

MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



OKAN ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL

EPS BLOK GEOFOAM VE KUM + EPS BONCUK KARIŞIMLARININ
SIZMAYA MARUZ KUMLU ŞEVLERDE KULLANILMASININ
LABORATUVAR FİZİKSEL ŞEV MODELLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEYMA KOÇ

tarafından

YÜKSEK LİSANS

derecesi şartını sağlamak için hazırlanmıştır.

Eylül 2015

Program: İnşaat Mühendisliği

EPS BLOK GEOFOAM VE KUM + EPS BONCUK KARIŞIMLARININ
SIZMAYA MARUZ KUMLU ŞEVLERDE KULLANILMASININ
LABORATUVAR FİZİKSEL ŞEV MODELLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEYMA KOÇ

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

Prof. Dr. Hafzullah AKSOY
Üye

Doç. Dr. Ayşe EDİNÇLİLER
Üye

Yrd. Doç. Dr. Erkan
BOZKURTOĞLU
Üye

Eylül 2015

Program: İnşaat Mühendisliği

ÖZET

Şev stabilitesini artırmak adına pek çok geleneksel mekanik iyileştirme metotlarının yanı sıra, şevi deviren kuvvetleri azaltma prensibine dayalı hafif dolgu malzemeleri de şev stabilitesi projelerinde kullanılmaktadır. Hafif dolgu malzemeleri içerisinde geliştirilmiş polistren (EPS) bloklar (geofoam blok) inşaat mühendislerince kabul gören bir malzemedir. Geleneksel geofoam blok şev sistemlerinin sızma kuvvetleri altında duraylılığının incelenmesi ve bu sistemlerin sızma kuvvetleri altında davranışlarının geliştirilmesi çalışmaları son yıllarda hızlanmıştır. Bu tez kapsamında içsel drenaj kanallı geofoam bloklar ile EPS boncuk + kum karışımından oluşan kompozit hafif dolgu malzemesinin kumlu şevlerin sızma kuvvetleri altındaki davranışlarına etkisi laboratuvar fiziksel şev model deneyleri ile araştırılmıştır. Bu amaçla toplam 15 adet laboratuvar fiziksel şev modeli (45 derece şev eğimli, 20 cm genişliğinde, 55 cm yüksekliğinde ve 100 cm uzunluğunda) zemin kutusu içerisinde inşa edilmiştir. Deneyler sırasında üç farklı hidrolik yük zemin kutusunda yer alan su rezervuarı sayesinde uygulanmıştır. Kompozit hafif dolgu sisteminin sızma kuvvetleri altındaki davranışı, herhangi bir iyileştirme yapılmamış şev ile aynı hidrolik yükler altında kıyaslandığında benzerlik göstermiştir. Kompozit hafif dolgu sistemi uygulanan hidrolik yükler altında sistemin davranışını iyileştirici bir etki göstermemiştir.

Anahtar Kelimeler: Geofoam, EPS Boncuk + Kum Karışımı, Şev Stabilitesi, Zemin Kutusu, Sızma

ABSTRACT

In addition to the conventional soil improvement techniques, lightweight fill materials which reduce driving forces causing instability are used in slope stability and repair projects. Among the light weight fill materials, expanded polystyrene (EPS) blocks (geofoam blocks) gain acceptance by civil engineers. Studies on the stability of traditional geofoam block slope configurations under seepage forces and research projects on improving their performances when they are subjected to seepage have gained momentum in recent years. In this study, the behavior of composite lightweight fill slope system comprised of geofoam blocks with internal drainage channels and EPS beads + sand mixtures under seepage was investigated for sandy slopes using laboratory physical slope models. In order to achieve the goals of the study, a total of 15 laboratory physical slope models (45 degree slope angle, 20 cm wide, 55 cm high and 100 cm long) have been constructed in a lysimeter. Three different constant hydraulic heads were applied using water reservoir of the lysimeter. The behavior of composite lightweight slope system under seepage was similar to that of non-remediated sandy slopes. Therefore, the composite light weight slope system proposed did not show any improvement under the hydraulic heads used in this study.

Key Words: Geofoam, EPS Beads + Sand Mixtures, Slope Stability, Lysimeter, Seepage.

Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. A. Tolga ÖZER'e, tez ikinci danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Onur Akay'a ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezin incelenmesindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Hafzullah Aksoy'a, Doç. Dr. Ayşe Edinçliler'e ve Yrd. Doç. Dr. Erkan Bozkurtoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

I. GİRİŞ.....	1
II. EPS BONCUK VE GEOFOAM BLOK ÜRETİMİ	5
III. GEOFOAM BLOK VE EPS BONCUKLARIN KULLANIM ALANLARI.....	9
3.1. GEOFOAM'UN KULLANIM ALANLARI.....	9
3.2. EPS BONCUKLARIN KULLANIM ALANLARI.....	14
IV. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	16
4.1. ZEMİN KUTUSU	16
4.2. MALZEME	20
4.3. ŞEV KONFIGÜRASYONLARI	31
V. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.1. “MATRİS” KONFIGÜRASYON.....	37
5.2. “15 CM YÜKSEKLİĞİNDE TRAPEZ KESİT” TİPİ KONFIGÜRASYON.....	40
5.3. “22.5 CM YÜKSEKLİĞİNDE TRAPEZ KESİT” TİPİ KONFIGÜRASYON.....	43
VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
VII. KAYNAKLAR.....	48

TABLO LİSTESİ

TABLO 4.1. MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	21
TABLO 4.2. CD DENEY SONUÇLARI.....	24
TABLO 4.3 SABİT SEVİYELİ PERMEABİLİTE DENEY SONUÇLARI	25
TABLO 4.5 ŞEV MODELLERİ LİSTESİ	36

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 1.1 A-15 NOLU OTOYOLDA GEOFOAM BLOKLAR KULLANILARAK YAPILAN ŞERİT GENİŞLETME ÇALIŞMASI, HOLLANDA (EUMEPS, 2010).....	1
ŞEKİL 1.2 EPS HAMMADDE BOYUTLARI (YER: BİRSANPOR, ALİBEYKÖY, İSTANBUL; FOTOĞRAF: ŞEYMA KOÇ, TARİH: 29.01.2014)	2
ŞEKİL 1.3 EPS HAMMADDESİNİN ÖN ŞİŞİRME İŞLEMİ SONUCUNDA ELDE EDİLEN ÇAPLARI 1 MM – 4 MM ARASINDA DEĞİŞEN EPS BONCUKLAR	3
ŞEKİL 2.1 TEDARİK EDİLEN EPS HAMMADDELERİNİN BORULAR ARACILIĞIYLA HAMMADDE TANKINDAN SİLOLARA TAŞINMASI (YER: BİRSANPOR, ALİBEYKÖY; FOTOĞRAF: ŞEYMA KOÇ, TARİH: 29.01.2014)	6
ŞEKİL 2.2 ÖN ŞİŞİRME AŞAMASI (YER: BİRSANPOR, ALİBEYKÖY; FOTOĞRAF: ŞEYMA KOÇ, TARİH: 29.01.2014)	6
ŞEKİL 2.3 İMALATI TAMAMLANMIŞ BLOK ÖN GÖRÜNÜMÜ (YER: BİRSANPOR, ALİBEYKÖY; FOTOĞRAF: ŞEYMA KOÇ, TARİH: 29.01.2014)	7
ŞEKİL 2.4 DEĞİŞİK KURU BİRİM HACİM AĞIRLIKLARDA ÜRETİLEN BLOKLARDAN KESİTLER (YER: BİRSANPOR, ALİBEYKÖY; FOTOĞRAF: ŞEYMA KOÇ, TARİH: 29.01.2014)	8
ŞEKİL 2.5 DEPO SAHASINDA EPS BLOKLARIN DİNLENDİRİLMESİ (YER: TRC YALITIM, BATMAN; FOTOĞRAF: A. TOLGA ÖZER, TARİH: 22.05.2015)	8
ŞEKİL 3.1 TİPİK TRAPEZ KESİT GEOFOAM BLOK YOL DOLGUSU DETAYI (ÖZER, 2011)...	11
ŞEKİL 3.2 OSLO -GOTEBORG HOGDALSBACKEN KÖPRÜSÜ YAKLAŞIM DOLGUSU (EUMEPS, 2010)	12
ŞEKİL 3.3 TİPİK 90 DERECE ŞEV EĞİMLİ GEOFOAM BLOK YOL DOLGUSU DETAYI.....	12

ŞEKİL 4.1 FİZİKSEL ŞEV DENEY MODELİ VE EKİPMANLARI	18
ŞEKİL 4.2 BOŞLUK SUYU BASINÇ ÖLÇERLERİN YERLEŞİM PLANI (AKAY VD., 2013; ÖZER VD., 2014).....	18
ŞEKİL 4.3 ZEMİN KUTUSUNDA 2.5 CM TABAKALAR HALİNDE KONTROLLÜ SIKIŞTIRMA İŞLEMİ NETİCESİNDE KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI 14 kN/m ³ OLAN FİZİKSEL ŞEVİN İMALATI	19
ŞEKİL 4.4 KUM VE EPS BONCUĞUN DANE ÇAPI DAĞILIM EĞRİLERİ.....	22
ŞEKİL 4.5 ÖRSELENMEMİŞ KUM NUMUNELERİN ÜÇ EKSENLİ CD DENEYLERİ İÇİN HAZIRLANMASI	23
ŞEKİL 4.6 SABİT SEVİYELİ PERMEABİLİTE DENEYLERİ.....	24
ŞEKİL 4.7 GEOFOAM BLOK BASINÇ MUKAVEMETİ DENEYİ	26
ŞEKİL 4.8 GEOFOAM BLOK BASINÇ MUKAVEMETİ DENEY SONUÇLARI.....	26
ŞEKİL 4.9 EPS BONCUK + KUM KARIŞIMINDAN OLUŞAN HAFİF DOLGU MALZEMESİ (AĞIRLIKÇA EPS BONCUK MİKTARI = %0.5)	28
ŞEKİL 4.9 EPS BONCUK + KUM KARIŞIMLARINDA KULLANILAN EPS BONCUKLAR (EDİNÇLİLER VE ÖZER, 2014)	29
ŞEKİL 4.10 EPS BONCUK + KUM KARIŞIMLARININ ÜÇ EKSENLİ DENEYLER İÇİN NUMUNE HAZIRLANMASI	30
ŞEKİL 4.11 İÇSEL DRENAJ KANALLI GEOFOAM BLOKLAR (AKAY VD., 2014B).....	32
ŞEKİL 4.12 FİZİKSEL LABORATUVAR MODELLERİNDE KULLANILAN KONFIGÜRASYONLAR	35
ŞEKİL 5.1 “MATRİS” KONFIGÜRASYON FİZİKSEL ŞEV MODELLERİNİN DENEY SONUNDAKİ GÖRÜNTÜLERİ VE TEMSİLİ KAYMA YÜZEYLERİ	38
ŞEKİL 5.2 “MATRİS” DENEYLERDE OKUNAN BOŞLUK SUYU BASINÇ ÖLÇÜMLERİ	39

ŞEKİL 5.3 “15 CM YÜKSEKLİĞİNDE ŞEV” KONFIGÜRASYONUNUN FİZİKSEL ŞEV MODELLERİ DENEY SONUNDAKİ GÖRÜNTÜLERİ VE TEMSİLİ KAYMA YÜZEYLERİ ...	41
ŞEKİL 5.4 “15 CM YÜKSEKLİĞİNDE TRAPEZ KESİT” TİPİ HAFİF DOLGU SİSTEMİNE SAHİP ŞEV MODEL DENEYLERİNDE OKUNAN BOŞLUK SUYU BASINÇ ÖLÇÜMLERİ	42
ŞEKİL 5.5 “22.5 CM YÜKSEKLİĞİNDE ŞEV” KONFIGÜRASYONUNUN FİZİKSEL ŞEV MODELLERİ DENEY SONUNDAKİ GÖRÜNTÜLERİ VE TEMSİLİ KAYMA YÜZEYLERİ ...	44
ŞEKİL 5.6 “22.5 CM YÜKSEKLİĞİNDE TRAPEZ KESİT” TİPİ HAFİF DOLGU SİSTEMİNE SAHİP ŞEV MODEL DENEYLERİNDE OKUNAN BOŞLUK SUYU BASINÇ ÖLÇÜMLERİ	45

SİMGELER

D_{10}	Etkin Dane Çap
C_u	Üniformluk Katsayısı
C_c	Eğrilik Katsayısı
G_s	Yoğunluk
γ_d	Kuru Birim Hacim Ağırlık
e_{max}	Maximum Boşluk Oranı
e_{min}	Minimum Boşluk Oranı
E	Elastisite Modülü
ν	Poisson Oranı
c'	Efektif Kohezyon
ϕ'	Efektif İçsel Sürtünme Açısı
h	Boşluk Suyu Basıncı

KISALTMALAR

EPS Genleştirilmiş polistiren

SP Kötü derecelendirilmiş kum

USCS Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi

I. GİRİŞ

Genleştirilmiş polistiren (EPS) hafif ve kapalı gözenekli bir geosentetik olarak tanımlanmaktadır (Horvath, 2004). EPS bloklar, üreticilerin kullandıkları kalıp boyutlarına bağlı olmakla birlikte, genelde 100 - 120 cm genişliğinde, 200 – 500 cm uzunluğunda, 50 – 60 cm yüksekliğinde ve 10 – 40 kg/m³ arasında yoğunluklarda değişen prizmatik bloklar şeklinde üretilmektedirler (Özer, 2011). EPS bloklar inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanıldıkları zaman geofoam (geofoam blok) olarak adlandırılırlar (Şekil 1.1). Geofoam bloklar, çapı genellikle 0.2 – 3 mm olan polistiren hammaddenin (Şekil 1.2) çaplarınının 50 – 125 katı genleştirilmesi (şişirilmesi) ve kalıplanması ile elde edilirler (Lin vd., 2010).



Şekil 1.1 A-15 Nolu Otoyolda Geofoam Bloklar Kullanılarak Yapılan Şerit Genişletme Çalışması, Hollanda (EUMEPS, 2010)



(a) 0.7 mm – 1.0 mm çapında

(b) 0.5 mm – 1.0 mm çapında

Şekil 1.2 EPS hammadde boyutları (Yer: Birsanpor, Alibeyköy, İstanbul;
Fotoğraf: Şeyma KOÇ, Tarih: 29.01.2014)

Geofoam bloklar hafif dolgu malzemesi olmalarına rağmen inşaat mühendisliğinde karşılaşılan diğer hafif dolgu malzemeleri ile kıyaslandığında mukavemet/yoğunluk oranları daha yüksektir (Elragi, 2000). Bu teknik avantajından dolayı geofoam bloklar tüm dünyada inşaat mühendisliği uygulamalarında hafif dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

Geofoam bloklar yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olmasının yanında, mekanik özelliklerinin (basınç mukavemeti, elastisite modülü ve eğilme mukavemeti) blok yoğunluğu arttıkça iyileşmesi, ideal kontrollü ve kanıtlanmış üretim teknolojisinin varlığı, doğada çözünmemesi, geri dönüşüme uygun ve çevre dostu bir malzeme olmasından dolayı çeşitli inşaat mühendisliği uygulamalarında tercih edilmektedirler. Buna ek olarak, geofoam blokların kapalı gözenek yapılarından dolayı su emme kapasiteleri çok düşüktür. Hafif olmaları sayesinde arazide kolay taşınır ve uygulanırlar. Bununla birlikte geleneksel zemin ıslahı metotlarına göre ilk yatırım maliyetleri düşüktür (Duškov ve Waarts, 2011; Özer vd., 2011).

Geofoam blokların yanı sıra, EPS hammaddesinin ön şişirme sonrası (kalıplanma öncesi) oluşan EPS boncuklar (Şekil 1.3) da geoteknik mühendisliğinde uygulama alanları bulmuşlardır. EPS boncuklar hafif dolgu malzemesi yaratmak üzere geleneksel toprak dolgu malzemesi ve çimento ile karıştırılır (Liu vd., 2006). EPS boncuklar kullanılarak hazırlanan hafif dolgu malzemesine bağlayıcı olarak çimento ilave edilmesi hafif dolgu sisteminin mukavemetini artırmaktadır (Liu vd., 2006).



