

^a DIN 53854, ^b DIN 3855, ^c EN ISO 10319, ^d EN ISO 10319, ^e Izo100, İzo250 ve Typar44 için ASTM D 4751, pp 25/25 ve pp 80/80 için EN ISO 12956'ya göre belirlenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Geosentetik kullanımının kum zeminlerin kayma dayanımı davranışları üzerindeki etkisini incelemek için iyi ve kötü derecelenmiş kum (SW ve SP) zeminler üzerinde, geosentetiksiz ve geosentetikli durumlarda konsolidasyonsuz drenajsız (UU) şartlarda kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deneyler, zeminlerin sıkı ve gevşek olmak üzere iki farklı sıklık durumunda, düşük (27.2 kPa-54.5 kPa-109 kPa) ve yüksek (327 kPa-654 kPa-981 kPa) olmak üzere iki farklı normal gerilme aralıklarında yürütülmüştür.

İyi ve kötü Derecelenmiş Kum Zeminlerin Kayma Dayanımı Parametreleri

SW ve SP kum zeminlerin sıkı ve gevşek relatif sıklık durumlarındaki pik kayma mukavemeti açıları, düşük ve yüksek normal gerilme aralıkları için Tablo 3'de verilmiştir. SW ve SP zeminlerine ait kayma dayanımı parametreleri incelendiğinde, herhangi bir sıklık durumu için, yüksek normal gerilmeler altında elde edilen kayma mukavemeti açılarının düşük normal gerilmeler altında elde edilenlerden bir miktar daha düşük olduğu söylenebilir. Mohr gerilme zarfının yüksek normal gerilme değerlerinde doğrusal olmadığı bilinmektedir (Taylor, 1948).

Geotekstil Tipine Göre Kum / Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımı Davranışı

İyi ve kötü derecelenmiş kum zeminlerin sıkı ve gevşek durumlarında ve beş farklı tip geotekstil kullanılarak, düşük ve yüksek

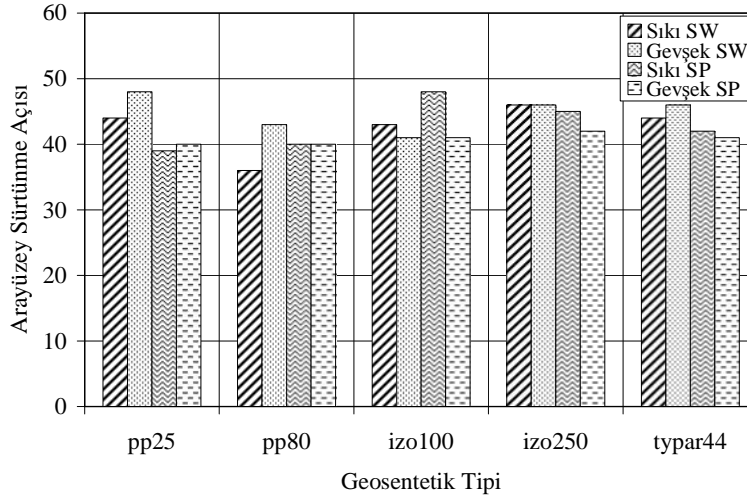
normal gerilme aralıklarında ara yüzey kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıkı ve gevşek kum / geotekstil ara yüzeylerinde, düşük ve yüksek normal gerilme aralıklarında elde edilen ara yüzey sürtünme açılarının dağılımı, Şekil 2 ve Şekil 3'de görülmektedir. Tüm sıklık ve derecelenme durumları göz önüne alındığında, düşük normal gerilmelerde, pp80 örgülü geotekstilinde en düşük, izo100 ve izo250 örgüsüz geotekstillerde ise en yüksek arayüzey sürtünme açılarının, yüksek normal gerilmelerde ise, yine pp80'de en düşük, izo100, izo250 ve typar44 örgüsüz geotekstillerde ise en yüksek ara yüzey sürtünme açılarının elde edildiği gözlenmiştir. pp80/80'in rijit bir geotekstil olup zemin deformasyonlarına uyum sağlama yeteneğinin az olması ve örgüsüz geotekstillere nazaran daha az yüzey pürüzlülüğüne sahip olmasından dolayı böyle bir davranışın oluştuğunu ifade etmek mümkündür.

