

## GELENEKSEL GEOFOAM BLOK OTOYOL DOLGUSUNDAKİ ARA YÜZLER VE MUKAVEMETLERİ

A. Tolga ÖZER<sup>1</sup>

Onur AKAY<sup>2</sup>

Erdal USTURBELLİ<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Expanded polystyrene (EPS) block (geofoam block) is used to prevent total and differential settlement of highway embankments constructed on soft soil sites. The interface shear strengths of all the interfaces within the conventional geofoam embankments are considered as design parameters in stability analysis under horizontal driving forces. In addition to the interfaces in between geofoam blocks (geofoam blocks-geofoam blocks) within the embankment, interfaces between geofoam blocks and bedding sand (geofoam block-sand) at the foundation level and interfaces between geofoam blocks and reinforced concrete roadway load distribution slab (geofoam block-concrete) at the top level of blocks are present in a traditional geofoam block highway fill. The interface shear strengths of all three interfaces are quantified by using direct shear testing technique. In order to investigate the effect of material hardness on stress-strain behavior and shear strength parameters, two different densities of geofoam blocks (EPS19 and EPS29) were used. Tests were conducted under four different constant normal stresses (10, 20, 30 and 40 kPa) and a constant displacement rate of 1 mm/min. The interface shear stress-strain curves and interface shear strength properties (interface friction angle,  $\delta$  and adhesion,  $c_a$ ) were reported for all the tests. While interface shear strength mechanism of geofoam block-geofoam block and geofoam block-sand interfaces was purely frictional ( $c_a=0$  and  $\delta>0$ ), geofoam block-concrete interface exhibited frictional-adhesional ( $c_a>0$  and  $\delta>0$ ) behavior regardless of the density of the blocks.

### ÖZET

Genleştirilmiş polistiren (EPS) bloklar (geofoam bloklar) yumuşak zeminler üzerine inşa edilecek otoyol dolgularındaki toplam ve farklı oturmaları önlemek amacıyla kullanılırlar. Geleneksel geofoam otoyol dolgularının yanal yükler altındaki tasarımlarında ara yüzlerin kayma dayanımları bir tasarım parametresi olarak göz önüne alınır. Geleneksel geofoam otoyol dolgusunda blokların kendi aralarındaki ara yüzlerine (geofoam blok-geofoam blok) ek olarak, dolgu taban kotunda bloklarla temel tesviye kumu arasındaki ara yüz (geofoam blok-kum) ve dolgu üst kotunda bloklarla betonarme yük yayma platformu arasındaki ara yüz (geofoam blok-beton) mevcuttur. Bu çalışmada geleneksel geofoam dolgularındaki üç farklı ara yüzeyin kayma mukavemeti kesme kutusu deneyleri ile araştırılmıştır. Geofoam blok yoğunluğunun her üç ara yüzeyin gerilme-şekil değiştirme

<sup>1</sup> Doç. Dr., ÖZER, A.T., Okan Üniversitesi, tolga.ozero@okan.edu.tr

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr., AKAY, O., Okan Üniversitesi, onur.akayo@okan.edu.tr

<sup>3</sup> İnşaat Mühendisi, USTURBELLİ, E., Beykoz Belediyesi, eusturbelli@gmail.com

davranışına ve mukavemet parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla iki farklı yoğunlukta (EPS19 ve EPS29) geofoam bloklar kullanılmıştır. Deneyler dört farklı düşey gerilme (10, 20, 30 ve 40 kPa) altında ve sabit 1 mm/dk kesme hızında tamamlanmıştır. Her bir deney için ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve ara yüzey mukavemet parametreleri (ara yüzey sürtünme açısı,  $\delta$  ve adezyon,  $c_a$ ) rapor edilmiştir. Geofoam blok-geofoam blok ve geofoam blok-kum ara yüzey sürtünme mekanizması blok yoğunluğundan bağımsız sadece sürtünmesel mukavemetten ibaret iken ( $c_a=0$  ve  $\delta>0$ ) geofoam blok-beton ara yüzeyi ise sürtünmesel-adezyonsal ( $c_a>0$  ve  $\delta>0$ ) davranış göstermektedir.

## 1. GİRİŞ

Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofoam blok) dane çapları 0.5-1.0 mm arasında değişen polistiren granüllerin (Şekil 1.a ve 1.b) ön şişirme (Şekil 1.c) sonrasında dinlendirilerek kalıplama (Şekil 1.d) aşamaları neticesinde blok formunda üretilen (Şekil 1.e), yoğunlukları  $11.2 \text{ kg/m}^3$  (EPS12) ile  $45.7 \text{ kg/m}^3$  (EPS46) arasında değişen (ASTM D6817, 2015) ve geoteknik uygulamalarda kullanılan hafif ve kapalı gözenekli bir polimer malzemedir (ASTM D4439, 2015). Blok boyutları üreticilerin kalıp ölçülerine (Şekil 1.d) bağlı olup, ülkemizde boyutları 50 – 100 cm yüksekliğinde 100 – 120 cm genişliğinde ve 220 - 500 cm uzunlukta değişen bloklar üretilmektedir.