Şekil 1.3 EPS hammaddesinin ön şişirme işlemi sonucunda elde edilen çapları 1 mm – 4 mm arasında değişen EPS boncuklar

Geofoam blokların yaygın kullanım alanlarından bir tanesi şev stabilitesi ve ıslahı projeleridir. Geofoam blokların sudan hafif dolgu malzemesi olmasından dolayı

sızma kuvvetlerinin etkisi altında olan şevlerde kullanılması özel önlemler gerektirmektedir. Son yıllarda Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılan fiziksel laboratuvar modellerinde gofoam blok şev sistemlerinin sızma kuvvetleri altındaki davranışları kapsamlıca incelenmiştir (Akay vd., 2012, 2013, 2014a, 2014b; Özer vd., 2014; Özer ve Akay, 2014). Önceki kapsamlı laboratuvar çalışmalarının ışığı altında, bu çalışmada gofoam blok ve EPS boncuk + kum karışımından oluşan kompozit hafif dolgu sisteminin sızma kuvvetlerine maruz kumlu şevlerdeki davranışlarının ortaya konması hedeflenmiştir. Bu amaçla Özer vd. (2014) tarafından incelenen gofoam blokların trapez dolgu şeklinde şev topuğuna yerleştirilmesinden oluşan “trapez dolgu tipi” blok yerleşim konfigürasyonu kompozit hafif dolgu sistemine dönüştürülmüştür. Gofoam blok ve EPS boncuk + kum karışımından oluşan kompozit hafif dolgu sistemi “trapez dolgu tipi” konfigürasyonuna benzer şekilde şevin topuk bölgesine yerleştirilmiş ve sistemin sızma kuvvetleri altındaki davranışı incelenmiştir. Akay vd. (2014a, 2014b) tarafından önerilen içsel drenaj kanallarına sahip gofoam bloklar bu kompozit hafif dolgu sisteminde kullanılmışlardır.

Tezin içeriğinde öncelikle gofoam blok ve EPS boncukların tanımı yapılmış ve daha sonra Bölüm II’de üretimleri ve Bölüm III’de günümüzdeki kullanım alanları özetlenmiştir. Bölüm IV’de laboratuvar çalışmasında kullanılan malzemelerin sınıflandırma, mekanik ve hidrolik özelliklerinden oluşan kapsamlı deney çalışmaları ve bunlarla birlikte laboratuvar fiziksel şev model deneylerinde kullanılan sistemle ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur. Bölüm V’de laboratuvar şev modellerinin sonuçları tartışılarak Bölüm VI’da çalışmanın sonuçları özetlenmiştir.

II. EPS BONCUK VE GEOFOAM BLOK ÜRETİMİ

EPS boncuk ve Geofoam blok üretimi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. Ön Şişirme: Polistiren granüler ham madde her biri birbiri ile bağlantılı olmayan hücreler serisinden oluşan daha büyük tanecikler oluşturmak üzere serbest bir şekilde buhara maruz bırakılarak 80-100 °C sıcaklıkta pentan ile serbest şekilde genişletilir. Öncelikle, tedarik edilen hammadde, hammadde tankında depolanır ve buradan borular aracılığıyla silolara taşınır (Şekil 2.1). İnce veya orta daneli hammaddeler silolardan şişirme makinesine dökülür, bu aşamada kullanılacak EPS'nin yoğunluğu ve miktarı gibi özellikleri belirlenir (Şekil 2.2).

Ön şişirme aşaması sonucunda elde edilen granüler EPS daneleri EPS boncuk olarak adlandırılmıştır (Şekil 1.3).

2. Dinlendirme ve Şişirme: Ön şişirilme sonrasında EPS boncuklar halen çok az miktarda yoğunlaşan buhar ve pentan gazı içerirler. Bu aşamada tanecikler soğurken oluşan gözenekli yapıda, pentan gazı yerine hava dolmaya başlar. Şişirme makinesinde yüksek sıcaklıkta şişirilen daneler, son şişirme kazanına bırakılarak havalandırılması sağlanır.



Şekil 2.1 Tedarik edilen EPS hammaddelerinin borular aracılığıyla hammadde tankından silolara taşınması (Yer: Birsanpor, Alibeyköy; Fotoğraf: Şeyma KOÇ, Tarih: 29.01.2014)



(a) EPS Hammaddenin hammadde silosundan ön şişirme makinesine dökülmesi



(b) Ön şişirme aşaması koşullarının belirlendiği bilgisayar ara yüz programı

Şekil 2.2 Ön şişirme aşaması (Yer: Birsanpor, Alibeyköy; Fotoğraf: Şeyma KOÇ, Tarih: 29.01.2014)

3. Kalıplama: EPS bloğa pirizmatik Şekil vermek için kalıp içinde iŐlem yapılır. Bu aşamada köpük Őekli korunur ve geniŐlemeyi devam ettirmek için yeniden buhar kullanılır. Buhar kullanımı, aynı zamanda taneciklerin birbirleriyle kaynaŐmasını sağlar. Kalıplama iŐleminden sonra EPS blok haline getirilmiş olur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 İmalatı tamamlanmış blok n görünümü (Yer: Birsanpor, Alibeyköy;
Fotoğraf: Şeyma KOÇ, Tarih: 29.01.2014)

4. Őekillendirme: Çeşitli yoğunluklarda üretimi tamamlanmış bloklar (Şekil 2.4) depo sahasında (Şekil 2.5) boyutsal kararlılığa eriŐene kadar dinlendirildikten sonra yüzeylerinde oluşan pürüzler sıcak tel kesme makinesinde düzeltilir ve sonrasında ambalaj ve etiketlenme iŐlemleri ile imalatları tamamlanmış olur.



(a) 0.14 kN/m³ kuru birim hacim ağırlıkta üretilen blok



(b) 0.16 kN/m³ kuru birim hacim ağırlıkta üretilen blok



(c) 0.30 kN/m³ kuru birim hacim ağırlıkta üretilen blok

Şekil 2.4 Değişik kuru birim hacim ağırlıklarda üretilen bloklardan kesitler (Yer: Birsanpor, Alibeyköy; Fotoğraf: Şeyma KOÇ, Tarih: 29.01.2014)



Şekil 2.5 Depo sahasında EPS Blokların dinlendirilmesi (Yer: TRC Yalıtım, Batman; Fotoğraf: A. Tolga ÖZER, Tarih: 22.05.2015)

III. GEOFOAM BLOK VE EPS BONCUKLARIN KULLANIM ALANLARI

3.1. Geofom'un Kullanım Alanları

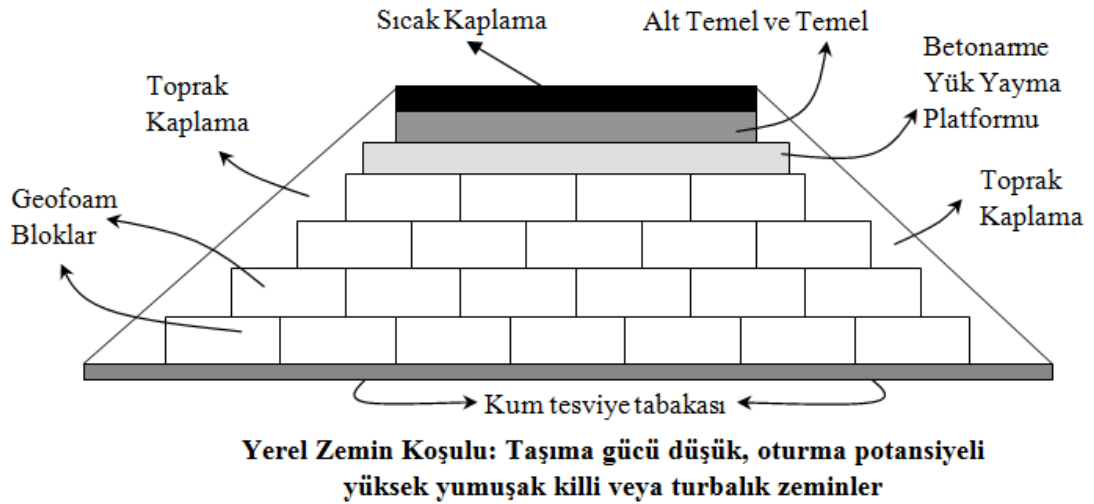
Günümüzde inşaat mühendisliğinde Geofom'un uygulama alanlarından bazıları taşıma gücü düşük, oturma potansiyeli yüksek yumuşak killi zeminler üzerine oturan yol dolgularının birincil ve ikincil konsolidasyon oturmalarının önemli derecede azaltılması, köprü yaklaşım rampalarının imatları, kamulaştırma problemi olan yol güzergâhlarındaki şerit ilavesi için gereken yol dolgusu çalışmaları, şerit ilavesi projelerindeki farklı oturmaların önlenmesi, istinat yapılarına gelen yanal ve sismik yüklerin azaltılması, yüksek düşey yüklere maruz yer altı boru hatlarındaki düşey gerilmelerin azaltılıp borularda oluşabilecek potansiyel yapısal hasarların önlenmesi, şev güvenliğinin artırılması, don derinliği yüksek bölgelere yapılacak olan yapılarda temel derinliğinin azaltılması, yüksek donma – çözünme etkisi olan bölgelerdeki yol kaplamasının ömrünün uzatılması, şişme potansiyelli yüksek zeminler üzerine inşa edilen beton döşeme veya plaklarda zeminin şişme potansiyelinden kaynaklanacak olan kuvvetlerin azaltılması, arazi sıkıntısı olan bölgelerde yüzen evler, seralar, platformlar, peyzaj amaçlı küçük adacıklar vb. yapılması olarak özetlenebilir (Özer, 2011).

Geofom bloklar ilk defa Norveç'te 1972 yılında hafif dolgu malzemesi olarak otoyol inşaatlarında kullanılmaya başlanmıştır (Aabøe, 2011). Bu ilk uygulamayı takiben, geofom blokların hafif dolgu malzemesi olarak inşaat mühendisliğinde en

yaygın kullanım alanı otoyol inşaatlarıdır (Thompsett vd., 1995; Beinbrech ve Hillmann, 1997; Bartlett vd., 2000; Bartlett vd., 2001; Riad ve Horvath, 2004; Aabøe, 2011; Kubota, 2011). Geofam bloklar Japonya’da 1986’den itibaren hafif otoyol dolgusu olarak başarıyla uygulanmaktadır (Kubota, 2011). Amerika Birleşik Devletleri’nde 2000 yılında tamamlanan I-15 otoyol projesinin 27 km’lik kısmının yeniden inşası projesinde geofam hafif dolgu malzemesi olarak aşırı oturmaları önlemede ve otoyol dolguları altından geçen altyapı sistemlerindeki yapısal hasarların önlenmesinde kullanılmıştır (Farnsworth vd., 2008). Bu ülkelere ek olarak, geofam bloklar ile yol dolgusu inşasında Finlandiya (Saarelainen ve Kangas, 2001), Hollanda (Duškov ve Hogerwerf, 2011) ve son yıllarda ise Yunanistan (Papacharalampous ve Sotiropoulos, 2011) ve Sırbistanda (Spasojević et al., 2011) kullanılmaya başlanmıştır. Geofam blokların dünya genelindeki yaygın kullanımına paralel olarak basınç mukavemeti, bloklar arası ara yüzey sürtünme mukavemeti ve dinamik özellikleri de pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Duskov, 1997; Elragi, 2000; Barrett ve Valsangkar, 2009; Trandafir vd., 2010; Ossa and Romo, 2010). Ayrıca, geofam blokların otoyol inşaatlarında kullanımına ilişkin tasarım ilkeleri Norveç’de (NRRL, 1992) ve Amerika Birleşik Devletleri’nde (Stark vd., 2004a; 2004b) yapılacak uygulamalar için yayınlanmıştır.

Geofam blok yol dolgusu inşaatı için hazırlanan temel tesviye tabakası üzerine geofam bloklar şaşırtmalı biçimde yerleştirilirler (Şekil 3.1). Geofam blok otoyol dolguları geleneksel trapez kesitli (Şekil 3.1 ve 3.2) teşkil edilebileceği gibi doksan derece eğimli olarak da yapılabilirler (Şekil 3.3). İmalatı tamamlanmış EPS-bloklar ile yol alt temel tabakası arasında yer alan ve en az 10 cm kalınlığında betonarme

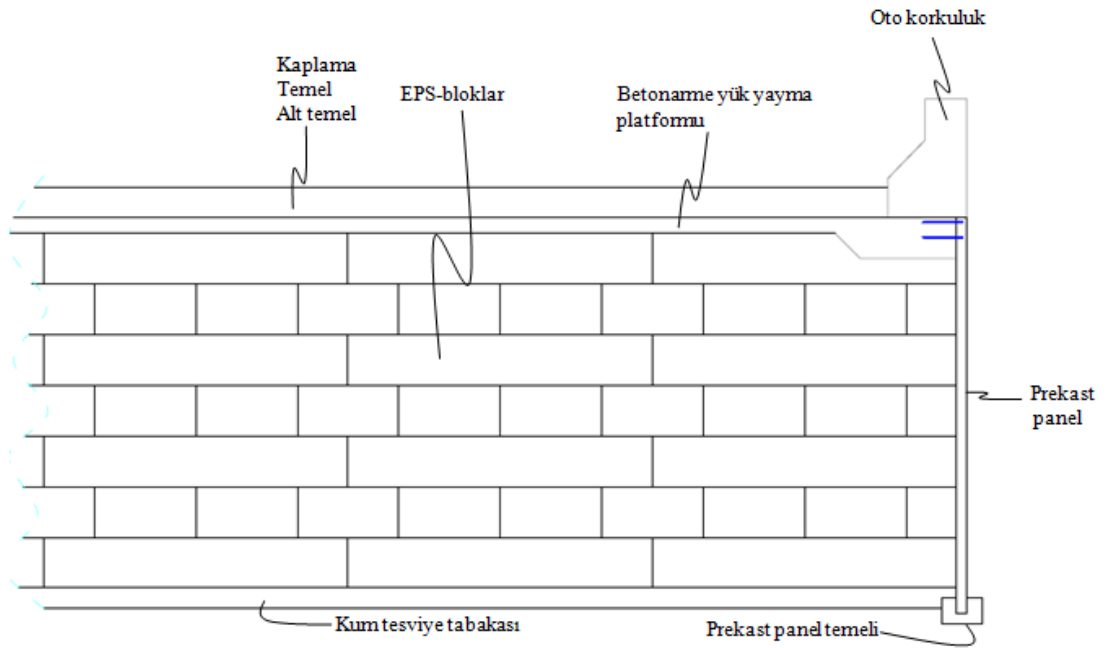
plakadan oluşan yük yayma platformu geofoam bloklar üzerine yerinde imal edilir (Şekil 3.1; 3.3). Daha sonra yol alt temel ve temel tabakaları yük yayma platformu üzerine inşa edilerek sıcak kaplama yapılır ve yol trafiğe açılır. Kesitin şev kısımlarında kalan geofoam blokların ultraviyole etkisi altında bozunmaması için üzerleri toprak örtüsü ile kapatılır (Şekil 3.1). Bununla birlikte, trapez kesitli imalatlarda, EPS-blokların olası petrol ve türevlerinden korunması amacı ile toprak örtü işlemine başlamadan önce geomembran kullanımı da yaygınlıkla yapılan bir uygulamadır. EPS blok dolgu Şekil 3.1’de verildiği gibi, 90 derece şev eğimli teşkil edildiği durumlarda blokları dış etkenlerden korumak amacı ile prekast paneller kullanılır. Bloklar hafif ve inşaatı kolay olduğundan çok kısa bir süre içerisinde tamamlanabilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Tipik trapez kesit geofoam blok yol dolgusu detayı (Özer, 2011)



Şekil 3.2 Oslo -Goteborg Hogdalsbacken Köprüsü Yaklaşım Dolgusu
(EUMEPS, 2010)



Şekil 3.3 Tipik 90 derece şev eğimli geofoam blok yol dolgusu detayı

Şev duraylılığını artırıcı önlemler arasında geleneksel zemin iyileştirme metotlarının yanı sıra şev devirmeye çalışan kuvvetleri azaltarak stabiliteyi artırma prensibinden hareketle geofoam bloklar şev stabilitesi problemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Yeh ve Gilmore, 1989; Jutkofsky, 1998; Jutkofsky vd., 2000; Sheeley, 2000; Reuter ve Rutz, 2000; Reuter, 2001; Negussey, 2002; Mann ve Stark, 2007). Geofoam blokların şev stabilitesinde kullanımının yaygınlaşmasını takiben Amerika Birleşik Devletlerinde geofoam blokların şev stabilitesi ve rehabilitasyonu projelerinde kullanımına yönelik teknik şartname yayınlanmıştır (Arellano vd., 2011). Bu şartnamede geofoam blok şev sistemlerinin dizayn algoritması konsept göçme mekanizmalarının ışığı altında tanımlanmıştır.

