

MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



OKAN ÜNİVERSİTESİ  
İSTANBUL

GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGULARIN SIZMA  
KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ LABORATUVAR  
DENEYLERİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALÇIN ELBEYLİ

tarafından

YÜKSEK LİSANS

derecesi şartını sağlamak için hazırlanmıştır.

Temmuz 2016

Program: İnşaat Mühendisliği

GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGULARIN SIZMA  
KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ LABORATUVAR  
DENEYLERİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALÇIN ELBEYLİ

tarafından

OKAN ÜNİVERSİTESİ

İnşaat Mühendisliği Bölümüne

Yüksek Lisans

derecesi şartını sağlamak için sunulmuştur.

Onaylayan:

---

Yrd. Doç. Dr. A. Tolga ÖZER  
Danışman

---

Yrd. Doç. Dr. Onur AKAY  
İkinci Danışman

---

Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN  
Üye

---

Yrd. Doç. Dr. Özgür EKİNCİOĞLU  
Üye

---

Dr. Tolga Tonguç DEĞER  
Üye

Temmuz 2016

Program: İnşaat Mühendisliği

## ÖZET

Taşıma gücü düşük yumuşak killi temel zeminine sahip dolgu imalatlarında başvurulması gereken birçok zemin iyileştirme yöntemlerine alternatif olarak geosentetikler de kullanılabilir. Geosentetikler fiziksel ve mekanik iyileştirmelere ek olarak geleneksel metotlara göre daha ekonomik çözümler sunarlar. Ancak, özellikle geotekstil ile güçlendirilmiş imalatlarda granüler dolgu malzemesi yerine arazide kolay bulunabilir ince dane ihtiva eden yerel zeminlerin kullanılması eğilimi bulunmaktadır. Standartlarda verilen ince dane miktarından daha fazla silt + kil oranına sahip marjinal dolgularda düşük hidrolik geçirgenlik nedeni ile boşluk suyu basınç birikimi yaşandığı ve bunun da stabilite (duraylılık) kayıplarına sebep olduğu bilinmektedir. Ancak, geleneksel olarak dolgu tabanlarında ayırma ve güçlendirme amaçlı kullanılan geotekstillerin sızma kuvvetleri altındaki davranışına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Bu kapsamda iki adet fiziksel şev deneyi (şev açısı 45°) yapılmıştır. Bu deneylerden biri sadece marjinal dolgu malzemesi kullanılarak yapılan şevden (Matris Dolgu) oluşurken diğeri geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgudan oluşmuştur. Şevler 100 cm genişliğinde, 195 cm uzunluğunda ve 110 cm yüksekliğindedir. Uygulanan hidrolik yük altında matris dolguda topuktaki sığ göçmeleri takiben dairesel global kayma gözlemlenirken, geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgu sızma kuvvetleri altında fiziksel değişim yaşamamış ve stabilitesini korumuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Geosentetik, Geotekstil, Marjinal dolgu, Şev Stabilitesi, Sızma

## ABSTRACT

During the construction of engineered fills over soft clayey soils with low bearing capacity, geosynthetics are used as an alternative to the applications of various soil improvement techniques. In addition to the physical and mechanical improvements, geosynthetics generally offer more economical solutions when compared to conventional soil improvement methods. At the same time, there is a tendency to use locally available soils with finer particle sizes instead of granular free-draining soils during the construction of fills reinforced especially with geotextiles. It is known that pore-water pressure buildups are witnessed at marginal fills that have higher percentage of silt and clay particles than what is allowed by the guidelines for fine particles. As a result, the low hydraulic conductivity of the marginal slope results in instability. However, there is no study in the literature that investigates the behavior of geotextiles under seepage since geotextiles are generally used for its separation and reinforcement functions at fill foundations. In this study, the behavior of geosynthetically (in this case geotextile) reinforced marginal slope under seepage was investigated by physical laboratory experiments. In this context, two slope (45° angle) experiments were conducted. One was constructed by using only marginal fill soil (Matrix Slope) and the other was constructed with the addition of a geotextile installed at the base. Slopes are 100 cm wide, 195 cm long and 110 cm high. Under the applied hydraulic head, the matrix slope underwent shallow failures at the toe followed by rotational global failure, whereas, geotextile reinforced marginal slope did not experience any physical deformation and preserved its stability.



