

MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



OKAN ÜNİVERSİTESİ  
İSTANBUL

KİLİTLİ EPS BLOK-KUM ARAYÜZ KAYMA MUKAVEMETİNİN  
LABORATUVAR DENEYLERİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUSUF ATEŞ

tarafından

YÜKSEK LİSANS

derecesi şartını sağlamak için hazırlanmıştır.

Temmuz 2016

Program: İnşaat Mühendisliği

KİLİTLİ EPS BLOK-KUM ARAYÜZ KAYMA MUKAVEMETİNİN  
LABORATUVAR DENEYLERİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUSUF ATEŞ

tarafından

OKAN ÜNİVERSİTESİ

İnşaat Mühendisliği Bölümüne

Yüksek Lisans

derecesi şartını sağlamak için sunulmuştur.

Onaylayan:

---

Yrd. Doç. Dr. A. Tolga ÖZER  
Danışman

---

Yrd. Doç. Dr. Onur AKAY  
İkinci Danışman

---

Doç. Dr. Mehmet Şükrü  
ÖZÇOBAN  
Üye

---

Yrd. Doç. Dr. Özgür  
EKİNCİOĞLU  
Üye

---

Dr. Tolga Tonguç DEĞER  
Üye

Temmuz 2016

Program: İnşaat Mühendisliği

## ÖZET

Genleştirilmiş polistren (EPS) bloklar (geofam bloklar) geleneksel toprak dolgulardan 50-100 kat daha hafif malzemedirler. Dolayısıyla, oturma potansiyeli yüksek, taşıma gücü düşük yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilecek otoyol dolgularının inşasında toplam ve farklı oturmaları önlemek amacı ile tercih edilirler. Geofam bloklardan inşa edilmiş otoyol dolgularının yanal yükler altındaki tasarımlarında bloklar arasındaki sürtünmeye ek olarak (geofam blok-geofam blok) bloklarla üst betonarme yük yayma platformu arasındaki (geofam blok-beton) ara yüzey ve bloklar ile temel tesviye kumu (geofam blok-kum) ara yüzündeki kayma dayanımları tasarım parametreleri olarak karşımıza çıkarlar. Bu tez kapsamında geleneksel geofam bloklar üzerinde dişler oluşturmanın geofam blok-kum ara yüzeyindeki kayma dayanımına etkileri kesme kutusu deneyleri ile araştırılmıştır. Bu kapsamda, malzeme yoğunluğunun ara yüzey gerilme-şekil değiştirme davranışına ve ara yüzey mukavemet parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla iki farklı yoğunlukta (EPS19 ve EPS29) geofam bloklar kullanılmıştır. Kumun dane boyutu ve köşeliliğinin ara yüzey davranışına etkisini incelemek amacıyla standart Ottawa kumu (ortalama dane çapı 0.72 mm) ve Adapazarı Kumu (ortalama dane çapı 0.40 mm kötü derecelendirilmiş kum) kullanılmıştır. Ara yüzey deneylerinde her iki kum da aynı rölatif sıklıkta ( $D_r = \%86$ , sıkı kum) hazırlanmıştır. Deneylerde geleneksel geofam bloklarla ek olarak 4 farklı diş geometrisine sahip blokların kum ara yüzey mukavemetleri belirlenmiştir. Ara yüzey mukavemeti deneylerinde hem geleneksel geofam bloklar hem de dişli bloklar (tek kare diş, dört adet kare diş, tek üçgen diş, dört üçgen diş formlarında bloklar) deney süresince sabit 4 farklı düşey gerilme (10,

20, 30 ve 40 kPa) altında test edilmişlerdir. Deney sonuçları her bir geometriye ait ara yüzey gerilme-şekil değiştirme ve ara yüzey mukavemet parametreleri (ara yüzey sürtünme açısı,  $\delta$  ve adhezyon,  $c_a$ ) üzerinden tartışılmıştır. EPS bloklarda diş oluşturmanın geofom blok-kum ara yüzey kayma mukavemetini iyileştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, dişli geofom bloklar ara yüzey sürtünme mekanizmasını geleneksel geofom-kum ara yüzeyindeki sadece sürtünmesel mukavemetten ( $c_a = 0$ ,  $\delta > 0$ ), sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0$ ,  $\delta > 0$ ) davranışa çevirdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Geofom, EPS blok, Geofom-Kum ara yüz mukavemeti, Kesme Kutusu, Ara yüz mukavemeti, Geofom-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti

## ABSTRACT

Expanded polystyrene (EPS) blocks (geofoam blocks) are 50 to 100 times lighter than the conventional earth fill materials. Therefore, they preferred to use in construction of roadway embankments to be constructed on soft soil sites which has a high consolidation settlement potential and low bearing capacities. In addition to interface shear strength properties in between geofoam blocks (geofoam block to geofoam block), interface properties in between geofoam blocks and load distribution slab (geofoam-concrete) and geofoam blocks to bedding sand (geofoam-sand) needs to be considered in the design of traditional lightweight geofoam block embankment systems subjected to horizontal loading. In this study, the effects of ledges on the surface of the traditional geofoam blocks to the interface shear strength properties of geofoam-bedding sand were investigated by direct shear tests. Two different geofoam blocks (EPS19 and EPS29) were used to study the effect of geofoam hardness on the interface shear stress –strain characteristics and interface friction properties. In order to study the effect of the grain size and shape of the bedding sand on the interface shear strength properties Ottawa Sand (mean grain size of 0.72 mm) and Adapazari sand (poorly graded sand, mean grain size of 0.40 mm) were used. Both sands were prepared with same relative density ( $D_r = \%86$ ) in the interface shear tests. In addition to the traditional geofoam blocks, four different geofoam blocks were used to have ledges along their contact surfaces with bedding sand. Both traditional geofoam blocks and geofoam blocks with ledges (one square ledge, one triangle ledge, four square ledges and four triangular ledges) were tested under four different constant normal stresses (10, 20, 30 and 40 kPa) in the interface shear strength tests. Tests

results were discussed in terms of interface shear stress –strain characteristics and interface friction properties (interface friction angle,  $\delta$  ve adhesion  $c_a$ ) for each configurations. Manufacturing ledges along the traditional geofoam blocks surfaces significantly improved the traditional geofoam block-sand interface shear strength. In addition, geofoam blocks with ledges changed the interface shear strength behavior of traditional geofoam blok-bedding sand interface from purely frictional ( $c_a = 0, \delta > 0$ ) to frictional-adhesional ( $c_a > 0, \delta > 0$ ) behavior.

**Key Words:** Geofoam, EPS block, Geofoam-Sand interface friction strength, Direct Shear Test, Interface Friction Properties, Geofoam-Ottawa Sand interface friction strength

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında her aşamada desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. A. Tolga ÖZER'e, tez ikinci danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Onur AKAY'a, deneylerin yapımında yardımını esirgemeyen laboratuvar sorumlusu Halis ŞAHİN'e teşekkür ederim..

Tezin incelenmesindeki katkılarından dolayı Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN, Yrd. Doç. Dr. Özgür EKİNCİOĞLU ve Dr. Tolga Tonguç DEĞER'e teşekkür ederim.

Verdikleri tüm maddi ve manevi destek için aileme, çocuklarıma ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Her zaman en büyük desteği aldığım, ortağım, hayat arkadaşım, eşim Özlem'e sabrı, anlayışı ve sonsuz desteği için çok teşekkür ederim.

Temmuz, 2016

Yusuf ATEŞ

# İÇİNDEKİLER

I. GİRİŞ .....	1
II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	6
III. MALZEME VE METOT .....	12
3.1. MALZEMELER .....	12
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	22
4.1. OTTAWA VE ADAPAZARI KUMUNUN MUKAVEMET DENEYLERİ .....	22
4.1.1. Ottawa kumu .....	22
4.1.2. Adapazarı kumu.....	23
4.2. GELENEKSEL GEOFOAM-KUM ARA YÜZ MUKAVEMET DENEYLERİ .....	25
4.2.1. Gefoam-Ottawa Kumu Ara Yüzey Deneyleri.....	25
4.2.2. Gefoam-Adapazarı Kumu Ara Yüzey Deneyleri .....	27
4.3. DIŞLI GEOFOAM-KUM ARA YÜZ MUKAVEMET DENEYLERİ .....	30
4.3.1. Bir Üçgen Dişli Gefoam-Kum Ara Yüzey Deneyleri.....	30
4.3.2. Bir Kare Dişli Gefoam-Kum Ara Yüzey Deneyleri .....	35
4.3.3. Dört Üçgen Dişli Gefoam-Kum Ara Yüzey Deneyleri .....	39
4.3.4. Dört Kare Dişli Gefoam-Kum Ara Yüzey Deneyleri .....	43
4.4. ARA YÜZEY KIRILMA ZARFLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	46
V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
VI. KAYNAKLAR.....	54



## TABLO LİSTESİ

TABLO 2.1. XENAKİ VE ATHANASOPOULOS (2011) TARAFINDAN KULLANILAN KUMLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	6
TABLO 2.2. EPS GEOFOAM-KUM ARA YÜZ DENEY SONUÇLARI (XENAKİ VE ATHANASOPOULOS, 2001).....	9
TABLO 3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN GEOFOAM BLOKLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ (ÖZER VE AKAY, 2016).....	13
TABLO 3.2. KUMLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ .....	17
TABLO 4.1. OTTAWA KUMU MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	24
TABLO 4.2. GEOFOAM-KUM ARA YÜZÜ MUKAVEMET PARAMETRELERİ.....	29
TABLO 4.3. DIŞLI GEOFOAM-KUM ARA YÜZÜ MUKAVEMET PARAMETRELERİ.....	35
TABLO EK.1. DENEY SONUÇLARI ÖZET TABLOSU .....	60

## ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 1.1 TİPİK TRAPEZ KESİT GEOFOAM BLOK YOL DOLGUSU DETAYI.....	3
ŞEKİL 1.2 DOKSAN DERECE ŞEV EĞİMLİ GEOFOAM BLOK YOL DOLGUSU TİPİK DETAYI (KOÇ, 2015).....	3
ŞEKİL 1.3 TİPİK GEOFOAM BLOK ŞAŞIRTMALI YERLEŞİM DETAYI .....	4
ŞEKİL 2.1 EPS GEOFOAM-KUM ARAYÜZÜ ÜÇ ETKİLEŞİM FAZINDAKİ ÇALIŞMA MEKANİZMASI (XENAKİ VE ATHANASOPOULOS, 2001).....	8
ŞEKİL 2.2 EPS10 GEOFOAM-PLAJ KUMU ARAYÜZÜ LİNEER GÖÇME ZARFLARI (XENAKİ VE ATHANASOPOULOS, 2001) .....	9
ŞEKİL 2.3 GEOFOAM-ZEMİN ARA YÜZÜ KAYMA DİRENÇLERİ (AMATZİDİS VD., 2001) .....	11
ŞEKİL 2.4 FARKLI YOĞUNLUKTAKİ GEOFOAM BLOKLAR-KUM ARA YÜZÜ DENEY SONUÇLARI (AMATZİDİS VD., 2001).....	11
ŞEKİL 3.1 GEOFOAM BLOKLAR EKSENEL BASINÇ GERİLMESİ-ŞEKİL DEĞİŞTİRME GRAFİĞİ (ÖZER VE AKAY 2016).....	12
ŞEKİL 3.2 ARA YÜZ DENEYLERİNDE KULLANILAN GEOFOAM BLOK NUMUNELER .....	15
ŞEKİL 3.3 GEOFOAM BLOK-KUM ARA YÜZÜ KESME KUTUSU TEST EN KESİTLERİ .....	16
ŞEKİL 3.4 ADAPAZARI KUMU.....	18
ŞEKİL 3.5 OTTAWA KUMU .....	19
ŞEKİL 3.6 GEOFOAM-KUM ARA YÜZEY MUKAVEMETİ DENEY SİSTEMİ (ÖZER VD., 2016) .....	21
ŞEKİL 4.1 OTTAWA KUMU ( $e=0.51$ ) KESME KUTUSU DENEY SONUÇLARI .....	23
ŞEKİL 4.2 ADAPAZARI KUMU ( $e=0.66$ ) KESME KUTUSU DENEY SONUCU.....	23
ŞEKİL 4.3 EPS19 GELENEKSEL GEOFOAM-OTTAWA KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY SONUÇLARI.....	26

ŞEKİL 4.4 EPS29 GELENEKSEL GEOFOAM-OTTAWA KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	27
ŞEKİL 4.5 EPS19 GELENEKSEL GEOFOAM-ADAPAZARI KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	28
ŞEKİL 4.6 EPS29 GELENEKSEL GEOFOAM-ADAPAZARI KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	28
ŞEKİL 4.7 BİR ÜÇGEN DİŞLİ GEOFOAM-OTTAWA KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	33
ŞEKİL 4.8 BİR ÜÇGEN DİŞLİ GEOFOAM-ADAPAZARI KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	34
ŞEKİL 4.9 BİR KARE DİŞLİ GEOFOAM-OTTAWA KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	37
ŞEKİL 4.10 BİR KARE DİŞLİ GEOFOAM-ADAPAZARI KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	38
ŞEKİL 4.11 DÖRT ÜÇGEN DİŞLİ GEOFOAM-OTTAWA KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	40
ŞEKİL 4.12 DÖRT ÜÇGEN DİŞLİ GEOFOAM-ADAPAZARI KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	42
ŞEKİL 4.13 DÖRT KARE DİŞLİ GEOFOAM-OTTAWA KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	44
ŞEKİL 4.14 DÖRT KARE DİŞLİ GEOFOAM-ADAPAZARI KUMU ARA YÜZ MUKAVEMETİ DENEY	
SONUÇLARI.....	46
ŞEKİL 4.15 DİŞLİ GEOFOAM BLOK-KUM ARA YÜZEY KIRILMA ZARFLARININ	
KARŞILAŞTIRILMASI.....	47

## SİMGELER

$D_{10}$	Etkin Dane Çap
$D_{50}$	Ortalama Dane Çapı
$D_r$	Rölatif Sıkılık
$c$	Kohezyon
$c_a$	Adhezyon
$C_u$	Üniformluk Katsayısı
$C_c$	Eğrilik Katsayısı
$e$	Boşluk Oranı
$e_{max}$	Maximum Boşluk Oranı
$e_{min}$	Minimum Boşluk Oranı
$E_i$	Elastisite Modülü
$G_s$	Özgül Ağırlık
$\delta$	Ara Yüzey Sürtünme Açısı
$\phi$	İçsel Sürtünme Açısı
$\gamma_d$	Kuru Birim Hacim Ağırlık
$\sigma_1$	%1 Birim Boy Kısalmaya Karşılık Gelen Basınç Mukavemeti
$\sigma_5$	%5 Birim Boy Kısalmaya Karşılık Gelen Basınç Mukavemeti
$\sigma_{10}$	%10 Birim Boy Kısalmaya Karşılık Gelen Basınç Mukavemeti
$\sigma_v$	Düşey Gerilme (Normal Gerilme)

## KISALTMALAR

ASTM	Amerikan Test Metotları Standardı
CD	Konsolidasyonlu Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi
EPS	Genleştirilmiş Polistiren
EPS19	ASTM 6817'e göre anma yoğunluğu minimum 18.4 kg/m <sup>3</sup> olan geofoam blok
EPS29	ASTM 6817'e göre anma yoğunluğu minimum 28.2 kg/m <sup>3</sup> olan geofoam blok
KK	Kesme Kutusu Deneyi
LVDT	Düşey Deplasman Ölçer
NPRA	Norveç Karayolu İdaresi
NRRL	Norveç Yol Araştırma Laboratuvarı
NCHRP	Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Otoyol Araştırma Programı Derneği
SP	Kötü derecelendirilmiş kum
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

## I. GİRİŞ

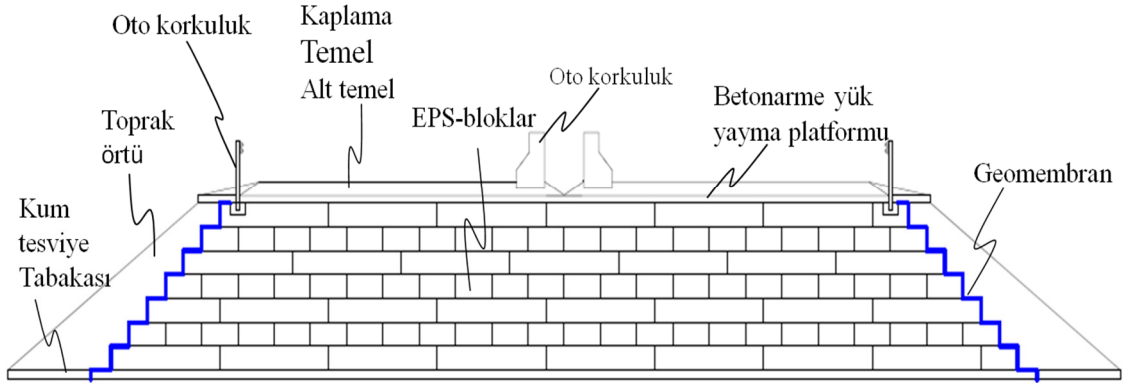
Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofom blok) geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan hafif ve kapalı gözenekli bir polimer malzemedir (ASTM D4439, 2015). Geofom bloklar dane çapları 0.5-1.0 mm arasında değişen granüler polistiren boncuklarının sırası ile ön şişirme, dinlendirme ve kalıplar arasında şişirilmesi aşamaları neticesinde üretilirler (Koç, 2015). Geofom blokların yoğunlukları 11.2 kg/m<sup>3</sup> ile 45.7 kg/m<sup>3</sup> arasında değişkenlik göstermektedir (ASTM D6817, 2015).

Geofom bloklar düşük birim hacim ağırlıkları ve yüksek mukavemet/yoğunluk oranları ile hafif dolgu uygulamaları, sıkışabilir içerik, termal yalıtım ve drenaj gibi çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadırlar (Koerner, 2012). Günümüzde geofom'un geoteknik mühendisliğindeki ana uygulama alanı taşıma gücü düşük, oturma potansiyeli yüksek yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilen yol dolgularının ve köprü yaklaşım rampalarının imalatı olarak sıralanabilir (Özer, 2011; Özer vd., 2012). Ayrıca, geofom bloklar, mevcut yol güzergâhlarına şerit ilavesi için gereken yol dolgusu çalışmalarında, istinat yapılarına gelen yanıl ve sismik yüklerin azaltılmasında, yüksek düşey yüklere maruz yer altı boru hatları ve menfezlerdeki düşey gerilmelerin azaltılmasında ve şev güvenliğinin artırılmasında da kullanılmaktadırlar (Özer, 2011).

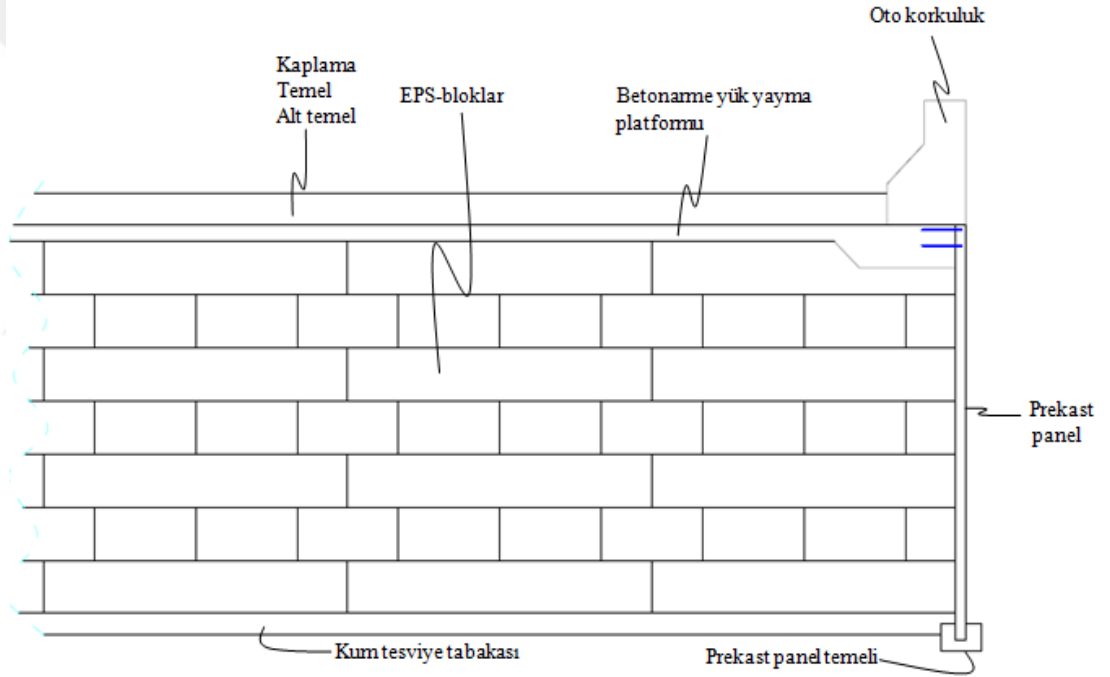
Geofom ilk olarak 1972 yılında Norveç'te Flom Köprüsü sahasında otoyol hafif dolgusu olarak Norveç Kara Yolları İdaresi (NPRA) tarafından kullanılmıştır (Aabøe 2011). Bu uygulamadan sonra geofom teknolojisinde ilerlemeler kaydedilmiş ve

günümüzde geofom bloklar ile otoyol dolgusu ve köprü yaklaşım dolgusu imalatları olgunlaşmış bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Thompsett vd., 1995; Beinbrech ve Hillmann, 1997; Perrier, 1997; Bartlett vd., 2000; Bartlett vd., 2001; Saarelainen ve Kangas, 2001; Lin vd., 2001; Farnsworth vd., 2008; Duškov ve Nijhuis, 2011; Herle, 2011; Kubota, 2011; Spasojević vd., 2011; Papacharalampous ve Sotiropoulos, 2011; Youwai vd., 2011). Bu yaygın uygulamaları takiben Norveç'te "Norveç Yol Araştırma Laboratuvarı" (NRLL 1992) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde "Ulusal Otoyol Araştırma Programı Kooperatifi (NCHRP) (Stark et al., 2004a; 2004b) geofom dolgular için tasarım şartnameleri yayınlamışlardır.