Geofoam blokların hafif dolgu malzemesi olarak otoyol inşaatlarında ve şev stabilitesi problemlerinde kullanımının yanı sıra “sıkışabilir tabaka” şeklinde kullanımları Horvath (1997) tarafından açıklanmıştır. Bu konsept kapsamında geofoam bloklar istinat yapılarına gelen yanal yükleri azaltmada duvar arkası geri dolgusu ile istinat duvarı arasına, zemine oturan betonarme döşemeler ve plakalarda döşeme ile zemin arasına düşey yükleri azaltmada ve gömülü borularda üzerlerinde yer alan toprak yüklerinden dolayı oluşabilecek yapısal hasarları önlemede kullanılırlar (Horvath, 1997). Buthurst vd. (2007), Zamani ve Buthurst (2007, 2008, 2009), Athanasopoulos-Zekkos vd. (2010) istinat duvarlarında sismik yükler altında geofoam blokların sıkışabilir tabaka fonksiyonu olarak kullanılmasını laboratuvar modelleri ile incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda istinat yapısı ile geri dolgusu arasına yerleştirilen geofoam blokların sismik yükleri azaltıcı etkisi ortaya konmuştur. Geofoam’un sismik yükleri azaltıcı etkilerine ek olarak şişme potansiyeli yüksek

zeminlerden dolayı meydana gelecek şişme basınçlarını azaltıcı tampon olarak kullanılması ise Aytekin (1998) ve İkizler vd. (2008) tarafından incelenmiştir. Bartlett vd. (2011) deprem bölgelerinde inşa edilmiş çelik boru hatlarının olası sismik bir aktiviteden etkilenmemeleri için geofoam bloklar kullanılarak rehabilite edilmesi prensibini ortaya koymuştur.

3.2. EPS Boncukların Kullanım Alanları

Tezin II. Bölümünde üretim detaylarında verildiği üzere, EPS hammaddesinin ön şişirilme işlemi neticesinde elde edilen ilk mamülü EPS boncuk olarak adlandırılır. Son yıllarda hafif dolgu malzemesi olarak zeminle EPS boncuklar karıştırılarak çeşitli projelerde kullanılmıştır (Tsuchida vd., 2001; Satoh vd., 2001; Yonz vd., 2004; Miao vd., 2013). Hidrolik tarama yolu ile elde edilen deniz tabanından taranan çamurların geri kazanılması amacıyla, bu malzemelerin EPS boncuklar ve çimento ile karıştırılarak elde edilen hafif dolgu malzemesi Tsuchida vd. (2001), Satoh vd. (2001) ve Yoonz vd. (2004) tarafından kullanılmıştır. Bu yaratılan yeni dolgu malzemesi hem tarama çamurlarının saklanması için gerekli ilave depo sahaları yaratılmasını önlemesi hem de atıkların ekonomiye geri kazandırılması açısından son derece önemlidir. Yumuşak killi zemine oturan köprü yaklaşım rampasının inşasında Miao vd. (2013) kum, EPS boncuk ve çimento karışımından oluşan hafif dolgu malzemesi kullanılmıştır.

EPS boncuk, kil ve çimento karışımı hafif dolgu malzemesinin gerilme - şekil değiştirme davranışları Liu vd. (2006) tarafından incelenmiş, benzer şekilde EPS boncuk, kum ve çimento karışımından oluşan hafif dolgu malzemesinin mukavemeti

ise Miao vd. (2010) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmalar dolgu malzemesi olarak kullanılacak zeminlere EPS boncuk ilavesinin dolgunun birim hacim ağırlığını azalttığını ve çimento ilavesinin ise karışımın EPS boncuk ilavesinden dolayı maruz kaldığı mukavemet kaybını artıcı olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, karışımlardaki çimentonun maliyetini kaldırmak amacıyla bağlayıcısız bir karışım olarak sadece EPS boncuk ve kum karışımından oluşan zeminlerin mekanik özellikleri Deng ve Xiao (2009, 2010) tarafından ortaya konmuştur. Edinçliler ve Özer (2014) EPS boncuk ve kum karışımından oluşan hafif dolgu malzemelerinin mekanik özelliklerine EPS boncuk yoğunluğunun etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda EPS boncuk ilavesinin karışımın birim hacim ağırlığı ile birlikte mukavemetini de azalttığı açıkça ortaya konmuştur. Burada önemli olan EPS boncuğun ağırlıkça kompozit hafif dolgu sistemi içerisindeki yüzdesidir ve bu tasarım parametresi projeye özel tanımlanmalıdır (Edinçliler ve Özer, 2014).

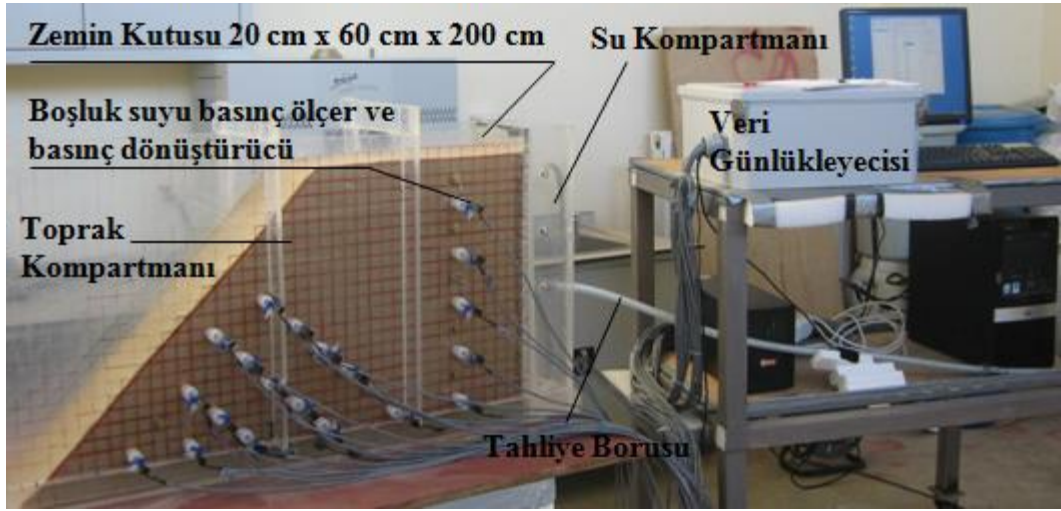
IV. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Zemin Kutusu

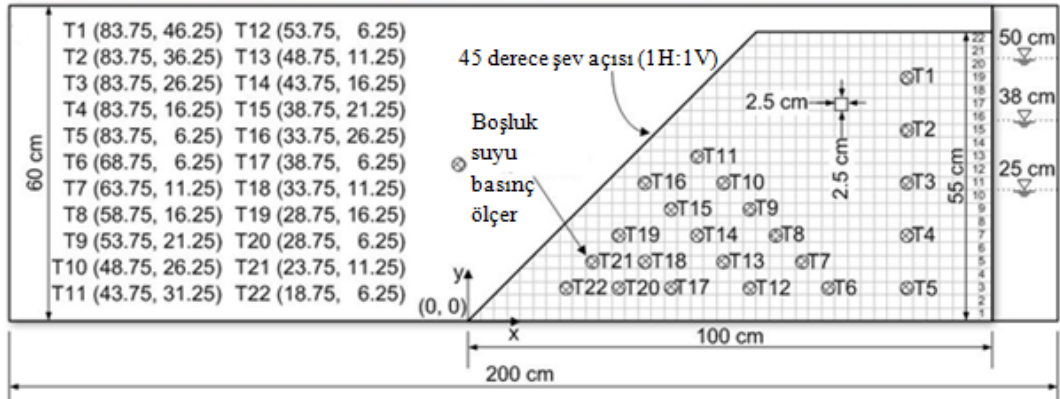
Bu tez kapsamında toplam 15 adet fiziksel şev modelinin sızma kuvvetleri altındaki davranışı incelenmiştir. Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında geofaom blok şevlerin sızma kuvvetleri altındaki davranışlarının incelendiği çalışmalarda olduğu gibi (Akay vd., 2012, 2013, 2014a, 2014b; Özer vd., 2014; Özer ve Akay, 2014), zemin kutusu 1cm kalınlığında pleksiglasdan 200 cm uzunluğunda, 20 cm genişliğinde ve 60 cm yüksekliğinde imal edilmiştir (Şekil 4.1). Zemin kutusu fiziksel şev modelinin inşa edildiği toprak kompartmanı ve sızma kuvvetlerinin uygulanmasına olanak sağlayan su haznesi şeklinde iki ayrı bölümden oluşur. Bu bölmeler 1cm kalınlığında ve üzerinde 8 mm çapında su haznesinden şeve sızma kuvvetlerinin uygulanması için açılmış deliklerden oluşan pleksiglas plaka ile ayrılmıştır. Bu ayırma plakası ile şev model arasında 0.063 mm göz açıklığına sahip elek teli deney sırasında ve model inşasında su deposuna zemin girişini önlemek amacıyla kullanılmıştır. Su haznesi deney sırasında fiziksel şev modeline uygulanan ve deney boyu sabit kalan üç farklı hidrolik yükün (25 cm, 38 cm ve 50 cm basınç yükü) şeve uygulanmasında kullanılmıştır. Deney sırasında su besleme sistemi ile su deposuna devamlı su akışı sağlanmış ve su tankının her bir hidrolik yük için cidarında yer alan taşıma deliklerinden tahliye edilerek haznede hidrolik yük sabit tutulmuştur.

Deneyler sırasında sızma kuvvetlerinden dolayı şevde oluşan boşluk suyu basınçları (h) 22 adet kalem tipi boşluk suyu basınç ölçer (Soil Measurement Systems,

Tucson, AZ, USA) vasıtasıyla ölçülmüştür (Şekil 4.1). Bu basınç ölçerler önceki laboratuvar çalışmalarında boşluk suyu basınçlarının ölçülmesinde başarıyla kullanılmıştır (Akay ve Fox, 2007, Akay vd., 2012, 2013, 2014a, 2014b; Özer vd., 2014; Özer ve Akay, 2014). Tüm boşluk suyu basınç ölçerler ölçüm kapasiteleri -345 cm su basıncı ile +345 cm su basıncı aralığında olan basınç dönüştürücülere (ASDXRRX005PDAA5, Honeywell Sensing and Control, Golden Valley, MN, USA) bağlanmıştır. Boşluk suyu basıncı her 10 s'de bir veri günlükleyicisi (CR1000 w/ multiplexer, Campbell Scientific, Logan, UT) tarafından değerlendirilerek kaydedilmiştir (Şekil 4.1). Deneyler sırasında kullanılan kalem tipi basınç ölçerler ve fiziksel şev modellerindeki yerleri ve numaraları Şekil 4.2'de sunulmuştur. Tüm deneyler boşluk suyu basınçları kararlı akım durumunu kayıt altına alana kadar devam etmiştir. Her bir deney için sızma suyunun şevin topuğundan çıkması için geçen zaman (sızma süresi) ve şevin sızma kuvvetleri altında göçmeye başladığı an (göçme başlangıcı) ve kayma yüzeyi boyunca göçen tüm malzemenin topuğa yığılarak şevin daha fazla göçmesini önleyecek hale gelerek boşluk suyu basınçlarının kararlı akımı gösterdiği zaman (son göçme zamanı) kaydedilmiştir. Deneyler devam ederken dakikada bir çekilen fotoğraflar ile fiziksel modelin durumu kayıt altına alınmıştır.



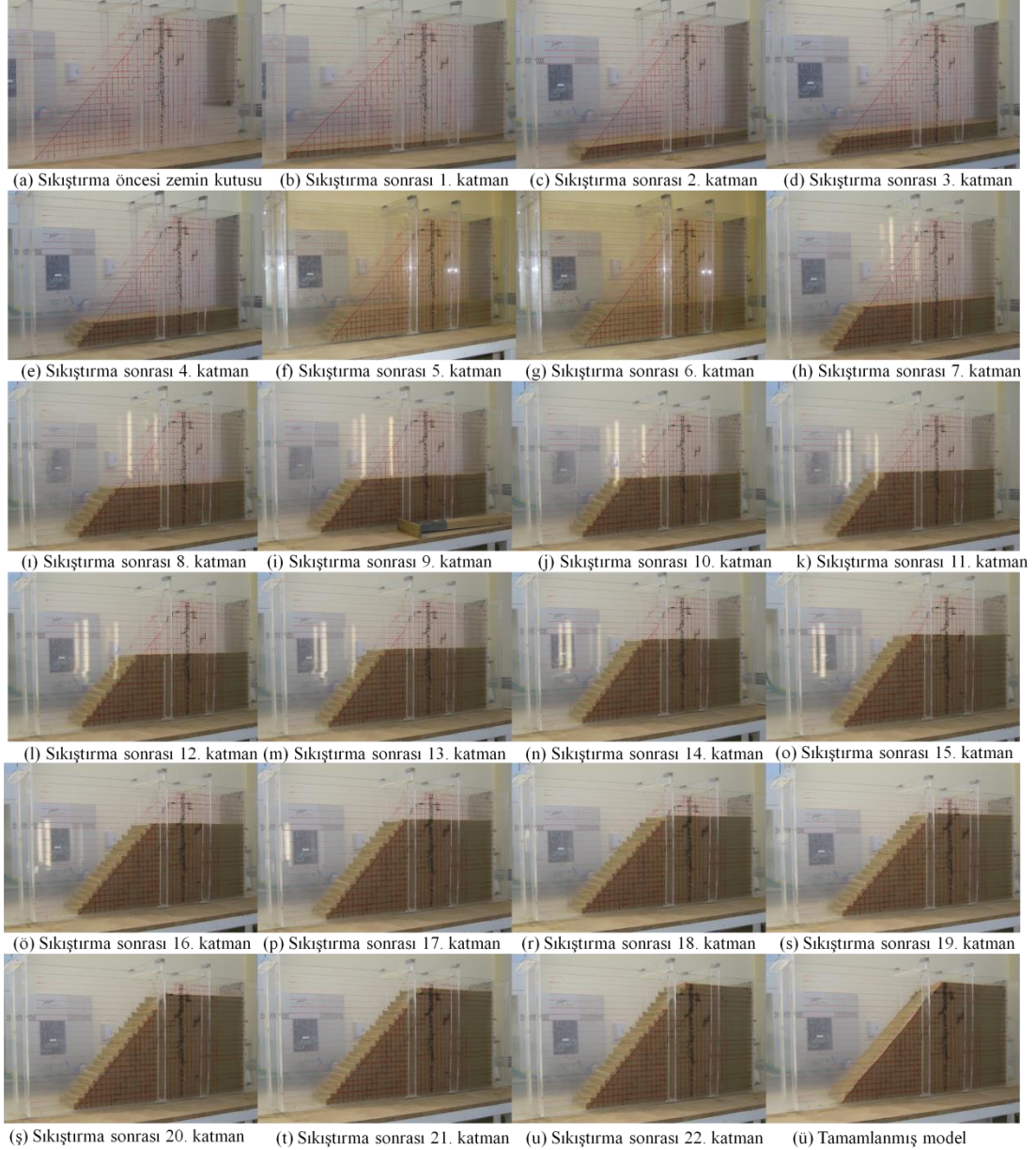
Şekil 4.1 Fiziksel şev deney modeli ve ekipmanları



Şekil 4.2 Boşluk suyu basınç ölçerlerin yerleşim planı (Akay vd., 2013; Özer vd., 2014)

Fiziksel şev modelinin inşası için gerekli olan kum en uygun ve üniform kompaksiyon koşullarını sağlamak amacıyla laboratuvar ortamında oda sıcaklığında su muhtevası % 6.5 ile 11.6 (ASTM D2216) arasında olacak şekilde kurutulmuş ve sonra zemin kutusu içerisinde kuru birim hacim ağırlığı 14 kN/m^3 olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi 2.5 cm kalınlığında kontrollü olarak tabakalar

halinde yapılmıştır (Şekil 4.3). İmalatı tamamlanmış şevın şev açısı 45 derece, yüksekliği 55 cm, uzunluğu 100 cm ve genişliği 20 cm'dir (Şekil 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.3 Zemin kutusunda 2.5 cm tabakalar halinde kontrollü sıkıştırma işlemi neticesinde kuru birim hacim ağırlığı 14 kN/m³ olan fiziksel şevin imalatı