Şekil 2 ve Şekil 3'de hem düşük hem de yüksek normal gerilme aralıklarında, oldukça yüksek ara yüzey sürtünme açılarının elde edildiği görülmektedir. Ancak aynı deneyler 100 mm.x100 mm. kesme kutusu yerine 300 mm.x300 mm. boyutlarındaki büyük kesme kutusu kullanılarak gerçekleştirilse idi daha düşük açı değerlerinin elde edilmesi beklenebilirdi. Literatürde, kesme kutusu boyutları büyüdükçe ara yüzey sürtünme açılarının azaldığını ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Ingold, 1982; Imazumi vd.,1994). Büyük kesme kutularının kullanımı daha uniform gerilme dağılımlarının oluşumuna olanak vermekte ve böylece gerçeğe daha yakın ara yüzey kayma dayanımı davranışının elde edilmesini sağlamaktadır.

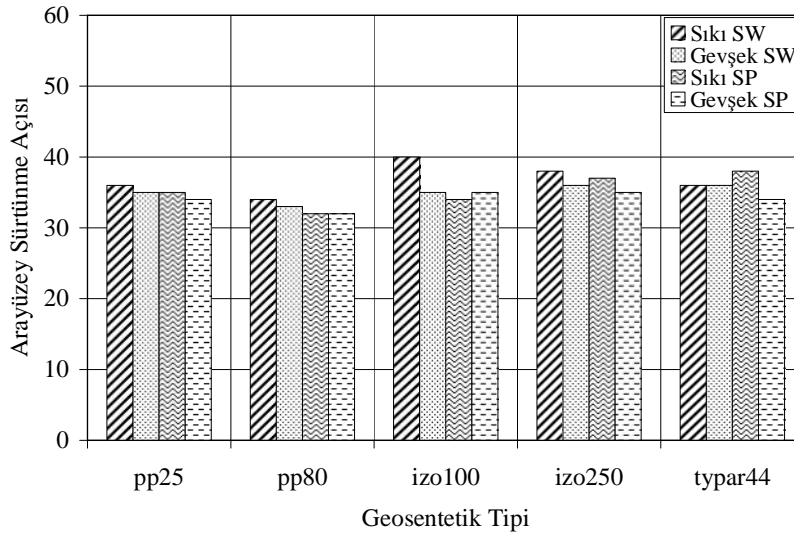
Tablo 3. İyi derecelenmiş ve kötü derecelenmiş kum zeminlerin sıkı ve gevşek sıklık durumlarındaki kayma mukavemeti açıları.

Zemin	Düşük normal gerilme aralığında, $\phi(^{\circ})$	Yüksek normal gerilme aralığında, $\phi(^{\circ})$
SW (Sıkı)	42	38
SW (Gevşek)	35	36

SP (Sıkı)	37	36
SP (Gevşek)	34	34



Şekil 2. Düşük normal gerilme aralığında, derecelenme ve sıklık durumlarına göre tüm geotekstilller ile olan arayüzeylerde elde edilen sürtünme açıları.



Şekil 3. Yüksek normal gerilme aralığında, derecelenme ve sıklık durumlarına göre tüm geotekstilller ile olan arayüzeylerde elde edilen sürtünme açıları.

Tüm derecelenme ve sıklık durumlarında, düşük normal gerilme aralığında elde edilen ara yüzey sürtünme açıları, yüksek normal gerilme aralığında elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu eğilimi temel olarak iki nedene bağlamak mümkündür:

- Mohr gerilme zarfının doğrusal olmayan davranışından dolayı düşük normal

gerilmelerde daha yüksek ara yüzey sürtünme açılarının elde edilmesi,

- Düşük normal gerilmelerde, kesilme sırasında meydana gelen genişleme sonucunda danelerin kum / geotekstil ara yüzeyine itilmesi nedeni ile ara yüzey sürtünme açılarının artması (Tan vd., 1998).