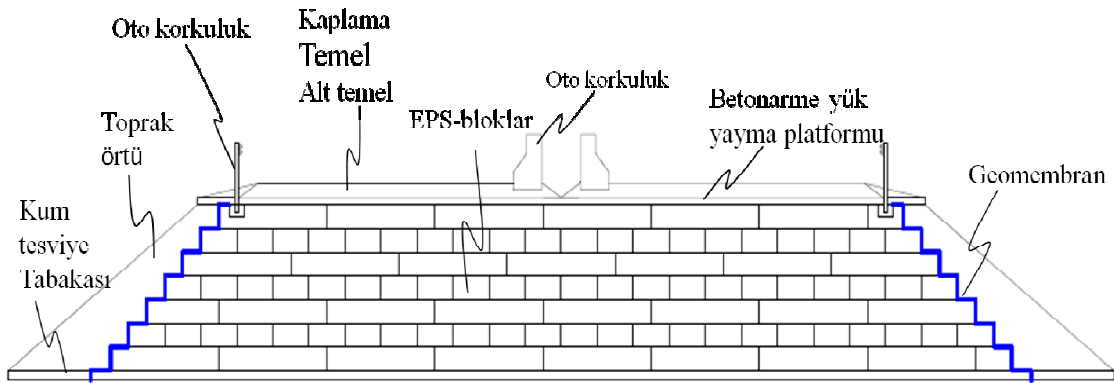
Oturma potansiyeli yüksek zeminler üzerine inşa edilen otoyol dolgularının ve köprü yaklaşım rampalarının imalatında geofoam bloklar tercih edilmektedirler (Özer, 2011; Özer vd., 2012). Ayrıca, trafik ihtiyacının artmasıyla birlikte mevcut otoyol ağlarına şerit ilavesi projelerinde de geofoam bloklar farklı oturmaların önlenmesi amacıyla kullanılmaktadırlar (Özer, 2016). Geofoam teknolojisi ilk olarak Norveç Kara Yolları İdaresi (NPRA) tarafından 1972 yılında Norveç'te Flom Köprüsü sahasında otoyol hafif dolgusu olarak kullanılmış ve trafiğe açıldığı günden günümüze geçen yaklaşık 45 yıllık sürede servis yükleri altında başarı ile hizmet etmektedir (Aabøe 2011). Günümüzde geofoam bloklar otoyol dolgusu olarak çeşitli ülkelerde yaygınlıkla kullanılan bir teknoloji haline ulaşmıştır (NRL, 1992; Thompsett vd., 1995; Beinbrech ve Hillmann, 1997; Perrier, 1997; Bartlett vd., 2000; Bartlett vd., 2001; Saarelainen ve Kangas, 2001; Lin vd., 2001; Stark vd., 2004a; 2004b; Farnsworth vd., 2008; Duškov ve Nijhuis, 2011; Herle, 2011; Kubota, 2011; Spasojević vd., 2011; Papacharalampous ve Sotiropoulos, 2011; Youwai vd., 2011).

Geofoam bloklardan inşa edilmiş geleneksel otoyol dolgularının (Şekil 2) deprem yükleri, rüzgar ve hidrostatik yükler gibi yanal yükler altındaki tasarımlarında bloklar arasındaki (geofoam blok-geofoam blok) ara yüzey sürtünme mukavemeti tasarım parametresi olarak karşımıza çıkar. Buna ek olarak, bloklarla üst betonarme yük yayma platformu arasındaki (geofoam blok-beton) ara yüzey ve bloklar ile temel tesviye kumu (geofoam blok-kum) ara yüzündeki kayma dayanımları da tasarımda kullanılırlar.

Bu çalışmada bahsi geçen ara yüzeylerin mukavemet parametreleri laboratuvar ara yüzey kesme mukavemeti deneyleri ile belirlenmiş, ayrıca geofoam blok dansitesinin ara yüzey kesme davranışına (ara yüzey gerilme – şekil değiştirme) olan etkisi tartışılmıştır.



Şekil 1. EPS blok üretim aşamaları (a-b) 0.2 – 0.5 mm çapında polistiren hammadde (Yer: Austrotherm, Dilovası/Kocaeli; Fotoğraf: A. T. Özer, Tarih: 17.08.2016) (c) ön şişirme işlemi sonucunda elde edilen çapları 1 mm – 4 mm arasında değişen EPS boncuklar (Koç, 2015) (d) ön şişirilme işleminden sonra kalıp (Yer: Austrotherm, Dilovası/Kocaeli; Fotoğraf: A. T. Özer, Tarih: 17.08.2016) (e) imalat sonrası boyutsal kararlılığa erişmek için stok sahasında dinlendirilen geofoam bloklar (Yer: Austrotherm, Turgutlu/Manisa; Fotoğraf: A. T. Özer, Tarih: 11.02.2017)



Şekil 2. Geleneksel trapez kesit geofoam blok otoyol dolgusu detayları (Ateş, 2016)

## 2. MALZEME VE METOT

### 2.1. Malzeme

Geofoam blok yoğunluğunun ara yüzey mukavemetleri üzerinde etkilerini araştırmak amacıyla deneylerde 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 geofoam blok kullanılmıştır. EPS19 ve EPS29'un eksenel gerilme-şekil değiştirme davranışını belirlemek üzere, ASTM D1621 (2010) uyarınca her yoğunluktan dört numune ile basınç dayanım testleri yapılmıştır (Özer ve Akay 2016). Basınç dayanımı testlerinde elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden %1, %5 ve %10 birim boy kısaltmalara karşılık gelen basınç mukavemetleri ile Elastisite modülü Tablo 1'de özetlenmiştir (Özer ve Akay 2016). Ayrıca, bu tabloda ASTM D6817 (2015) tarafından ortaya konan sınır değerler de karşılaştırma amacıyla yer almaktadır.