4.2. Malzeme

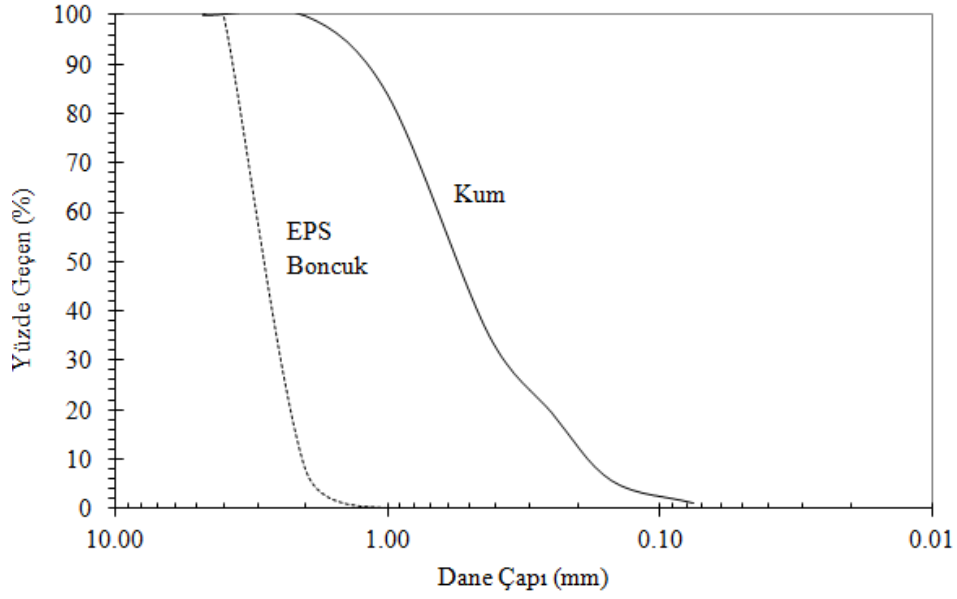
Deneyleerde kullanılan kumun fiziksel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Kumun özgül ağırlığı ASTM D854’e göre belirlenmiştir. Dane çapı dağılımı deneyi ASTM D6913’e göre yapılmış elde edilen granülometre eğrisi Şekil 4.4’de verilmiş ve dane çapı dağılım eğrisinin özellikleri Tablo 4.1’de özetlenmiştir. Kumun maksimum ve minimum boşluk oranları sırası ile ASTM D4253 ve ASTM D4254’e göre belirlenmiştir.

Kumun mukavemetini belirlemek amacıyla üç adet konsolide drenajlı (CD) üç eksenli basınç deneyi ASTM D4767’e göre yapılmıştır. Üç eksenli deneyde kullanılan örselenmemiş zemin numuneleri 20 cm uzunluğunda ve 7.26 cm çapında pirinç numune alıcılar kullanılarak fiziksel şev model deneyi sonucunda şevin göçmeyen kısımlarından alınmıştır (Şekil 4.5a, 4.5b ve 4.5c). Numune alıcılar daha sonra numune çıkarma krikosuna yerleştirilmiş (Şekil 4.5d) ve son numune boyu çapının iki katı olacak şekilde ($7.26 \times 2 = 14.5$ cm) toplam numune uzunluğunun 5.5 cm’lik kısmı (20 cm – 5.5 cm) kriko ile çıkarılarak sıyrılmıştır (Şekil 4.5e). Daha sonra numune kriko vasıtasıyla pirinç tüpten çıkarılarak membran geçirilmiş ayrılabilen numune kalıbına alınmıştır (Şekil 4.5f). Kalıptan çıkarılan numune üç eksenli deney hücresine yerleştirilmiş (Şekil 4.5g), hücrenin parçaları bağlanmış ve deney sırasında uygulanacak sabit hücre basıncı için hücreye su verilmiştir (Şekil 4.5h). Sonrasında deney için hazır hale gelen numune yükleme çerçevesine yerleştirilmiştir (Şekil 4.5i). İlk aşama olarak numuneler suya doyurulmuş, sonrasında konsolide edilmiş ve drenajlı koşullarda kesilerek deneyler sonlandırılmıştır. Üç eksenli basınç deneyleri üç

farklı hücre basıncında (50, 100, ve 200 kPa) yapılmış ve deney sonucunda kırılma anında elde edilen deviatorik gerilmeler ve mukavemet parametreleri Tablo 4.2’de özetlenmiştir. ASTM D4767’e göre kırılma kriteri olarak en fazla deviatorik gerilme ya da %15 birim boy kısalmaya gelen deviatorik gerilmeden hangisi büyük ise maksimum deviatorik gerilme olarak rapor edilmiştir (Tablo 4.2). Deneylerde uygulanan kesme hızı %0.075/dak’dır.

Tablo 4.1. Malzemelerin fiziksel özellikleri

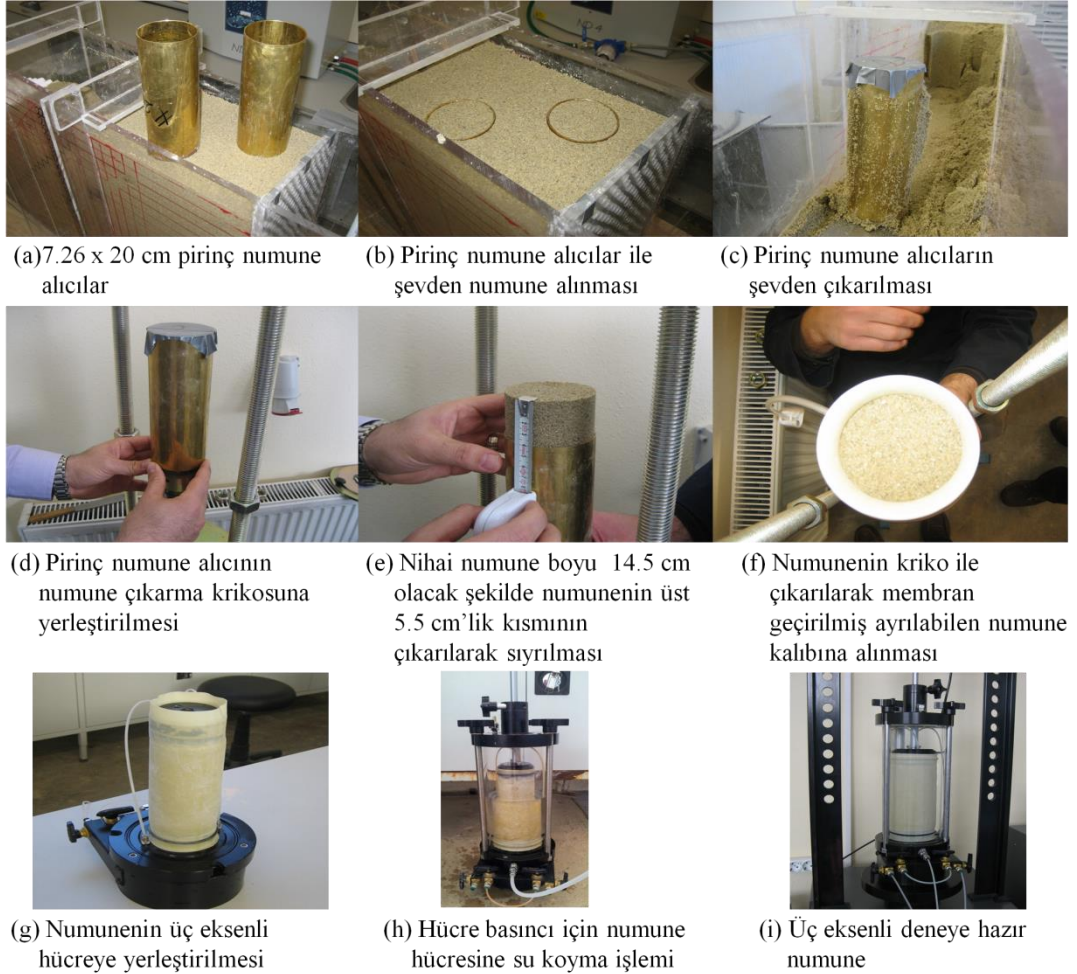
Özellik	Tanım & Birim	Değer
Malzeme: Kum		
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)	SP
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%), Silt + Kil (%)	96.0, 4.0
Etkin Çap	D_{10} (mm)	0.19
Üniformluk Katsayısı	C_u [-]	3.5
Eğrilik Katsayısı	C_c [-]	1.2
Yoğunluk	G_s [-]	2.65
Maximum Boşluk Oranı	e_{max} [-]	0.89
Minimum Boşluk Oranı	e_{min} [-]	0.56
Malzeme: EPS Boncuklar		
Boncuk Dane Çapı Aralığı	(mm – mm)	1.0 – 4.0
Efektif Çap	D_{10} (mm)	2.0
Üniformluk Katsayısı	C_u [-]	1.6
Eğrilik Katsayısı	C_c [-]	1.0
Özgül Ağırlık	G_s [-]	0.03
Kuru Birim Hacim Ağırlık	γ_d (kN/m ³)	0.19
Malzeme: EPS Boncuk + Kum		
Kuru Birim Hacim Ağırlık	γ_d (kN/m ³)	11.6



Şekil 4.4 Kum ve EPS boncuğun dane çapı dağılım eğrileri

Kumun hidrolik özelliklerini belirlemek amacıyla toplamda dokuz adet 20 cm uzunluğunda ve 7.26-cm çapındaki pirinç numune alıcılar kullanılarak mukavemet deneylerinde olduğu gibi alınmış örselenmemiş numunelerden (Şekil 4.5a, 4.5b, ve 4.5c) ASTM D2434'e göre sabit seviyeli hidrolik geçirgenlik deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.6). Pirinç tüp taban plakasına (Şekil 4.6a) oturtulmuş (Şekil 4.6b) ve hidrolik sabit yük uygulamak için üzerine numune çapı ile aynı çapta ve 6.4 cm yüksekliğinde bir ring yerleştirilmiştir (Şekil 4.6c). Hidrolik yük uygulanması sırasında pirinç numune alıcı ile ring arasındaki sızdırmazlık siyah kanal bandı sayesinde sağlanmıştır (Şekil 4.6c). Daha sonra deney numunesi pleksiglas deney platformuna alınmış, numunenin altına deney sırasında numuneden çıkacak su miktarını ölçmek için 0.01 g hassasiyetinde terazi ve suyun toplanacağı cam kap yerleştirilmiştir (Şekil 4.6d). Önce numune suya doygun hale getirilmiş ve sonrasında sabit hidrolik yük altında

numuneden çıkan su miktarı zamana göre kaydedilerek deney tamamlanmıştır (Şekil 4.6e). Sabit seviyeli permeabilite deney sonuçları Tablo 4.3'te özetlenmiştir.



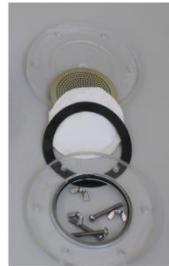
Şekil 4.5 Örselenmemiş kum numunelerin üç eksenli CD deneyleri için hazırlanması

Tablo 4.2. CD Deney Sonuçları

Numune	EPS Boncuk İçeriği (Ağırlıkça / Hacimce) (%)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Maksimum Deviatörük Gerilme (kPa)			c' (kPa)	ϕ' (derece)
			Hücre Basıncı	Hücre Basıncı	Hücre Basıncı		
			50 kPa	100 kPa	200 kPa		
Kum [#]	---	13.8	129.0	221.8	407.4	10.8	28.8
		13.8	103.9	204.2	424.6	8.0	29.7
		13.5	101.6	203.2	406.6	0	30.3
Kum + EPS Boncuk ^{&}	0.5 / 19.6	11.3	110.8	214.2	360.0	11.7	26.7
		11.4	124.7	214.8	363.6	15.6	26.2
		11.3	132.0	224.6	378.0	17.0	26.7

[#]Fiziksel şev deneyleri sonrasında şevin göçmemiş kısmından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan deneyler.

[&]EPS boncuk -kum karışımları üç boyutlu zemin kutusunda hazırlandı ve sonrasında örselenmemiş numuneler alındı.



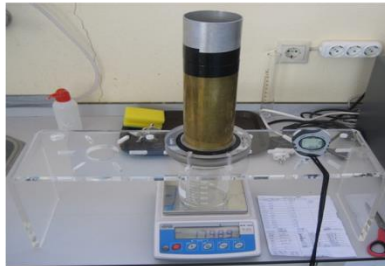
(a) Numune taban plakası parçaları



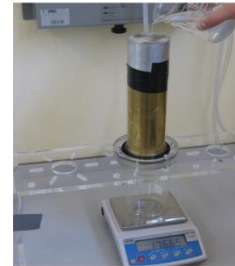
(b) Pirinç numune alıcı alt yüzüne taban plakası yerleştirilmesi



(c) Pirinç numune alıcı üzerine 6.4 cm yüksekliğinde sabit hidrolik yük uygulanmak üzere ilave ring montajı



(d) Sabit seviyeli permeabilite deneyine hazır numunenin pleksiglas tabla üzerine alınması



(e) Sabit su seviyesinin uygulanması ve numuneden çıkan su miktarının zamanla kaydedilmesi

Şekil 4.6 Sabit seviyeli permeabilite deneyleri

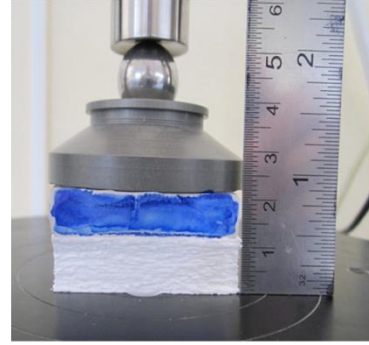
Zemin kutusu deneylerinde hafif dolgu sistemi olarak geofom bloklar ve EPS boncuk + kum karışımından oluşan kompozit hafif dolgu malzemesi kullanılmıştır. Geofom bloğun basınç mukavemeti standart 50 mm kübik numunelerden ASTM D1621'e göre belirlenmiş (Şekil 4.7), elde edilen basınç – birim boy kısalma eğrileri %14 birim boy kısaltmaya kadar Şekil 4.8'de ve deney sonuçları ise Tablo 4.4'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3 Sabit Seviyeli Permeabilite Deney Sonuçları

Numune	Numune No	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Hidrolik Geçirgenlik, k_{sat} (m/s)
Kum	#1	13.8	1.2×10^{-4}
	#2	14.1	1.9×10^{-4}
	#3	14.1	1.9×10^{-4}
	#4	13.7	2.0×10^{-4}
	#5	14.2	2.0×10^{-4}
	#6	14.4	2.2×10^{-4}
	#7	14.1	1.9×10^{-4}
	#8	13.8	1.6×10^{-4}
	#9	13.6	1.8×10^{-4}
Ortalama		14.0	1.8×10^{-4}
Kum + EPS boncuk	#1	10.9	2.1×10^{-4}
	#2	11	3.0×10^{-4}
	#3	11.2	3.5×10^{-4}
	#4	11.2	3.4×10^{-4}
	#5	11.2	3.4×10^{-4}
Ortalama		11.1	3.1×10^{-4}