Tablo 4 ve Tablo 5’de SW ve SP zeminlerinin sıkı ve gevşek durumlarında tüm geotekstiller ile olan ara yüzeylerde elde edilen etkileşim katsayıları görülmektedir. Düşük ve yüksek normal gerilmelerde, tüm sıkılık ve derecelenme durumlarında, izo250 ve izo100 örgüsüz geotekstilleri ile olan ara yüzeyler en yüksek, pp80 örgülü geotekstili ile olan ara yüzeyler de en düşük etkileşim katsayılarını sergilemişlerdir. Bu eğilimi pp80/80’in diğerlerine göre daha sert ve daha az bükülebilir olmasına ve dolayısı ile kum zemin ile birlikte deformasyon yapabilme kabiliyetinin daha az olmasına bağlamak mümkündür.

Düşük normal gerilmeler altında, SW ve SP kumların tüm geotekstiller ile olan ara yüzeylerinde gözlenen kayma gerilmeleri (Şekil 4 – Şekil 7) ve arayüzey sürtünme açıları, geotekstilsiz durumda gözlenenlerden daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Ancak,

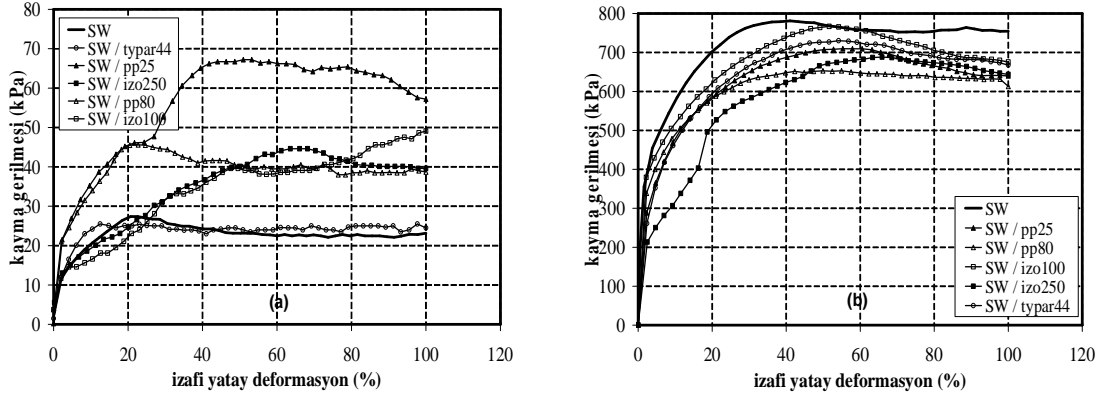
yüksek normal gerilmeler altında, bu eğilim yalnızca İzo100, İzo250 ve Typar44 örgüsüz geotekstillerinde gözlenmiştir. PP80 ve PP25 örgülü geotekstilleri çekme dayanımları yüksek, rijit geotekstiller olup kum zeminin deformasyonlarına uyum sağlama kabiliyetleri azdır. Ancak kum danelerinin geotekstil gözeneklerine girmesi sureti ile ara yüzey kayma dayanımının arttığından söz etmek mümkündür. İzo 100, İzo250 ve Typar44 örgüsüz geotekstilleri ise yüzey pürüzlülükleri yüksek olan geotekstillerdir. İzo100 ve İzo250, Typar44 ile karşılaştırıldığında daha kolay deforme olabilen, zeminin deformasyonlarına daha kolay uyum sağlayarak kenetlenme yolu ile kayma dayanımını artırdıkları düşünülen geotekstillerdir. Tüm izafi yatay deformasyon – kayma gerilmesi ilişkileri incelendiğinde, izo100 ve izo250 örgüsüz geotekstillerinin çoğu durumda iyi performans sergiledikleri görülmektedir.

Tablo 4. Düşük ve yüksek normal gerilme aralıklarında sıkı ve gevşek durumlardaki iyi derecelenmiş kum / geotekstil ara yüzey etkileşim katsayıları.