Geleneksel geofom otoyol dolgu uygulaması; sahanın hazırlanması (temizlik, hafriyat ve tesviye), taban tesviye tabakasının serimi (kum tesviye malzemesi), geofom blokların blok yerleşim planına göre yerleştirilmesi, son geofom blok katmanı üzerine betonarme yük yayma platformunun imalatı ve üzerine yol alt temel, temel ve üst kaplamanın imalatı şeklinde sıralanır (Stark et al., 2004a; 2004b). Bu tip sistemler trapez kesit (Şekil 1.1) veya doksan derece dik eğimli olarak (Şekil 1.2) inşa edilebilirler. Geofom bloklar herhangi bir katmanında, blokların uzunlamasına olan aksları kendilerinden üst ve alt sıralardaki katmanlarda yer alacak bloklarının uzunlamasına olan akslarına dik olacak şekilde şaşırtılarak blok yerleşim planları teşkil edilirler (Şekil 1.3).

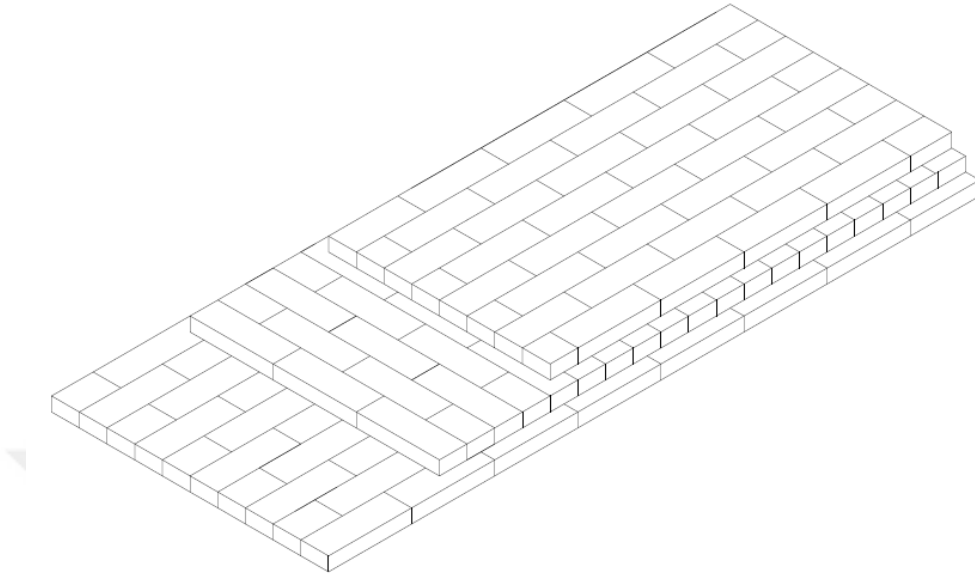


Şekil 1.1 Tipik trapez kesit geofoam blok yol dolgusu detayı



Şekil 1.2 Doksan derece şev eğimli geofoam blok yol dolgusu tipik detayı (Koç, 2015)





Şekil 1.3 Tipik geof foam blok şaşirtmalı yerleşim detayı

Geof foam bloklardan oluşan otoyol tipik kesitlerinden de görüleceği üzere (Şekil 1.1 ve 1.2), sistemde geof foam blok-geof foam blok ara yüzleri (Şekil 1.3) dışında geof foam- kum ve geof foam-betonarme yük yayma platformu ara yüzleri yanal yüklere karşı çalışmaktadırlar.

Deprem yükleri, rüzgar ve hidrostatik yükler altında oluşan yatay kuvvetler altında geof foam blok-geof foam blok, geof foam blok-kum ve geof foam blok-beton ara yüzlerinde kayma dayanımı açısından yetersizlikler oluşabilir. Geof foam blok-geof foam blok ara yüz mukavemetleri gibi (Sheeley and Negussey, 2000; Atmatzidis vd., 2001; Negussey vd., 2001; Barrett, 2008), geof foam blok-kum ara yüzü daha önce kapsamlıca araştırılmıştır (Atmatzidis vd., 2001; Negussey vd., 2001; Xenaki ve Athanasopoulos, 2001). Ayrıca, NCHRP geof foam-kum ara yüzü için alınması gereken tasarım kriterlerini de önermektedir (Stark vd., 2004b). Geleneksel geof foam blok-geof foam blok ara yüzey dayanımlarını artırmak adına kilitli geof foam konsepti geliştirilmiştir (Özer ve Akay, 2014; Özer vd., 2015; Özer ve Akay, 2016). Kilitli

geofom blok konseptinde geofom blokların üst yzeylerinde dişler alt yzeylerinde de oluklar açılarak geofom hafif dolgu sistemi içerisindeki her sıradaki blokların birbirlerine kenetlenmesi sağlanarak geleneksel sistemlere göre ara yzey davranışları iyileştirilmiştir (zer ve Akay, 2014; zer vd., 2015; zer ve Akay, 2016). Bu kilitli geofom blokların kum ara yzey davranışları henüz araştırılmamıştır. Bu çalışmada, önceki kilitli geofom bloklar arası ara yzey mukavemet deneylerinde kullanılan st yzeyi dişli geofom bloklar ile taban tesviye kumu ara yz mukavemeti incelenmiştir. Farklı geometri ve farklı sayıdaki dişlerin geofom blok-kum ara yz mukavemeti ile gerilme-şekil değiştirmelerine etkileri iki farklı kşeliğe sahip sıkı kumlar üzerinde araştırılmıştır.

Tezin içeriğinde öncelikle geofom blokların tipik otoyol dolgularında kullanımı, kesit detayları ile sistemdeki ara yzlerin detayları verilmiş ve daha sonra Bölüm II’de geleneksel geofom blok-kum ara yzey mukavemetleri için geçmiş çalışmalar özetlenmiştir. Bölüm III’de laboratuvar çalışmasında kullanılan malzemelerin (geofom bloklar ve kumlar) sınıflandırma ve mekanik özellikleri ile ilgili deney çalışmaları ve bunlarla birlikte ara yzey mukavemet deney sistemi hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Bölüm IV’de ara yzey deney sonuçları tartışılarak Bölüm V’de çalışmanın sonuçları özetlenmiştir.

## II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geofoam blok-kum ara yüzü ile daha önce yapılmış başlıca araştırmalar (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001; Atmatzidis vd., 2001; Negusse vd., 2001) bu bölümde özetlenmiştir.

Xenaki ve Athanasopoulos, (2001) EPS geofoam blok-kum ara yüzü ile yaptıkları çalışmada iki farklı yoğunlukta (EPS10, yoğunluğu  $10\text{kg/m}^3$  ve EPS20, yoğunluğu  $20\text{kg/m}^3$  olan bloklar) geofoam blok ile 3 farklı kum (Ottawa kumu ve iki farklı plaj kumu) ara yüzünü kesme kutusu deneyi ile çalışmışlardır. Bu çalışmada kullanılan kumların fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1. Xenaki ve Athanasopoulos (2011) tarafından kullanılan kumların fiziksel ve mekanik özellikleri

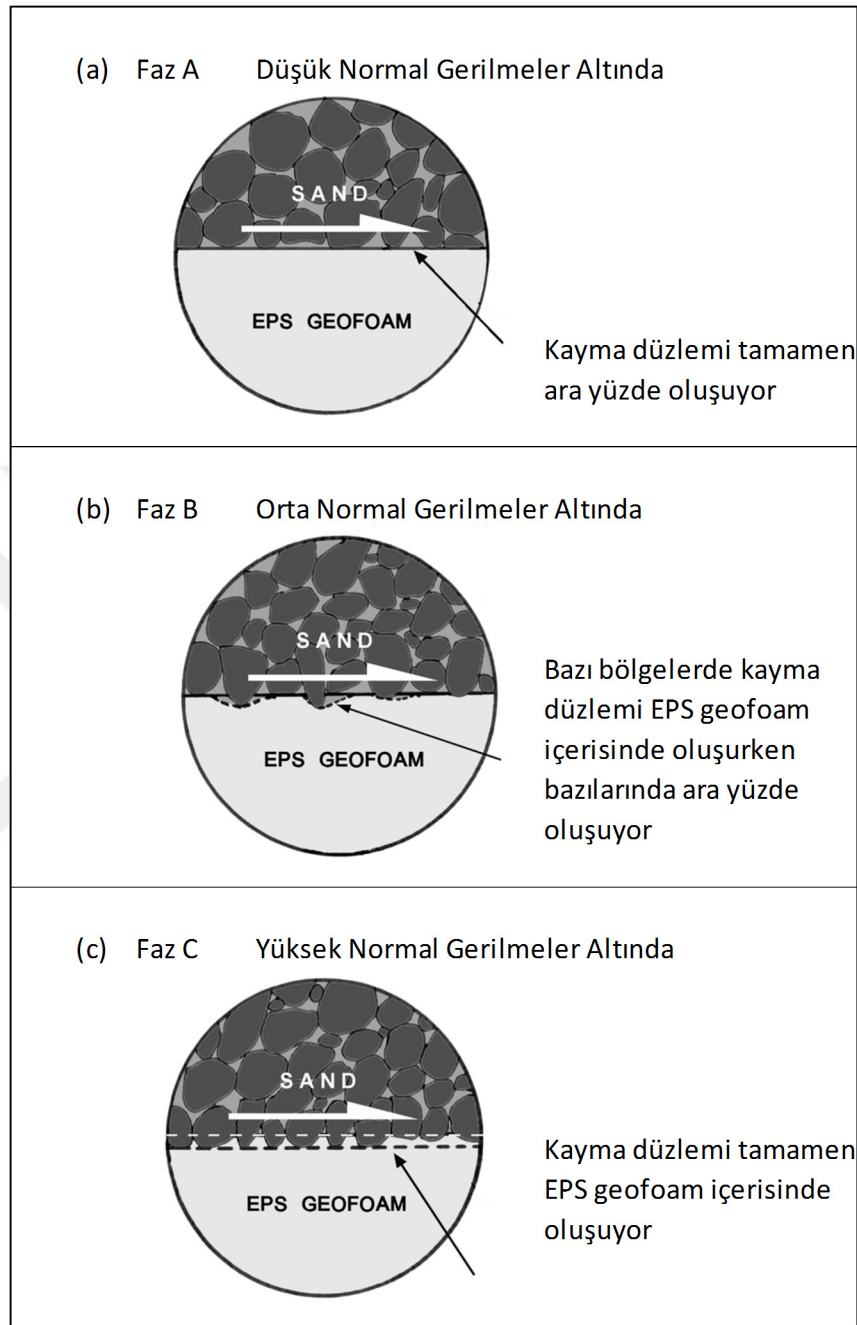
Kum Tipi	Dane Boyut Aralığı (mm) (US standart Elek No)	D <sub>50</sub> (mm)	Dane Şekli	Boşluk Oranı, e	Pik İçsel Sürtünme Açısı (φ) (derece)
Ottawa kumu	0.60-0.85 (20-30)	0.72	Yarı yuvarlak / yuvarlak	0.51	36
Plaj Kumu -1	2-2.35 (8-10)	2.17	Yarı yuvarlak	0.51	41
				0.72	31
Plaj Kumu -2	0.15-0.425 (40-100)	0.28	Yarı köşeli	0.6	50
				0.72	40

Xenaki ve Athanasopoulos (2011), geofoam-kum ara yüzü için kesme sırasında uygulanan sabit düşey gerilmelerin mertebelerine göre üç farklı etkileşim fazından

(Faz A, Faz B ve Faz C) bahsetmektedir. Şekil 2.1’de bu fazların mekanik davranışları şematik olarak gösterilmiş ve Tablo 2.1’de ise her bir faz için kullanılan iki farklı yoğunluktaki geofom bloklar için (EPS10 ve EPS20) düşey normal gerilme ( $\sigma_v$ ) sınırları tanımlanmıştır. Faz A’da (Şekil 2.1a) düşük normal gerilmeler altında (EPS 10 için 0-15 kPa ve EPS 20 için 0-35 kPa düşey gerilme aralıklarında) ara yüzey kayma düzlemi geofom blok-kum ara yüzünde oluşmaktadır. Düşük düşey gerilmeler altında kum tanecikleri EPS yüzey üzerinde kaydıkları ve bu ara yüz mekanizmasının sadece sürtünmesel ( $c_a = 0, \delta > 0$ ), olarak tarif edilmiştir (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001).

Uygulanan düşey gerilmelerin biraz daha artması durumunda, ara yüzey kesme mekanizması Faz B (Şekil 2.1b) durumuna geçmektedir. Artan düşey gerilmelerle birlikte bazı kum tanecikleri geofom içerisine gömülmektedir. Dolayısı ile geofom-kum ara yüzeyinde meydana gelen kayma düzleminin bir kısmı geofom-kum ara yüzünde, bir kısmı ise geofom blok içerisinde oluşmaktadır (Şekil 2.1b). Dolayısı ile, bu kayma mekanizması sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0, \delta > 0$ ) olarak tariflenmektedir (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001).

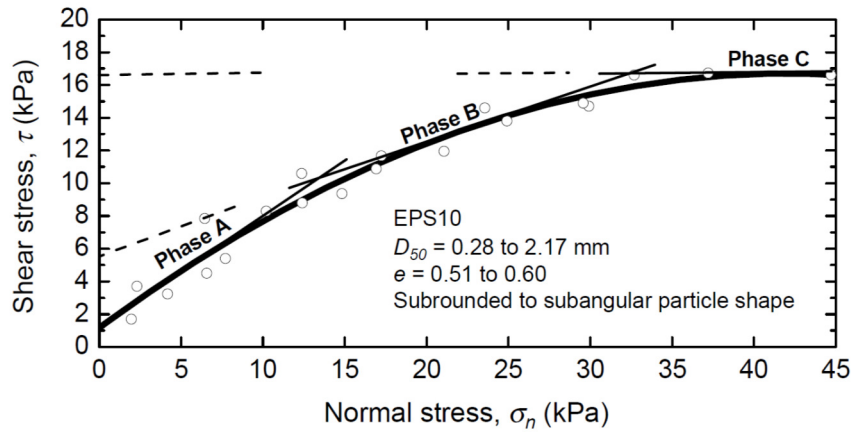
Faz C de ise artan düşey gerilmeler (EPS10 için 30 kPa’dan yüksek düşey gerilmeler altında) ara yüzdeki kum danelerinin tamamı ile geofom içine gömülmesine sebep olmuştur (Şekil 2.1c). Kayma düzlemi tamamen EPS geofom içerisinde oluşmuştur. Bu ara yüz mekanizması tamamıyla adhezyonsal ( $c_a > 0, \delta = 0$ ) olarak tariflenmektedir (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001).



Şekil 2.1 EPS gefoam-kum arayüzü üç etkileşim fazındaki çalışma mekanizması (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001)

Yapılan deney sonuçlarına göre EPS10 gefoam-Plaj Kumu 1 ara yüzünün kırılma zarfı Şekil 2.2'de gösterilmiştir. EPS10 için 0-15 kPa düşey gerilme altındaki ara yüzey davranışı sürtünmesel (Şekil 2.2a, Faz A), 15-30 kPa altındaki düşey

gerilme aralığında sürtünmesel-adhezyonsal (Şekil 2.2b, Faz B) ve 30 kPa üzeri normal gerilmelerde ara yüzey kayma mekanizması sadece adhezyonsal (Şekil 2.2c, Faz C) olarak oluşmaktadır. EPS10 ve EPS20 kum ara yüzey mukavemet değerleri her bir bölge için Tablo 2.2’de özetlenmiştir (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001).



Şekil 2.2 EPS10 geofoam-Plaj Kumı arayüzü lineer göçme zarfları (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001)

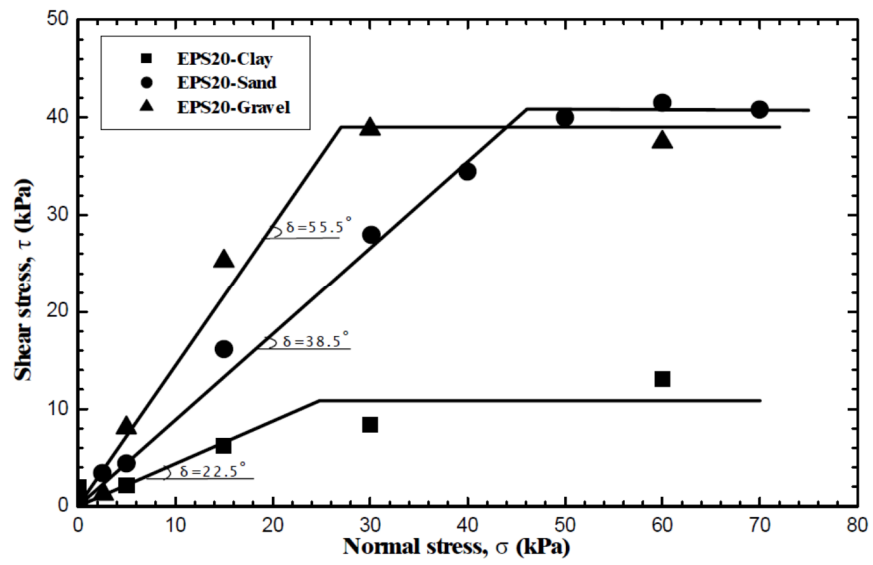
Tablo 2.2. EPS geofoam-kum ara yüz deney sonuçları (Xenaki ve Athanasopoulos, 2001)

FAZ	EPS10			EPS20		
	$\sigma_v$ (kPa)	$\delta$ (°)	$c_a$ (kPa)	$\sigma_v$ (kPa)	$\delta$ (°)	$c_a$ (kPa)
A	0-15	34	0	0-35	32	0
B	15-30	19	5.5	>35	15	13
C	> 30	0	16.5			

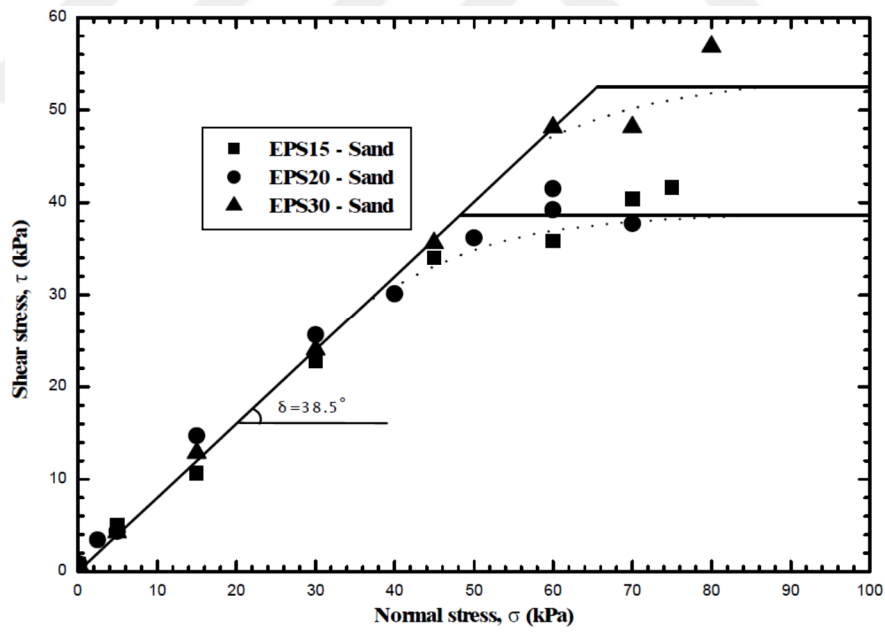
Çalışma sonucunda Xenaki ve Athanasopoulos (2001), geofoam-kum ara yüzü davranışına etki eden faktörler olarak; ara yüz’e etkiyen normal gerilme, geofoam’un yoğunluğu, kumun dane boyutu, şekli ve kum boşluk oranı olarak sıralamıştır.