Deneylerde geleneksel geofoam blok otoyol dolgularının tabanında kullanılan tesviye kumunu temsil etmesi açısından Adapazarı bölgesinden elde edilen kötü derecelendirilmiş kum (Adapazarı Kum) kullanılmıştır. Kumun fiziksel özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

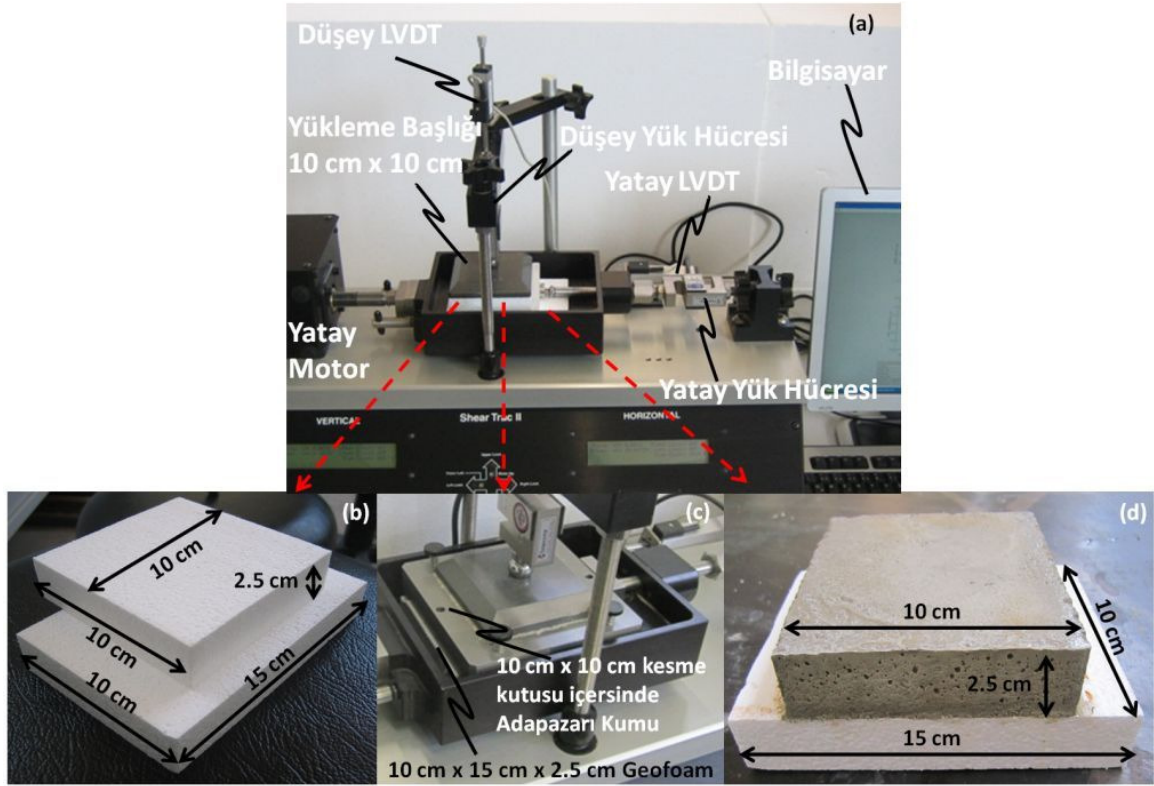
Tablo 1. Çalışmada kullanılan geofoam blokların mekanik özellikleri (Özer ve Akay, 2016)

Özellik	Tanım ve birim	Laboratuvar test değerleri minimum-maksimum (ortalama, standart sapma)	ASTM D6817 (2015) tanımı	ASTM D6817 (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 kısaltmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_1$ (kPa)	38.0-45.5 (40.21, 3.54)		40
%5 Birim boy kısaltmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_5$ (kPa)	90.2-96.8 (93.9, 2.86)		90
%10 Birim boy kısaltmaya 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 kısaltmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_1$ (kPa)	85.8-103.2 (95.2, 7.41)		75
%5 Birim boy kısaltmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	$\sigma_5$ (kPa)	182.5-188.6 (186.6, 2.7)		170
%10 Birim boy kısaltmaya 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)		---

Tablo 2. Adapazarı Kumunun Fiziksel Özellikleri (Ateş, 2016)

Özellik	Tanım & Birim	Değer
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)	SP
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%)	99
Etkin Çap	D <sub>10</sub> (mm)	0.16
Ortalama Çap	D <sub>50</sub> (mm)	0.40
Üniformluk Katsayısı	C <sub>u</sub> [-]	3.13
Eğrilik Katsayısı	C <sub>c</sub> [-]	0.66
Yoğunluk	G <sub>s</sub> [-]	2.66
Maksimum Boşluk Oranı	e <sub>max</sub> [-]	0.91
Minimum Boşluk Oranı	e <sub>min</sub> [-]	0.61
Ara yüz deneylerinde kullanılan rölatif sıkılık	D <sub>r</sub> (%)	86
Ara yüz deneylerinde kullanılan boşluk oranı	e [-]	0.66