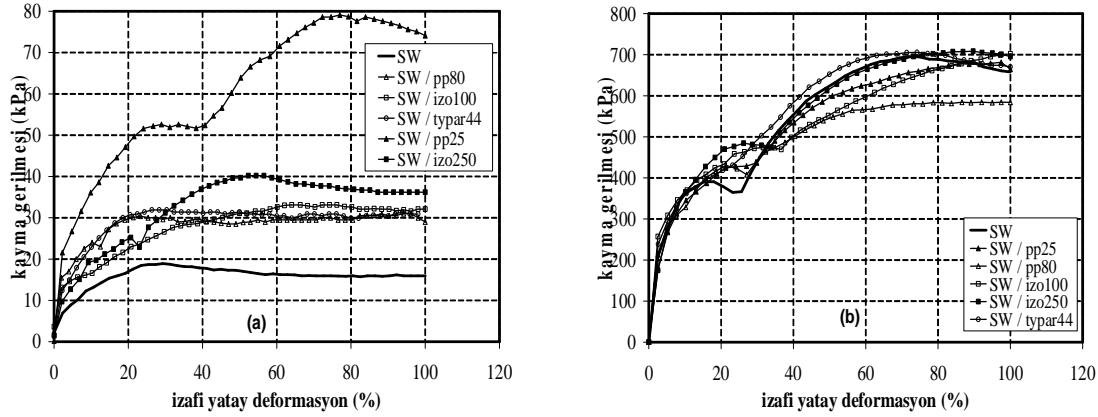
Kum/geotekstil arayüzeyi	Sıkı SW		Gevşek SW	
	Ara yüzey etkileşim katsayısı (* düşük)	Ara yüzey etkileşim katsayısı (*yüksek)	Ara yüzey etkileşim katsayısı (* düşük)	Ara yüzey etkileşim katsayısı (* yüksek)
SW / pp25	1.07	0.93	1.60	0.96
SW / pp80	0.81	0.86	1.33	0.89
SW / izo100	1.04	1.08	1.43	0.99
SW / izo250	1.15	1.00	2.12	0.99
SW/typar44	1.07	0.93	1.48	0.99

Tablo 5. Düşük ve yüksek normal gerilme aralıklarında sıkı ve gevşek durumlardaki kötü derecelenmiş kum / geotekstil ara yüzey etkileşim katsayıları.

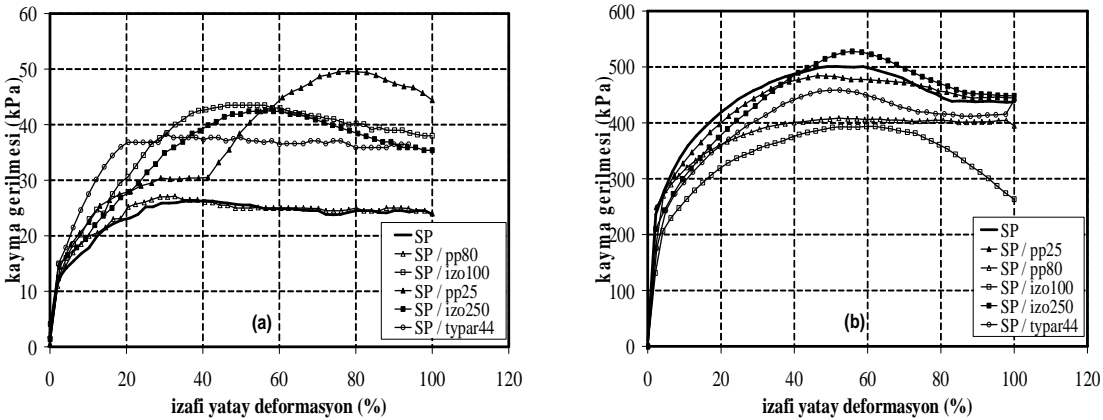
Kum/geotekstil arayüzeyi	Sıkı SP		Gevşek SP	
	Ara yüzey etkileşim katsayısı (* düşük)	Ara yüzey etkileşim katsayısı (*yüksek)	Ara yüzey etkileşim katsayısı (* düşük)	Ara yüzey etkileşim katsayısı (* yüksek)
SP / pp25	1.08	0.96	1.25	1.00
SP / pp80	1.12	0.86	1.25	0.93
SP / izo100	1.48	0.92	1.30	1.04
SP / izo250	1.33	1.03	1.34	1.04
SP/typar44	1.20	1.07	1.30	1.00