Neguseey vd. (2001) 15 ve 20kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu geoföam bloklar ile silika kumu ara yüz mukavemet deneyleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda Negusseey vd. (2001) kum – geoföam ara yüz mukavemeti için (sürtünme faktörü 0.85,  $\delta = 40.4^\circ$ ) kumun kendi içsel sürtünme mukavemetinden (sürtünme faktörü 0.68,  $\phi = 34.2^\circ$ ) daha yüksek değerler elde etmişlerdir.

Amatzidis vd. (2001) 15, 20 ve 30kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu geoföam blokların kil, kum ve çakıl zeminler için ara yüzey mukavemetlerini belirlemişlerdir. Geoföam-zemin ara yüz deney sonuçları Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilmiştir. Çalışma sonucunda Amatzidis vd. (2001), geoföam-geoföam, geoföam-geosentetikler ve geoföam-zemin ara yüzleri kayma mukavemetinin uygulanan düşey normal kuvvetin şiddetine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada kullanılan tüm ara yüzler için kırılma zarfı çift doğrusal olarak oluşmaktadır (Atmatzidis vd., 2001). Xenaki ve Athanasopoulos’un (2001) sonuçlarına benzer şekilde (Atmatzidis vd., 2001) düşük normal kuvvetlerde saf sürtünmesel davranış gözlemlenmiştir. Şekil 2.4’den de görüleceği üzere düşey basınç değerleri yaklaşık 45 kPa’a kadar kullanılan geoföam yoğunluğundan bağımsız geoföam-kum ara yüzey davranışı tamamıyla sürtünmeseldir. Bu eşik değeri geçen düşey gerilmeler altında ise tıpkı Xenaki ve Athanasopoulos’un (2001) önerdiği gibi geoföam’un kuma zımbalanmasından ötürü kayma düzlemi geoföam blokların içerisinde geçip saf adhezyonsal davranış göstermiştir (Atmatzidis vd., 2001).



Şekil 2.3 Geofoam-zemin ara yüzü kayma dirençleri (Amatzidis vd., 2001)



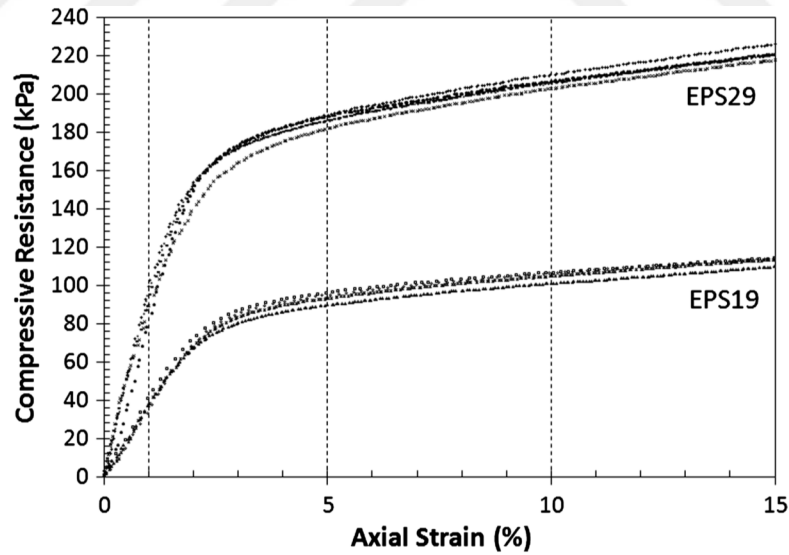
Şekil 2.4 Farklı yoğunluktaki geofoam bloklar-kum ara yüzü deney sonuçları (Amatzidis vd., 2001)



### III. MALZEME VE METOT

#### 3.1. Malzemeler

Deneyleerde EPS19 (ASTM D6817'e göre minimum yoğunluğu 18.4 kg/m<sup>3</sup> olan) ve EPS29 (ASTM D6817'e göre minimum yoğunluğu 28.2 kg/m<sup>3</sup> olan) iki farklı yoğunlukta geofom blok kullanılmıştır. EPS19 ve EPS29'un aksenal gerilme-şekil değiştirme davranışını belirlemek üzere, ASTM D1621 (2010) uyarınca her yoğunlukta dört numune ile basınc dayanim testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuğlara göre hazırlanmış gerilme şekil değiştirme grafiği şekil 3.1'de verilmiştir (zer ve Akay 2016).



şekil 3.1 Geofom bloklar aksenal basınc gerilmesi-şekil değiştirme grafiği (zer ve Akay 2016)

Gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden %1, %5 ve %10 birim boy kısalmalara karşılık gelen basınc gerilmeleri ile Elastisite modülü Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Ayrıca, bu tabloda ASTM D6817'e (2015) göre belirlenen sınır değerleri de karşılaştırma amacıyla yer almaktadır.

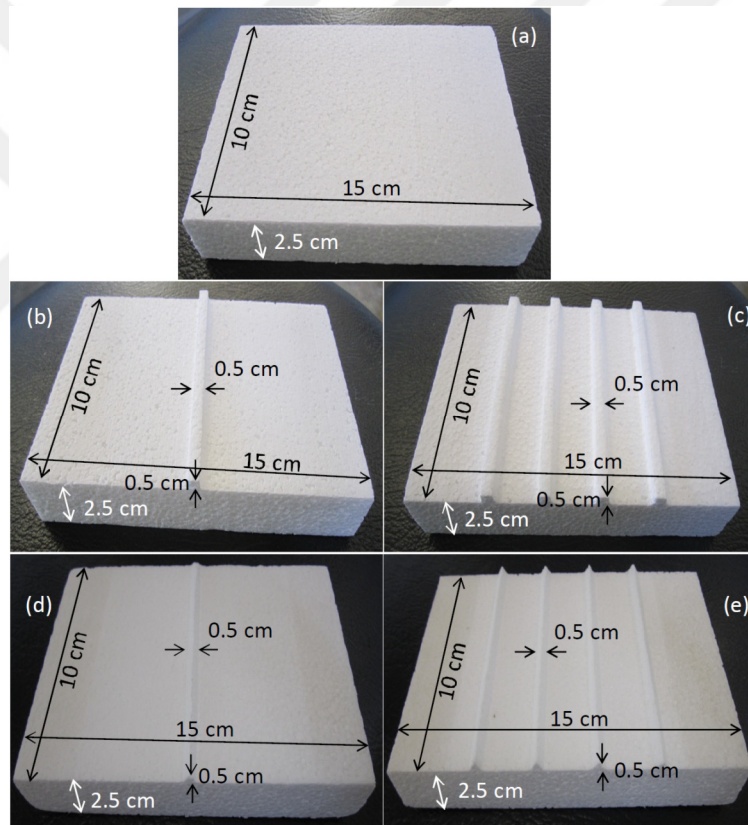
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan geofoam blokların mekanik özellikleri (Özer ve Akay, 2016)

Özellik	Tanım ve birim	Laboratuvar test değerleri minimum-maksimum (ortalama, standart sapma)	ASTM D6817 (ASTM 2015) tanımı	ASTM D6817 (ASTM 2015) alt sınır değerler
Yoğunluk	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	18.08-18.96 (18.54, 0.38)	EPS19	18.4
%1 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_1$ (kPa)	38.0-45.5 (40.21, 3.54)		40
%5 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_5$ (kPa)	90.2-96.8 (93.9,2.86)		90
%10 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_{10}$ (kPa)	101.2-107.1 (105.0, 2.72)		110
Elastisite Modülü	$E_i$ (MPa)	3.5-4.1 (3.73, 0.24)		---
Yoğunluk	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	29.52, 30.16 (29.9, 0.26)	EPS29	28.8
%1 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_1$ (kPa)	85.8-103.2 (95.2, 7.41)		75
%5 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_5$ (kPa)	182.5-188.6 (186.6, 2.7)		170
%10 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_{10}$ (kPa)	202.8-210.5 (206.5, 2.8)		200
Elastisite Modülü	$E_i$ (MPa)	8.0-9.5 (9.0, 0.8)		---

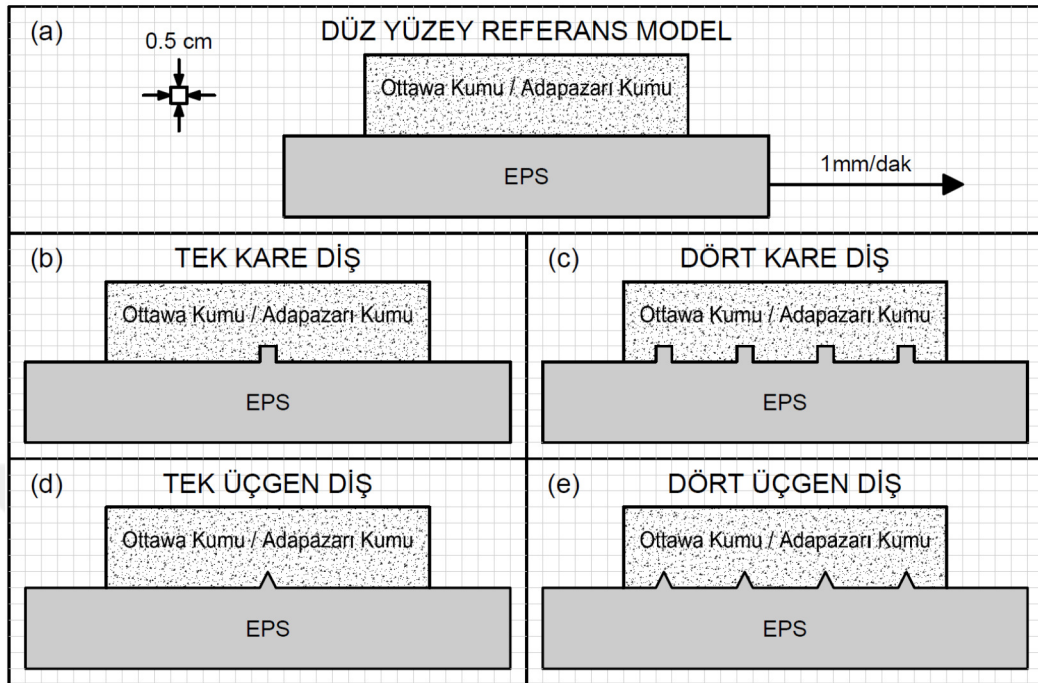
Geofoam blok-kum ara yüzey mukavemet deneyleri her yoğunluk için geleneksel düz geofoam blok-kum ara yüzüne ek olarak 4 farklı geometride dişli geofoam blok-kum ara yüzleri için yapılmıştır. Geofoam bloklar 2.5 cm kalınlığında 15 cm uzunluğunda ve 10 cm genişliğindedir (Şekil 3.2a). Üreticilerin kalıplarının büyüklüğüne bağlı olarak geleneksel blok üretim boyutları değişmekte olup, genelde ülkemizde geofoam bloklar 50 cm yüksekliğinde 100 cm genişliğinde ve 300 cm uzunlukta üretilmektedirler. Dolayısı ile çalışma kapsamında hazırlanan numuneler prototip boyutunu yaklaşık 1:20 ölçeğinde temsil etmektedirler. Birinci grup blok tamamen prizmatik bir geometride olup (geleneksel geofoam blok) blok üzerinde herhangi bir diş yoktur (Şekil 3.2a, 3.3a). Bu grup numuneler, daha önce Xenaki ve Athanasopoulos (2001) tarafından geleneksel geofoam blok-kum ara yüzü deney sonuçları ile kıyaslamak ve dişli geofoam yüzeylerden dolayı meydana gelecek iyileşmeyi kıyaslamak amacıyla incelenmiştir. İkinci grup blokta bir adet 5 mm x 5 mm boyutlarında kısa kenar boyunca 100 mm uzunluğunda bir adet kare formunda (bir kare diş) diş mevcuttur (Şekil 3.2b, 3.3b). Üçüncü grup blokta bir adet 5 mm x 5 mm boyutlarında kısa kenar boyunca 100 mm uzunluğunda dört adet kare formunda (dört kare diş) diş mevcuttur (Şekil 3.2c, 3.3c). Dördüncü grup blokta bir adet 5 mm x 5 mm boyutlarında kısa kenar boyunca 100 mm uzunluğunda bir adet üçgen formunda (bir üçgen diş) diş mevcuttur (Şekil 3.2d, 3.3d). Beşinci grup blokta ise bir adet 5 mm x 5 mm boyutlarında kısa kenar boyunca 100 mm uzunluğunda dört adet üçgen formunda (dört üçgen diş) diş mevcuttur (Şekil 3.2e, 3.3e).

Deneyleerde iki farklı kum kullanılmıştır. Bunlardan birincisi Ottawa kumu (ASTM C778, 2013) ikincisi ise Adapazarı bölgesinden elde edilen kötü

derecelendirilmiş kumdur (Adapazarı kumu). Bu kumların fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de özetlenmiştir. Kumların özgül ağırlıkları ASTM D854’e (2014) göre belirlenmiştir. Dane çapı dağılımı deneyi ASTM D6913’e (2009) göre yapılmış ve elde edilen granülometre eğrileri Şekil 3.4’de verilmiştir. Kumların maksimum ve minimum boşluk oranları sırası ile ASTM D4253 (2016) ve ASTM D4254’e (2016) göre belirlenmiştir.



Şekil 3.2 Ara yüz deneylerinde kullanılan geof foam blok numuneler

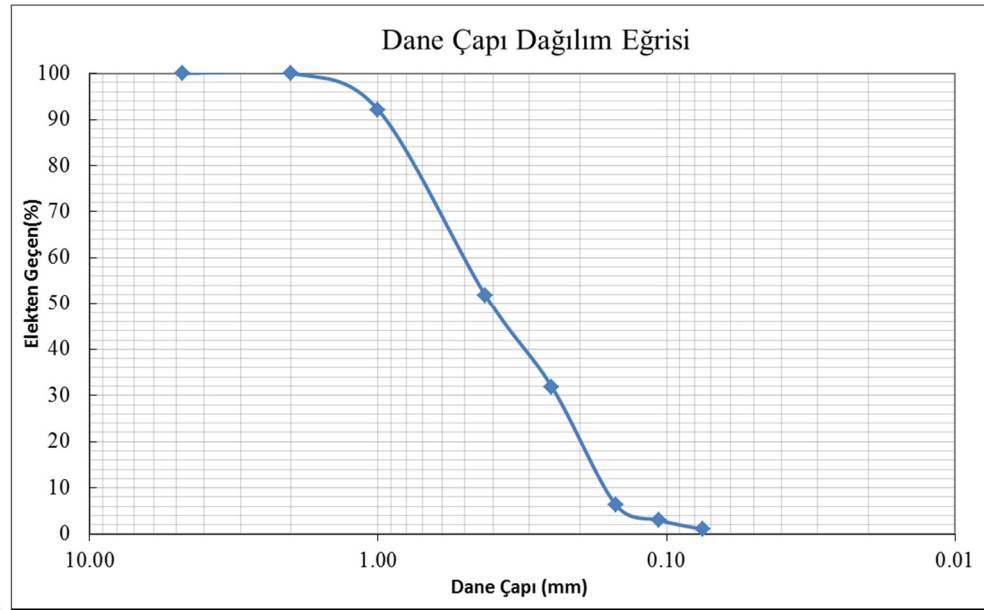


Şekil 3.3 Geofoam blok-kum ara yüzü kesme kutusu test en kesitleri

Geofoam blok-kum ara yüzey mukavemetini belirlemek için herhangi bir standart deney bulunmamaktadır. Bununla birlikte, Özer ve Akay (2014), Özer vd. (2015), Özer ve Akay (2016), Özer vd. (2016) zemin-geosentetik ve geosentetik-geosentetik ara yüzey mukavemetlerini basit kesme metoduna göre (ASTM D3080, 2011) belirlemek için hazırlanmış ASTM D5321 (2014)'i geofoam-geofoam ve kilitli geofoam blokların ara yüzey mukavemetlerini belirlemede kullanmışlardır. Bu çalışmada da önceki çalışmaları (Özer ve Akay, 2014; Özer vd., 2015; Özer ve Akay, 2016; Özer vd., 2016) takip ederek Geocomp firmasının tam otomatik direkt ve residual kesme test sistemi (ShearTrac-II) ASTM D5321'e (2014) göre kullanılmıştır (Şekil 3.6).

Tablo 3.2. Kumların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Özellik	Tanım & Birim	Değer
<b>Malzeme: Adapazarı kumu</b>		
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi	SP
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%), Silt + Kil (%)	Kum %99
Etkin Çap	$D_{10}$ (mm)	0.16
Ortalama Çap	$D_{50}$ (mm)	0.40
Üniformluk Katsayısı	$C_u$ [-]	3.13
Eğrilik Katsayısı	$C_c$ [-]	0.66
Yoğunluk	$G_s$ [-]	2.66
Maximum Boşluk Oranı	$e_{max}$ [-]	0.91
Minimum Boşluk Oranı	$e_{min}$ [-]	0.61
Ara yüz deneylerinde kullanılan rölatif sıkılık	$D_r$ [%]	86
Ara yüz deneylerinde kullanılan boşluk oranı	$e$ [-]	0.66
<b>Malzeme: 20-30 Standart Ottawa kumu</b>		
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi	SP
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%), Silt + Kil (%)	100, 0
Etkin Çap	$D_{10}$ (mm)	0.62
Ortalama Çap	$D_{50}$ (mm)	0.72
Üniformluk Katsayısı	$C_u$ [-]	1.19
Eğrilik Katsayısı	$C_c$ [-]	1
Yoğunluk	$G_s$ [-]	2.66
Maximum Boşluk Oranı	$e_{max}$ [-]	0.67
Minimum Boşluk Oranı	$e_{min}$ [-]	0.49
Ara yüz deneylerinde kullanılan rölatif sıkılık	$D_r$ [%]	86
Ara yüz deneylerinde kullanılan boşluk oranı	$e$ [-]	0.51



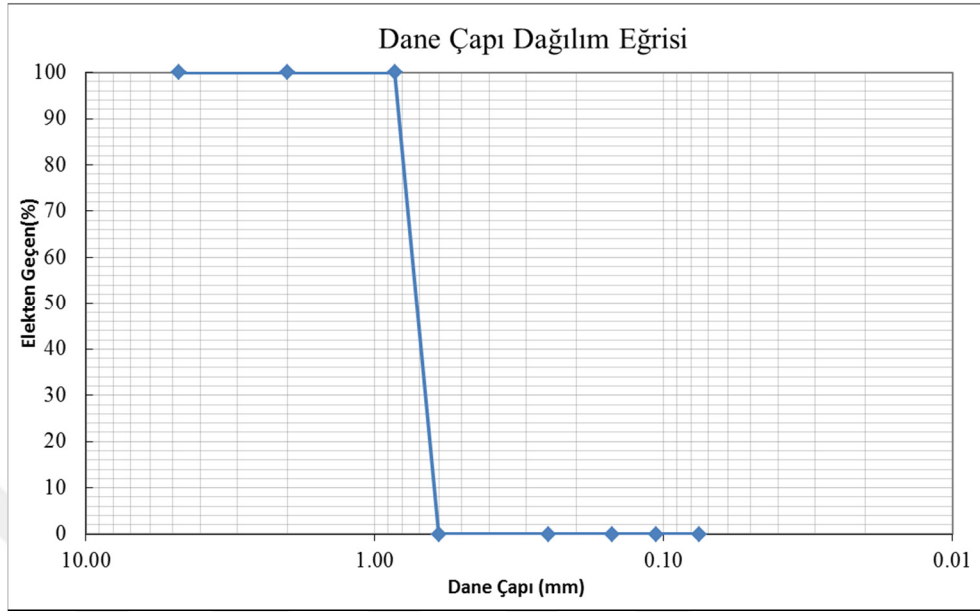
(a) Adapazarı kumu dane çapı dağılım eğrisi