Geofoam blok-geofoam blok, geofoam blok-kum ve geofoam blok-beton ara yüzey mukavemetini belirlemek için herhangi bir standart deney mevcut olmamakla birlikte geosentetik-geosentetik ve geosentetik-zemin ara yüzey mukavemetlerini basit kesme metoduna göre (ASTM D3080, 2011) belirleyen ASTM D5321 (2014) metodu, geofoam-geofoam ve kilitli geofoam blok yüzeyleri arasındaki ara yüzey mukavemet davranışının belirlenmesinde kullanılmıştır (Özer ve Akay, 2014; Özer vd., 2015; Özer ve Akay, 2016; Özer vd., 2016). Benzer şekilde, bu çalışmada da ASTM D5321 (2014) metodu kullanılarak (Şekil 3) ara yüzey mukavemetleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Ara yüzey mukavemet deney sistemi ve numune boyutları (a) basit kesme deney düzeneği (b) geofoam blok-geofoam blok (c) geofoam blok-kum (d) geofoam blok-beton

Horvath (2010) gefoam dolgu sisteminin maruz kalacağı servis yükleri altındaki tasarımında meydana gelecek deformasyonun gefoam bloğun %1 birim boy kısalmasına karşı gelen basınç mukavemetinden fazla olmamasını tavsiye etmektedir. Buna göre çalışmada kullanılan en fazla düşey gerilme, ASTM D6817'e göre EPS 19'un %1 birim boy kısalmasına karşı gelen basınç mukavemeti olan 40 kPa (Tablo 2) olarak alınmıştır. Ara yüz mukavemet deneyleri 10, 20, 30 ve 40 kPa düşey basınç altında yapılmıştır. Bu deney süresi boyunca uygulanan sabit düşey gerilmeler, 10 cm x 10 cm boyutlarındaki yükleme başlığı ile aktarılmıştır (Şekil 3).

Geofoam blok-geofoam blok ara yüzey mukavemetini belirlemede yatayda ara yüzey kayma düzlemi yaratmak için iki farklı gefoam blok üst üste gelecek şekilde deney yapılmıştır (Şekil 3b). Altta 2.5 cm kalınlığında 15 cm uzunluğunda ve 10 cm genişliğinde ve üzerinde ise 2.5 cm kalınlığında 10 cm uzunluğunda ve 10 cm genişliğinde blok kullanılarak 10 cm x 10 cm boyutlarında ara yüzey kesme düzlemi yaratılmıştır (Şekil 3b). Bu numune boyutları ülkemizde üretilen blok boyutlarının yaklaşık 1:20 ölçeğini temsil etmektedir.

Geofoam blok-kum ara yüzey deneylerinde ise düşey yük 10 cm x 10 cm boyutlarındaki yükleme başlığı arayıcılığı ile kesme kutusunun üst yarısındaki kuma uygulanmıştır (Şekil 3c). Deneylerde kullanılan Adapazarı Kumu %86 rölatif sıklıkta kesme kutusunun üst yarısına 2.5 cm kalınlığında 15 cm uzunluğunda ve 10 cm genişliğindeki gefoam blok üzerine yerleştirilerek 10 cm x 10 cm boyutlarında gefoam blok-kum ara yüzeyi elde edilmiştir (Şekil 3c). Kırılma kriteri olarak maksimum ara yüzey kayma gerilmesi ya da %10 yanal birim deformasyona denk gelen ara yüzey kayma gerilmesi alınmıştır (ASTM D3080, 2011).

ASTM D3080'e göre kesme kutusunun genişliği 50 mm'den az olmamak üzere, kullanılan zemin numunesinin en büyük dane çapının on katından az olmamalıdır. Pompa ile iletilen betonlarda en büyük dane boyutu 31.5 mm ve 22.4 mm olan ince ve iri agregadan oluşan karışık (tüvenan) malzemenin, pompa ile iletmeye en uygun dane çapı analizine göre yüzde 29 – 48'inin 8 mm'den büyük danelerden oluşması gerekmektedir (TS802, 2009). Bu agregalar için ara yüzey kayma deneyleri sırasında kullanılan 10 cm x 10 cm ara yüzey kesit alanı yeterli olmamaktadır. Dolayısı ile beton-geofoam ara yüzeyini temsil etmesi açısından TS EN 196-1'e göre standart CEN kumu (en büyük dane boyutu 2 mm) kullanılarak hazırlanan harç ile yapılmıştır. TS EN 196-1'e göre harcın 7 ve 28 günlük basınç mukavemeti sırasıyla 23 ve 31 MPa olarak belirlenmiştir. 10 cm x 10 cm boyutlarında ayrılabilen kalıp kullanılarak 2.5 cm kalınlığında 15 cm uzunluğunda ve 10 cm genişliğindeki gefoam blok üzerine dökülen ve 28 gün uygun koşullarda kür edilen numuneler üzerinde (Şekil 3d) ara yüzey kayma mukavemeti deneyleri yapılmıştır.