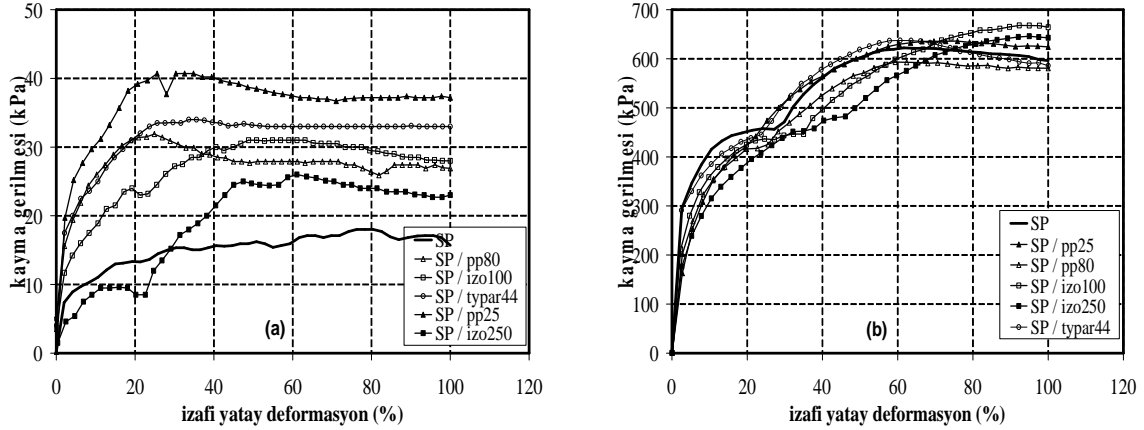
Şekil 4. *Sıkı* durumdaki *iyi derecelenmiş* kum (SW) / geosentetik ara yüzeyi izafi yatay deformasyon – kayma gerilmesi ilişkisi (a) Normal gerilme = 27.2 kPa (b) Normal gerilme = 981 kPa.



Şekil 5. *Gevşek* durumdaki *iyi derecelenmiş* kum (SW) / geosentetik ara yüzeyi izafi yatay deformasyon – kayma gerilmesi ilişkisi (a) Normal gerilme = 27.2 kPa (b) Normal gerilme = 981 kPa.



Şekil 6. *Sıkı* durumdaki *kötü derecelenmiş* kum (SP) / geosentetik ara yüzeyi izafi yatay deformasyon – kayma gerilmesi ilişkisi (a) Normal gerilme = 27.2 kPa (b) Normal gerilme = 654 kPa.



Şekil 7. Gevşek durumdaki kötü derecelenmiş kum (SP) / geosentetik ara yüzeyi izafi yatay deformasyon – kayma gerilmesi ilişkisi (a) Normal gerilme = 27.2 kPa (b) Normal gerilme = 981 kPa.

Kum Zeminin Derecelenme ve Sıkılık Durumuna Göre Kum / Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımı Davranışı

Kum zeminin derecelenmesi göz önüne alındığında, düşük ve yüksek normal gerilme aralıklarında yapılan deneylerde, hem sıkı hem de gevşek sıkılık durumlarında iyi derecelenmiş kum ile olan ara yüzeylerin kötü derecelenmiş kum ile olan ara yüzeylerden teorik olarak daha yüksek arayüzey sürtünme açıları vermeleri gerekir. Kum zeminin sıkılık durumu göz önüne alındığında ise, normal gerilme aralığı ve zeminin derecelenmesi ne olursa olsun sıkı durumda elde edilen sürtünme açılarının gevşek durumda elde edilenlerden daha yüksek olması beklenir. Yapılmış olan deneysel çalışmada ise, beklenen davranıştan farklı bazı deney sonuçları ile karşılaşılmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3).