**Keywords:** Geosynthetics, Geotextile, Marginal slope, Slope Stability, Seepage.



## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. A. Tolga ÖZER'e, tez ikinci danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Onur Akay'a teşekkürlerimi sunarım. Tezin incelenmesindeki katkılarından dolayı Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN'a, Yrd. Doç. Dr. Özgür EKİNCİOĞLU'na ve Dr. Tolga Tonguç DEĞER'e teşekkürlerimi sunarım. Fiziksel şev model kutusunun ve şevlerin imalatı sırasında yardımlarını esirgemeyen teknisyen Halis Şahin'e, yüksek lisans öğrencisi İnşaat Mühendisi Murat Pular'a, İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı çalışan öğrenci programında laboratuvarında çalışan Lisans öğrencilerinden Mert Bilen ve Ozan Sarıcan'a, bitirme ödevi kapsamında çalışan Alican Teke ve Harun Reşit Akarsu'ya teşekkürlerimi sunarım. Son olarak; gösterdikleri sabır ve verdikleri her türlü destek için annem Hanım Elbeyli ve babam Ahmet Elbeyli'ye ve bu süreçte yanımda olan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

I. GİRİŞ.....	1
II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. GEOTEKSTİLİN KULLANIM ALANLARI.....	5
2.2. GEOTEKSTİLLERİN DOLGU TABANINI GÜÇLENDİRMEDE KULLANIMLARI	9
III. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	14
3.1. ZEMİN KUTUSU .....	14
3.2. MALZEME .....	22
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1. MATRİS MARJİNAL DOLGU .....	26
4.2. GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGU .....	33
V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
VI. KAYNAKLAR.....	40

## TABLO LİSTESİ

TABLO 3.1. MARJİNAL DOLGU MALZEMESİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ .....	23
TABLO 3.2. MARJİNAL DOLGU MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	24
TABLO 3.3. MARJİNAL DOLGU MALZEMESİNİN HİDROLİK ÖZELLİKLERİ.....	25
TABLO 3.4. ÖRGÜSÜZ GEOTEKSTİLİN FİZİKSEL VE HİDROLİK ÖZELLİKLERİ.....	25



## ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 2.1 ÖRGÜLÜ VE ÖRGÜSÜZ GEOTEKSTİLLER.....	6
ŞEKİL 2.2 YUMUŞAK ZEMİN STABİLİZASYONUNDA KULLANILACAK GEOTEKSTİLLER İÇİN TASARIM MODELLERİ .....	12
ŞEKİL 3.1. ZEMİN KUTUSUNUN İMALAT AŞAMALARI.....	17
ŞEKİL 3.2 FİZİKSEL KÜÇÜK ÖLÇEK PROTOTİP ŞEV DENEY DÜZENEĞİ.....	18
ŞEKİL 3.3. H=5 CM'DEKİ BASINÇ PLAKALARI VE PİYEZOMETRE .....	20
ŞEKİL 3.4 ZEMİN KUTUSUNDA 5 CM TABAKALAR HALİNDE KONTROLLÜ SIKIŞTIRMA İŞLEMİ NETİCESİNDE KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI 13 kN/m <sup>3</sup> OLAN MATRİS DOLGUNUN İMALATI .....	21
ŞEKİL 3.5. ZEMİN KUTUSUNDA 5 CM TABAKALAR HALİNDE KONTROLLÜ SIKIŞTIRMA İŞLEMİ NETİCESİNDE KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI 13 kN/m <sup>3</sup> OLAN GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGU İMALATI.....	22
ŞEKİL 3.6 CU DENEYLERİ İÇİN ÖRSELENMEMİŞ NUMUNELERİN ALINMASI .....	24
ŞEKİL 4.1 KÜÇÜLTÜLMÜŞ ÖLÇEK MARJİNAL DOLGUNUN KADEMELİ OLARAK İNŞASI SIRASINDA TAHMİN EDİLEN TOPLAM BASINÇLARLA BASINÇ PLAKASI OKUMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	27
ŞEKİL 4.2 KÜÇÜLTÜLMÜŞ ÖLÇEK MARJİNAL DOLGUDA TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI .....	28
ŞEKİL 4.3 KÜÇÜLTÜLMÜŞ ÖLÇEK MARJİNAL DOLGU DENEYİNDE TANSİYOMETRE #8 VE PİYEZOMETRE #1 TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	29