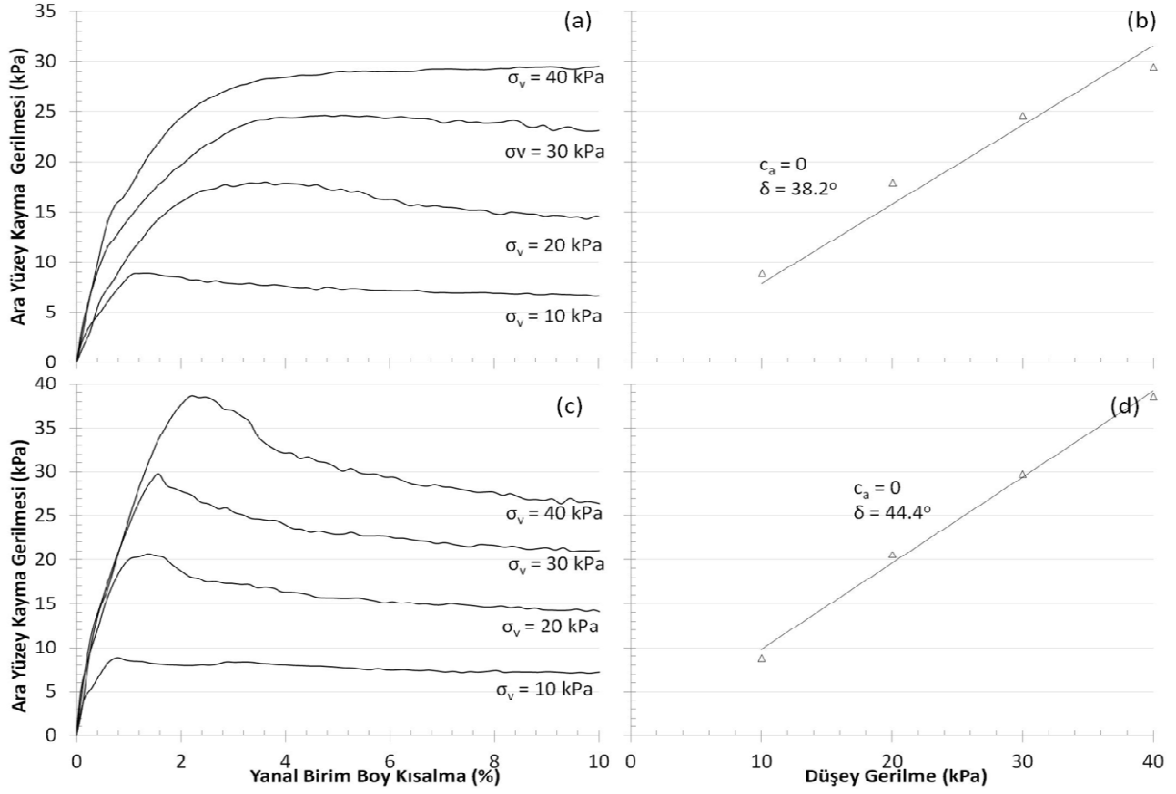
Geofoam blokların ara yüzey mukavemetleri için yapılan diğer çalışmalarda kullanıldığı üzere bu çalışmada da kesme hızı 1 mm/dk kullanılmıştır (Atmatzidis vd. 2001; Barrett ve Valsangkar, 2009; Amini, 2014; Özer ve Akay, 2014; Özer vd., 2015; Özer ve Akay, 2016 ve Özer vd., 2016). Deney düzeneğinde hem yatay hem de düşeyde yer alan yük hücreleri ve deplasman ölçerlerle deneyler sırasındaki birim boy kısaltmalarla gerilmeler kayıt altına alınmıştır (Şekil 3a). Deneyler %10'luk birim yatay deplasmana karşılık gelen 1 cm'lik toplam yer değiştirmede sonlandırılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