Kumun derecelenmesi açısından bir karşılaştırma yapılacak olursa, düşük normal gerilme aralığında, pp80 ve izo100 ile olan arayüzeylerde, yüksek normal gerilme aralığında ise typar44 ile olan ara yüzeylerde, sıkı durumdaki iyi derecelenmiş kumun, sıkı durumdaki kötü derecelenmiş kumdan daha düşük değerler verdiği söylenebilir. Gevşek sıkılık durumunda ise, bütün geotekstiller ile olan arayüzeylerde, iyi derecelenmiş kum, kötü

derecelenmiş kumdan daha yüksek değerler sergilemiştir.

İyi derecelenmiş kum için düşük normal gerilme aralığında, pp25, pp80 ve Typar44 ile olan ara yüzeylerde sıkı durumda gevşek durumdakine oranla daha düşük sürtünme açıları elde edilmiştir. Yüksek normal gerilme aralığında ise, bütün geotekstiller ile olan arayüzeylerde, beklendiği gibi sıkı kum gevşek kumdan daha yüksek sürtünme açısı değerleri vermiştir. Kötü derecelenmiş kum durumunda ise, düşük normal gerilmelerde yalnızca pp25’de, yüksek normal gerilmelerde de yalnızca izo100’de beklenen davranışın aksi bir durumla karşılaşılmıştır.

Yukarıda sözü edilen ve teorik olarak beklenen davranıştan sapan deney sonuçları özellikle düşük normal gerilmeler altında gözlenmiştir. Sözü edilen geotekstiller düşük normal gerilmeler altında, kum zemin ile gerektiği gibi etkileşime girememiş olmaları ve deneylerin küçük kesme kutularında gerçekleştirilmesine bağlı olarak kum/geotekstil ara yüzeylerinde meydana gelen üniform olmayan gerilme dağılımları da bu beklenmeyen ara yüzey davranışlarının nedeni olabilir.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, geotekstil türü, kum zeminin derecelenme ve sıkılığı ve

uygulanan normal gerilme parametre seçilerek kum / geotekstil ara yüzey kayma dayanımı laboratuvar kesme kutusu deneyleri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

a) Yapılan deneylerin tümünde, özellikle düşük normal gerilmelerde, oldukça yüksek pik arayüzey sürtünme açıları elde edilmiştir. Deneylerin 100 mm.x100 mm. boyutlarındaki küçük kesme kutusu yerine 300mm.x300mm. kesme kutusunda yapılması durumunda, arayüzeydeki gerilme dağılımları daha üniform olacağından, arayüzey sürtünme açıları bir miktar düşmesi beklenebilir.

b) Tüm sıklık, derecelenme ve normal gerilme durumları göz önüne alındığında, örgüsüz geotekstillerin bükülebilir malzemeler olmaları nedeniyle kum zeminin deformasyonlarına kolay uyum sağlayabilme yeteneklerinden ve yüksek yüzey pürüzlülüklerine sahip olmalarından dolayı, örgülü geotekstillere nazaran yüksek performans sergiledikleri görülmüştür.

c) Kumun dane çapı dağılımı ve relatif sıklığından bağımsız olarak, kum / geotekstil ara yüzeylerinde, düşük normal gerilme aralığında elde edilen ara yüzey sürtünme açıları yüksek normal gerilme aralığında elde edilen ara yüzey sürtünme açılarından yüksek

bulunmuştur. Mohr gerilme zarfının yüksek normal gerilmelerde doğrusal olmayan bir eğilim göstermesi ve düşük normal gerilmelerde, hem sıkı hem de gevşek kumlarda gözlenen genişleme davranışı yüksek ara yüzey sürtünme açıları temel nedenleri olarak düşünülmektedir.