ŞEKİL 4.4 MARJİNAL DOLGUNUN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI .....	32
ŞEKİL 4.5 KÜÇÜLTÜLMÜŞ ÖLÇEK GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGUNUN KADEMELİ OLARAK İNŞASI SIRASINDA TAHMİN EDİLEN TOPLAM BASINÇLARLA BASINÇ PLAKASI OKUMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	34
ŞEKİL 4.6 KÜÇÜLTÜLMÜŞ ÖLÇEK GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGUDA TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI .	36
ŞEKİL 4.7 KÜÇÜLTÜLMÜŞ ÖLÇEK GEOTEKSTİLLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGU DENEYİNDE TANSİYOMETRE #7 - PİEZOMETRE #2 VE TANSİYOMETRE #2 - PİEZOMETRE #3 TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	37
ŞEKİL 4.8 GEOTEKSTİLLE GÜÇLENDİRİLMİŞ MARJİNAL DOLGUNUN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI .....	38

## SİMGELER

$D_{10}$	Etkin Dane Çap
$C_u$	Üniformluk Katsayısı
$C_c$	Eğrilik Katsayısı
$G_s$	Yoğunluk
$\gamma_d$	Kuru Birim Hacim Ağırlık
$k_{sat}$	Hidrolik Geçirgenlik
$c$	Toplam Kohezyon
$\emptyset$	Toplam İçsel Sürtünme Açısı
$c'$	Efektif Kohezyon
$\emptyset'$	Efektif İçsel Sürtünme Açısı

## KISALTMALAR

AOS	Görünen/Karakteristik Gözenek Boyutu
CU	Konsolidasyonlu Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi
FHWA	Amerikan Federal Otoyol İdaresi
LL	Likit Limit
PA	Poliyamid
PET	Polietilen tereftalat
PE	Polietilen
PI	Plastisite İndisi
PL	Plastik Limit
PMMA	Poli metil metakrilat (Pleksiglas)
PP	Polipropilen
PVD	Prefabrike Düşey Bant Dren
USCS	Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi



## I. GİRİŞ

Kayma mukavemeti düşük yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilen dolguların temelleri özel çözümler gerektirmektedirler. Bu tür zeminlerde geleneksel olarak çeşitli zemin iyileştirilmesi metotları: prefabrike düşey bant drenler (PVD), sürşarj, vakum konsolidasyon, kum kolonlar, taş kolonlar, fore kazıklar, geopier kolonlar, jet grout kazıklar vb. teknikler uygulanır. Ancak, bu metotların dezavantajları; imalat sürelerinin uzunluğu, araziye özel çözümler gerektirmeleri ve maliyetleri şeklinde sıralanabilir. Bu geleneksel metotlara alternatif olarak, taşıma gücü düşük yumuşak killi temel zeminin yüzeyine serilip üzerlerine dolgu imalatının yapılmasına olanak sağlayan geosentetikler (geotekstil, geogrid, geokompozit, vb.) kullanılır (Koerner vd., 1987). Dolgu tabanında çekme gerilmelerini karşılayabilen geotekstillerin kullanılması yumuşak killi zeminlerin yanında organik zeminler, çamur çökelleri, maden atıkları ve benzeri yumuşak zeminler üzerlerine dolgu uygulamalarının önünü açmıştır (Willibey ve van't Hoog, 1987). Yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilen dolguların geotekstil ile güçlendirilmesi, dolgu yükleri altında oturmaları azaltır (Rowe ve Li, 2005; Zhang vd., 2015) ve dolguların stabilitelerini (duraylılıklarını) artırdığı gibi (Fowler ve Edris, 1987; Voskamp ve Risseeuw, 1987; Rowe ve Gnanendran, 1994; Palmeria vd., 1998; Rowe ve Li, 2005), daha yüksek dolguların yapılmasına da olanak sağlar (Bergado vd., 1994; Rowe ve Soderman, 1987; Rowe ve Li, 2005). Bu fiziksel ve mekanik iyileştirmelere ek olarak, geosentetiklerle güçlendirilmiş dolgular geleneksel metotlara göre daha ekonomik çözüm sunarlar (Rowe ve Li, 2005). Özellikle geotekstillikle güçlendirilmiş dolguların stabilite