(b) Adapazarı kumu dane fotoğrafı

Şekil 3.4 Adapazarı kumu





(a) Ottawa kumu dane çapı dağılım eğrisi



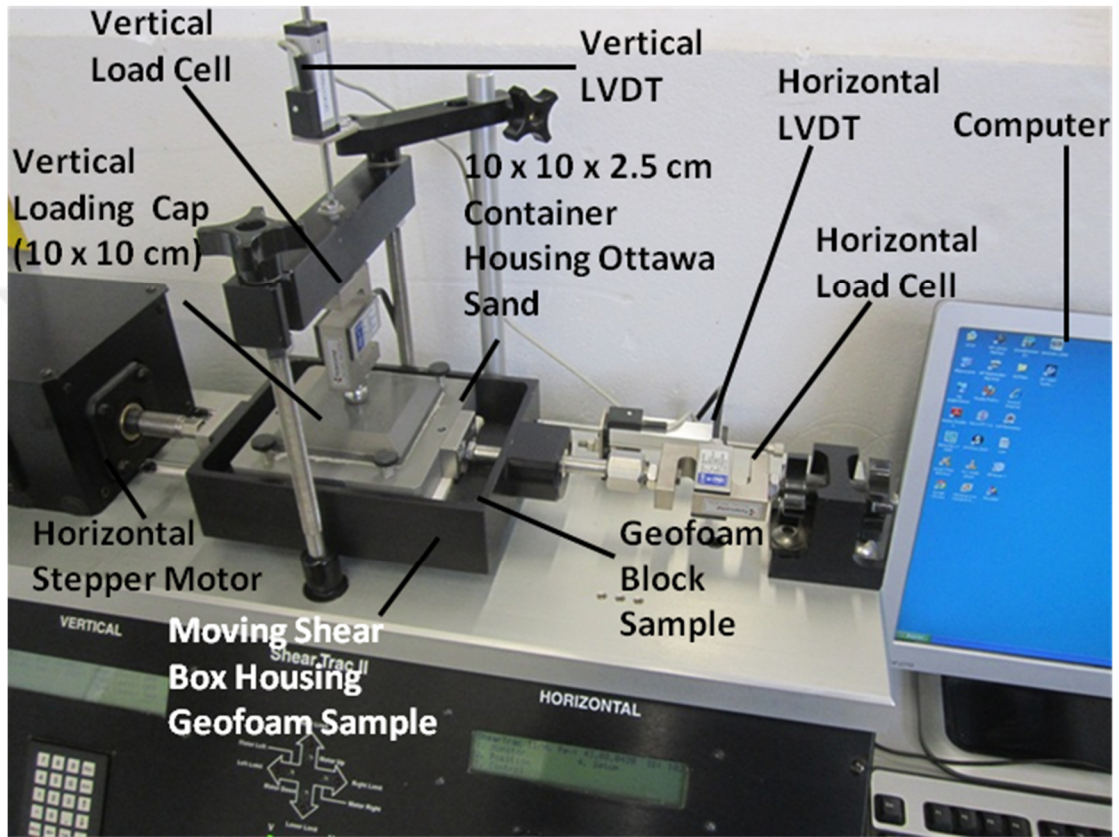
(b) Ottawa kumu dane fotoğrafı

Şekil 3.5 Ottawa kumu



Geofoam hafif dolgu sisteminin servis yükleri altındaki tasarımında bloklara gelecek yüklerin geofoam'un %1 birim boy kısalmasına karşılık gelen basınç mukavemeti değerinden (elastik limit) daha fazla olmaması tavsiye edilmektedir (Horvath, 2010). Dolayısı ile bu çalışma kapsamında kullanılan en fazla düşey gerilme EPS19'un %1 birim boy kısalmadaki basınç mukavemeti olan 40 kPa (Tablo 3.1) olarak kullanılmıştır. Testler 10, 20, 30 ve 40 kPa'lık dört farklı düşey gerilme altında yapılmıştır. Düşey yük 10 cm x 10 cm boyutlarındaki yükleme başlığı ile 10 cm x 10 cm x 2.5 cm boyutlarındaki geleneksel kesme kutusunun üst yarısına %86 relatif sıklıkta (sıkı kum) yerleştirilen kuma aktarılmıştır (Şekil 3.6). Dolayısı ile 10 cm x 10 cm boyutlarında bir ara yüzey kesme alanı yaratılmıştır. Sistemde bulunan düşey mikro adımlı motor deney boyunca düşey gerilmeyi sabit tutmaktadır. Geofoam bloklar sistemde altta bulunan hareketli kesme kutusuna konmuştur. Yatay mikro hareket kontrollü motorlar ile kesme kutusu istenen sabit hızda hareket etmektedir. Atmatzidis vd. (2001), Barrett ve Valsangkar (2009), Amini (2014), Özer ve Akay (2014), Özer vd. (2015); Özer ve Akay (2016) ve Özer vd. (2016) çalışmalarında kullanıldığı gibi, bu çalışmada da kesme hızı olarak 1 mm/dk kullanılmıştır (Şekil 3.3). Ottawa kumu ile yapılan deneylerde boşluk oranı 0.51 olacak şekilde, Adapazarı kumu ile yapılan deneylerde ise boşluk oranı 0.66 olacak şekilde kumlar sıkıştırılarak her iki durumda da aynı relatif sıklıklarda ( $D_r = \%86$ , Tablo 3.2) deneyler yapılmıştır. Deney düzeneğinde düşeyde bir adet yük ve deplasman ölçer (LVDT) ile yatayda bir adet yük ve deplasman ölçer ile tüm deney sürecindeki yatay ve düşey deplasmanlar ile gerilme değerleri kayıt altına alınmıştır. Deneyler %10'luk birim yatay deplasmana karşılık gelen 1 cm'lik toplam yer değiştirmede sonlandırılmıştır. Deney sonuçlarının

kontrolü için her bir deney seçilen bir düşey basınç altında tekrarlanarak yapılmış ve gerilme-şekil değiştirme eğrileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.6 Geofabric-kum ara yüzey mukavemeti deney sistemi (Özer vd., 2016)

## IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

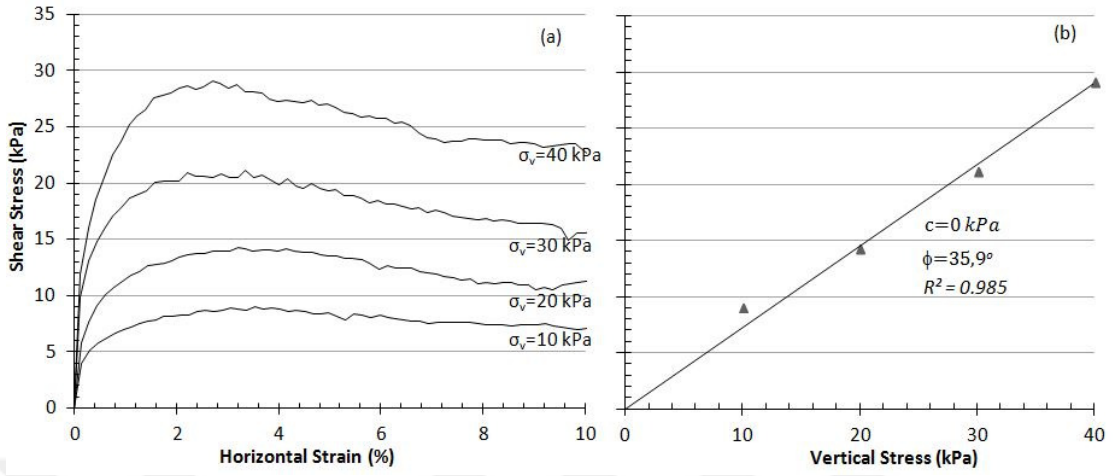
### 4.1. Ottawa ve Adapazarı kumunun Mukavemet Deneyleri

Geofoam-kum ara yüz deneylerinde kullanılan, fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de verilen Ottawa kumu (ASTM C778, 2013) ve Adapazarı kumunun gerilme-şekil değiştirme davranışları ve mukavemet parametreleri ASTM D3080’e (2011) göre yapılan kesme kutusu (KK) deneyleri neticesinde belirlenmiştir.

#### 4.1.1. Ottawa kumu

Ottawa kumu gerilme-şekil değiştirme davranışı (Şekil 4.1a) ve kırılma zarfı (Şekil 4.1b) pik mukavemet parametreleri ile birlikte Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere her bir düşey basınç kademesinde kayma mukavemeti hızlıca pik değere ulaşmış (yanal yer değiştirme yaklaşık %2-%3 mertebelerine erişince), sonrasında ise kalıcı mukavemet değerine tam oluşuncaya kadar deneyler devam etmiştir. Deneyler neticesinde elde edilen pik kayma mukavemeti değerleri EK-1’de sunulmuştur (Deney No: 1, 2, 3 ve 4).

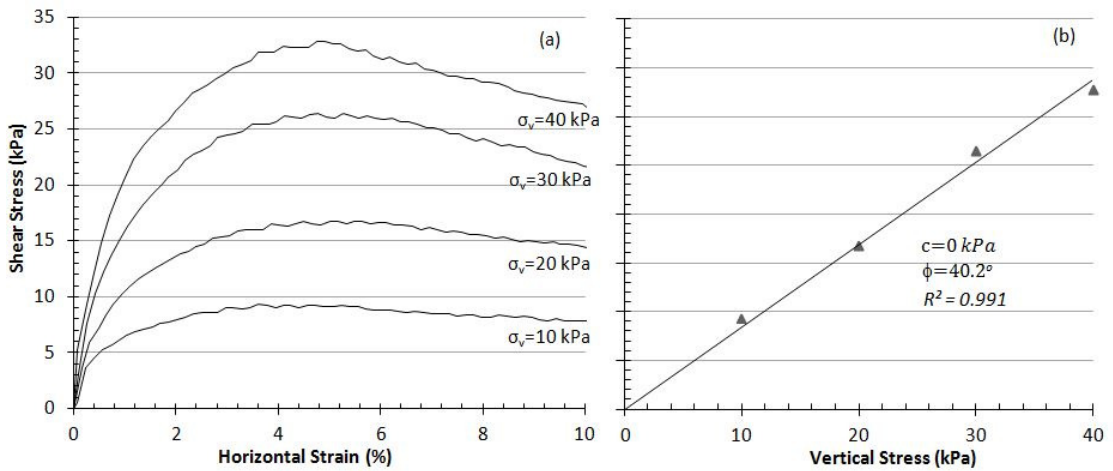
Deneyler sonucunda elde edilen mukavemet parametreleri Ottawa kumu üzerinde yapılan geçmiş çalışmalarla Tablo 4.1’de karşılaştırılmıştır. Bu tablodan da görüldüğü üzere çalışma kapsamında belirlenen mukavemet parametreleri literatürde kesme kutusu deneyleri neticesinde rapor edilen değerlerle uyumludur (Xenaki ve Athanosopoulos, 2001; Cerato ve Lutteneger, 2006; Liu vd., 2009; Sadek vd., 2010). Konsolidasyonlu drenajlı (CD) üç eksenli basınç mukavemeti basit kesme deneyine göre yüksek mukavemet göstermiştir (Masad vd., 1996).



Şekil 4.1 Ottawa kumu ( $e=0.51$ ) kesme kutusu deney sonuçları

#### 4.1.2. Adapazarı kumu

Adapazarı kumunun gerilme-şekil değiştirme davranışı (Şekil 4.2a) ve kırılma zarfı (Şekil 4.2b) pik mukavemet parametreleri ile birlikte Şekil 4.2’de verilmiştir. Ottawa kumundan farklı olarak (Şekil 4.1), her bir düşey basınç kademesinde kayma mukavemetinin pik değere ulaşması (yanal yer değiştirme yaklaşık %4-%5 mertebelerine erişince) biraz daha uzun sürmüştür.



Şekil 4.2 Adapazarı kumu ( $e=0.66$ ) kesme kutusu deney sonucu

Tablo 4.1. Ottawa kumu Mekanik Özellikleri

Referans	Deney Tipi / Numune boyutu	Boşluk Oranı, e	Rölatif Sıklık, $D_r$	Kuru Birim Hacim ağırlık $\gamma_d$ ( $\text{kN/m}^3$ )	Mukavemet Parametreleri	
					Kohez-yon, c (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı, $\phi$ (derece)
Masad vd., 1996	CD / 71.1 mm çap x 141.1 mm boy	0.49	0.90	17.4	0	40
Xenaki ve Athanasopoulos (2001)*	KK/ 85 mm x 90 mm	0.51	---	---	0	36.0
Cerato ve Lutteneger, (2006)*	KK/ 59.9 mm x 59.9 mm x 26.4 mm	---	0.23	---	0	30.7
			0.56	---	0	35.6
			0.86	---	0	39.0
	KK/ 101.6 mm x 101.6 mm x 40.64	---	0.23	---	0	30.5
			0.56	---	0	35.0
			0.86	---	0	36.0
	KK/ 304.8 mm x 304.8 mm x 177.8	---	0.23	---	0	36.0
			0.56	---	0	37.0
			0.86	---	0	37.5
Liu vd., 2009**	KK/ 450 mm x 450 mm x 130 mm	---	0.80	16.7	11.4	35.2
Sadek vd., 2010	KK/ 100 mm x 100 mm x 30 mm	0.60	---	16.2	0	30.5
Bu Çalışma*	KK 100 mm x 100 mm x 50 mm	0.51	0.86	17.3	0	35.9

\*Kesme kutusu deneyleri kuru Ottawa kumu üzerinde yapılmıştır.

\*\* Kesme kutusu deneyleri su muhtevası % 4.5 olan Ottawa kumu üzerinde yapılmıştır.

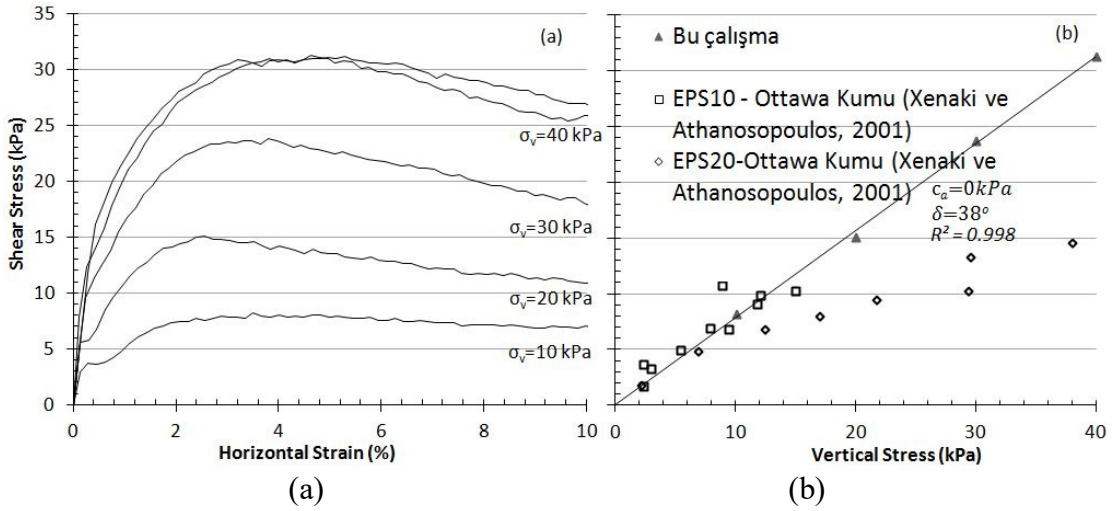
Adapazarı kumunun daha köşeli yapıya sahip olmasından dolayı aynı rölatif sıklıkta Ottawa kumuna göre içsel sürtünme açısı daha fazla elde edilmiştir (Şekil 4.2b). Aynı zamanda, aynı düşey gerilmeler altında Adapazarı kumunun kayma mukavemeti Ottawa kumundan daha yüksek elde edilmiştir (Şekil 4.2a). Deneyler neticesinde elde edilen pik kayma mukavemeti değerleri EK-1’de sunulmuştur (Deney No: 5, 6, 7 ve 8).

## **4.2. Geleneksel Geofom-Kum Ara Yüz Mukavemet Deneyleri**

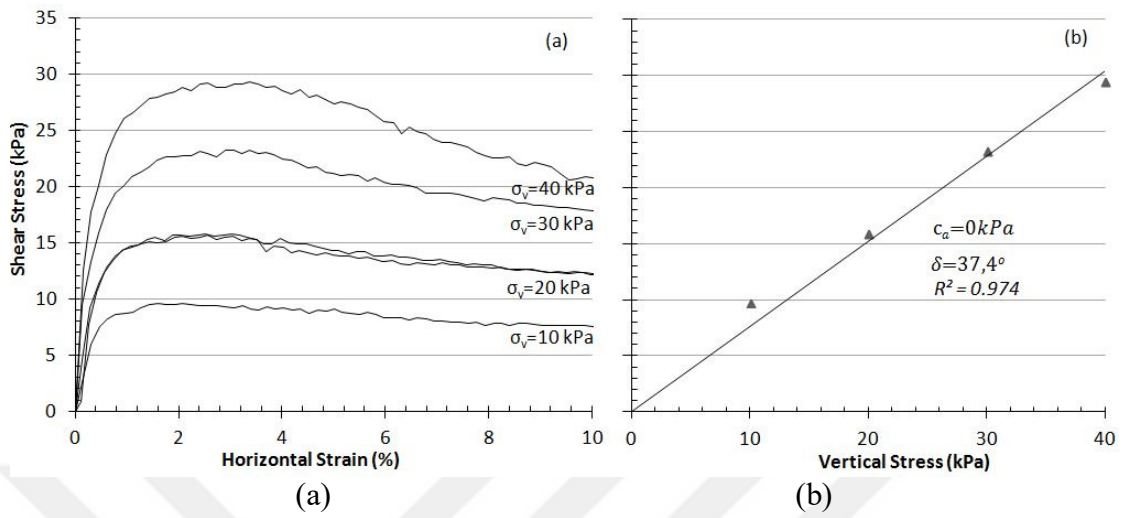
### **4.2.1. Geofom-Ottawa Kumu Ara Yüzey Deneyleri**

Geofom-Ottawa kumu ara yüzey kesme deney sonuçları Şekil 4.3 ve 4.4’de sırası ile EPS19-Ottawa kumu ve EPS29-Ottawa kumu ara yüzeyleri için verilmiştir. Şekil 4.3’de bu çalışmadan elde edilen deney sonuçlarına ek olarak Xenaki ve Athanasopoulos’un (2001) 10 kg/m<sup>3</sup> ve 20 kg/m<sup>3</sup> geofom bloklarla Ottawa kumu ara yüzey mukavemeti deney sonuçları karşılaştırma amacıyla sunulmuştur. Şekil 4.3’de Xenaki ve Athanasopoulos’un (2001) deney sonuçları EPS10 için düşey gerilme aralığı 0-15 kPa arasında, EPS 20 için ise 0-35 kPa aralığında karşılaştırılmıştır. Her bir geofom için bahsedilen düşey basınç aralıklarının üst sınırları geofom blokların %1 birim boy kısalmasındaki basınç mukavemetlerine eşit olup, bu aralıklarda geofom-kum ara yüz mukavemet davranışının sürtünmesel olduğu (Faz A (Şekil 2.1a), Xenaki ve Athanosopoulos, 2001) belirtilmiştir (Tablo 2.2). Ancak, Şekil 4.3b’den de görüleceği üzere Xenaki ve Athanosopoulos, 2001 tarafından elde edilen deney sonuçlarından EPS10 için belirtilen basınç aralığında davranış tamamen sürtünmesel iken EPS20 için elde edilen sonuçların bunu desteklemediği

görülmektedir. Bu çalışmada EPS19-Ottawa kumu (Şekil 4.3) ve EPS29-Ottawa kumu (Şekil 4.4) için yapılan deneyler neticesinde 0-40 kPa normal gerilme altında elde edilen davranış tamamen sürtünmesel olup benzer ara yüzey sürtünme açıları elde edilmiştir (Şekiller 4.3 ve 4.4). Ayrıca Xenaki ve Athanosopoulos (2001) tarafından EPS10-Ottawa kumu için elde edilen ara yüzey sürtünme açısının bu çalışma kapsamında yapılan deneylerle benzerliğinden EPS-Ottawa kumu ara yüzey mukavemetinin geofoam'un %1 birim boy kısalmasındaki basınç mukavemetinden daha düşük düzey basınçlar altında EPS yoğunluğundan bağımsız olduğunu göstermiştir. Geofoam-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Ottawa için Deney No: 9, 10, 11 ve 12; EPS29-Ottawa için Deney No: 13, 14, 15 ve 16) sunulmuştur.



Şekil 4.3 EPS19 Geleneksel geofoam-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları



Şekil 4.4 EPS29 Geleneksel geoforam-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

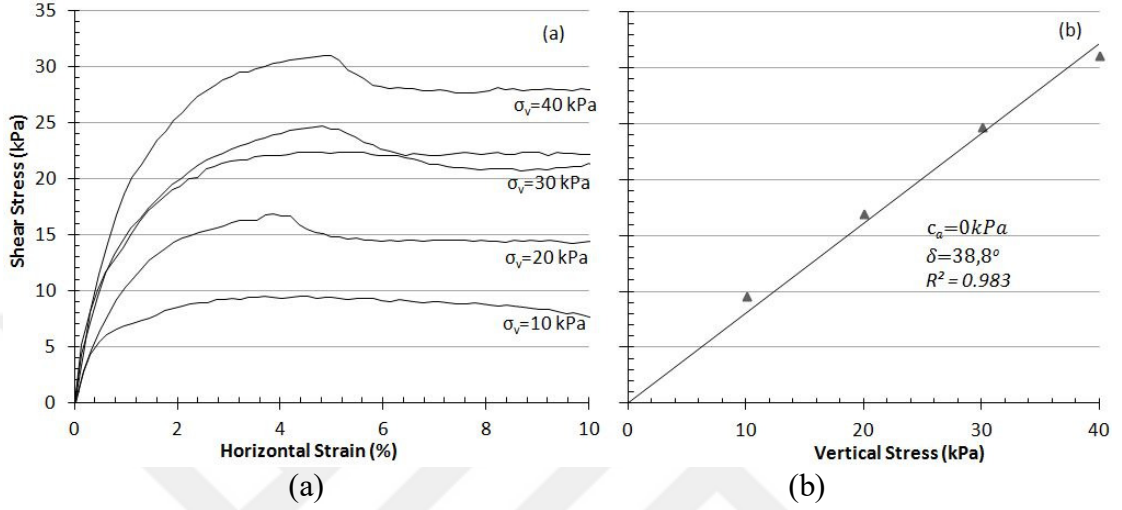
40 kPa sabit düşey basınç altında yapılan EPS19-Ottawa kumu ara yüz mukavemet deneyi ve 20 kPa düşey basınç altında EPS29-Ottawa kumu ara yüz mukavemet deneyi tekrar edilerek yapılmış ve kesme aşamasında elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri sırası ile Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b'de verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği üzere, Geoforam-Ottawa kumu ara yüz mukavemet deneyleri aynı düşey basınçlar altında tekrar edilebilen sonuçlar vermektedirler.