d) Geotekstil tipinden bağımsız olarak, iyi derecelenmiş kumların kötü derecelenmiş olanlara göre daha yüksek, sıkı kumların da gevşek olanlara göre daha yüksek ara yüzey sürtünme açıları vermeleri beklenir. Özellikle düşük normal gerilmelerde teorik olarak beklenen davranışa uymayan deney sonuçları ile karşılaşılmıştır. Bu davranışın düşük normal gerilmeler altında geotekstil ve kumun birbirleri ile yeteri kadar etkileşime girememiş olmalarının bir sonucu olarak geliştiğini ifade etmek mümkündür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar 'Geosentetiklerle İyileştirilmiş Kum Zeminlerin Mekanik Özelliklerindeki Değişimin Belirlenmesi ve Analizi' başlıklı ve 106M529 numaralı projeyi destekleyip, bu çalışmanın gerçekleşmesine olanak sağladığı için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- ASTM D-698 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12400 ft-lbf/ft³-600kN-m/m³), ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D-4253-00 (2006) Standard Test Methods for Maksimum Indeks Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D-4254-00 (2006) Standard Test Methods for Minimum Indeks Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM 5321-08 Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Cazzufi, D., Picarelli, L., Ricciuti, A., Rimoldi, P., (1993), Laboratory Investigations on the Shear Strength of Geogrid Reinforced Soils, Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures, ASTM STP 1190, S.C. Jonathan Cheng Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Cowell, M.J., and Sprague, C.J. (1993). "Comparison of Pull-out Performance of Geogrids and Geotextiles.", Geosynthetics '93, 579-592.

- Daniele, C., Picarelli L., Ricciuti A., Rimold P. (1993), "Laboratory investigations on the shear strength of geogrid reinforced soils", ASTM Special Technical Publication Symposium on Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures, No. 1190, 119-137.
- Haeri, S.M, Noorzad, R.; Oskoorouchi, A.M. (2000), "Effect of geotextile reinforcement on the mechanical behavior of sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 18, No.6, 385-402.
- Imauzumi S., Nishigata, T., Limura, K. (1994), "Effect of Variation in Sample Sizes on Soil-Polymer Interface Strength", Proceedings of the Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, SEAC-IGS, Singapore, pp:423-426.
- Ingold, T. S., (1982) "Some Observations on the Laboratory Measurement of Soil-Geotextile Bond," Geotechnical Testing Journal, Vol. 5, No. 3/49, 57-67.
- Ingold, T. S., (1991) "Friction Testing In: Geomembranes Identification and Performance Testing", A.Rollin and J.M.Rigo ed., Chapman and Hall, pp.176-203.
- Koutsourais, M.M., Sprague, C.J., Precutas, R.C. (1991), Interfacial Friction Study of Cap And Liner Components For Landfill Design, Journal of Geotextiles and Geomembranes, Vol.10, No. 5/6, 531-548.
- Lee, K.M., Manjunath, V.R (2000), "Soil-geotextile interface friction by direct shear tests", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, No.1, 238-252.
- Long, P.V, Bergado, D.T, Balasubramaniam A.S, Delmas P. (1997), "Interaction between soil and geotextile reinforcement", Geotechnical Special Publication, No.69, Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment, 60-578, Proceedings of the 1997 1st National Conference of the ASCE Geo-Institute, Geo-Logan, July 16-18 1997, Logan, UT, USA.
- Rajagopal, K., Krishnaswamy N.R., Latha, G.M. (1999), "Behaviour of sand confined with single and multiple geocells", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 17, No. 3, 171-184.
- Tan, S.A., Chew, S.H., Wong, W.K. (1998), "Sand-geotextile interface shear strength by torsional ring shear tests", Geotextiles and Geomembranes, Vol.16, No.3, 161-174.
- Tatlısöz, N., Edil, T.B., Benson, CH. (1998), "Interaction Between reinforcing geosynthetics and soil-tire chip mixtures", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No.11, 1109-1119.
- Taylor, D.W.1948. Fundamentals of Soil Mechanics, Wiley, New York.
- 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.
- Zhang, M.X, Javadi, A.A; Min, X. (2006), Triaxial tests of sand reinforced with 3D inclusions, Geotextiles and Geomembranes, 24, 4, 201-209.