hesapları için çeşitli nümerik yöntemler günümüzde yaygınlıkla kullanılmakta ve arazideki aletsel ölçüm ve gözlemlerle performansları kıyaslanmaktadır (Palmeria vd., 1998; Bergado vd., 2002; Borges ve Cardoso, 2002; Hinchberger ve Rowe, 2003; Wulandari ve Tjandra, 2015; Smith ve Tatari, 2016).

Geosentetiklerle güçlendirilmiş dolguların (toprakarme) inşasında granüler malzemeler gerilme transferi, dayanıklılık ve drenaj gerekliliği açısından tercih edilirler (Mitchel ve Villet, 1987). Benzer şekilde, Berg vd. (2009) toprakarme dolgularda geosentetik/dolgu ara yüzey mukavemeti, dayanıklılık, drenaj ve imalat kolaylıkları kriterlerini göz önüne alarak iyi derecelendirilmiş granüler malzemelerin kullanımını önermişlerdir. Amerikan Federal Otoyol İdaresi (FHWA) şartnamesinde ise geosentetikle güçlendirilmiş dolguların inşasında kullanılacak olan dolgu malzemesinin plastisite indisinin (PI) 6'dan küçük ve 200 nolu elekten geçen madde miktarı %15'den az granüler malzemedен oluşmasını istemektedir (Whals, 1990). Her ne kadar geosentetikle güçlendirilmiş imalatlarda granüler dolgu malzemesinin gerekliliği belirtiliyor olmasına karşın arazide kolay bulunabilirlik açısından çeşitli miktarlarda ince dane ihtiva eden yerel zeminler dolgularda kullanılmaktadırlar (Balakrishnan ve Viswanadham, 2016).

İnşasında standartlarda izin verilen ince dane miktarından daha fazla silt + kil oranına sahip zemin kullanılan dolgular (ince dane miktarı %15'den fazla) marjinal dolgu olarak adlandırılır (Christopher vd., 1998; Christopher ve Stulgis, 2005; Liu vd., 2009; Raja vd., 2012; Balakrishnan ve Viswanadham, 2016). FHWA şartnamesi yerine marjinal dolgular kullanılarak inşa edilen toprakarme sistemler sayesinde maliyetin %20 - %30 arasında azaltılacağı ortaya konmuştur (Christopher ve Stulgis,

2005). Benzer şekilde, marjinal dolgu sistemlerin ekonomik faydaları Mitchel ve Zornberg (1995) ile Koerner (2013) tarafından ortaya konmuştur. Ancak, marjinal dolgu kullanılarak inşa edilen toprakarme sistemlerin ekonomik faydalarının yanında, düşük hidrolik geçirgenlikleri nedeni ile boşluk suyu basınçlarının birikimine sebep oldukları bilinmektedir. Bunun neticesinde oluşan kayma mukavemeti azalmaları (Christopher ve Stulgis, 2005; Raja vd., 2012) ve deformasyon artışları da (Mitchel ve Zornberg, 1995; Christopher ve Stulgis, 2005) marjinal dolgularda stabilite (duraylılık) kayıplarına neden olmaktadır.

Geotekstiller geleneksel drenaj sistemlerinde filtrasyon (geotekstil düzlemine dik yöndeki akış) tabakası olarak kullanılırken (Veylon vd., 2016), geokompozit drenajlara nazaran kalınlıklarının az olması dolayısı ile drenaj kapasiteleri (geotekstil düzlemine paralel akış) sınırlıdır (Koerner, 2012). Dolayısı ile, literatürde dolgu tabanında geotekstillerin güçlendirme amacı ile kullanımı ve sağladığı mekanik faydalar üzerine geniş araştırmalar yapılmasına rağmen, güçlendirme amacı ile kullanılan geotekstillerin ikincil rolü olan drenaj kapasiteleri üzerine sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır (Tan vd., 2001). Örgüsüz geotekstillerle güçlendirilmiş şevlerin infiltrasyon altındaki davranışlarının incelendiği bir çalışmada, geotekstilin şev stabilitesine güçlendirme amacı ile yaptığı katkının drenaj kapasitesine göre yaptığı katkıdan çok daha fazla olduğu belirtilmiştir (Iryo ve Rowe, 2005). Bununla birlikte, örgüsüz geotekstillerin dolgu içerisindeki yüklemeye dolayısı ile meydana gelen artık boşluk suyu basınçlarını azalttığı (Tan vd., 2001) ve şev topuğundaki örgüsüz geotekstillerin boşluk suyu basıncını azalttığı belirtilmiştir (Iryo ve Rowe, 2005).