#### 4.2.2. Geoforam-Adapazarı Kumu Ara Yüzey Deneyleri

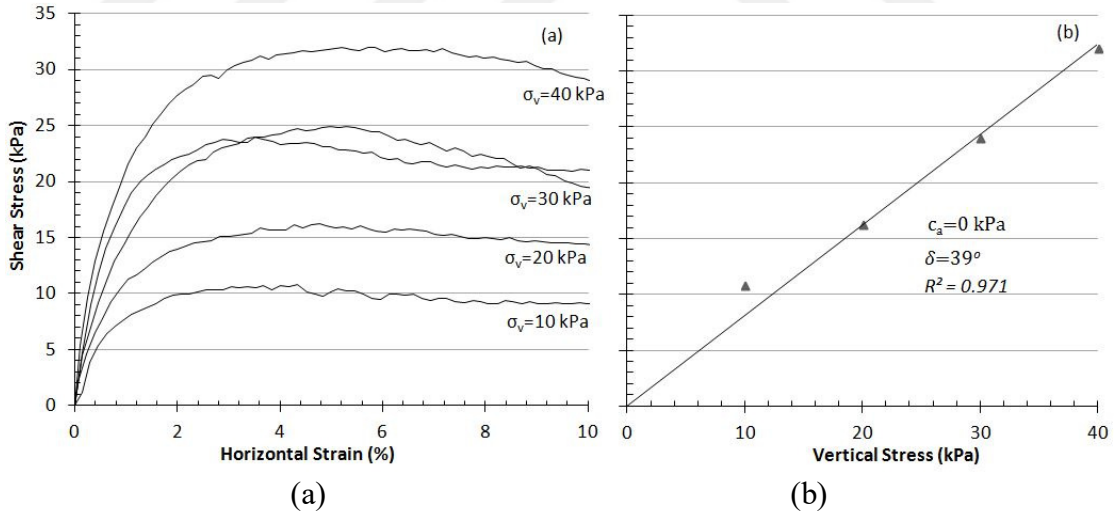
Geoforam-geoforam ara yüz mukavemet özellikleri gibi, geoforam-kum ara yüzey mukavemeti de pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Bartlett vd., 2000; Atmatzidis vd., 2001; Negusse vd., 2001; Xenaki ve Athanosopoulos, 2001) ve neticelerinde rapor edilen sonuçlar Tablo 4.2'de özetlenmiştir. Bu tez kapsamında EPS19 ve EPS29-Adapazarı kumu ara yüzeyleri için gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve kırılma zarfları sırası ile Şekil 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur. Ayrıca, elde edilen deney



sonuçları Tablo 4.2'de önceki yayınlanmış çalışmalarla karşılaştırma amacıyla özetlenmiştir.



Şekil 4.5 EPS19 Geleneksel geoforam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları



Şekil 4.6 EPS29 Geleneksel geoforam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

Tablo 4.2. Geofoam-kum ara yüzü mukavemet parametreleri

Referans	EPS Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Deneş Tipi / Numune boyutu	Düşey basınç, $\sigma_v$ (kPa)	Mukavemet Parametreleri	
				Adezyon, $c_a$ (kPa)	Ara yüzey Sürtünme Açısı, $\delta$ (derece)
Bartlet vd., 2000	-	-	$25 \leq \sigma_v < 40$	0	33
Atmatzidis vd., 2001	20	KK/ 100x300	$\sigma_v \leq 46$	0	38.5
			$\sigma_v > 46$	41	0
Negusseş vd., 2001	15, 20	KK/ 100x100	$\sigma_v = 27.5, 45, 70$	0	40
Xenaki and Athanasopoulos, 2001	10	KK/ 85x90	$0 < \sigma_v \leq 15$	0	34
			$15 < \sigma_v \leq 30$	5.5	19
			$\sigma_v > 30$	16.5	0
	20		$0 < \sigma_v \leq 35$	0	32
			$\sigma_v > 35$	13	15
Bu Çalışma	20	KK/ 100x100	$0 < \sigma_v \leq 40$	0	38.8
	30			0	39

Ottawa kumu-geofoam ara yüz deneylerinde olduğu gibi, EPS19-Adapazarı kumu (Şekil 4.5) ve EPS29-Adapazarı kumu (Şekil 4.6) için yapılan deneyler neticesinde 0-40 kPa normal gerilme altında elde edilen davranış tamamen

sürtünmesel olup benzer ara yüzey sürtünme açıları elde edilmiştir (Şekiller 4.5b ve 4.6b). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Atmatzidis vd. (2001) ve Negussey vd. (2001) ile uyumludur (Tablo 4.2). 30 kPa sabit düşey basınç altında yapılan EPS19-Adapazarı kumu ve EPS29- Adapazarı kumu ara yüz mukavemet deneyleri tekrar edilerek yapılmış ve kesme aşamasında elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri sırası ile Şekil 4.5a ve Şekil 4.6a'da verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği üzere, Geofom-Adapazarı kumu ara yüz mukavemet deneyleri aynı düşey basınçlar altında tekrar edilebilen sonuçlar vermektedirler. EPS-Adapazarı kumu ara yüzey mukavemetinin geofom'un %1 birim boy kısalmasındaki basınç mukavemetinden daha düşük düşey basınçlar altında EPS yoğunluğundan bağımsız olarak benzer ara yüz mukavemet değerleri elde edilmiştir. Geofom-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Adapazarı kumu için Deney No: 49, 50, 51 ve 52; EPS29-Adapazarı kumu için Deney No: 53, 54, 55 ve 56) sunulmuştur.

### **4.3. Dişli Geofom-Kum Ara Yüz Mukavemet Deneyleri**

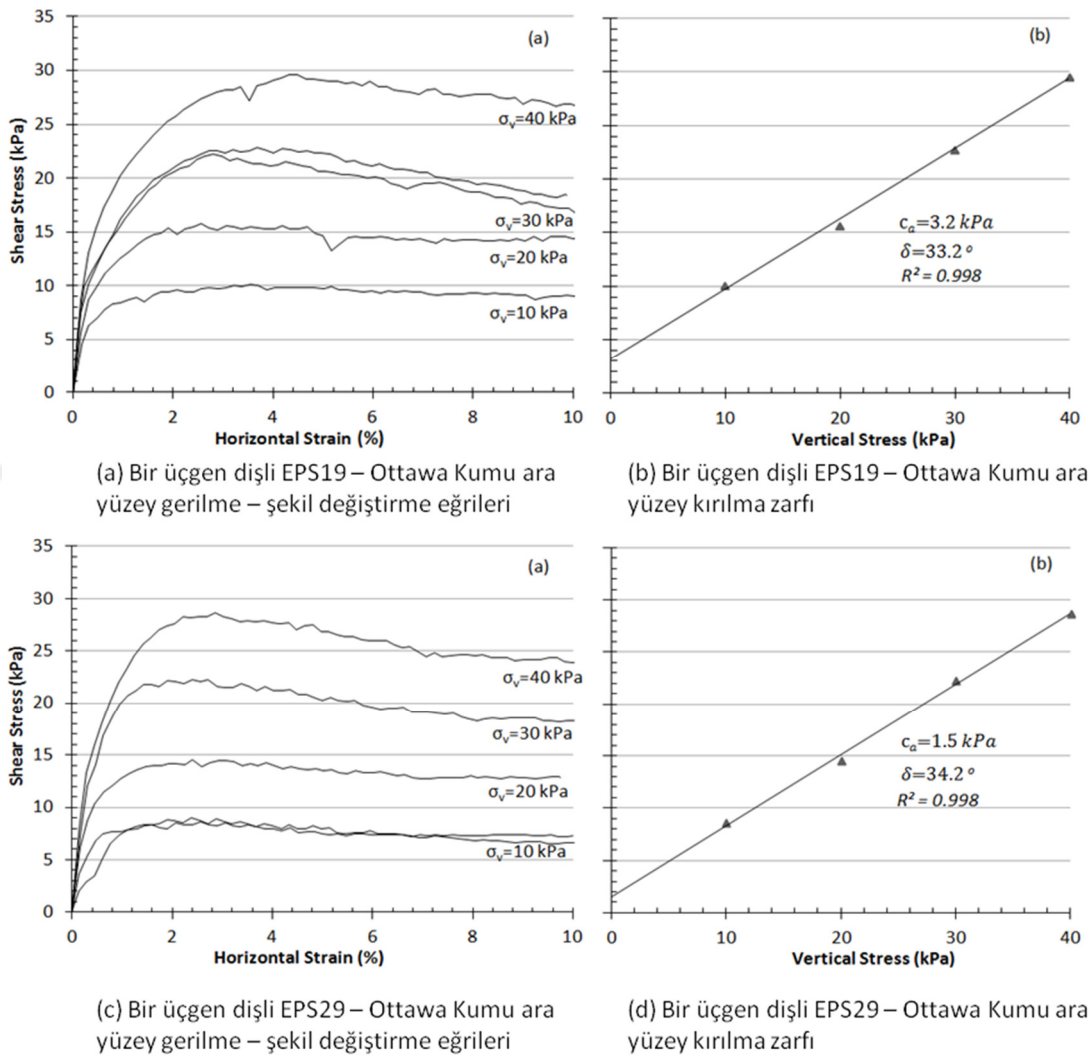
#### **4.3.1. Bir Üçgen Dişli Geofom-Kum Ara Yüzey Deneyleri**

EPS19 ve EPS29'dan oluşan bir üçgen dişli geofom-Ottawa kumu ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet zarfları Şekil 4.7'de verilmiştir. Ara yüzey mukavemet parametreleri hem Şekil 4.7'de hem de Tablo 4.3'de sunulmuştur. Bir üçgen dişli geofom-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Ottawa kumu için Deney No: 17, 18, 19 ve 20; EPS29-Ottawa kumu için Deney No: 33, 34,

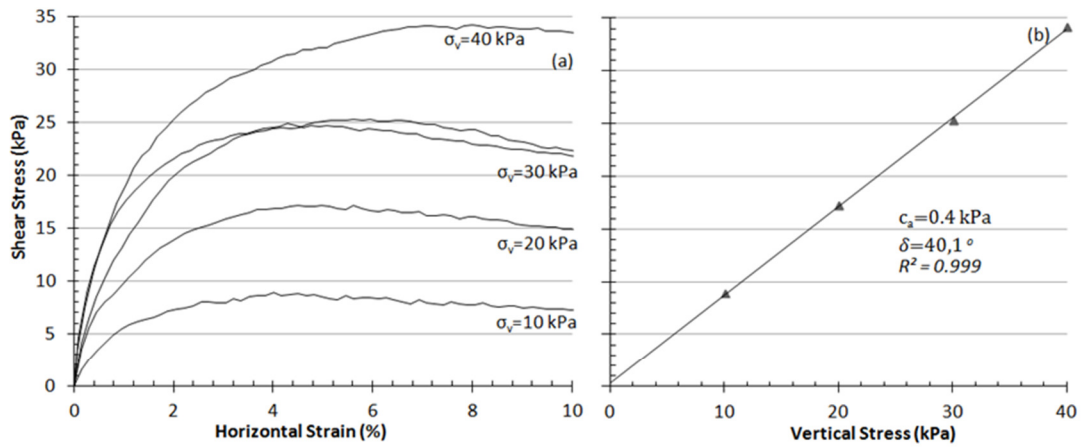
35 ve 36) sunulmuştur. Geleneksel geofam bloklara nazaran, bir üçgen dişli geofam blok-Ottawa kumu ara yüzeyi 0.5 cm genişliğinde, 0.5 cm yüksekliğinde ve 10 cm uzunluğundaki bir dişle kesintiye uğramasından dolayı ara yüzey kayma mekanizması az da olsa bir adhezyon mukavemeti kazanmıştır (Şekil 4.7b ve 4.7d). Bununla birlikte geleneksel geofam-Ottawa kumunda gözlemlenen ara yüzey sürtünme açılarına göre (Şekil 4.3b ve Şekil 4.4b), tek dişli geofam-Ottawa ara yüz sürtünme açılarında her iki yoğunluktaki geofam'da azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.7b ve 4.7d). Geleneksel geofam-Ottawa kumu ara yüzey davranışının tamamen sürtünmesel ( $c_a = 0$ ,  $\delta > 0$ ) olmasının aksine (Şekil 4.3b ve Şekil 4.4b), geofam bloktaki üçgen diş ara yüzey sürtünme davranışını, sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0$ ,  $\delta > 0$ ) davranışa (Şekil 4.7b ve 4.7d) çevirmiştir. 30 kPa sabit düşey basınç altında yapılan tek üçgen dişli EPS19- Ottawa kumu (Şekil 4.7a) ve 10 kPa sabit düşey basınç altında yapılan tek üçgen dişli EPS29-Ottawa kumu (Şekil 4.7c) ara yüz mukavemet deneyleri tekrar edilerek yapılmış ve tekrar edilebilen sonuçlar vermişlerdir. Tek üçgen dişli geofam-Ottawa kumu ara yüzey mukavemetleri kullanılan EPS tipinden bağımsız benzer sonuçlar vermiştir (Tablo 4.3).

EPS19 ve EPS29'dan oluşan bir üçgen dişli geofam-Adapazarı kumu ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet zarfları Şekil 4.8'de verilmiştir. Ara yüzey mukavemet parametreleri tek dişli EPS19 ve EPS29-Adapazarı kumu ara yüzeyleri için sırasıyla Şekil 4.8b ve 4.8d'de verilerek ayrıca Tablo 4.3'de özetlenmiştir. Bir üçgen dişli geofam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Adapazarı kumu için Deney No: 57, 58, 59 ve 60; EPS29-Adapazarı kumu için Deney

No: 73, 74, 75 ve 76) sunulmuştur. Bir üçgen dişli geofom-Ottawa kumu ara yüzey davranışında olduğu gibi, üçgen dişle kayma yüzeyinde geleneksel geofom-Adapazarı kumu ara yüzeyindeki sürekliliğin kesilmesi, davranışı tamamen sürtünmesel olmasının aksine (Şekil 4.5b ve Şekil 4.6b), sürtünmesel-adhezyonsal davranışa (Şekil 4.8b ve 4.8d) çevirmiştir. Tek üçgen dişli geofom-Adapazarı kumu ara yüzey sürtünme deneylerinden elde edilen ara yüzey sürtünme mukavemetleri, tek üçgen dişli EPS19 geofom-Ottawa kumuna göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Burada, Adapazarı kumunun Ottawa kumuna göre daha köşeli yapıya ve aynı rölatif sıkılıkta daha fazla kayma mukavemetine sahip olmasıyla açıklanabilir.

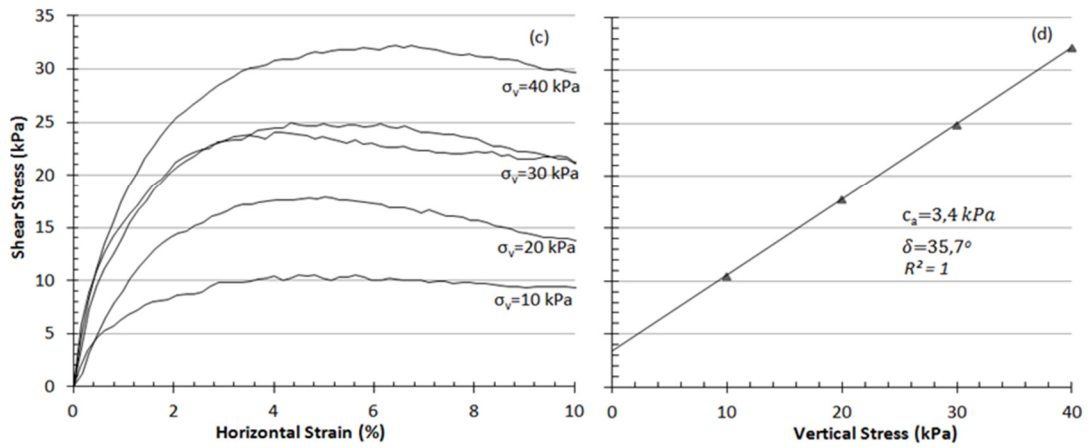


Şekil 4.7 Bir üçgen dişli geofoam-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları



(a) Bir üçgen dişli EPS19 – Adapazarı kumu ara yüzey gerilme – şekil değiştirme eğrileri

(b) Bir üçgen dişli EPS19 – Adapazarı kumu ara yüzey kırılma zarfı



(c) Bir üçgen dişli EPS29 – Adapazarı kumu ara yüzey gerilme – şekil değiştirme eğrileri

(d) Bir üçgen dişli EPS29 – Adapazarı kumu ara yüzey kırılma zarfı

Şekil 4.8 Bir üçgen dişli geofoam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

Tablo 4.3. Dişli geofom-kum ara yüzü mukavemet parametreleri

Deney	Ara yüzey mukavemet parametreleri	
	$c_a$ (kPa)	$\delta$ (derece)
Bir üçgen dişli EPS19 / Ottawa kumu	3.2	33.2
Bir üçgen dişli EPS19 / Adapazarı kumu	0.4	40.1
Bir kare dişli EPS19 / Ottawa kumu	1.5	34.5
Bir kare dişli EPS19 / Adapazarı kumu	1.0	41.8
Dört üçgen dişli EPS19 / Ottawa kumu	2.8	37.6
Dört üçgen dişli EPS19 / Adapazarı kumu	8.8	37.1
Dört kare dişli EPS19 / Ottawa kumu	3.2	38.8
Dört kare dişli EPS19 / Adapazarı kumu	3.4	40.3
Bir üçgen dişli EPS29 / Ottawa kumu	1.5	34.2
Bir üçgen dişli EPS29 / Adapazarı kumu	3.4	35.7
Bir kare dişli EPS29 / Ottawa kumu	1.6	34.7
Bir kare dişli EPS29 / Adapazarı kumu	2.5	37.6
Dört üçgen dişli EPS29 / Ottawa kumu	7.3	33.0
Dört üçgen dişli EPS29 / Adapazarı kumu	7.1	38.5
Dört kare dişli EPS29 / Ottawa kumu	2.9	39.2
Dört kare dişli EPS29 / Adapazarı kumu	4.1	40.6