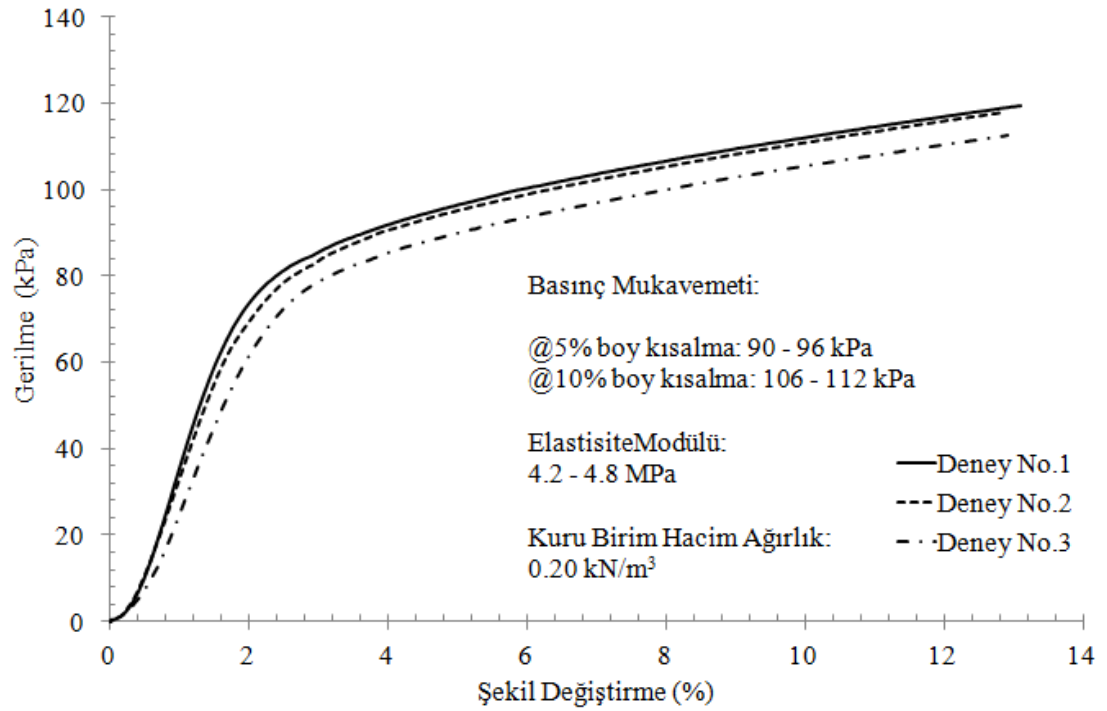


(a) 50 x 50 x 50 mm küp numune
(deney öncesi)



(b) %80 birim boy kısalmasına uğramış
numune

Şekil 4.7 Geofam blok basınç mukavemeti deneyi



Şekil 4.8 Geofam blok basınç mukavemeti deney sonuçları

Tablo 4.4 Geofom bloğun mekanik özellikleri

Özellik	Sembol & Birim	Değer
Kuru Birim Hacim Ağırlık	γ_d (kN/m ³)	0.2
Basınç Mukavemeti	@ 5% boy kısalma	90-96
	@ 10% boy kısalma	106-112
Elastisite Modülü	E (MPa)	4.2-4.8
Poisson Oranı	ν	0.1

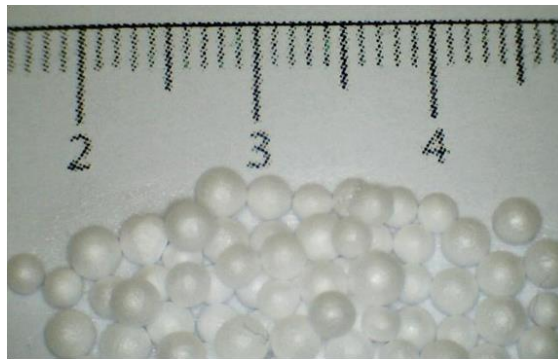
Zemin kutusu deneylerinde kompozit hafif dolgu sisteminin parçası olarak geofom bloklarla birlikte EPS boncuk + kum karışımı da kullanılmıştır (Şekil 4.9). EPS boncuk + kum karışımlarındaki en önemli tasarım parametresi karışımdaki EPS boncuk miktarının kullanılan kuma göre ağırlıkça yüzdesidir (Deng ve Xiao, 2010; Edinçliler ve Özer, 2014). Burada amaç EPS boncuklar ile EPS boncuk + kum karışımının birim hacim ağırlığı azaltılırken bir yandan da meydana gelecek mukavemet kaybını göz önünde tutarak en uygun ağırlıkça EPS boncuk yüzdesini ortaya koymaktır (Deng ve Xiao, 2010; Edinçliler ve Özer, 2014). Bu amaçla bu tezde Deng ve Xiao (2010)'nun karışımdaki kum miktarının %0.5'i olarak rapor ettikleri optimum EPS boncuk miktarı kriteri kullanılarak EPS + kum karışımları hazırlanmıştır.



Şekil 4.9 EPS boncuk + kum karışımından oluşan hafif dolgu malzemesi
(Ağırlıkça EPS boncuk miktarı = %0.5)

Karışımındaki kum, şev modelini oluşturan kum ile aynı olup fiziksel özellikleri Tablo 4.1’de özetlenmiştir. Karışımında kullanılan EPS boncukların fiziksel özellikleri de yine Tablo 4.1’te sunulmuştur. EPS boncukların çapları 1 – 4 mm arasında değişmektedir (Tablo 4.1, Şekil 4.4 ve Şekil 4.9). Deng ve Xiao (2010) EPS boncukların birim hacim ağırlıkları ve özgül ağırlıklarını belirlemek için ince daneli zeminler için hazırlanmış ASTM C128’in prosedürünü takip etmiş ve bu prosedür Edinçliler ve Özer (2014) tarafından da uygulanmıştır. Benzer şekilde bu çalışmada kullanılan EPS boncukların özgül ağırlıkları ve kuru birim hacim ağırlıkları ASTM C128’e göre belirlenmiştir. EPS boncuklar 1000 ml hacmindeki hidrometre mezürüne doldurulmuş ve doldurma işlemi sırasında boncukların sıkışmamasına özen gösterilmiştir. 1000 ml’lik hacmi dolduran net EPS boncuk ağırlığı kabın hacmine bölünerek EPS boncukların kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru birim hacim ağırlık belirlenmesini takiben, hidrometre mezürünün ağzı elek telinin conta

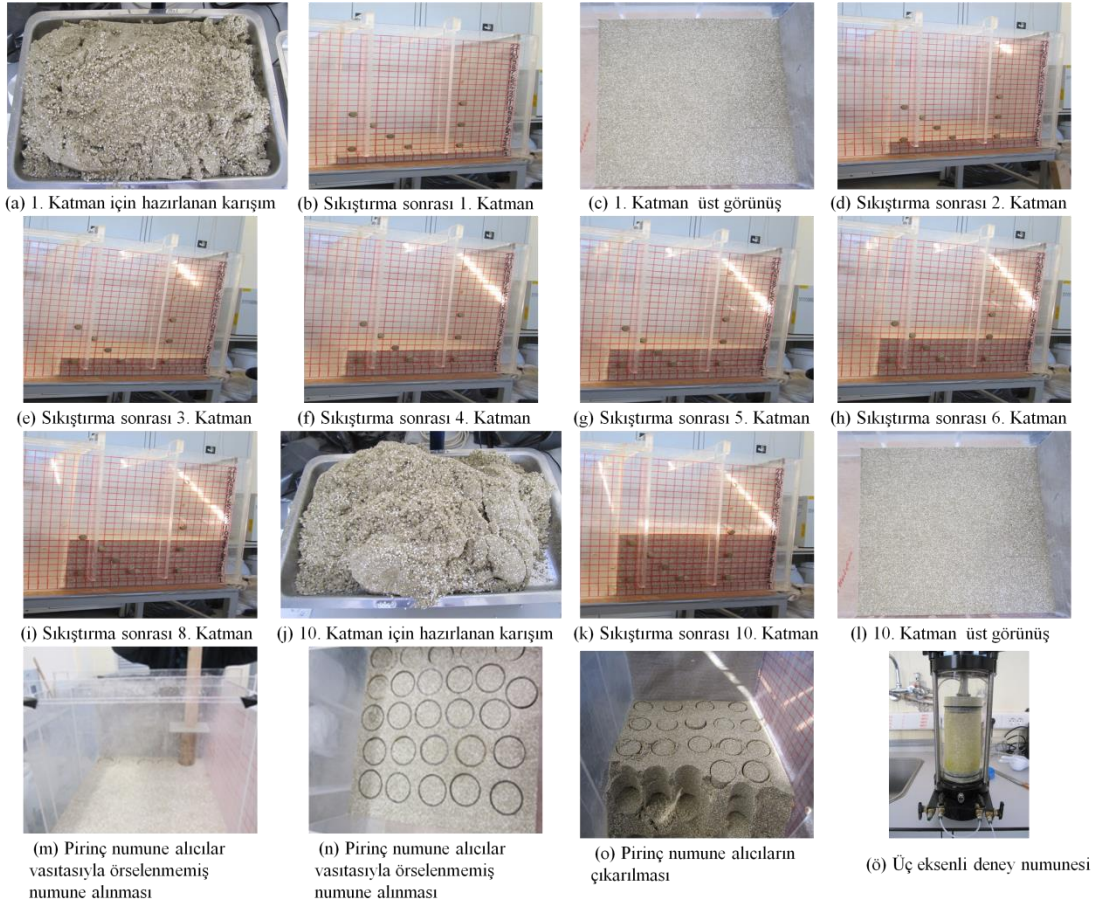
(O-ring) vasıtasıyla mezüre bağlanmasıyla kapatılmıştır. EPS boncuklar tarafından hidrometre mezürü içerisinde kaplanan hacmin bulunması için hidrometre havası alınmış su ile sabit ağırlık elde edilene kadar doldurulmuştur. Bu esnada hidrometrenin ağzındaki elek teli boncukların mezürden dışarı taşmasını engellemiştir. Hidrometreyi dolduran EPS boncukların net ağırlığı ve hacmi kullanılarak özgül ağırlıkları hesaplanmıştır.



Şekil 4.9 EPS boncuk + kum karışımlarında kullanılan EPS boncuklar (Edinçliler ve Özer, 2014)

Ağırlıkça %0.5 EPS boncuk'tan oluşan EPS boncuk + kum karışımlarının kuru birim hacim ağırlığı Tablo 4.1'de sunulmuştur. Karışımın mekanik özellikleri üç eksenli CD deneyleri ile belirlenmiş ve deney sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere segregasyon olmayacak şekilde EPS boncuklar ıslak kum ile karıştırılmış ve 2.5 cm'lik toplam 10 tabaka (10 x 2.5 cm = 25 cm yüksekliğinde) halinde kuru birim hacim ağırlığı 11.6 kN/m^3 olacak şekilde kontrollü olarak üç boyutlu zemin kutusu (50 cm x 60 cm x 100 cm boyutlarında) içerisinde sıkıştırılmıştır (Şekil 4.10a - 4.10l). Sonrasında 20 cm uzunluğunda ve 7.26 cm çapında pirinç numune alıcılar kullanılarak (Şekil 4.10m - 4.10o) karışımdan

örselenmemiş numuneler alınmış ve Şekil 4.4'te verilen prosedür uygulanarak üç eksenli basınç deneyleri için numuneler hazırlanmıştır (Şekil 4.10ö).



Şekil 4.10 EPS boncuk + kum karışımlarının üç eksenli deneyler için numune hazırlanması

Kum numunelerde olduğu gibi EPS Boncuk + kum karışımından oluşan hafif dolgu malzemesinin de üç eksenli CD basınç deneyleri üç farklı hücre basıncında (50, 100 ve 200 kPa) yapılmış ve deney sonucunda kırılma anında elde edilen deviatörük gerilmeler ve mukavemet parametreleri Tablo 4.2'de özetlenmiştir. ASTM D4767'e

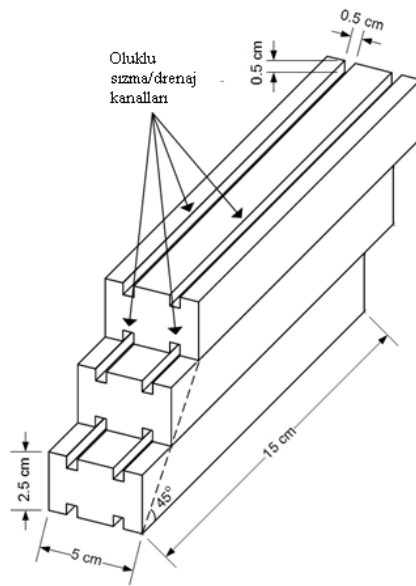
göre kırılma kriteri olarak en fazla deviatörük gerilme ya da %15 birim boy kısalmaya gelen deviatörük gerilmeden hangisi büyük ise maksimum deviatörük gerilme olarak rapor edilmiştir (Tablo 4.2). Deneyleerde uygulanan kesme hızı %0.075/dak'dır.

EPS boncuk + kum karışımlarının hidrolik geçirgenliği kum numunelerinde olduğu üzere ASTM D2434'e göre sabit seviyeli hidrolik geçirgenlik deneyleri Şekil 4.10'da gösterildiği şekilde hazırlanan numuneler üzerinden Şekil 4.6'daki prosedür kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

4.3. Şev Konfigürasyonları

EPS blok geofoam şev sistemlerinin kumlu şevlerde sızma kuvvetleri altındaki davranışları ilk olarak Akay vd. (2012 ve 2013) tarafından incelenmiş ve EPS blokların sığ kayma göçmelerini önlediği ancak derin kayma yüzeyleri oluşturan sızma kuvvetlerine karşı etkisiz kaldıkları fiziksel laboratuvar deneyleri ışığı altında ortaya konmuştur. Akay vd. (2012 ve 2013) tarafından yürütülmüş ilk çalışmalarda geofoam blokların şev uygulamalarında geleneksel olarak kullanılan yamaç dolgusu ("side-hill fill") konfigürasyonu incelenmiştir. Bu konfigürasyonda bloklar mevcut şev yüzeyine dayanarak düşey doğrultuda geofoam blok dolgunun teşkil edilmesinden meydana gelmektedir. Bu çalışmaların devamında Özer vd. (2014) "trapez kesit tipi" ("embankment type") geofoam blok konfigürasyonunu derin kayma yüzeyleri boyunca oluşacak toptan göçmeleri önleyebildiğini göstermiştir. "Trapez kesit hafif dolgu" tipi geofoam blok konfigürasyonunda bloklar şevin topuğuna trapez kesit oluşturacak şekilde yerleştirilmekte ve konfigürasyonun şev içinde kalan kısmına şevin uyguladığı düşey toprak basıncı sayesinde sistemi devirmeye çalışan hidrolik

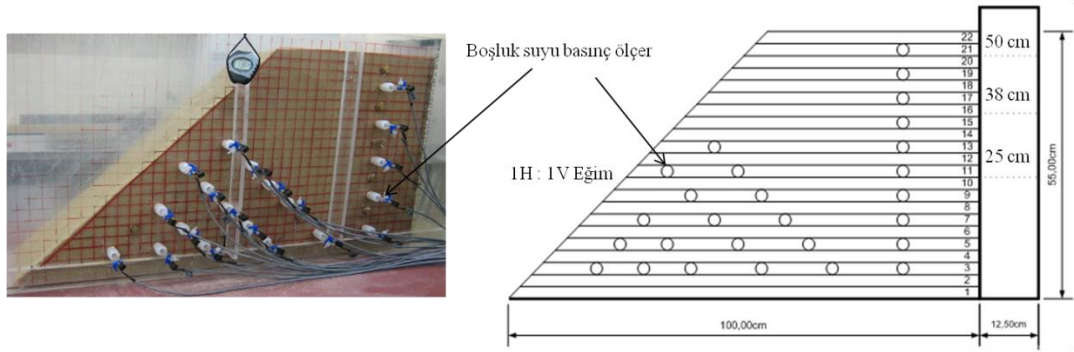
yüklere karşı koyan bir sistem oluşturulmuştur. Önerilen bu şev tipi konfigürasyonu yamaç dolgusu konfigürasyonuna göre gefoam blok şevlerin sızma kuvvetleri altında derin kayma yüzeylerinin oluşturduğu toptan göçmesine ve hidrostatik yüklerden dolayı meydana gelebilecek blokların temelden kaymasına karşı sistemin güvenliğini artırmıştır (Özer vd., 2014). Akay vd. (2012 ve 20103) tarafından test edilen yamaç dolgusu konfigürasyonlarının sızma kuvvetleri altındaki stabilitelerini artırmak amacıyla Akay vd. (2014) gefoam blokların içerisine geleneksel istinat yapılarındaki barbakanlara benzer drenaj kanalları açılmış blokların performanslarını test etmiştir. Bu bloklar içsel drenaj kanallı gefoam bloklar (Şekil 4.11) olarak adlandırılmıştır (Akay vd., 2014). Bu çalışma sonucunda içsel drenaj kanallı gefoam blokların geleneksel yamaç dolgusu şeklinde uygulandıkları zaman kumlu şevlerde oluşacak sığ göçmeleri önlediği, bunun yanında geleneksel bloklar gibi yüksek hidrolik eğimler altındaki sızma kuvvetlerine maruz oldukları zaman toptan şev göçmelerini önleyemedikleri görülmüştür (Akay vd., 2014).