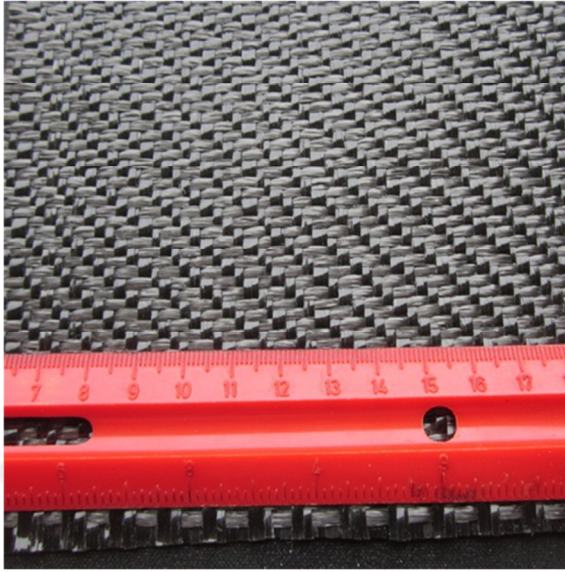
Her ne kadar şartnameler granüler dolgu kullanımını zorunlu kılsalar da, gerek yerel malzeme teminindeki kolaylık gerekse de ekonomik sebeplerden dolayı marjinal dolgular kullanılarak geosentetikle güçlendirilmiş dolguların inşası kaçınılmaz olmaktadır. Marjinal dolgulardaki boşluk suyu basınçlarını azaltmak için permeabilitesi yüksek geosentetiklerin kullanımı tavsiye edilmesine rağmen (Mitchel ve Zornberg, 1995), geleneksel olarak dolgu tabanlarında ayırma ve güçlendirme amaçlı kullanılan geotekstillerin sızma kuvvetleri altındaki performansına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı laboratuvar model deneyleri ile incelenmiştir.

Tezin içeriğinde öncelikle Bölüm II'de geotekstil malzemesinin tanımı yapılarak kullanım fonksiyonları üzerinde durulmuş ve geotekstillere güçlendirilmiş dolgular üzerine literatür özeti sunulmuştur. Bölüm III'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 IV'de laboratuvar şev model deneyleri tartışılarak Bölüm V'de çalışmanın sonuçları özetlenmiştir.

## II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Geotekstilin Kullanım Alanları

Projelerde, yapılarda veya sistemlerde zemin, kaya veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili malzemeler ile temas halinde kullanılan tabaka veya şerit şeklinde imal edilmiş polimerik ürünler geosentetik olarak adlandırılırlar (ASTM D4439, 2015). Geosentetik ailesi ürünlerinden biri olan geotekstil, ASTM D4439 (2015) tarafından tamamıyla tekstilden oluşan geçirimli geosentetik olarak tanımlanmıştır. Örgülü (woven) ve örgüsüz (non-woven) olmak üzere iki farklı tipte üretilirler (Şekil 2.1). Örgülü geotekstillere polimer elyafların geleneksel dokuma yöntemleri ile dokunarak üretilirken, örgüsüz geotekstillere ise polimer elyafların mekanik iğneleme ile, ısı ile ya da kimyasal işlemlerle birbirlerine bağlanması ile imal edilirler (Wasti, 2007). Geotekstil üretiminin yaklaşık %92'sinde kullanılan polimer tipi polipropilen (PP) olup, polietilen tereftalat (PET), polietilen (PE) ve poliyamid (PA) de kullanılmaktadır (Koerner, 2012).