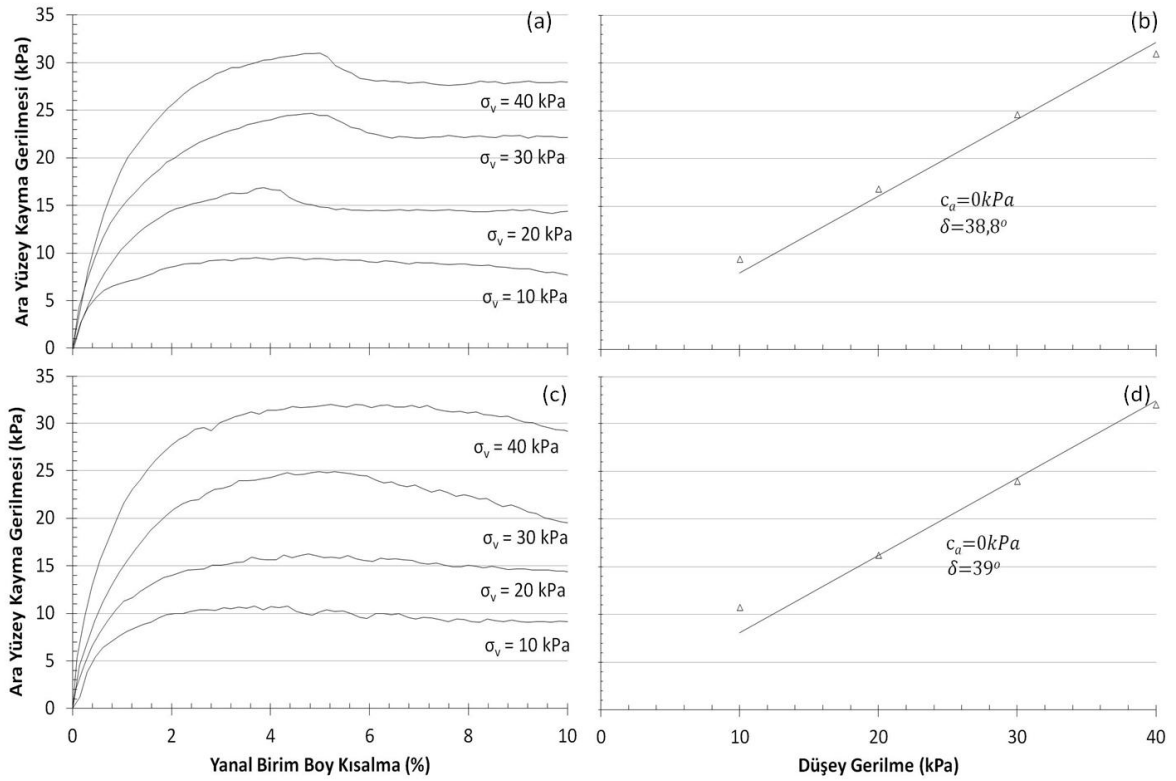
Geofoam blok-geofoam blok ara yüzey kayma mukavemeti davranışı Şekil 4’de sunulmuştur (Özer ve Akay, 2016). Mohr-Coulomb ara yüzey kırılma düzlemleri Şekil 4’de verilmiş, ara yüzey kayma mukavemeti parametreleri ise (adezyon,  $c_a$  ve ara yüzey sürtünme açısı,  $\delta$ ) hem Şekil 4 hem de Tablo 3’de özetlenmiştir. Geofoam blok yoğunluğundan bağımsız olarak her bir düşey basınç kademesinde geofoam blok-geofoam blok ara yüzey kayma mukavemeti hızlıca pik değere ulaşmış (yanal yer değiştirme yaklaşık %1-%3 mertebelerine erişince), sonrasında ise deneyler %10 yanal birim boy kısaltmaya erişince sonlandırılmıştır. Uygulanan düşey gerilmeler arttıkça pik ara yüzey kayma mukavemeti de artış göstermiştir. Ara yüzey kırılma zarflarından da görüleceği üzere blok yoğunluğundan bağımsız olarak geofoam blok-geofoam blok ara yüzey sürtünme davranışı tamamen sürtünmeseldir ( $c_a=0$  ve  $\delta>0$ ). Bununla birlikte, EPS29 bloklar arası pik ara yüzey kayma mukavemeti EPS19 bloklar arası pik ara yüzey kayma mukavemetinden büyük elde edilmiştir (Tablo 3, Şekil 4b ve 4d). Özer ve Akay (2016) tarafından elde edilen sonuçlar geçmiş çalışmalardan elde edilen geofoam-geofoam ara yüzey mukavemet deney sonuçları ile Tablo 3’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Tablo 3’den de görüleceği üzere Özer ve Akay (2016) tarafından belirtilen ara yüzey mukavemet parametreleri önceki çalışmalarla (Sheeley, 2000; Negusse vd., 2001; Atmatzidis vd., 2001; Barrett ve Valsangkar, 2009) uyumludur.

Adapazarı kumu-geofoam ara yüz kayma mukavemeti davranışı Şekil 5’de sunulmuştur (Ateş, 2016). Geofoam blok-geofoam blok ara yüz deneylerinde olduğu gibi, Adapazarı kumu-geofoam ara yüzeyi için yapılan deneyler (Şekil 5) neticesinde 0-40 kPa düşey gerilme altında elde edilen davranış tamamen sürtünmeseldir. Geofoam blok-geofoam blok ara yüzey davranışının aksine, geofoam-kum ara yüzey mukavemeti geofoam blok yoğunluğundan bağımsız benzer sonuçlar vermiştir (Tablo 3, Şekil 5b ve 5d). Ateş (2016) tarafından edilen sonuçlar Atmatzidis vd. (2001) ve Negusse vd. (2001) ve Xenaki ve Athanasopoulos (2001) tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla uyumludur (Tablo 3).

Geofoam-beton ara yüzey gerilme-şekil değiştirme davranışları EPS19-beton ve EPS29-beton için sırasıyla Şekil 6a ve 6c’de sunulmuştur. Mohr-Coulomb ara yüzey kırılma düzlemleri Şekil 6b ve 6d’de verilmiş, ara yüzey kayma mukavemeti parametreleri ise hem Şekil 6 hem de Tablo 3’de özetlenmiştir. Geofoam-geofoam ve geofoam-kum ara yüzey gerilme-şekil değiştirme davranışından farklı olarak, geofoam-beton ara yüzey gerilme-şekil değiştirme eğrilerinde ara yüzey kayma mukavemeti pik değere %10 birim boy kısaltmaya kadar ulaşmamıştır (Şekil 6a ve 6c). Dolayısı ile %10 yanal birim deformasyona denk gelen ara yüzey kayma gerilmesi pik ara yüzey mukavemeti olarak alınmıştır (ASTM D3080, 2011). Ara yüzey kırılma zarflarından da görüleceği üzere (Şekil 6b ve 6d) blok yoğunluğundan bağımsız olarak geofoam blok-beton ara yüzey sürtünme davranışı sürtünmesel-adezyonsal ( $c_a>0$  ve  $\delta>0$ ) olmuştur. Geofoam-beton ara yüzeyi ile ilgili Sheeley ve Negusse (2000) tarafından yapılan çalışmada da geofoam-beton ara yüzeyinde oluşan adezyon mukavemeti vurgulanmıştır (Tablo 3). Geofoam-beton ara yüzeyinde oluşan bu adezyon mukavemeti Stark vd. (2004a, b) tarafından EPS19 ve EPS29 için sırasıyla önerilen içsel kayma dayanımı değerleri olan 27.5 kPa ve 50 kPa’dan daha yüksektir. Geofoam yoğunluğu arttıkça geofoam-beton ara yüz mukavemet değeri de artmıştır (Tablo 3, Şekil 6b ve 6d).