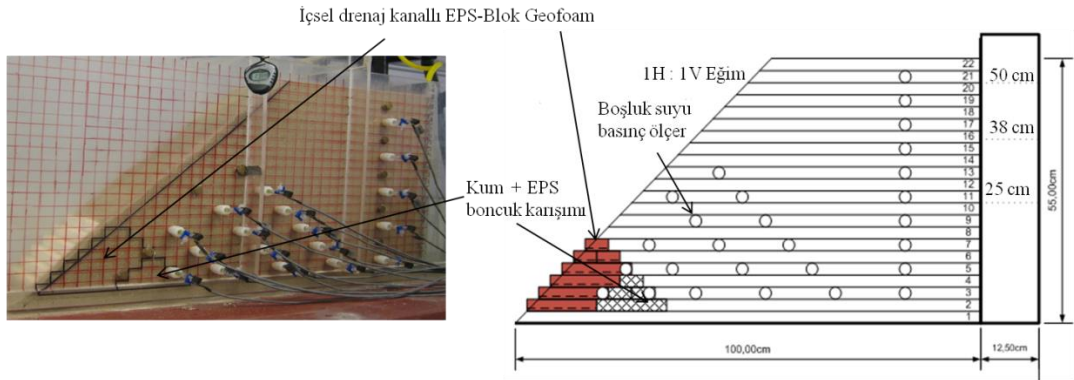
Şekil 4.11 İçsel drenaj kanallı gefoam bloklar (Akay vd., 2014b)

Bu çalışmada Özer vd. (2014) tarafından önerilen “trapez kesit tipi” (embankment type) geofoam blok konfigürasyonu önceki çalışmada önerilen içsel drenaj kanallı blokların (Akay vd., 2014) performansını artırmak amacıyla yeniden yorumlanmıştır. Bu amaçla Özer vd. (2014) tarafından geofoam bloklar kullanılarak oluşturulan konfigürasyon içsel drenaj kanallı geofoam bloklar ile EPS boncuk + kum karışımından oluşan kompozit bir hafif dolgu malzemesi ile teşkil edilmiştir (Şekil 4.12). İçsel drenaj kanallı bloklar şev yüzeyine geleneksel yamaç dolgusunda olduğu gibi yerleştirilmiş ve EPS boncuk + kum karışımından oluşan hafif dolgu malzemesi ise geofoam blokların arkasında şev tipi konfigürasyon olacak şekilde imal edilmiştir (Şekil 4.12b, c). 0.5 cm genişliğinde ve 0.5 cm yüksekliğinde iki adet alt yüzünde ve iki adet üst yüzünde toplam 4 adet drenaj kanalına sahip 5 cm genişliğinde, 15 cm uzunluğunda ve 2.5 cm yüksekliğinde geofoam bloklar kullanılmıştır (Şekil 4.11). İçsel drenaj kanalına sahip geofoam bloklar ve EPS boncuk + kum karışımından oluşan kompozit hafif dolgu sistemi 15 cm (Şekil 4.12b) ve 22.5 cm (Şekil 4.12c) yüksekliğinde “trapez kesit tipi” konfigürasyon teşkil edecek şekilde şevde kullanılmıştır. Hafif dolgu sisteminin performansını karşılaştırmak amacıyla sadece kumdan oluşan modeller (Şekil 4.12a) kullanılmıştır. Bu modeller “Matris” modeller olarak adlandırılmıştır. “Matris” ve “15 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi” konfigürasyona sahip hafif dolgu sistemli şevlerin deneyleri tekrarlı performansları değerlendirmek adına çift olarak yapılmıştır. Tekrarlı performansların geçerliliğinden dolayı “22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi” konfigürasyona sahip hafif dolgu sistemli şevlerin deneyleri tek olarak yapılmıştır. Toplamda yapılan 15 adet deneyin listesi Tablo 4.5’te verilmiştir. Deneyleri birbirlerinden ayırt etmek amacıyla her bir

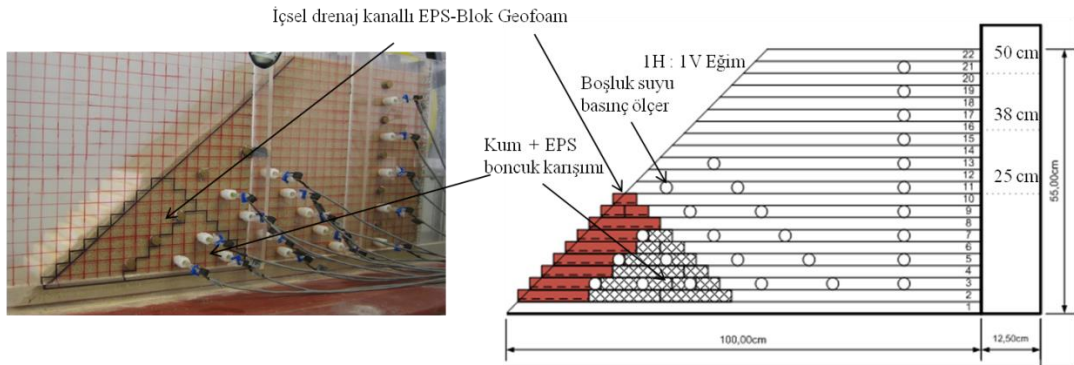
deneye isimler verilmiştir. Deneylein isimleri sırası ile konfigürasyon tipi, deney sırasında uygulanan sabit hidrolik yük ve deney tarihinden oluşmaktadır. Örneğın “15 cm yüksekliğinde trapez kesit 25 cm hidrolik yük 28.11.2013” adlı deney 28.11.2013 tarihinde 25 cm sabit hidrolik yük altında yapılan 15 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi konfigürasyona sahip fiziksel laboratuvar şev deneyini temsil etmektedir.



(a) "Matris" konfigürasyon



(b) "15 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi" konfigürasyon



(c) "22.5 cm yüksekliğinde trapez tipi" konfigürasyon

Şekil 4.12 Fiziksel laboratuvar modellerinde kullanılan konfigürasyonlar

Tablo 4.5 Şev modelleri listesi

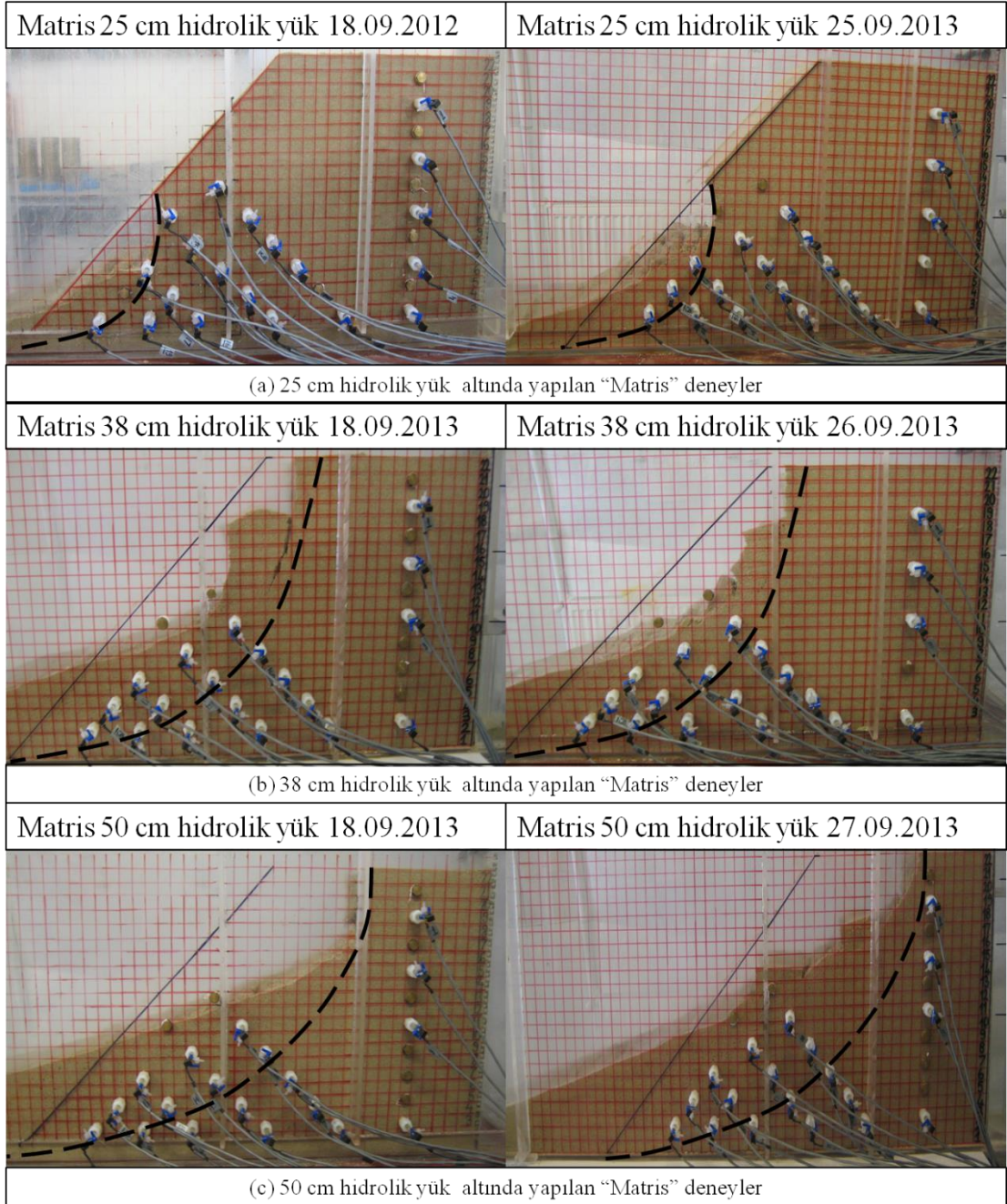
Konfigürasyon	Sabit Seviyeli Hidrolik Yük		
	25 cm	38 cm	50 cm
Matris	18.09.2013	18.09.2013	18.09.2013
	25.09.2013	26.09.2013	27.09.2013
15 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi	28.11.2013	28.11.2013	28.11.2013
	13.12.2013	13.12.2013	13.12.2013
22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi	26.12.2013	26.12.2013	26.12.2013

V. BULGULAR VE TARTIŞMA

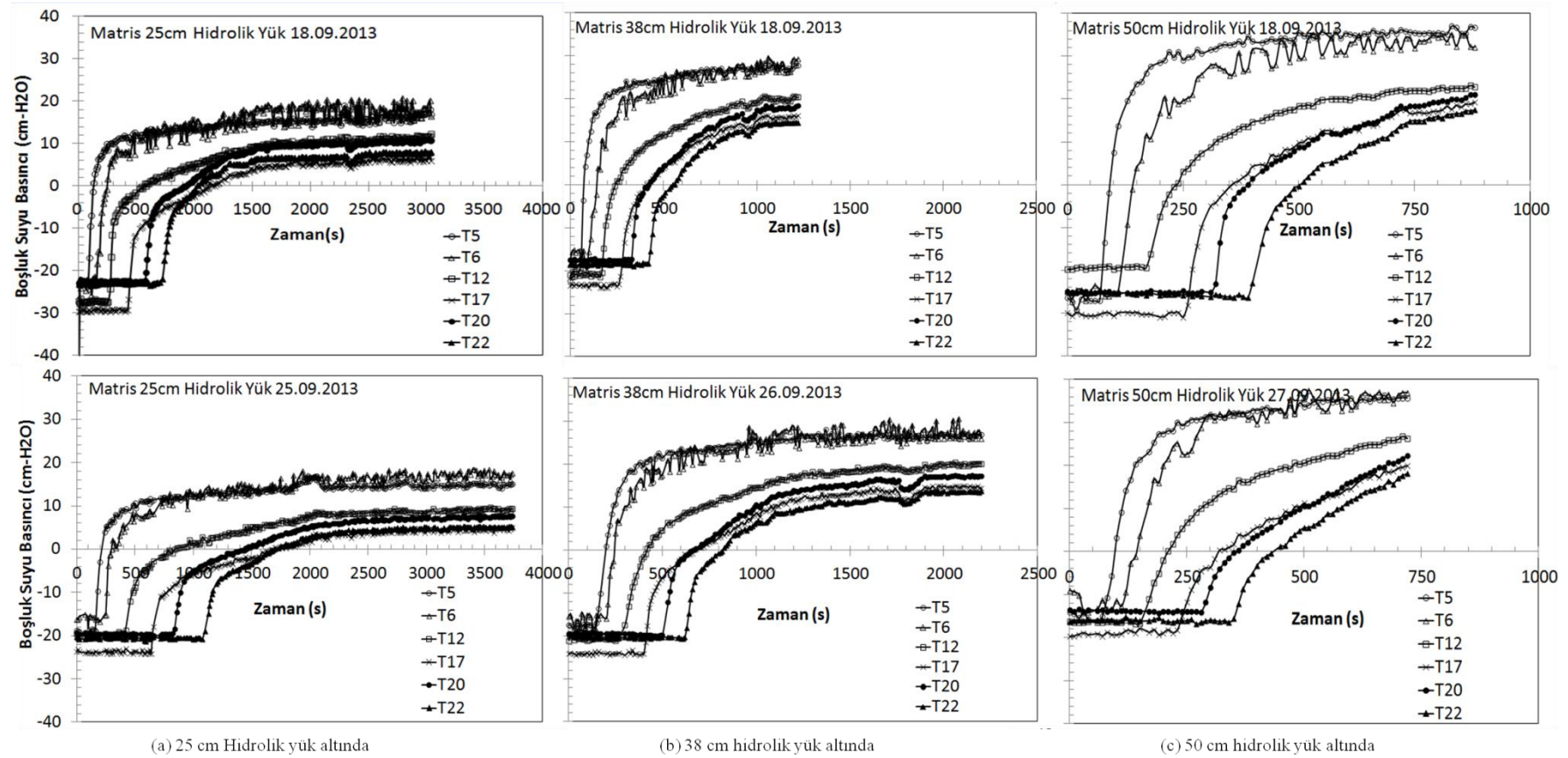
5.1. “Matris” Konfigürasyon

“Matris” deneylerin deney sonu fiziksel durumları ve deneyler sonucunda oluşan temsili kayma yüzeyleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.1’den görüleceği üzere her bir hidrolik yük altında iki kez yapılan deneyler neticesinde elde edilen kayma yüzeylerinin benzerliği, tekrarlı deneyler altında sistemin davranışının tutarlılığını göstermiştir. Ayrıca, benzer kumla yapılan deneyler neticesinde Akay vd. (2013, 2014b) benzer kayma yüzeylerini rapor etmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, sızma kuvvetleri altında meydana gelen şev göçmeleri neticesinde kum şevin topuk bölgesinde toplanmakta ve belli bir zaman sonunda topukta payanda etkisi yaparak şevi deviren kuvvetlere karşı koymak suretiyle şevlerin devrilmesine engel olmaktadır. Dolayısıyla deneyler, bu topukta biriken malzemenin stabilite etkisi gösterene kadar sürdürülmüştür. Bu esnada deneylerde ölçülen boşluk suyu basıncı kararlı hale gelmiştir (Şekil 5.2). 25 cm hidrolik yük altında yapılan deneyler neticesinde şev yüzeyinden başlayıp şev topuğunda son bulan sığ kayma yüzeyi şeklinde bir göçme gözlenmiştir (Şekil 5.1a). Hidrolik yükün artmasıyla kararlı durumdaki boşluk suyu basıncında artış meydana gelmiştir (Şekil 5.2). Buna paralel olarak, 38 cm ve 50 cm hidrolik yük altında şev kret kotundan başlayarak topukta son bulan dairesel derin kayma yüzeyleri şeklinde ortaya çıkan göçmeler elde edilmiştir (Şekil 5.2b ve 5.2c). Hem sığ hem de derin dairesel kayma yüzeyleri için önceki çalışmalarda yapılan nümerik modellemeler neticesinde göçmeye karşı güvenlik

katsayılarının statik denge durumunu temsil eden 1.0 değerinden çok aşağıda olduklarını göstermiştir (Akay vd., 2013; 2014b).