(a) PP elyaf`dan imal geleneksel dokuma Metodu ile imal edilmiş örgülü geotekstil



(b) Mekanik iğneleme metodu ile PP elyaftan üretilen örgüsüz geotekstil

Şekil 2.1 Örgülü ve örgüsüz geotekstilller

2012 yılında dünyada kullanılan 3.4 milyar metrekare geosentetik malzemenin %70.3'ünün geotekstil olması (Freedonia, 2013), geotekstilin inşaat mühendisliğinde en yaygın kullanılan geosentetik olduğunun göstergesidir. Ayrıca, dünyadaki toplam geosentetik üretiminin %62'si inşaat ve ulaşırma altyapısı projelerinde kullanılmaktadır (Freedonia, 2013). Toplam geotekstil pazarı içersinde ise örgüsüz geotekstillerin kullanım payı %70'dir (Wasti, 2007). Geotekstil'in İnşaat mühendisliği uygulamalarında kullanımının daha da artacağı ve 2017 yılında %8.7'lik bir büyüme ile toplam tüketiminin dünyada 3.6 milyar metrekare seviyesine ulaşacağı beklenmektedir (Freedonia, 2013).

Günümüz inşaat sektöründe kullanılan geotekstillerin tipik kalınlıkları 0.25 – 7.5 mm, özgül ağırlıkları 0.9 – 1.7, birim alan kütleleri 135 – 2000 g/m<sup>2</sup>, patlama mukavemetleri 350 – 5200 kPa, yırtılma mukavemetleri 90 – 1300 N, çekme

mukavemetleri 9 – 180 kN/m, delinme mukavemetleri 45 – 450 N, permitiviteleri 0.02 – 2.2 s<sup>-1</sup>, transmisivitelemi 0.01 x 10<sup>-3</sup> – 2.0 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/min ve görünen/karakteristik gözenek boyutları ise 2.0 – 0.075 mm arasında değişmektedir (Koerner, 2012).

Geotekstilleri, inşaat mühendisliğinin çeşitli yapılarında (otoyollar, demiryolları, tüneller, konut binaları, barajlar, göletler, su kanalları, zemin ıslahı, su yapıları, vb.) ayırma, glendirme, drenaj veya filtrasyon amacıyla kullanılmaktadırlar. Bir projede kullanılacak geotekstilin fiziksel ve mekanik özellikleri bu sayılan fonksiyonlardan hangilerini slenmesine bağlı olarak seçilmektedir. Bu fonksiyonlardan bir ya da birkaçını aynı anda yerine getirmesi istenebilmektedir. Örneğin, oturma potansiyeli yüksek ve taşıma gücü düşük yumuşak zeminden geçen yol gzerghları üzerine inşa edilecek otoyol dolgularında geotekstilleri hem yol üst yapısı ile doğal zemini ayırma hem de temel zemininin glendirerek taşıma gücünü artırma amacıyla kullanılırlar. Kaplamasız yollarda tekerlek izi derinliğini azaltmak ve glendirme amaçlı kullanılırlar. Benzer şekilde demiryolu balast malzemesi ile doğal zemini, zonlu toprak dolgu barajlardaki farklı toprak malzemeleri ayırma amaçlı geotekstilleri kullanılmaktadırlar.

Doğal toprak malzemesinin çekme dayanımı olmadığı için geosentetikler şev ıslahında çekme gerilmesi alan elemanlar olarak kullanılırlar. Bu sayede şevi devirmeye çalışan kuvvetlere karşı koyan direnç kuvvetleri olarak çalışırlar. şev glendirmesinde geosentetikleri ailesinden geotekstil bohalama yolu ile dolgu sisteminde kullanılır ve şevleri devirmeye çalışan kuvvetlere karşı çalışarak şevin

devrilmeye karşı güvenlik katsayısını artırırılar. Bu sayede şev eğimleri daha dik teşkil edilebilir.