#### 4.3.2. Bir Kare Dişli Geofom-Kum Ara Yüzey Deneyleri

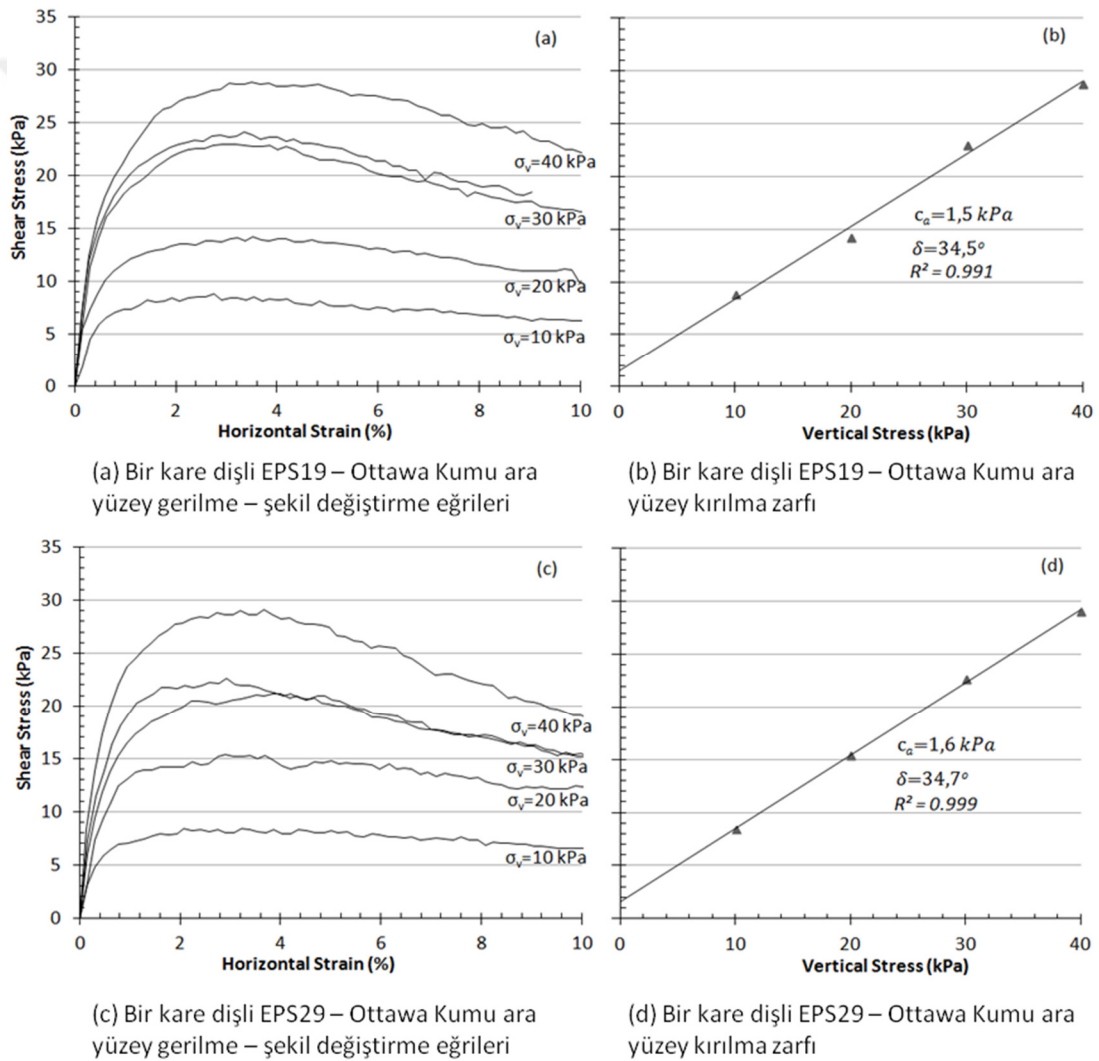
EPS19 ve EPS29'dan oluşan bir kare dişli geofom-Ottawa kumu ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet zarfları Şekil 4.9'da verilmiştir. Ara yüzey mukavemet parametreleri Şekil 4.9b ve 4.9d'de hem de Tablo 4.3'de sunulmuştur. Bir kare dişli geofom-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Ottawa kumu için Deney No: 25, 26, 27 ve 28; EPS29-Ottawa kumu için Deney No: 41, 42, 43 ve 44) sunulmuştur. 0.5 cm genişliğinde, 0.5 cm yüksekliğinde ve 10 cm uzunluğundaki bir



kare dişe sahip geofam blok-Ottawa kumu ara yüzeyi vasıtası ile geleneksel geofam-Ottawa kumu ara yüzeyindeki sürekliliğin kesintiye uğramasından dolayı ara yüzey kayma mekanizması az da olsa bir adhezyon mukavemeti kazanmıştır (Şekil 4.9b ve 4.9d). Bununla birlikte geleneksel geofam-Ottawa kumunda gözlemlenen ara yüzey sürtünme açılarına göre (Şekil 4.3b ve Şekil 4.4b), tek kare dişli geofam-Ottawa ara yüz sürtünme açılarında her iki yoğunluktaki geofam'da azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.9b ve 4.9d). Bununla birlikte, geleneksel geofam-Ottawa kumu ara yüzey davranışının tamamen sürtünmesel ( $c_a = 0, \delta > 0$ ) iken (Şekil 4.3b ve Şekil 4.4b), geofam bloktaki tek kare diş ara yüzey sürtünme davranışını, sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0, \delta > 0$ ) davranışa (Şekil 4.9b ve 4.9d) çevirmiştir. 30 kPa sabit düşey basınç altında yapılan ara yüz mukavemet deneyleri tekrar edilmiş (Şekiller 4.9a ve 4.9b) ve tekrar edilebilen sonuçlar vermişlerdir. Tek kare dişli geofam-Ottawa kumu ara yüzey mukavemetleri kullanılan EPS tipinden bağımsız benzer sonuçlar vermiştir (Tablo 4.3). Buna ek olarak, hem tek üçgen hem de tek kare geofam blokların Ottawa kumu ara yüzey mukavemet parametreleri diş geometrisinden bağımsız benzerlikler göstermektedirler (Tablo 4.3).

EPS19 ve EPS29'dan oluşan bir kare dişli geofam-Adapazarı kumu ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet zarfları Şekil 4.10'da verilmiştir. Ara yüzey mukavemet parametreleri tek kare dişli EPS19 ve EPS29-Adapazarı kumu ara yüzeyleri için sırasıyla Şekil 4.10b ve 4.10d'de verilerek ayrıca Tablo 4.3'de özetlenmiştir. Bir kare dişli geofam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Adapazarı kumu için Deney No: 65, 66, 67 ve 68; EPS29-Adapazarı kumu

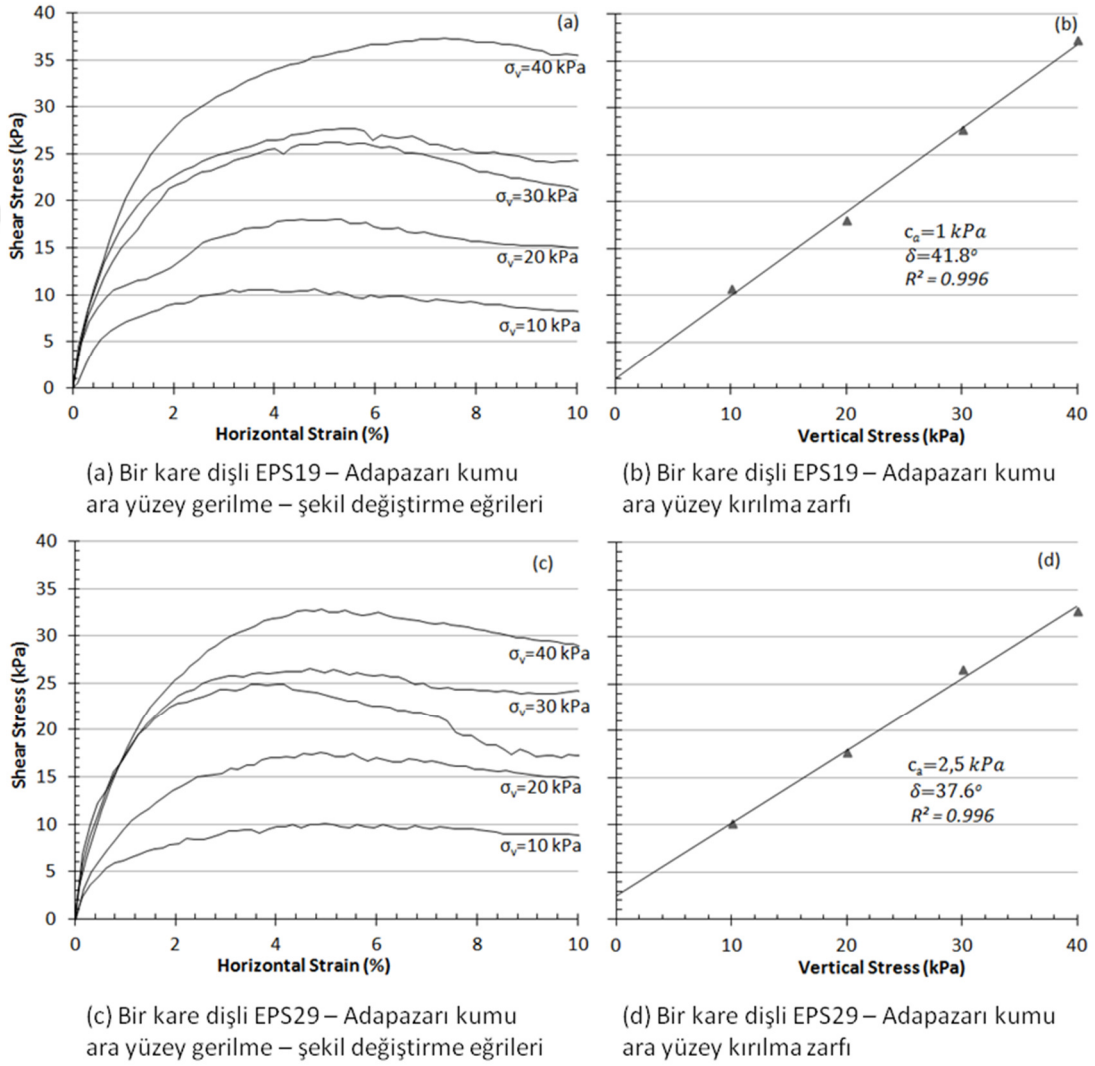
için Deneysel No: 81, 82, 83 ve 84) sunulmuştur. Bir kare dişli geofor-Ottawa kumu ara yüzey davranışında olduğu gibi, bir kare dişle kayma yüzeyinde geleneksel geofor-Adapazarı kumu ara yüzeyindeki sürekliliğin kesilmesi, davranış tamamen sürtünmesel olmasının aksine (Şekil 4.5b ve Şekil 4.6b), sürtünmesel-adhezyonsal davranışa (Şekil 4.10b ve 4.10d) çevirmiştir.



Şekil 4.9 Bir kare dişli geofor-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

Tek kare dişli geofor-Adapazarı kumu ara yüzey sürtünme deneylerinden elde edilen ara yüzey sürtünme mukavemetleri, tek kare dişli EPS19 geofor-Ottawa

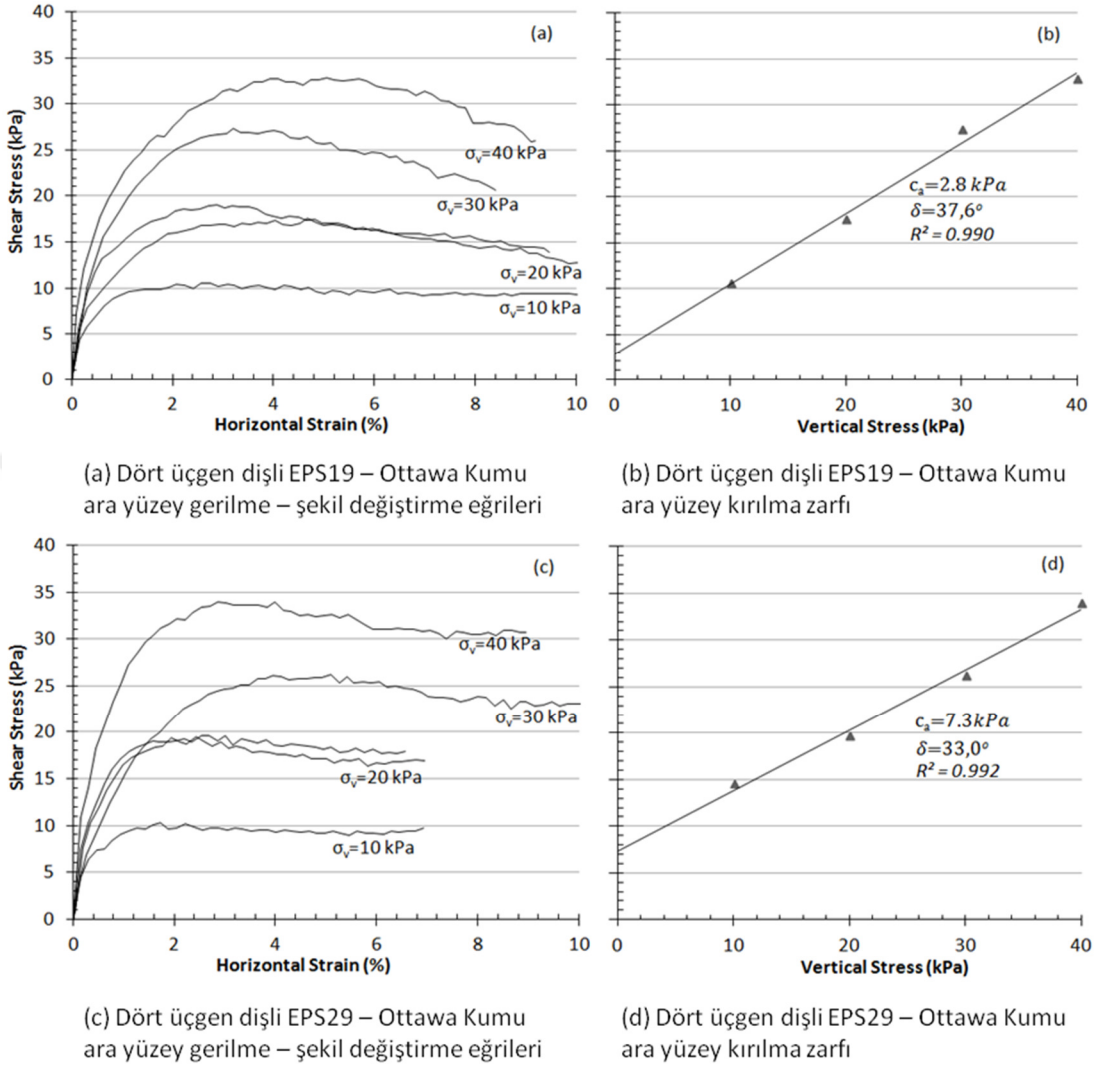
kumuna göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu da, Adapazarı kumunun Ottawa kumuna göre daha köşeli yapıya ve aynı rölatif sıkılıkta daha fazla kayma mukavemetine sahip olmasıyla açıklanabilir (Şekiller 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.10 Bir kare dişli geofom-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

### 4.3.3. Dört Üçgen Dişli Geofom-Kum Ara Yüzey Deneyleri

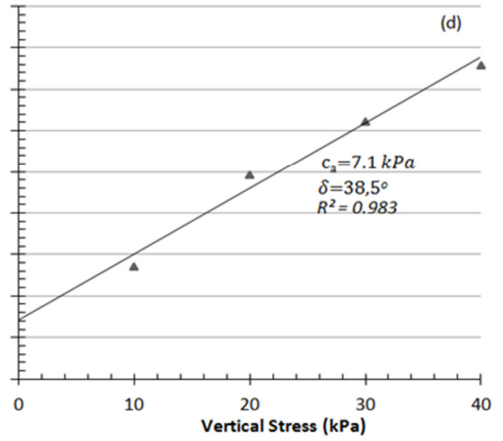
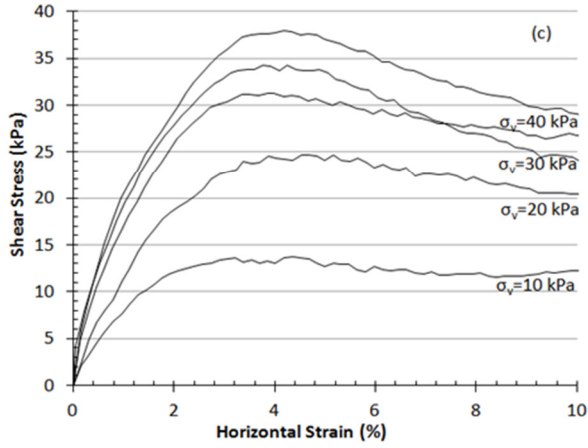
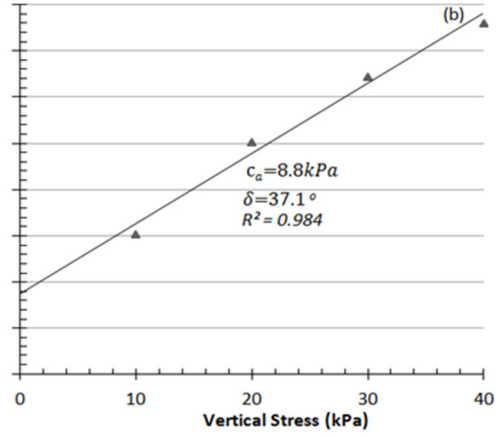
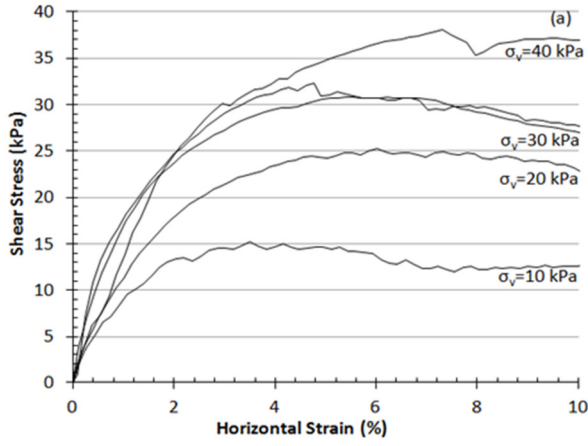
EPS19 ve EPS29'dan oluşan dört üçgen dişli geofom-Ottawa kumu ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet zarfları Şekil 4.11'de verilmiştir. Ara yüzey mukavemet parametreleri Şekil 4.11b ve 4.11d'de hem de Tablo 4.3'de sunulmuştur. Dört üçgen dişli geofom-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Ottawa kumu için Deney No: 21, 22, 23 ve 24; EPS29-Ottawa kumu için Deney No: 37, 38, 39 ve 40) sunulmuştur. Bir üçgen dişli geofom blok-Ottawa kumu ara yüzeyinde olduğu gibi (Şekil 4.7), dört dişli geofom blok-Ottawa kum ara yüzey davranışı da sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0$ ,  $\delta > 0$ ) davranış göstermiştir. Bununla birlikte, dört üçgen dişli geofom bloklar tek üçgen dişli bloklara göre dört kat daha fazla ara yüzey kenetlenme alanına sahip olmalarından dolayı ara yüzey kayma dayanımları tek üçgen dişli geofom bloklara nazaran daha yüksek elde edilmiştir. Örneğin, 40 kPa düşey basınç altında tek dişli EPS19 geofom-Ottawa kumu için ölçülen kayma dayanımı 29.6 kPa'dan (Şekil 4.7a) dört dişli EPS19 geofom-Ottawa kumunda 32.8 kPa (Şekil 4.11a) olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, 40 kPa düşey basınç altında tek dişli EPS29 geofom-Ottawa kumu için ölçülen katma dayanımı 28.6 kPa'dan (Şekil 4.7c) dört dişli EPS19 geofom-Ottawa kumunda 34.0 kPa (Şekil 4.11c) olarak ölçülmüştür. 20 kPa sabit düşey basınç altında yapılan ara yüz mukavemet deneyleri tekrar edilmiş (Şekiller 4.11a ve 4.11b) ve tekrar edilebilen sonuçlar vermişlerdir.



Şekil 4.11 Dört üçgen dişli geofoam-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

EPS19 ve EPS29'dan oluşan dört üçgen dişli geofoam-Adapazarı kumu ara yüz gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüz mukavemet zarfları Şekil 4.12'de verilmiştir. Ara yüz mukavemet parametreleri Şekil 4.12b ve 4.12d'de hem de Tablo 4.3'de sunulmuştur. Dört üçgen dişli geofoam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Adapazarı kumu için Deney No: 61, 62, 63 ve 64; EPS29-Adapazarı kumu için Deney No: 77, 78, 79 ve 80) sunulmuştur. Dört üçgen dişli sahip geofoam blok-

Ottawa kumu ara yüzeyinde olduğu gibi (Şekil 4.11), dört dişli geofam blok-Adapazarı kumu ara yüzey davranışı da sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0$ ,  $\delta > 0$ ) davranış göstermiştir. Bununla birlikte, dört üçgen dişli geofam bloklar tek üçgen dişli bloklara göre dört kat daha fazla ara yüzey kenetlenme alanına sahip olmalarından dolayı adhezyon dayanımları tek üçgen dişli geofam bloklara nazaran daha yüksek elde edilmiştir. Örneğin, bir üçgen dişli EPS19-Adapazarı kumu ara yüzey deneylerinden elde edilen adhezyon 0.4 kPa'dan (Şekil 4.8b) 4 üçgen dişli EPS19-Adapazarı kumunda 8.8 kPa (Şekil 4.12b) değerine yükselmiştir. Benzer şekilde bir üçgen dişli EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey deneylerinden elde edilen adhezyon 3.4 kPa'dan (Şekil 4.8d) dört üçgen dişli EPS19-Adapazarı kumunda 7.1 kPa (Şekil 4.12d) değerine yükselmiştir. Ayrıca, bir üçgen dişli EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey deneylerinden elde edilen ara yüzey sürtünme açısı 35.7 dereceden 38.5 dereceye (Şekil 4.12d) yükselmiştir. Benzer artışlar ara yüzey kayma dayanımı değerlerinde de gözlemlenmiştir. Örneğin, 40 kPa düşey basınç altında tek üçgen dişli EPS19 geofam-Adapazarı kumu için ölçülen kayma dayanımı 34.2 kPa'dan (Şekil 4.8a) dört üçgen dişli EPS19 geofam-Adapazarı kumu için 39 kPa (Şekil 4.12a) olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, 40 kPa düşey basınç altında tek dişli EPS29 geofam-Adapazarı kumu için ölçülen katma dayanımı 32.2 kPa'dan (Şekil 4.8c) dört dişli EPS29 geofam-Adapazarı kumu için 38.0 kPa (Şekil 4.12c) olarak ölçülmüştür. Hem dört üçgen dişli EPS19 hem de EPS29-Adapazarı kumu ara yüz mukavemet deneyleri 30 kPa sabit düşey basınç altında tekrar edilmiş (Şekiller 4.12a ve 4.12b) ve benzer sonuçlar vermişlerdir.