Şekil 4. Gefoam blok-gefoam blok ara yüzey gerilme – şekil değiştirme eğrileri ve kırılma zarfları (a-b) EPS19-EPS19 (c-d) EPS29-EPS29 (Özer ve Akay, 2016)

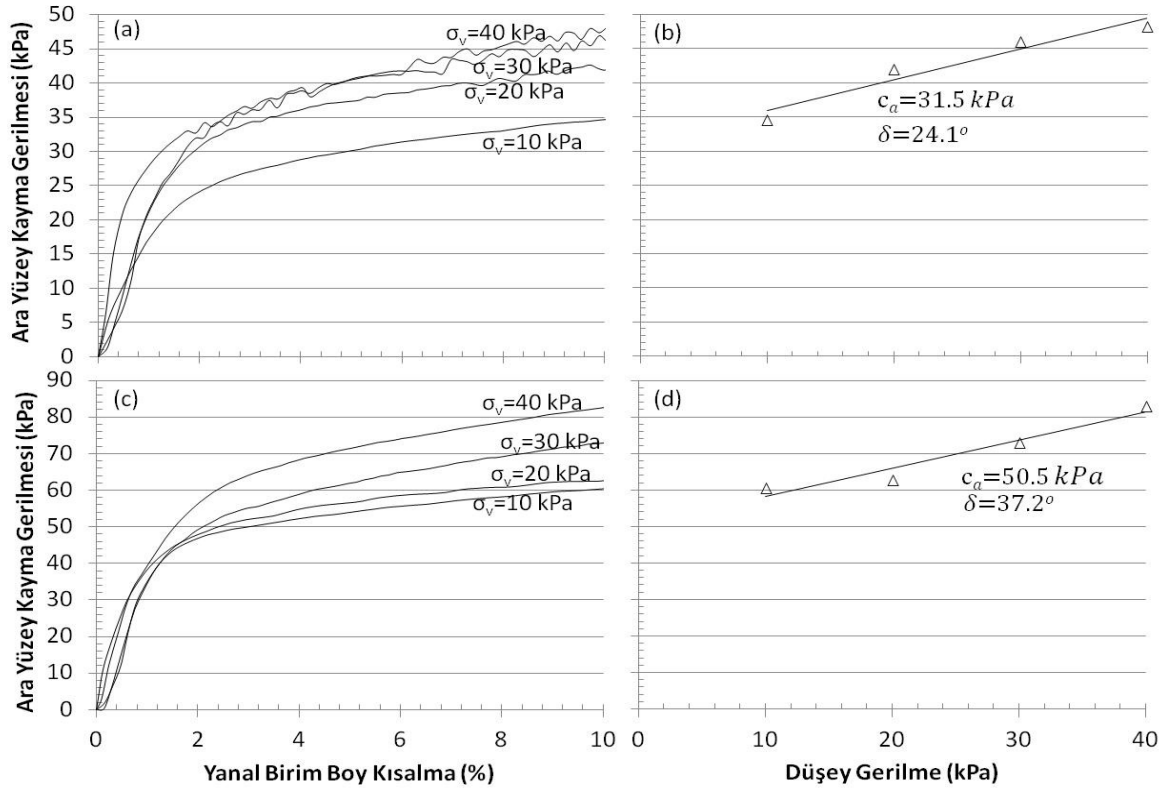


Şekil 5. Gefoam blok-kum ara yüzey gerilme – şekil değiştirme eğrileri ve kırılma zarfları (a-b) EPS19-kum (c-d) EPS29-kum (Ateş, 2016)



Tablo 3. Ara yüzey kayma mukavemeti deney sonuçları

Ara Yüzey	EPS Tipi	Referans	Ara Yüzey Mukavemet Parametreleri	
			Adezyon, $c_a$ (kPa)	Ara yüzey Sürtünme Açısı, $\delta$ (derece)
Geofoam-Geofoam	EPS19	Özer ve Akay, 2016	0	38.2
	EPS29		0	44.0
	EPS19	Sheeley, 2000	0	40.4
	EPS29		0	40.4
	EPS19	Negussey vd., 2001	0	48.5
	EPS19	Atmatzidis vd., 2001	0	40.0
	EPS29		0	43.0
	EPS29	Barrett ve Valsangkar, 2009	0	41.0 - 46.7
Geofoam-Kum	EPS19	Ateş, 2016	0	38.8
	EPS29		0	39.0
	EPS19	Atmatzidis vd., 2001	0	38.5
	EPS15	Negussey vd., 2001	0	40
	EPS20	Xenaki ve Athanasopoulos, 2001	0	32
Geofoam-Beton	EPS19	Bu Çalışma	31.5	24.1
	EPS29		50.5	37.2
	EPS19	Sheeley ve Negussey, 2000	70.0	67.0



Şekil 6. Geofoam blok-beton ara yüzey gerilme – şekil değiştirme eğrileri ve kırılma zarfları (a-b) EPS19-beton (c-d) EPS29-beton