Filtrasyon, geotekstil düzlemine dik doğrultuda suyun geçişine izin vererek aynı zamanda membaadaki zemini tutması özelliği olarak tanımlanır (Koerner, 2012). Filtrasyon işlevinde kullanılacak geotekstillerde öncelikli parametre geotekstilin hidrolik geçirimsizliğidir ve bunun için geotekstilin kalınlığı ve sıkıştırılabilirliği dikkat edilmesi gereken kriterlerdir (Koerner, 2012). Ayrıca, kullanılan geotekstilin görünen/karakteristik gözenek boyutu membaadaki zeminin ince danelerinin geçişine (geotekstil bünyesinde tıkanmaya sebebiyet vermeden geçişine) ve kaba daneleri de tutacak gözenekte seçilmelidir. Filtrasyon özelliğine sahip geotekstiller geleneksel granüler zemin filtrelerinin yerine kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliği projelerinde başlıca kullanım alanları olarak pompaj kuyuları, yapıların temeli etrafında açılan hendek drenaj sistemlerinin bohçalanması ve yeraltı drenaj sistemleri sayılabilir. Geotekstiller yağmur etkisi altında inşaat sahalarından çıkan çamurlu suyun kent alanlarını kirletmesini önlemek amacıyla “kil perdesi” olarak da kullanılırlar.

Geotekstilin kullanıldığı uygulamada servis ömrü boyunca düzlemine paralel doğrultuda akışkanı iletmesi drenaj fonksiyonu olarak tanımlanır (Koerner, 2012). Geokompozit drenajlara nazaran kalınlıklarının az olması dolayısı ile drenaj kapasiteleri sınırlı olmasına karşı mekanik iğneleme tekniği ile imal edilmiş örgüsüz geotekstiller drenaj uygulamalarında kullanılırlar (Koerner, 2012). Drenaj özelliğine sahip geosentetik malzemeler istinat duvarı arkasına monte edilen düşey drenaj plakalarında, demiryolu balast tabakası altında ve spor sahalarında kullanılmaktadır. Aynı zamanda yeşil binaların teraslarında sıklıkla görülen bahçe düzenlemelerindeki



yağmur suyunun uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliğinde drenaj amaçlı kullanılan geokompozit sistemlerde ızgara veya ağ şeklinde boşluk yaratarak sınının taşınmasına vesile olan ızgara tipi malzemeler geonet (geoağ) olarak adlandırılırlar. Genellikle geotekstil veya geomembran ile birlikte kullanılırlar. Bu sistemlerde geotekstiller filtrasyon görevini üstlenirken geokompozitin çekirdeğindeki geoağ ise drenaj fonksiyonunu yerine getirirler. Derecelendirilmiş granüler agreganın yerini alırlar ve bu sistemlere göre saha imalatının çok kolay olması hidrolik ve geoteknik uygulamalarındaki drenaj sistemlerinin teşkilinde kullanımlarını arttırmıştır.

## **2.2. Geotekstillerin Dolgu Tabanını Güçlendirmede Kullanımları**

Geotekstiller, inşaat mühendisliğinde ayırma, güçlendirme, drenaj ve filtrasyon amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu tez kapsamında geotekstillere güçlendirilmiş dolguların sızma kuvvetleri altındaki davranışları laboratuvar fiziksel şev modelleri ile araştırılmıştır. Dolayısı ile tezin bu bölümünde geotekstillere yapılmış dolgu tabanı güçlendirme çalışmalarına yer verilmiştir.

Kayma mukavemeti düşük yumuşak killi zeminler üzerine yapılacak olan imalatlar özel geoteknik çözümler gerektirmektedirler (Holtz, 2001). Geleneksel çözümler arasında yumuşak zeminin kaldırılması, iyileştirilmesi, düşey drenlerle konsolidasyonun hızlandırılması, dolgu yüklerinin kazıklarla taşınması, kademeli şev / palye teşkili gibi geleneksel metotların (Wasti, 2007) yanı sıra geosentetiklerin kullanımı da iyileştirme alternatifi olarak günümüzde düşünülmelidir (Holtz, 2001). Bu tür uygulamalarda genellikle temel zeminin çok düşük mukavemete sahip

olmasından dolayı (5 – 10 kPa arasında) ana fonksiyonu güçlendirme olan yüksek çekme gerilmelerine sahip geotekstiller, geogridler ve geokompozitler kullanılırlar (Koerner vd. 1987). Geosentetik donatı uygulaması ile dolgunun uyguladığı yüklerden dolayı zeminin konsolidasyonu sağlanana kadarki geçen süre zarfında sistemin stabilitesi sağlanmış olunur (Jewell, 1990).