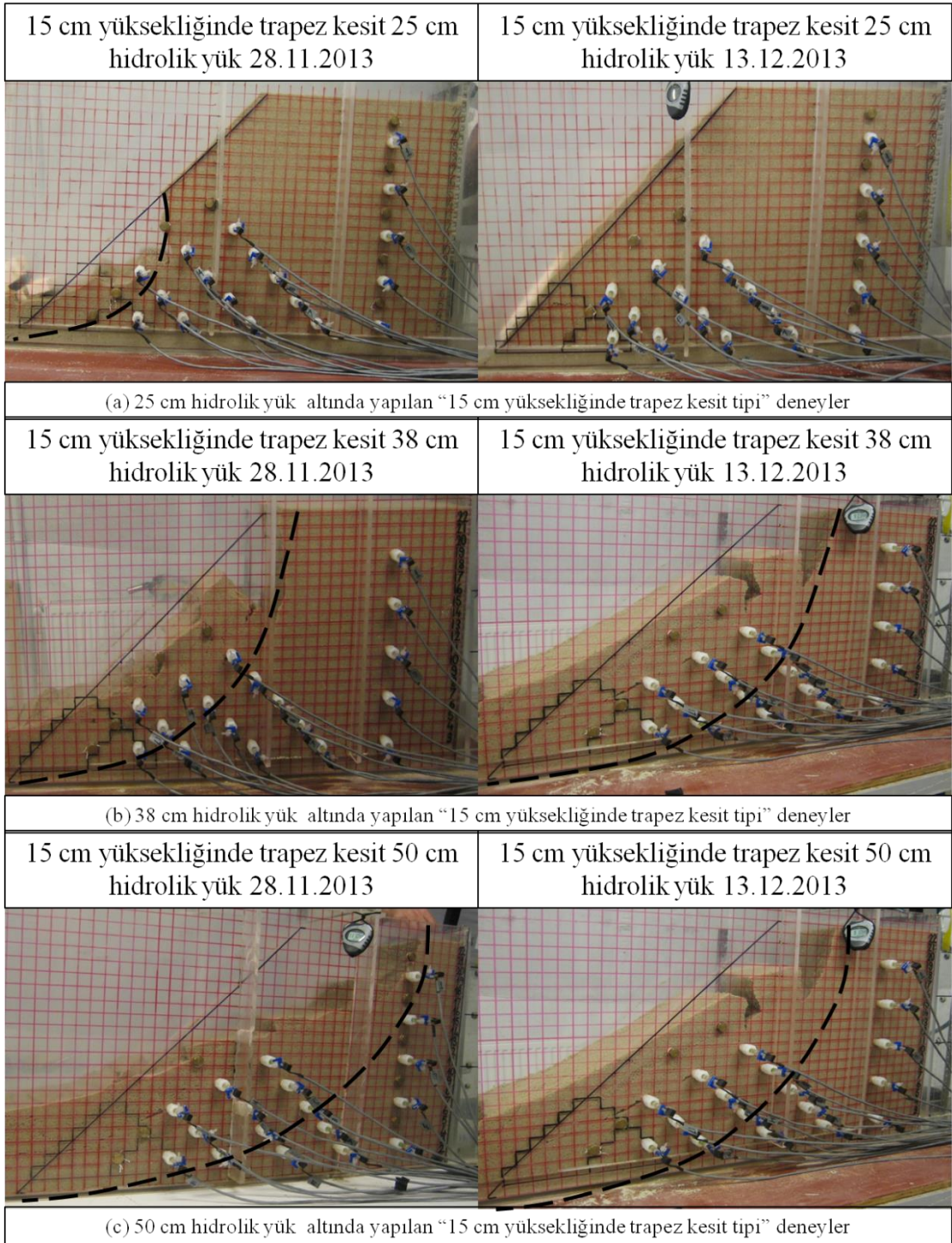
Şekil 5.1 "Matris" konfigürasyon fiziksel şev modellerinin deney sonundaki görüntüleri ve temsili kayma yüzeyleri



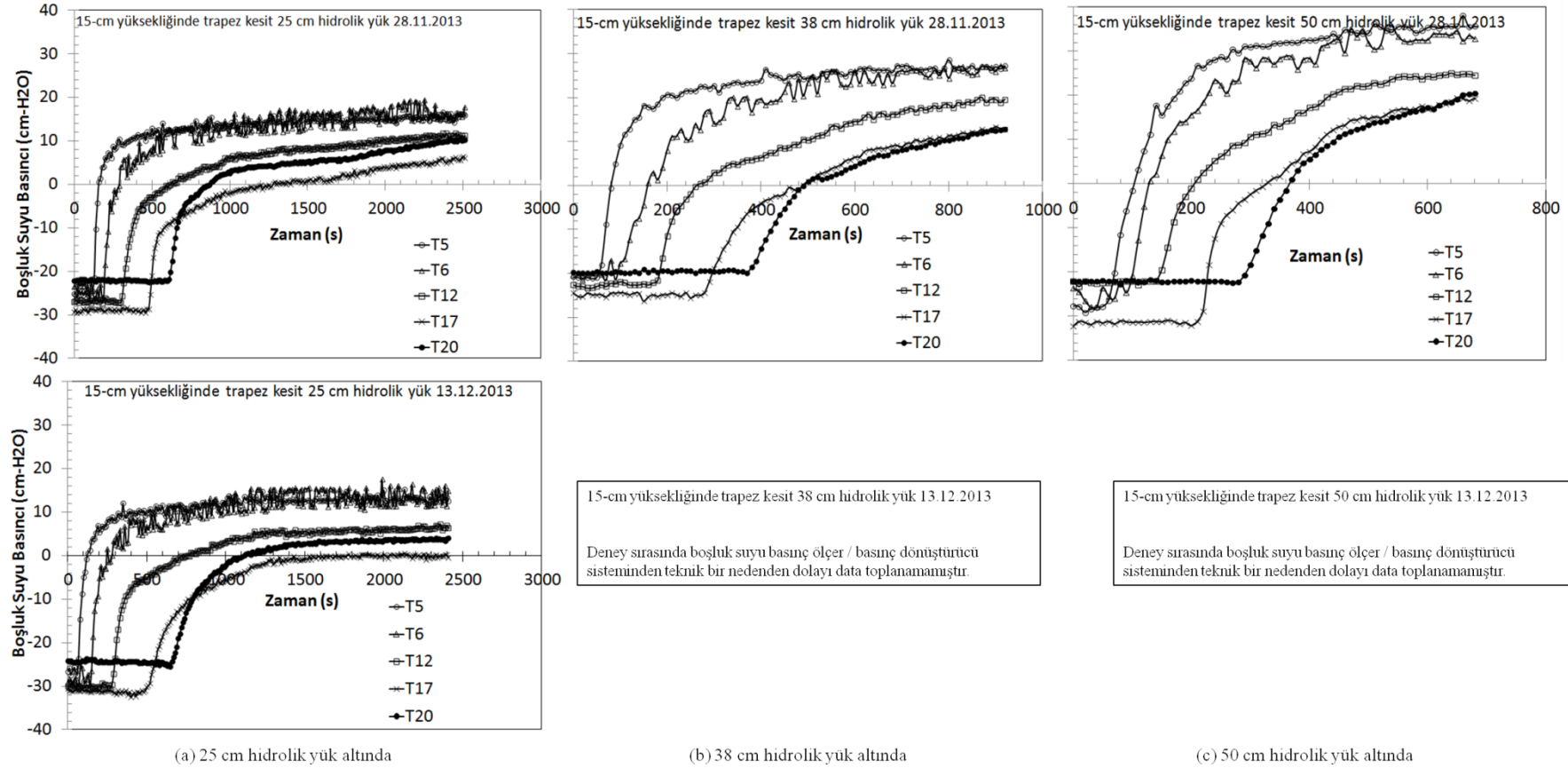
Şekil 5.2 “Matris” deneylerde okunan boşluk suyu basınç ölçümleri

5.2. “15 cm yüksekliğinde trapez kesit” tipi konfigürasyon

“15 cm yüksekliğinde trapez kesit” şevlerinin deney sonu fiziksel durumları deneyler sonucunda oluşan temsili kayma yüzeyleri ile birlikte Şekil 5.3'te ve deneyler sırasında ölçülen boşluk suyu basınçları Şekil 5.4'te verilmiştir. 25 cm hidrolik yük altında yapılan deneylerden bir tanesi tıpkı “Matris” konfigürasyonunda olduğu gibi sıg göçme ile sonuçlanırken diğer deney neticesinde herhangi bir göçme gözlenmemiştir (Şekil 5.3a). Tekrarlı deneyler neticesinde ortaya çıkan bu durum 25 cm hidrolik yük altında sistemin marjinal ölçüde stabil olduğunu göstermektedir. 38 cm ve 50 cm hidrolik yük altında oluşan göçme yüzeyleri (Şekil 5.3b, 5.3c) aynı hidrolik yük altında “Matris” konfigürasyonda elde edilen göçme yüzeylerine benzerdir (Şekil 5.1b, 5.1c). Tekrarlı deneyler neticesinde 38 cm ve 50 cm hidrolik yük altında oluşan benzer dairesel derin göçme yüzeyleri deneylerin tekrar edilebilirliğini göstermiştir. EPS boncuk + kum karışımından elde edilen hafif dolgu malzemesi hidrolik yükler altında içsel erozyona uğrayıp stabilitesini kaybetmiş ve topuktan başlayıp derin şev göçmeleri ile sonuçlanan dairesel kayma yüzeyleri meydana gelmiştir. Sisteme uygulanan hidrolik yükün artması ile şevde meydana gelen boşluk suyu basınçlarındaki artış Şekil 5.4'te görülebilir. 38 cm ve 50 cm hidrolik yük altında yapılan tekrarlı deneyler sırasında boşluk suyu basınç ölçer / basınç dönüştürücü sisteminde meydana gelen teknik bir arızadan dolayı veri akışı ve toplanmasında yaşanan sorundan dolayı veriler toplanamamıştır (Şekil 5.4b, Şekil 5.4c).



Şekil 5.3 "15 cm yüksekliğinde şev" konfigürasyonunun fiziksel şev modelleri deney sonundaki görüntüleri ve temsili kayma yüzeyleri

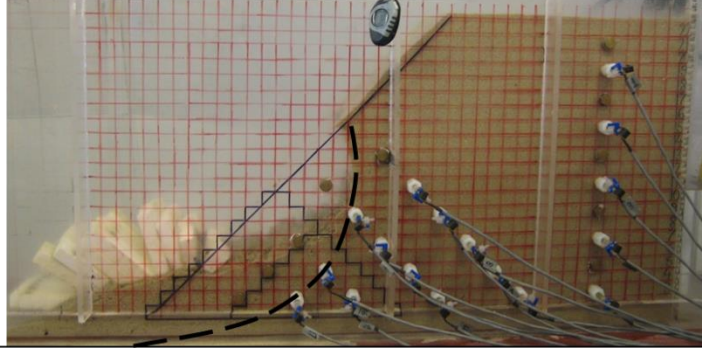


Şekil 5.4 “15 cm yüksekliğinde trapez kesit” tipi hafif dolgu sistemine sahip şev model deneylerinde okunan boşluk suyu basınç ölçümleri

5.3. “22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit” tipi konfigürasyon

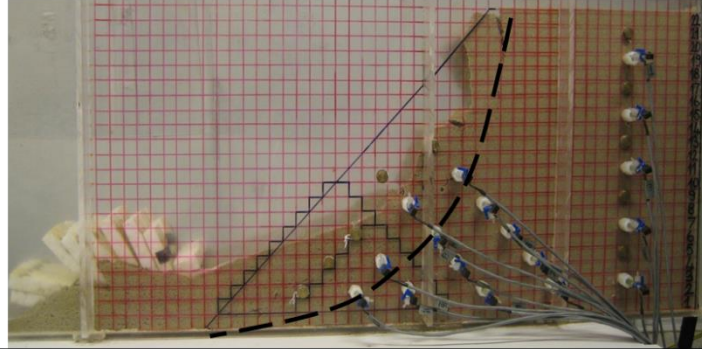
“22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit” şevlerinin deney sonu fiziksel durumları deneyler sonucunda oluşan temsili kayma yüzeyleri ile birlikte Şekil 5.5’te ve deneyler sırasında ölçülen boşluk suyu basınçları Şekil 5.6’da verilmiştir. Bu konfigürasyonda “Matris” konfigürasyonda olduğu gibi sisteme uygulanan hidrolik yükler altında benzer davranış göstermiştir. “Matris” konfigürasyondakine benzer şekilde 25 cm hidrolik yük altında sığ göçme yüzeyi (Şekil 5.5a) ve 38 cm ve 50 cm hidrolik yükleri altında ise derin dairesel kayma yüzeyleri gözlemiştir (Şekil 5.5b, 5.5c). Hem “Matris” hem de “15 cm yüksekliğinde trapez kesit” tipi konfigürasyonlar için iki kez yapılan deneyler sistemin davranışının tekrar edilebilir olduğunu gösterdiğinden, “22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit” konfigürasyonu için deneyler tek set halinde yapılmıştır (Şekil 5.5). Hidrolik yüklerin artışı ile şevde meydana gelen boşluk suyu basınçlarındaki artış Şekil 5.6’da görülebilir. Deneyler sırasında içsel drenaj kanallı geofoam bloklardan herhangi bir su çıkışı gözlenmemiştir.

22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit 25 cm hidrolik yük 26.12.2013



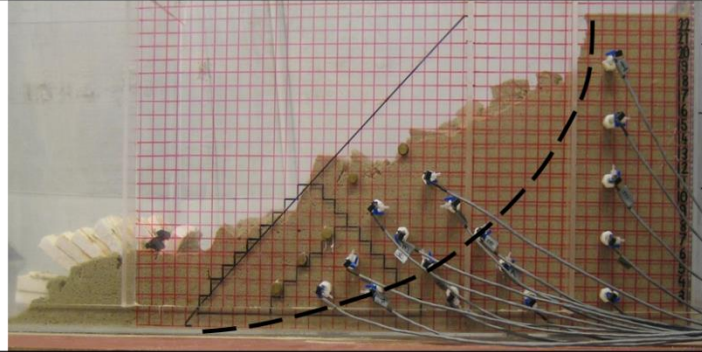
(a) 25 cm hidrolik yük altında yapılan "22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi" deneyler

22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit 38 cm hidrolik yük 26.12.2013



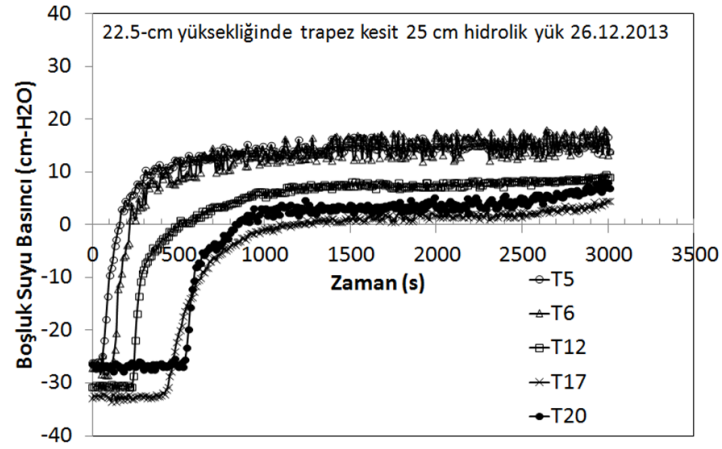
(b) 38 cm hidrolik yük altında yapılan "22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi" deneyler

22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit 50 cm hidrolik yük 26.12.2013

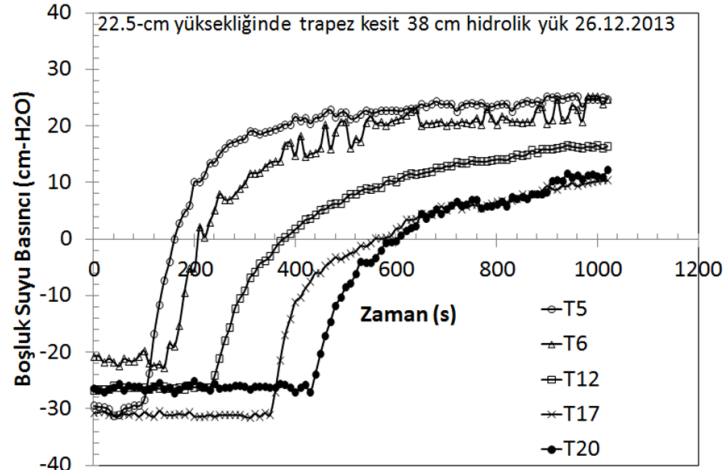


(c) 50 cm hidrolik yük altında yapılan "22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit tipi" deneyler

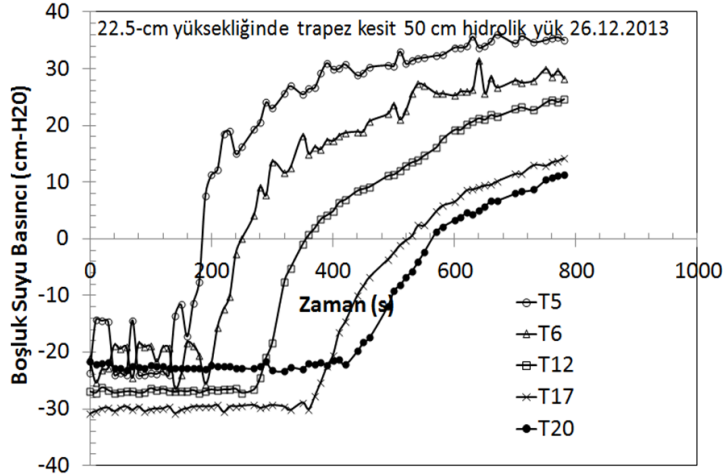
Şekil 5.5 "22.5 cm yüksekliğinde şev" konfigürasyonunun fiziksel şev modelleri deney sonundaki görüntüleri ve temsili kayma yüzeyleri



(a) 25 cm hidrolik yük altında



(b) 38 cm hidrolik yük altında



(c) 50 cm hidrolik yük altında

Şekil 5.6 “22.5 cm yüksekliğinde trapez kesit” tipi hafif dolgu sistemine sahip şev model deneylerinde okunan boşluk suyu basınç ölçümleri

VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, içsel drenaj kanallı geofoam bloklar ile EPS boncuk + kum karışımından elde edilen kompozit hafif dolgu malzemesinin “trapez kesit” tipi blok yerleşim planı ışığı altında 45° eğimli şev yüzeyine sahip kumlu şevlerin sızma kuvvetleri altındaki davranışlarına etkisi laboratuvar fiziksel şev model deneyleri ile araştırılmış ve aşağıdaki genel yargılara varılmıştır.