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geofoam blok-geofoam blok ve geofoam blok-kum ara yüzey davranışı tamamen sürtünmesel iken, geofoam blok-beton ara yüzey davranışı sürtünmesel-adezyonsaldır. Geofoam blok-geofoam blok ve geofoam blok-beton ara yüzey mukavemetleri geofoam blok yoğunluğu ile artarken geofoam blok-kum ara yüzey mukavemeti geofoam blok yoğunluğundan bağımsız benzer sonuçlar vermektedir. Geofoam blok-geofoam blok ve geofoam blok-kum ara yüzey mukavemetinin aksine, geofoam blok-beton ara yüzeyi adezyon mukavemetine sahiptir. Bu ara yüzey adezyon mukavemeti servis yükleri altında (40 kPa) önerilen EPS19 ve EPS29'un içsel kayma dayanımından daha fazla elde edilmiştir. Tüm ara yüzey mukavemetleri düşey gerilmenin bir fonksiyonu olup düşey gerilmeler arttıkça ara yüzey kayma gerilmeleri de artmıştır. Bu çalışma neticesinde geofoam-beton ara yüzeyi için bulunan değerlerin tasarımda kullanılmasından önce büyük ölçek kesme deneylerinin yapılması önerilmektedir.

## 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.
- 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 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.
- Ateş, Y., 2016. Kilitli EPS Blok-Kum Ara Yüzey Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleri ile İncelenmesi. Yüksek lisans Tezi, Okan Üniversitesi, İstanbul.
- Atmatzidis, D. K., Missirlis, E. G., & Theodorakopoulos, E. B., 2001. Shear Resistance on EPS Geofoam Block Surfaces. EPS Geofoam 2001: 3rd Annual Conference, Geotechnical Engineering Laboratory, University of Patras, Greece.
- Amini, Z. A., 2014. Dynamic characteristics and seismic stability of expanded polystyrene geofoam embankments, Ph. D. Dissertation. University of Utah, Salt Lake City, Utah.
- Barrett, J. C. ve Valsangkar, A. J., 2009. Effectiveness of connectors in geofoam block construction. Geotextiles and Geomembranes, 27 (3), 211–216.
- Bartlett, S.F., Farnsworth, C., Negussey, D. & Stuedlein, A.W., 2001. Instrumentation and long-term monitoring of geofoam embankments, I-15 reconstruction project, Salt Lake City, Utah. In: Proceedings of the 3rd International EPS Geofoam Conference, Salt Lake City, Utah, USA.
- Bartlett, S., Negussey, D., Kimble, M. & Sheeley, M., 2000. Use of geofoam as super-lightweight fill for I-15 reconstruction, Transportation Research Record 1736, Transportation Research Board, Washington, D.C.

- Beinbrech, G. & Hillmann, R., 1997. EPS in road construction—Current situation in Germany. *Geotextiles and Geomembranes*, 15 (1–3), 39–57.
- Duškov, M. & Nijhuis, E., 2011. Lightweight road embankments for the crossover of the N207 over the railway Alphen A/D Rijn-Gouda. *Proceedings of the 4th International Conference on Geofam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, Lillestrøm, Norway*.
- Herle, V., 2011. Design and monitoring of EPS embankment on D1 near Ivanovice in the Czech Republic. *Proceedings of the 4th International Conference on Geofam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, Lillestrøm, Norway*.
- Horvath, J. S., 2010. Emerging trends in failures involving EPS-block geofam fills, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24 (4), 365-372.
- Farnsworth, C. B., Bartlett, S. F., Negusse, 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.
- Koç, Ş. 2015. Eps blok geofam ve kum + eps boncuk karışımlarının sızmaya maruz kumlu şevlerde kullanılmasının laboratuvar fiziksel şev modelleri ile araştırılması. Yüksek lisans Tezi, Okan Üniversitesi, İstanbul.
- Kubota T., 2011. Case history of EDO-EPS method in Japan. *Proceedings of 4th International Conference on Geofam 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 Geofam 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.
- Negusse, D., Anasthas, N. & Srirajan, S., 2001. Interface friction properties of EPS geofam.” In: *Proceedings of the 3rd International EPS Geofam 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., 2016. Laboratory study on the use of EPS-block geofam for embankment widening. *Geosynthetics International*, Volume: 23, No.2, 71-85.
- Özer, A. T. & Akay, O., 2016. Interface shear strength characteristics of interlocked EPS-block geofam, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (4).
- Özer, A. T., Akay, O & Ateş, Y., 2016. Shear strength properties of interlocked EPS-block geofam-Ottawa sand interface, 4th 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 & Ateş, E., 2015. Effect of displacement rate on the interface shear strength properties of interlocked EPS-block geofam, IRF Europe & Central Asia Regional Congress, September 15-18, 2015-Istanbul, Turkey.
- Özer, A. T. & Akay, O., 2014. Use of interlocked EPS block geofam for sandy slopes subjected to seepage flow. *Proceedings of 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany*.
- Özer, A. T., Kızıroğlu, 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.
- Sheeley, M., 2000. Slope stabilization utilizing geofom. M.Sci. Thesis. Syracuse University, New York.
- Sheeley, M. & Negusse, 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.
- 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.
- 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.
- Türk Standardı TS EN196-1, 2009. Çimento deney metotları – Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türk Standardı TS802, 2009. Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Xanaki, V. C. & Athanasopoulos, G. A., 2001. Experimental investigation of the interface mechanism at the EPS geofom-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 Geofom Blocks in Construction Applications, EPS 2011, Lillestrøm, Norway.