Şekil 4.12 Dört üçgen dişli geofoam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

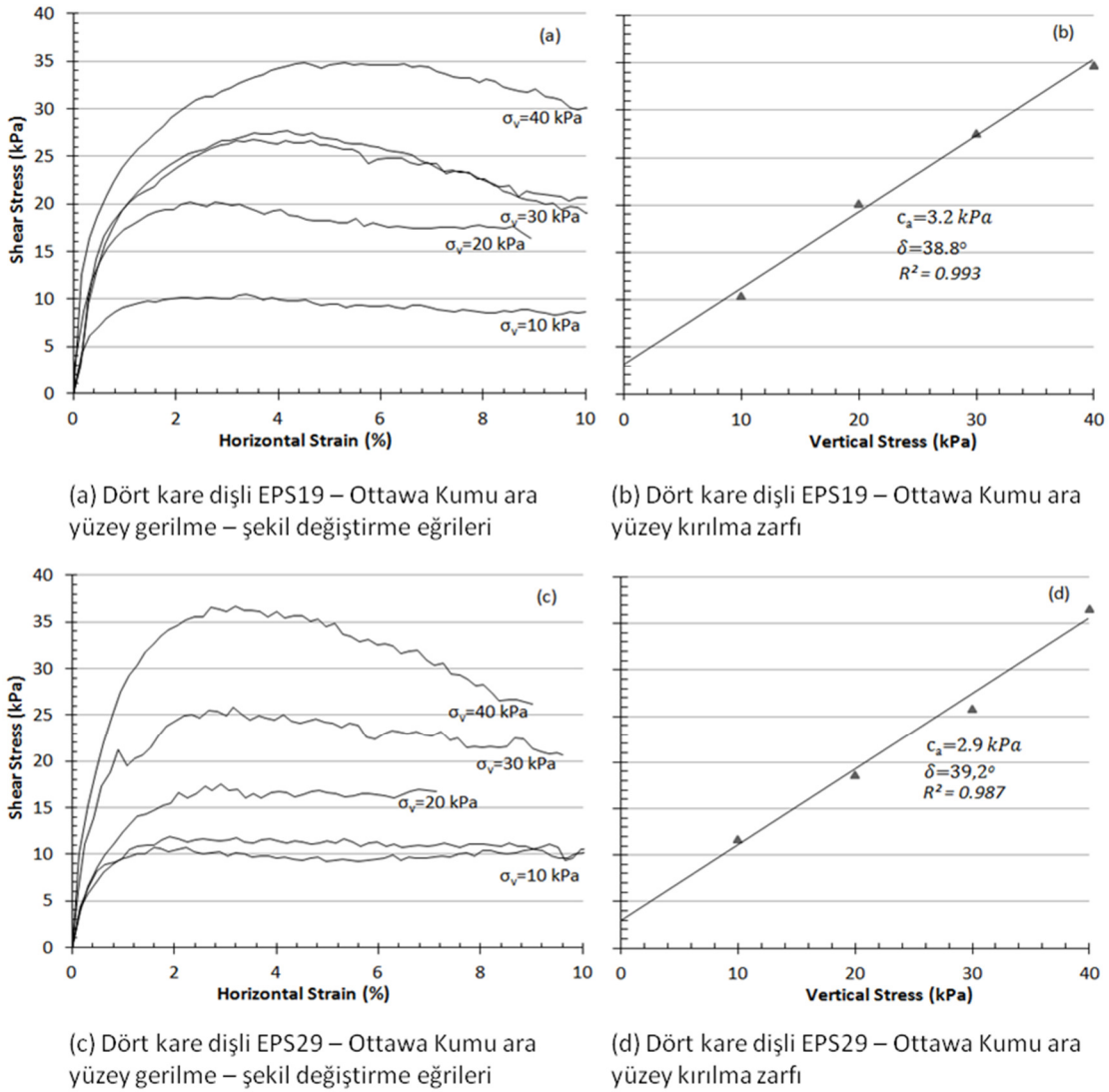
Dört üçgen dişli EPS19'un 40 kPa düşey gerilme altında Adapazarı kumu ile yapılan deney sonucunda yüzeyinde herhangi bir bozulma gözlemlenmemiştir (Şekil 4.12e). Bu durum Xenaki ve Athanasopoulos (2001) tarafından önerilen mekanizma ile (Şekil 2.1a) ile uyumludur.

#### 4.3.4. Dört Kare Dişli Geofoam-Kum Ara Yüzey Deneyleri

EPS19 ve EPS29'dan oluşan dört kare dişli geofoam-Ottawa kumu ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet zarfları Şekil 4.13'de verilmiştir. Ara yüzey mukavemet parametreleri Şekil 4.13b ve 4.13d'de hem de Tablo 4.3'de sunulmuştur. Dört kare dişli geofoam-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Ottawa kumu için Deney No: 29, 30, 31 ve 32; EPS29-Ottawa kumu için Deney No: 45, 46, 47 ve 48) sunulmuştur. Bir kare dişe sahip geofoam blok-Ottawa kumu ara yüzeyinde olduğu gibi (Şekil 4.9), dört kare dişli geofoam blok-Ottawa kum ara yüzey davranışı da sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0$ ,  $\delta > 0$ ) davranış göstermiştir. Bununla birlikte, dört kare dişli geofoam bloklar bir kare dişli bloklara göre dört kat daha fazla ara yüzey kenetlenme alanına sahip olmalarından dolayı ara yüzey kayma dayanımları tek kare dişli geofoam bloklara nazaran daha yüksek elde edilmiştir. Örneğin, 40 kPa düşey basınç altında tek kare dişli EPS19 geofoam-Ottawa kumu için ölçülen kayma dayanımı 28.8 kPa'dan (Şekil 4.9a) dört kare dişli EPS19 geofoam-Ottawa kumunda 30.6 kPa (Şekil 4.13a) olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, 40 kPa düşey basınç altında tek dişli EPS29 geofoam-Ottawa kumu için ölçülen katma dayanımı 29.1 kPa'dan (Şekil 4.9c) dört dişli EPS29 geofoam-Ottawa kumunda 36.7 kPa (Şekil

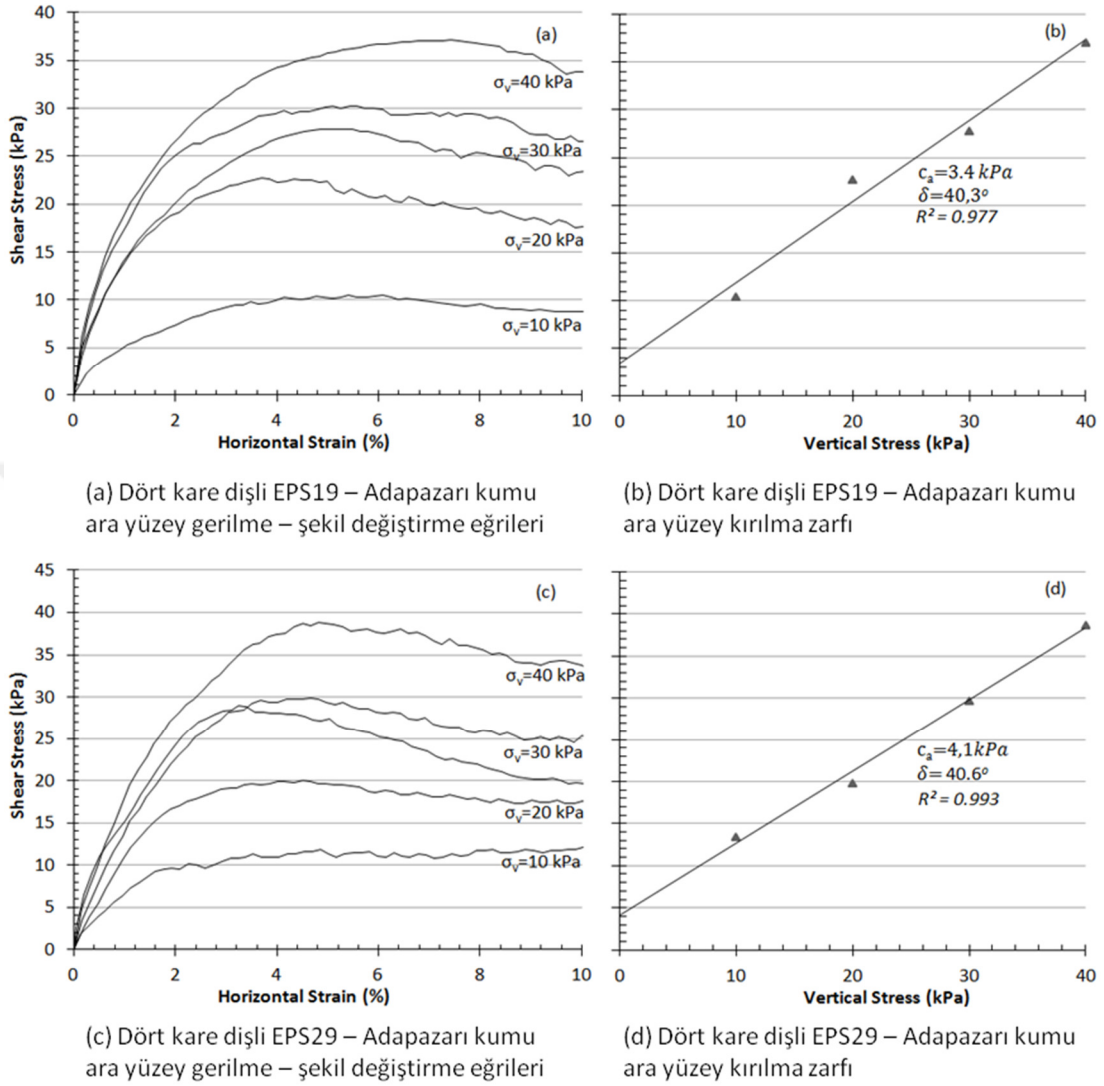


4.13c) olarak ölçülmüştür. Kayma dayanımındaki artış, ara yüzey kayma mukavemeti parametrelerine de yansımıştır. Dört kare dişli geofoam-Ottawa kumu ara yüzey mukavemet parametreleri bir kare dişli geofoamlara göre daha yüksek elde edilmiştir (Tablo 4.3). 30 kPa sabit düşey basınç altında yapılan dört kare dişli EPS19-Ottawa kumu ara yüz deneyi ve 10 kPa sabit düşey basınç altında yapılan dört kare dişli EPS29-Ottawa kumu ara yüz deneyleri tekrar edilebilir gerilme-şekil değiştirme eğrileri vermişlerdir (Şekiller 4.13a ve 4.13c).



Şekil 4.13 Dört kare dişli geofoam-Ottawa kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

EPS19 ve EPS29'dan oluşan dört kare dişli gefoam-Adapazarı kumu ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet zarfları Şekil 4.14'de verilmiştir. Ara yüzey mukavemet parametreleri hem Şekil 4.14b ve 4.14d'de hem de Tablo 4.3'de sunulmuştur. Dört kare dişli gefoam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deneylerinden elde edilen pik ara yüz mukavemet değerleri EK-1'de (EPS19-Adapazarı kumu için Deney No: 69, 70, 71 ve 72; EPS29-Adapazarı kumu için Deney No: 85, 86, 87 ve 88) sunulmuştur. Dört kare dişli gefoam blok-Ottawa kumu ara yüzeyinde olduğu gibi (Şekil 4.11), dört kare dişli gefoam blok-Adapazarı kumu ara yüzey davranışı da sürtünmesel-adhezyonsal ( $c_a > 0$ ,  $\delta > 0$ ) davranış göstermiştir. Bununla birlikte, dört kare dişli gefoam bloklar tek kare dişli bloklara göre dört kat daha fazla ara yüzey kenetlenme alanına sahip olmalarından dolayı adhezyon dayanımları tek kare dişli gefoam bloklara nazaran daha yüksek elde edilmiştir. Örneğin, bir kare dişli EPS19-Adapazarı kumu ara yüzey deneylerinden elde edilen adhezyon 1 kPa'dan (Şekil 4.10b) dört kare dişli EPS19-Adapazarı kumunda 3.4 kPa (Şekil 4.14b) değerine yükselmiştir. Benzer şekilde bir kare dişli EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey deneylerinden elde edilen adhezyon 2.5 kPa'dan (Şekil 4.10d) dört kare dişli EPS9-Adapazarı kumunda 4.1 kPa (Şekil 4.12d) değerine yükselmiştir. Ayrıca, EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey deneylerinden elde edilen ara yüzey sürtünme açısı bir kare dişli gefoam bloklarda 37.6 dereceden (Şekil 4.10d), dört kare dişli gefoam bloklarda 40.6 dereceye (Şekil 4.14d) yükselmiştir. Hem dört üçgen dişli EPS19 hem de EPS29-Adapazarı kumu ara yüz mukavemet deneyleri 30 kPa sabit düşey basınç altında tekrar edilmiş (Şekiller 4.14a ve 4.14c) ve benzer davranışlar göstermişlerdir.

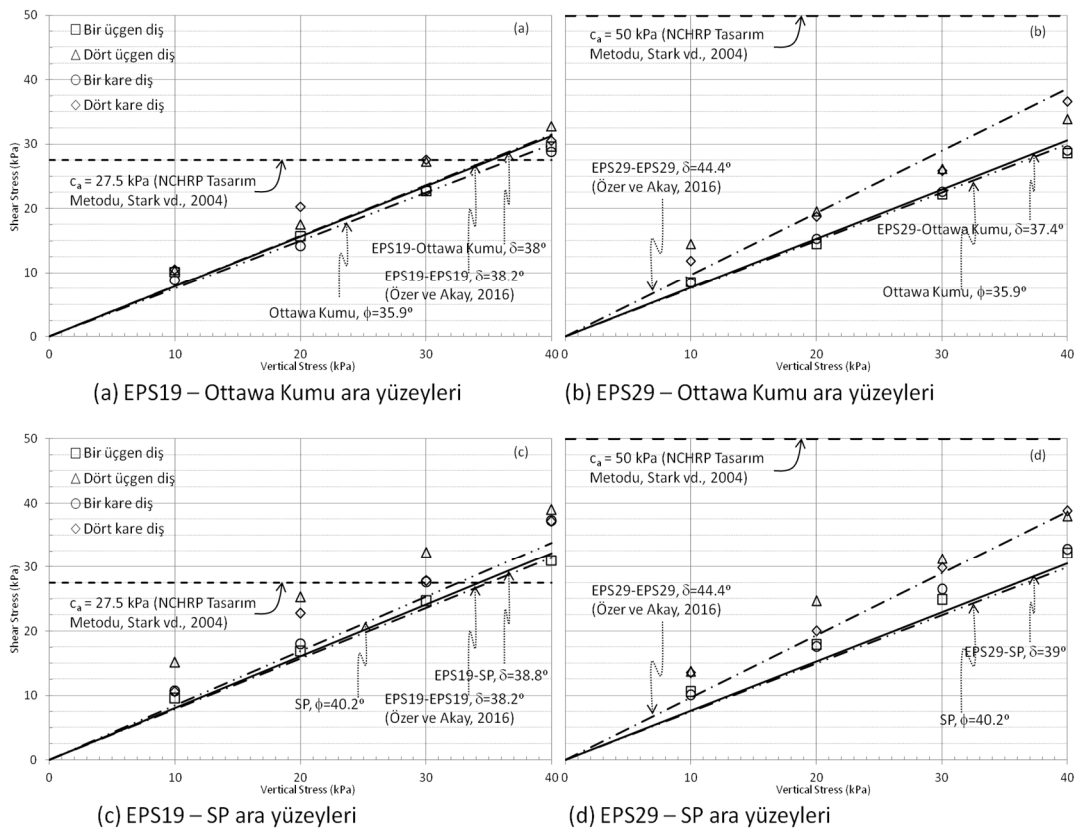


Şekil 4.14 Dört kare dişli geoföam-Adapazarı kumu ara yüz mukavemeti deney sonuçları

#### 4.4. Ara Yüzey Kırılma Zarflarının Değerlendirilmesi

Deneyle neticesinde elde edilen kırılma zarfları dişli geoföam blokların geleneksel geoföam blok-kum ara yüzüne olan etkisini incelemek amacıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tek üçgen dişli, tek kare dişli, dört üçgen dişli ve dört kare dişli geoföam bloklar kullanılarak elde edilen ara yüzey kırılma zarfları EPS19-Ottawa kumu, EPS29-Ottawa kumu, EPS19-Adapazarı kumu ve EPS29-Adapazarı kumu ara

yüzleri için sırası ile Şekil 4.15a, 4.15b, 4.14c ve 4.16d’de sunulmuştur. Bu şekilde, dişli geofoam bloklar-kum ara yüzlerine ek olarak, NCHRP tasarım metodu tarafından önerilen geofoam’un içsel kayma dayanımı değerleri (Stark vd., 2004) verilmiştir. Buna ek olarak, Ottawa kumunun (4.15a ve 4.15b) ve Adapazarı kumunun kırılma zarfları (4.15c ve 4.15d) Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15 Dişli geofoam blok-kum ara yüzey kırılma zarflarının karşılaştırılması

EPS19-Ottawa kumu ara yüzey kırılma zarfları grafiğinde (Şekil 4.15a) 40kPa sabit düşey basınç altında elde edilen tüm dişli EPS19-Ottawa ara yüzey kayma gerilmelerinin, NCHRP tasarım metodu tarafından önerilen geofoam’un içsel kayma dayanımı değerlerinden büyük değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca 30 kPa düşey basınç değerine kadar dört dişli (üçgen ve kare) EPS19-Ottawa kumu ara yüzey

dayanımları için, EPS19-EPS19 ve EPS19-Ottawa kumu ara yüzey dayanımlarından ve Ottawa kumunun kayma mukavemetinden daha büyük kayma dayanımları elde edilmiştir. Tüm düşey basınç değerlerinde bir dişli (üçgen ve kare) gefoamlarda EPS19-EPS19, EPS19-Ottawa kumu ara yüzey kayma dayanımlarına ve Ottawa kumu kayma mukavemetine çok yakın kayma dayanımları elde edilmiştir (Şekil 4.15a). EPS19-EPS19 ve EPS19-Ottawa kumu ara yüzey davranışları tamamen sürtünmesel iken, dişli EPS19-Ottawa kumu ara yüzey davranışları sürtünmesel-adhezyonsal elde edilmiştir. Diş geometrisine bakılmaksızın dört dişli gefoam bloklar geleneksel EPS19-Ottawa kumu ara yüzey davranışında iyileştirme sağlamış, hatta geleneksel gefoam otoyol dolgusu servis yükleri altında (40kPa) dişli EPS19-Ottawa ara yüzeyi için elde edilen ara yüzey kayma dayanımları NCHRP tarafından önerilen EPS19'un içsel kayma dayanımından daha fazla elde edilmiştir (Şekil 4.15a).

EPS29-Ottawa kumu ara yüzey kırılma zarfları grafiğinde (Şekil 4.15b) 0-40kPa sabit düşey basınç aralığında elde edilen tüm dişli EPS29-Ottawa kumu ara yüzey kayma gerilmelerinin, NCHRP tasarım metodu tarafından önerilen gefoam'un içsel kayma dayanımı değerlerinden küçük değerler elde edildiği görülmüştür. Bununla birlikte, tüm düşey basınç değerlerinde dört dişli (üçgen ve kare) EPS29-Ottawa için elde edilen ara yüzey kayma mukavemet parametreleri EPS29-Ottawa kumu ara yüzey kayma mukavemetinden ve Ottawa kumu kayma dayanımından daha büyük elde edilmiştir. 10 kPa düşey basınç değerinden büyük değerlerin tamamında dişli EPS-Ottawa ara yüzey kayma dayanımları EPS29-EPS29 ara yüzey mukavemet değerlerinden daha küçük elde edilmiştir. Dolayısı ile gefoam'un yoğunluğunun artması geleneksel bloklar arası ara yüzey sürtünmesi ve gefoam blokların içsel

kayma dayanımını artırmasına rağmen geofom-Ottawa kumu ara yüzey davranışlarında kayda değer artış görülmemektedir. Tüm düşey basınç değerlerinde bir dişli (üçgen ve kare) geofomlarda EPS29-Ottawa ara yüzey kayma dayanımlarına ve Ottawa çok yakın kayma dayanımları elde edilmiştir.