1. İki boyutlu laboratuvar zemin kutusu deneyleri tekrar edilebilen sonuçlar vermiştir.
2. İki boyutlu laboratuvar zemin kutusu deneylerinde yapılan şev modellerindeki basınçlar arazideki mertebeye kıyaslanamayacak kadar küçük olmasına rağmen, prototip ölçeğin sızma kuvvetleri altındaki davranışları hakkında fikir sahibi olunması açısından deney sonuçları yorumlanabilir.
3. EPS boncuk + kum karışımından elde edilen dolgu malzemesi kuma göre daha hafif olmasına rağmen içsel sürtünme açısı daha düşük ve hidrolik geçirgenliği daha yüksektir.
4. Kompozit hafif dolgu sistemi deneylerinden elde edilen kayma yüzeyleri “Matris” deneylerle aynı hidrolik yükler altında benzerlik göstermiştir. Dolayısıyla önerilen hafif dolgu sistemi uygulanan hidrolik yükler altında “Matris” sistemin davranışını iyileştirici bir etki göstermemiştir.

5. EPS boncuk + kum karışımından elde edilen hafif dolgu malzemesi hidrolik yükler altında içsel erozyona uğrayıp stabilitesini kaybetmiş ve topuktan başlayıp derin şev göçmeleri ile sonuçlanan dairesel kayma yüzeyleri meydana gelmiştir.
6. Kompozit hafif dolgu sistemi deneylerinden elde edilen kayma yüzeyleri geofoam bloklardan geçmemiş, arkasında yer alan EPS boncuk + kum karışımlarından oluşan malzemedan geçmiştir. Bu malzemenin içsel sürtünme açısının kumun içsel sürtünme açısından küçük olması nedeniyle, üzerindeki şev malzemesinin yarattığı düşey basınca rağmen şevi devirmeye çalışan hidrolik yükler altında şev göçmeleri oluşmuştur.

VII. KAYNAKLAR

Aab e, 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.

Akay, O. & Fox, G.A., 2007. Experimental investigation of direct connectivity between macropores and subsurface drains during infiltration. *Soil Science Society of America Journal*, 71 (5), 1600–1606.

Akay, O.,  zer, A. T. & Fox, G. A., 2012. Experimental investigation of failure mechanism of expanded polystyrene block geofoam slope system under seepage. Proceedings of the 5th European Geosynthetics Congress (EuroGeo5), Volume 4 – Soil Improvement and Reinforcement, Valencia, Spain, 13–17.

Akay, O.,  zer, A. T., Fox, G. A., Bartlett, S. F. & Arellano, D., 2013. Behavior of sandy slopes remediated by EPS-block geofoam under seepage flow. *Geotextiles and Geomembranes*, 37, 81–98.

Akay, O.,  zer, A. T. & Fox, G. A., 2014a. Use of EPS block geofoam with internal drainage for sandy slopes subjected to seepage flow. Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany.

Akay, O.,  zer, A. T. & Fox, G. A., 2014b. Assessment of EPS block geofoam with internal drainage for sandy slopes subjected to seepage flow. *Geosynthetics International*, 21, No. 6, 364-376.

Arellano, D., Stark, T.D., Horvath, J.S. & Leshchinsky, D., 2011. Guidelines for geofoam applications in slope stability projects: Final report. NCHRP Project No. 24-11(02), ([http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP24-11\(02\)_FR.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP24-11(02)_FR.pdf)), Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.

ASTM C128, 2015. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM Standard D 854, 2010. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM D 2216, 2010. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA

ASTM Standard D 2434, 2006. Standard test method for permeability of granular soils (constant head). American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM D4253. 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 D4254. 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 D 4767, 2011. Standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

ASTM Standard D 6913, 2009. Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soil using sieve analysis. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

Athanasopoulos-Zekkos, A., Lamote, K. & Athanasopoulos, G., 2010. Seismic isolation of earth retaining walls using EPS compressible inclusions—results from centrifuge testing.

Aytekin, M., 1998. Numerical modeling of EPS geofam used with swelling soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 15, 133-146.

Barrett, J. C. & Valsangkar, A. J., 2009. Effectiveness of connectors in geofam block construction. *Geotextiles and Geomembranes*, 27 (3), 211–216.

Bartlett, S. F., Negusse, D. & Kimball, M., 2000. Design and Use of Geofam on the I-15 Reconstruction Project, Transportation Research Board, January 9th to 13th, 2000.

Bartlett, S.F., Farnsworth, C., Negusse, D. & Stuedlein, A.W., 2001. Instrumentation and long-term monitoring of geofam embankments, I-15 reconstruction project, Salt Lake City, Utah. In: *Proceedings of the 3rd International EPS Geofam Conference*, Salt Lake City, Utah, USA.

Bartlett, S.F., Lingwall, B. N., Trandafir, A. C. & Lawton E. C., 2011. Protection of Steel Pipelines from Permanent Ground Deformation Using EPS Geofam. *Increasing the Seismic Resilience of Natural Gas Systems - Select Topics of Interest*, ASCE Technical Council and Lifelines and Earthquake Engineering, 33 p.

Bathurst, R. J., Zarnani, S. & Gaskin, A., 2007. Shaking table testing of geofam seismic buffers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 324–332.

Beinbrech, G. & Hillmann, R., 1997. EPS in road construction—Current situation in Germany. *Geotextiles and Geomembranes*, 15 (1–3), 39–57.

Coulter, T.S., 1975. Woodwaste as lightweight fill in highway construction. In: *Proceedings of 28th Conference of Western Association of Canadian Highway Officials*, Winnipeg, British Columbia, Canada.

Deng, A. & Xiao, Y., 2009. Modeling stress-strain behavior of sand-EPS beads lightweight fills based on cam-clay models. *GeoHunan International Conference 2009*, August 3 - 6, 2009, Changsha, China, 55 - 61.

Deng, A. & Xiao, Y., 2010. Measuring and modeling proportion-dependent stress-strain behavior of EPS-sand mixture. *International Journal of Geomechanics*, 10, No. 6, 214 – 222.

Duškov, M., 1997. Measurements on a flexible pavement structure with an EPS geofoam sub-base. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 15 (1-3): 5–27.

Duškov, M. & Waarts, P., 2011. Cost comparison of construction methods for highway widening on compressible subgrade. *Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications*, Lillestrøm, Norway.

Duškov M. & Hogerwerf, J., 2011. Hanzelijn-lightweight embankment behind abutments. *Proceedings of 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications*, Lillestrøm, Norway.

Edinçliler A. & Özer, A.T., 2014. Effects of EPS beads inclusions on shear strength of sand. *Geosynthetics International*, 21 (2), 89-102.

Elragi, A. F., 2000. Selected Engineering Properties and Applications of EPS Geofoam. PhD dissertation, State University of New York College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, NY.

European Manufacturers of Expanded Polystyrene, EUMEPS 2010. Master Class, EPS in civil engineering applications, November 16-17, 2010, Amsterdam, Holland.

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.

Horvath, J.S., 1997. The compressible inclusion function of EPS geofoam. *Geotextiles and Geomembranes*, 15 (1–3), 77–120.

Horvath, J. S. 2004. Cellular geosynthetics in transportation applications. *Proceedings of Geotechnical Engineering for Transportation Projects: Geo-Trans 2004*, M. K. Yegian, and E. Kavazanjian, Editors, ASCE, Reston, VA, USA, pp. 627–636, ASCE Geotechnical Special Publications (GSP) No. 126.

- İkizler, B. S., Aytakin, M. & Nas, E., 2008. Laboratory study of expanded polystyrene (EPS) geofoam used with expansive soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 189 – 195.
- Jutkofsky, W.S., 1998. Geofoam stabilization of an embankment slope, a case study of Route 23A in the town of Jewett, Greene County. Geotechnical Engineering Bureau, New York State Department of Transportation, Albany, NY, USA
- Jutkofsky, W.S., Sung, J.T. & Negussey, D., 2000. Stabilization of an embankment slope with geofoam. *Journal of the Transportation Research Board* 1736, 94–102.
- Kilian, A.P., 1984. Use of sawdust in landslide correction and settlement control. In: *Proceedings of 35th Annual Road Builders*, 35–48.
- 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.-K., Chen, L.-H. & Chen, R. H. L., 2010. Evaluation of geofoam as a geotechnical construction material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22, No. 2, 160–170.
- Liu, H., Deng, A. & Chu, J., 2006. Effect of different mixing ratios of polystyrene pre-puff beads and cement on the mechanical behaviour of lightweight fill. *Geotextiles and Geomembranes*, 24, No. 6, 331– 338.
- Mann., G. & Stark, T.D., 2007. Slope stabilization using geofoam. In: *Proceedings of Geo-Denver 2007: New Peaks in Geotechnics, GSP 161 Embankments, Dams, and Slopes*, ASCE.
- Miao, L., Wang, F., Han, J., Lv, W. & Li, J., 2013. Properties and Applications of Cement-Treated Sand-Expanded Polystyrene Bead Lightweight Fill. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25, No. 1, 86-93.
- Miao, L., Wang, F., Lu, W. & Li, J., 2010. Study on cement-treated Yangtze sand mixed with expanded polystyrenes (EPS) beads as backfill material in highway embankments. *GeoShanghai 2010 International Conference*, June 3-5, 2010, in Shanghai, China, 372-378.
- Negussey, D., 2002. Slope stabilization with Geofoam. FHWA Research Project No. 2398P62000015, Geofoam Research Center, Syracuse University, Syracuse.
- Norwegian Road Research Laboratory (NRRL)., 1992. Use of expanded polystyrene in road embankments – Design, construction and quality assurance. Public Roads Administration, Oslo, Norway.

Ossa, A. & Romo, M.P., 2010. Dynamic characterization of EPS geofoam. *Geotextiles and Geomembranes* 29, 40–50.

Özer, A. T., Akay, O., Fox, G. A., Bartlett, S. F. & Arellano, D., 2014. A new method for remediation of sandy slopes susceptible to seepage flow using EPS-block geofoam. *Geotextiles Geomembranes*, 42, No. 2, 166–180.

Özer, A. T. & Akay, O., 2014. Use of interlocked EPS block geofoam 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 Geofoam Blocks in Construction Applications*, Lillestrøm, Norway.

Prikryl, W., Williammee, R. & Winter, M.G., 2005. Slope failure repair using tyre bales at interstate highway 30, Tarrant county, Texas, USA. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 38, 377–386.

Read, J., Dodson, T. & Thomas, J., 1991. Experimental project use of shredded tires for lightweight fill. Post-construction report. Oregon Department of Transportation, Salem, Oregon.

Reuter, G. & Rutz, J., 2000. A lightweight solution for landslide stabilization. *Geotechnical Fabrics Report* 18 (7), 42–43.

Reuter, G.R., 2001. Use of geofoam for landslide stabilization-CTH "A", Bayfield County, Wisconsin. In: *Proceedings of the 3rd International Geofoam Conference*, Salt Lake City, Utah.

Riad, H. L. & Horvath, J. S., 2004. Analysis and design of EPSgeofoam embankments for seismic loading. *Proceedings of Geotechnical Engineering for Transportation Projects: Geo-Trans 2004*, M. K. Yegian, and E. Kavazanjian, Editors, ASCE, Reston, VA, USA, pp. 2028–2037, *Geotechnical Special Publications (GSP)* No. 126.

- Saarelainen, S. & Kangas, H., 2001. Behavior of an old EPS light-weight fill at Vammala, Finland. In: Proceedings of the 3rd International EPS Geofoam Conference, Salt Lake City, Utah, USA.
- Sharma, S. & Buu, T., 1992. Bud Peck slide, Interstate 15 near Malad, Idaho. Journal of the Transportation Research Board 1343, 123–129.
- Sheeley, M., 2000. Slope stabilization utilizing geofoam. M.S. Thesis, Syracuse University, Syracuse, N.Y.
- Stark, T.D., Arellano, D., Horvath, J.S. & Leshchinsky, D., 2004a. Geofoam applications in the design and construction of highway embankments. NCHRP Web Document 65 (Project 24- 11), (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 geofoam applications in highway embankments. NCHRP Report 529, (http://trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_529.pdf), Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Satoh, T., Tsuchida, T., Mitsukuri, K. & Hong, Z., 2001. Field placing test of lightweight treated soil under seawater in Kumamoto Port. Soils and Foundations 41 (5), 145–154.
- 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 Geofoam 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.
- Trandafir, A.C., Bartlett, S.F. & Lingwall, B.N., 2010. Behavior of EPS geofoam in stress-controlled cyclic uniaxial tests. Geotextiles and Geomembranes 28, 514–524.
- Tsuchida, T., Porbaha, A. & Yamane, N., 2001. Development of a geomaterial from dredged bay mud. Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE 13 (2), 152–160.
- Yeh, S.T. & Gilmore, J.B., 1989. Application of EPS for slide correction. In: Proceedings of Stability and Performance of Slopes and Embankments II, Berkeley, California.
- Yoonz, G., Jeon, S. & Kim, B., 2004. Mechanical characteristics of light-weighted soils using dredged materials. Marine Georesources and Geotechnology 22 (4), 215–229.

Zarnani, S. & Bathurst, R.J., 2007. Experimental investigation of EPS geofam seismic buffers using shaking table tests, *Geosynthetics International*, Vol. 14, No. 3, pp. 165-177.

Zarnani, S. & Bathurst, R.J., 2008. Numerical modeling of EPS seismic buffer shaking table tests. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 26, No. 5, pp. 371-383.

Zarnani, S. & Bathurst, R.J., 2009. Numerical parametric study of EPS geofam seismic buffers. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 46, No. 3, pp. 318-338.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Şeyma KOÇ

Doğum Yeri: Kastamonu

Doğum Tarihi: 10.01.1989

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, 2012

Yüksek Lisans Öğrenimi: Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği,
Devam Ediyor.

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce, Rusça

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

- Okan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Öğrenci Asistan, 2012-2013
- Adem Çelik Şirketler Grubu, İnşaat Mühendisi, 2014-2015
- AkçanSA Çimento, İnşaat Mühendisi, 2015- Devam Ediyor

İLETİŞİM

E-posta Adresi: skoc.467@gmail.com