Tıpkı EPS19-Ottawa kumu ara yüzey davranışında olduğu gibi (Şekil 4.15a), EPS19-Adapazarı kumu ara yüzey kırılma zarflarından da görüleceği üzere (Şekil 4.15c) 40kPa sabit düşey basınç altında elde edilen tüm dişli EPS-Adapazarı kumu kayma gerilmelerinin, NCHRP tasarım metodu tarafından önerilen EPS19'un içsel kayma dayanımı değerlerinden büyük değerler elde edildiği görülmüştür. Ayrıca tüm düşey basınç değerlerinde dört dişli (üçgen ve kare) geofomlarda EPS19-EPS19, EPS19-Adapazarı kumu ara yüzey kayma dayanımlarından ve Adapazarı kumunun kayma mukavemetinden daha büyük kayma dayanımları elde edilmiştir. Tüm düşey basınç değerlerinde bir dişli (üçgen ve kare) geofomlarda EPS19-EPS19, EPS19-Adapazarı kumu ara yüzey kayma dayanımlarına ve Adapazarı kumunun kayma mukavemetine çok yakın kayma dayanımları elde edilmiştir. Dolayısıyla ile diş geometrisine bakılmaksızın dört dişli EPS19 geofom bloklar geleneksel EPS19-EPS19 ve EPS19-Adapazarı kumu ara yüzey mukavemetine göre ara yüzey davranışını önemli ölçüde artırmıştır. Dişli EPS19-Adapazarı kumu ara yüzey dayanımları (Şekil 4.15c) aynı düşey basınç seviyelerinde dişli EPS19-Ottawa kumu ara yüzey dayanımlarından (Şekil 4.15a) daha fazla elde edilmiştir. Bu durum Adapazarı kumunun Ottawa kumuna göre daha köşeli yapıya sahip olmasıyla açıklanabilir.

Tıpkı EPS29-Ottawa kumu ara yüzey davranışında olduğu gibi, EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey kırılma zarfları grafiğinde (Şekil 4.15d) 10-40kPa sabit düşey basınç aralığında elde edilen tüm dişli EPS29-Adapazarı kumu kayma gerilmelerinin, NCHRP tasarım metodu tarafından önerilen geofoam'un içsel kayma dayanımı değerlerinden küçük değerlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm düşey basınç değerlerinde dişli (üçgen ve kare) geofoamların tamamında EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey kayma dayanımlarından ve Adapazarı kumunun kayma mukavemetinden daha büyük kayma dayanımları elde edilmiştir. Dolayısı ile diş geometrisine bakılmaksızın dört dişli EPS29 geofoam bloklar EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey mukavemetine göre ara yüzey davranışını önemli ölçüde artırmıştır. Dişli EPS29-Adapazarı kumu ara yüzey dayanımları (Şekil 4.15d) aynı düşey basınç seviyelerinde dişli EPS29-Ottawa kumu ara yüzey dayanımlarından (Şekil 4.15b) daha fazla elde edilmiştir. Bu durum Adapazarı kumunun Ottawa kumuna göre daha köşeli yapıya sahip olmasıyla açıklanabilir.

## V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Dört dişli geofoam blok-kum ara yüzleri hem Ottawa kumunda hem de Adapazarı kumunda geometri ve yoğunluktan bağımsız olarak en yüksek ara yüzey kayma gerilmesi sonucunu vermektedirler.
- Dişli geofom blok konsepti geleneksel geofoam-kum ara yüzey davranışını tamamen sürtünmesel davranıştan, sürtünmesel-adhezyonsal davranışa çevirmiştir.
- Geleneksel geofoam blok-kum ara yüzeyinde olduğu gibi, dişli geofoam bloklar-kum ara yüz mukavemetleri de düşey gerilmenin fonksiyonudur ve düşey gerilmeler arttıkça ara yüzey kayma gerilmeleri de artmıştır.
- Kare dişlerde elde edilen ara yüzey kayma mukavemeti değerleri ile aynı geometri ve yoğunluktaki üçgen dişlerle elde edilen ara yüzey kayma gerilmeleri rastgele olarak birbirlerinde yüksek ya da düşük değer alabilmektedir. Bununla birlikte, aynı geometriye sahip tek diş yerine dört diş kullanılması durumunda geofoam-kum ara yüzey mukavemeti arttırmıştır.
- Önceki geofoam-kum arayüzü çalışmalarına benzer şekilde, geofoam blok – kum (hem Ottawa Kumu hem de Adapazarı kumu) ara yüzey mukavemetleri geofoam blok yoğunluğundan bağımsız benzer sonuçlar vermişlerdir
- Diş geometrisinden bağımsız, dört dişli geofoam blokların EPS19-kum (hem Ottawa kumu hem de Adapazarı kumu) ara yüzey mukavemetleri, servis yükleri



altında (40kPa) NCHRP tarafından önerilen EPS19'un içsel kayma dayanımından daha fazla elde edilmiştir. Bununla birlikte, EPS29-kum ara yüzey kesme testlerinde düşey basınç maksimum servis yüküne (75kPa) çıkartılmadığından EPS29-kum (hem Ottawa kumu hem de Adapazarı kumu) ara yüzey mukavemetleri NCHRP tarafından önerilen EPS29'un içsel kayma dayanımından daha düşük elde edilmiştir.

- Diş geometrisinden, sayısından ve kullanılan geofom blokların yoğunluğundan bağımsız olarak, Adapazarı kumu kullanılarak elde edilen ara yüz kayma dayanımları Ottawa kumu kullanılarak elde edilen ara yüz kayma dayanımlarından yüksek çıkmıştır. Bu durum Adapazarı kumunun köşeli dane yapısından kaynaklanmaktadır.

Önceki çalışmalarda geleneksel geofom-geofom ara yüzey davranışını iyileştirmek amacıyla önerilen kilitli ara yüzey konsepti neticesinde kilitli blok ara yüz mukavemetlerinin geofom'un içsel kayma mukavemetine benzer sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur (Özer vd., 2015; Özer ve Akay, 2016). Bu çalışmada, dört üçgen ve dört kare dişli EPS19-kum ara yüzey deneyleri neticesinde elde edilen ara yüzey kayma dayanımlarının EPS19'un içsel kayma mukavemeti değerinden yüksek olması bu blokların kilitli geofom hafif dolgu sisteminden oluşan otoyol dolgularının tabanında (temel tesviye kumu üzerinde) ara yüzey kayma mukavemetini artırmak amacıyla kullanılmasının mümkün olacağını göstermiştir. Bu tür uygulamalar yüksek yanal kuvvete maruz bölgelerde yapılacak olan geofom hafif dolgu sistemlerinde geleneksel yöntemlere göre tercih sebebi olabilirler. Bu çalışmada kullanılan

numuneler kilitli geofam blok-kum ara yüzey mukavemet davranışının anlaşılmasında temel teşkil etmişlerdir. Önceki çalışmalar numune boyutunun geofam ara yüzey mukavemetine olan etkisinin olmadığını belirtsele dahi prototip kilitli geofam blok-kum ara yüzlerinin büyük ölçek ara yüzey kesme deneyleri yapılarak çalışmada önerilen değerlerin tasarımda kullanılmadan önce test edilmesi gerekmektedir.

Dişli geofam-kum arayüzünün çalışma mekanizması hakkında daha detaylı bilgiler elde etmek için benzer çalışmaların farklı tanecik yapılı kumlar (köşeli, yuvarlak) ile farklı su muhtevalarında ve değişik geometrili dişlerle çalışılması gerekmektedir.

## VI. KAYNAKLAR

Aabøe, R., 2011. 40 years of experience with the use of EPS geofoam blocks in road construction. Proceedings of 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway.

Amini, Z. A., 2014. Dynamic characteristics and seismic stability of expanded polystyrene geofoam embankments, Ph. D. Dissertation. University of Utah, Salt Lake City, Utah.

ASTM C778., 2013. Standard Specification for standard sand. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM Standard D 854, 2014. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM Standard D1621, 2010. 10 Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM Standard D3080, 2011. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained condition. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM Standard D4253, 2016. Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA

ASTM Standard D4254, 2016. Standard Terminology for Geosynthetics. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA

ASTM Standard D4439, 2015. Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA

ASTM Standard D5321, 2014. Standard test method for determining the shear strength of soil-geosynthetic and geosynthetic-geosynthetic interfaces by direct shear. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM Standard D6817, 2015. Standard specification for rigid cellular polystyrene geofoam. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

- ASTM Standard D6913, 2009. Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soil using sieve analysis. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- Atmatzidis, D. K., Missirlis, E. G., & Theodorakopoulos, E. B., 2001. Shear Resistance on EPS Geofom Block Surfaces. EPS Geofom 2001: 3rd Annual Conference, Geotechnical Engineering Laboratory, University of Patras, Greece.
- Bartlett, S., Negussey, D., Kimble, M. & Sheeley, M., 2000. Use of geofom as super-lightweight fill for I-15 reconstruction, Transportation Research Record 1736, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Barrett, J. C. ve Valsangkar, A. J., 2009. Effectiveness of connectors in geofom block construction. *Geotextiles and Geomembranes*, 27 (3), 211–216.
- Barrett, J. C., 2008. Effectiveness of connectors in geofom block construction. M.Sci. Thesis. The University of New Brunswick, New Brunswick, Canada.
- Bartlett, S.F., Farnsworth, C., Negussey, D. & Stuedlein, A.W., 2001. Instrumentation and long-term monitoring of geofom embankments, I-15 reconstruction project, Salt Lake City, Utah. In: *Proceedings of the 3rd International EPS Geofom Conference*, Salt Lake City, Utah, USA.
- Beinbrech, G. & Hillmann, R., 1997. EPS in road construction—Current situation in Germany. *Geotextiles and Geomembranes*, 15 (1–3), 39–57.
- Cerato, A. B. & Lutteneger, A. J., 2006. Specimen size and scale effects of direct shear box tests of sands, *Geotechnical Testing Journal*, 29 (6), 1-10.
- Duškov, M. & Nijhuis, E., 2011. Lightweight road embankments for the crossover og the N207 over the railway Alphen A/D Rijn-Gouda. *Proceedings of the 4th International Conference on Geofom Blocks in Construction Applications*, EPS 2011, Lillestrøm, Norway.
- Farnsworth, C. B., Bartlett, S. F., Negussey, D., & Stuedlein, A. W., 2008. Rapid construction and settlement behavior of embankment systems on soft foundation soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.134, No.3, 289-301.
- Herle, V., 2011. Design and monitoring of EPS embankment on D1 near Ivanovice in the Czech Republic. *Proceedings of the 4th International Conference on Geofom Blocks in Construction Applications*, EPS 2011, Lillestrøm, Norway.
- Horvath, J. S., 2010. Emerging trends in failures involving EPS-block geofom fills, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24 (4), 365-372.

Koç, Ş. 2015. Eps blok gefoam ve kum + eps boncuk karışımlarının sızmaya maruz kumlu şevlerde kullanılmasının laboratuvar fiziksel şev modelleri ile araştırılması. Yüksek lisans Tezi, Okan Üniversitesi, İstanbul

Koerner, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics*, 6th Ed., Xlibris Corporation, Bloomington, IN.

Kubota T., 2011. Case history of EDO-EPS method in Japan. Proceedings of 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway.

Lin, L., Chen F., Ho, T. & Wie, J., 2001. The development and application of EPS construction method in Taiwan. Proceedings of the 3rd International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2001, Salt Lake City, Utah, USA.

Liu, C-N., Zornberg, J. G., Chen, T-C., Ho, Y-H. & Lin, B-H., 2009. Behavior of geogrid-sand interface in direct shear mode, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135 (12), 1863-1871.

Masad, E., Taha, R., Ho, C. & Papagiannakis, T., 1996. Engineering properties of tire/soil mixtures as lightweight fill, *Journal of Geotechnical Testing Journal*, 19 (3), 297-304.

Negussey, D., Anasthas, N. & Srirajan, S., 2001. Interface friction properties of EPS geofom." In: Proceedings of the 3rd International EPS Geofom Conference, Salt Lake City, Utah, USA.

Norwegian Road Research Laboratory (NRRL), 1992. Use of expanded polystyrene in road embankments-Design, construction and quality assurance. Public Roads Administration, Oslo, Norway.

Özer, A. T., Akay, O & Ateş, Y., 2016. Shear strength properties of interlocked EPS-block geofom-Ottawa sand interface, 4<sup>th</sup> International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 4. ICNDSMGE-ZM2016, 2-4 June 2016, Near East University, Nicosia, North Cyprus, 111-118.

Özer, A. T. & Akay, O, 2016. Interface shear strength characteristics of interlocked EPS-block geofom, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (4).

Özer, A. T., Akay, O & Ateş, E., 2015. Effect of displacement rate on the interface shear strength properties of interlocked EPS-block geofom, IRF Europe & Central Asia Regional Congress, September 15-18, 2015-Istanbul, Turkey.

Özer, A. T. & Akay, O., 2014. Use of interlocked EPS block geofom for sandy slopes subjected to seepage flow. Proceedings of 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany.

Özer, A. T., Kiziroğlu, S., Akyol, Y. & Ateş, E., 2012. Yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilecek köprü yaklaşım dolguları için zemin iyileştirme metotlarının ekonomik analizi, Beşinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, G5 2012, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Mayıs 24-25, 2012, 165-176.

Özer, A. T., 2011. Yol inşaatlarında EPS blok kullanımı. EPS Haber, EPSDER Yayın Organı, Yıl: 1, Sayı: 2, 12-13.

Papacharalampous, G., & Sotiropoulos, E., 2011. First time application of expanded polystyrene in highway projects in Greece. In: Proceedings of 4th International Conference on Geofom Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway.

Perrier, H., 1997. Ultra light cellular structure-French approach. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 15 (1-3): 59-76.

Saarelainen & Kangas., 2001. Behavior of an old EPS light-weight fill at Vammala, Finland. Proceedings of the 3rd International Conference on Geofom Blocks in Construction Applications, EPS 2001, Salt Lake City, Utah, USA.

Sadek, S., Najjar, S., S. & Freiha, F., 2010. Shear strength of fiber-reinforced sands, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 136 (3), 490-499.

Stark, T.D., Arellano, D., Horvath, J.S. & Leshchinsky, D., 2004a. Geofom applications in the design and construction of highway embankments. NCHRP Web Document 65 (Project 24- 11), ([http://trb.org/publications/nchrp/nchrp\\_w65.pdf](http://trb.org/publications/nchrp/nchrp_w65.pdf)), Transportation Research Board, Washington, D.C.

Stark, T.D., Arellano, D., Horvath, J.S. & Leshchinsky, D., 2004b. Guideline and recommended standard for geofom applications in highway embankments. NCHRP Report 529, ([http://trb.org/publications/nchrp/nchrp\\_rpt\\_529.pdf](http://trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_529.pdf)), Transportation Research Board, Washington, D.C.

Sheeley, M. & Negussey, D., 2000. An investigation of Geofom interface strength behavior. American Society of Civil Engineers, Geotechnical Special Publication No. 112, Proceedings of Soft Ground Technology Conference, Noorwijkerhout, The Netherlands, 292-303.

Spasojević, S., Mitrović, P., Vujanić, V., Jotić, M., & Berisavljević, Z., 2011. The application of EPS in geotechnical practice: a case study from Serbia. Proceedings of 4th International Conference on Geofom Blocks in Construction Applications, Lillestrøm, Norway.

Thompsett, D. J., Walker, A., Radley, R. J. & Grieveson, B. M. 1995. Design and construction of expanded polystyrene embankments: practical design and methods as used in the United Kingdom. Construction and Building Materials, 9, No. 6, 403-411.

Xanaki, V. C. & Athanasopoulos, G. A., 2001. Experimental investigation of the interface mechanism at the EPS geofilm-sand interface by direct shear testing. *Geosynthetics International*, 8(6), 471–499.

Youwai, S., Kongkitkul, W., Sripobink, T. & Meesamuth, N. (2011). Application of EPS for remedial work of bridge bearing unit on Bangkok Soft Clay: A case study. *Proceedings of the 4th International Conference on Geofilm Blocks in Construction Applications*, EPS 2011, Lillestrøm, Norway.



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yusuf ATEŞ  
Doğum Yeri ve tarihi : Aydın / Söke- 08.04.1978

## EĞİTİM DURUMU

2014-2016 Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı,  
1999-1995 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
1995– 1988 Söke Hilmi Fırat Anadolu Lisesi  
Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

## İŞ DENEYİMİ

- 2005 –2015 Ateşyapı İnşaat San Tic Ltd Şti- İstanbul  
Şirket Ortağı, Genel Müdür  
Endüstriyel binaların projelendirmesi ve danışmanlık hizmetleri,
- 2003 –2005 GEMAK Tersanesi- İstanbul  
Planlama Departmanı, İnşaat Mühendisi  
Tersane bünyesinde yapılan rıhtım ve iskele yapıları inşaatlarının kontrollüğü,
- 2002 –2003 TEM Mühendislik-İstanbul  
Proje Mühendisi  
Çelik konstrüksiyon ve betonarme yapıların statik hesap ve boyutlandırmaları.
- 2000-2002 Aykar Mühendislik-İstanbul  
Proje Mühendisi  
Çelik konstrüksiyon ve betonarme yapıların statik hesap ve boyutlandırmaları.

## İLETİŞİM

atesyusuf@gmail.com



## EK-I

Tablo EK.1. Deney sonuçları özet tablosu

Deney no	Alt Malzeme	Üst Malzeme	$\sigma$ kPa	$\tau_{\text{maksimum}}$ kPa	$\phi / \delta$ (derece)	$c / c_a$ (kPa)
1	Ottawa kumu $e=0.51$	Ottawa kumu $e=0.51$	10	8.97	35.9	0
2			20	14.25		
3			30	21.15		
4			40	29.11		
5	Adapazarı kumu $e=0.66$	Adapazarı kumu $e=0.66$	10	9.3	40.2	0
6			20	16.79		
7			30	26.42		
8			40	32.8		
9	EPS19 Düz	Ottawa kumu $e=0.51$	10	8.18	38	0
10			20	15.05		
11			30	23.77		
12			40	31.27		
13	EPS29 Düz	Ottawa kumu $e=0.51$	10	9.62	37.4	0
14			20	15.8		
15			30	23.24		
16			40	29.34		
17	EPS19 Bir Üçgen Dış	Ottawa kumu $e=0.51$	10	10.13	33.2	3.2
18			20	15.78		
19			30	22.8		
20			40	29.61		
21	EPS19 Dört Üçgen Dış	Ottawa kumu $e=0.51$	10	10.47	37.6	2.8
22			20	17.54		
23			30	27.32		
24			40	32.84		
25	EPS19 Bir Kare Dış	Ottawa kumu $e=0.51$	10	8.83	34.5	1.5
26			20	14.2		
27			30	22.96		
28			40	28.81		
29	EPS19 Dört Kare Dış	Ottawa kumu $e=0.51$	10	10.53	38.8	3.2
30			20	20.27		
31			30	27.67		
32			40	30.61		

Deney no	Alt Malzeme	Üst Malzeme	$\sigma$ kPa	$\tau_{\text{maksimum}}$ kPa	$\phi / \delta$ (derece)	$c / c_a$ (kPa)
33	EPS29 Bir Üçgen Diş	Ottawa kumu e=0.51	10	8.58	34.2	1.5
34			20	14.54		
35			30	22.28		
36			40	28.63		
37	EPS29 Dört Üçgen Diş	Ottawa kumu e=0.51	10	14.49	33	7.3
38			20	19.6		
39			30	26.17		
40			40	33.96		
41	EPS29 Bir Kare Diş	Ottawa kumu e=0.51	10	8.41	34.7	1.6
42			20	15.39		
43			30	22.67		
44			40	29.08		
45	EPS29 Dört Kare Diş	Ottawa kumu e=0.51	10	11.87	39.2	2.9
46			20	18.81		
47			30	25.91		
48			40	36.69		
49	EPS19 Düz	Adapazarı kumu e=0.66	10	9.52	38.8	0
50			20	16.86		
51			30	24.66		
52			40	31.01		
53	EPS29 Düz	Adapazarı kumu e=0.66	10	10.76	39	0
54			20	16.24		
55			30	23.96		
56			40	31.97		
57	EPS19 Bir Üçgen Diş	Adapazarı kumu e=0.66	10	8.86	40.1	0.4
58			20	17.19		
59			30	25.29		
60			40	34.18		
61	EPS19 Dört Üçgen Diş	Adapazarı kumu e=0.66	10	15.19	37.1	8.8
62			20	25.25		
63			30	32.27		
64			40	39.04		
65	EPS19 Bir Kare Diş	Adapazarı kumu e=0.66	10	10.63	41.8	1
66			20	18		
67			30	27.67		
68			40	37.26		

Deney no	Alt Malzeme	Üst Malzeme	$\sigma$ kPa	$\tau_{\text{maksimum}}$ kPa	$\phi / \delta$ (derece)	$c / c_a$ (kPa)
69	EPS19 Dört Kare Diş	Adapazarı kumu $e=0.66$	10	10.57	40.3	3.4
70			20	22.78		
71			30	27.87		
72			40	37.14		
73	EPS29 Bir Üçgen Diş	Adapazarı kumu $e=0.66$	10	10.56	35.7	3.4
74			20	17.84		
75			30	24.93		
76			40	32.17		
77	EPS29 Dört Üçgen Diş	Adapazarı kumu $e=0.66$	10	13.71	38.5	7.1
78			20	24.73		
79			30	31.25		
80			40	38.02		
81	EPS29 Bir Kare Diş	Adapazarı kumu $e=0.66$	10	10.09	37.6	2.5
82			20	17.62		
83			30	26.51		
84			40	32.78		
85	EPS29 Dört Kare Diş	Adapazarı kumu $e=0.66$	10	13.56	40.6	4.1
86			20	19.97		
87			30	29.82		
88			40	38.8		