Fowler ve Edris (1987) geotekstil ile güçlendirilmiş test dolgusu üzerinde yerleştirdikleri aletsel gözlemler neticesinde oturma potansiyeli olan turbalık zeminler üzerine inşa edilecek dolguların inşasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, geleneksel metotlara nazaran hem %50 - %67 ekonomik fayda sağlayabileceğini hem de daha çevreci bir çözüm olacağını ortaya koymuşlardır.

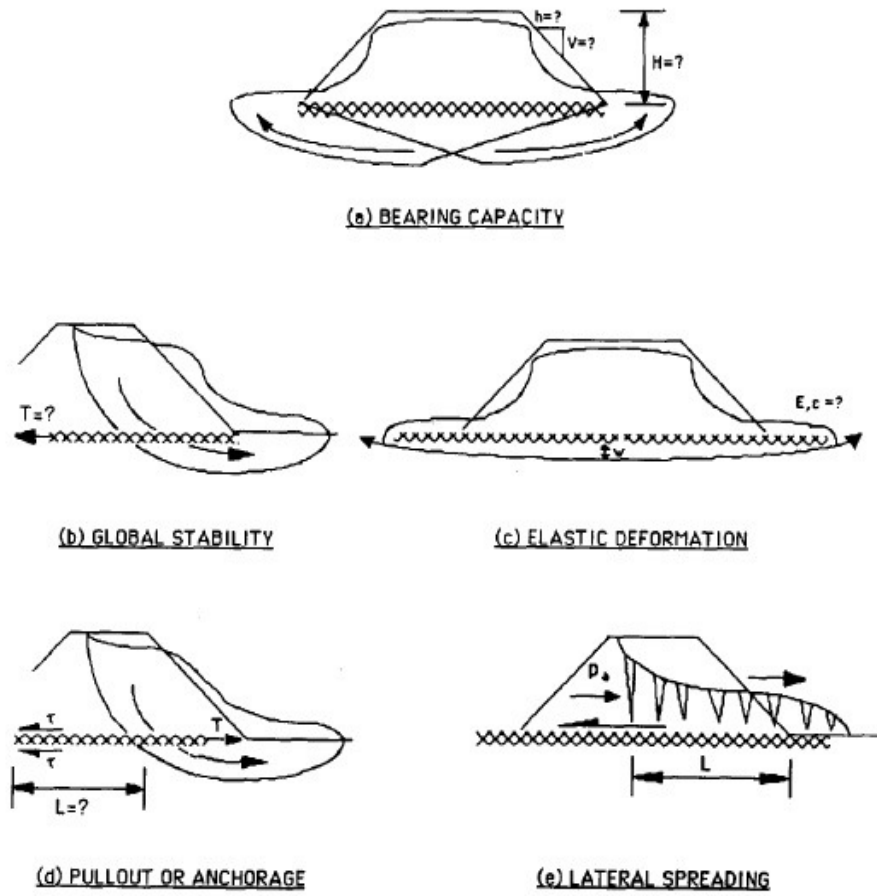
Uibel (1987), yumuşak silt ve kilden oluşan yerel zemin koşuluna sahip sahanın üzerine yerleştirilecek olan 3.65 m yüksekliğinde hidrolik tarama ile elde edilen malzemenin depolanması için yapılacak zemin ıslahında düşey bant drenlere ek olarak dolgu tabanında yüksek çekme gerilmesine sahip geotekstil kullanmışlardır.

Bergado vd. (1994) yaptıkları çalışmada yumuşak Bangkok kili üzerine inşa edilen dolgunun performansını gene aynı zemine inşa ettikleri geotekstille güçlendirilmiş dolgunun performansı ile karşılaştırmışlardır. Bangkok kili üzerine inşa edilen dolguda göçmeler dolgu inşaatının yüksekliği 4 m'de iken oluşmuşken, geotekstille güçlendirilmiş dolguda ise göçmeler dolgunun inşaatı 6 m'de iken oluşmuştur. Sonuç olarak yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilecek dolgu zeminde güçlendirme amaçlı yüksek çekme gerilmesine sahip geotekstil kullanımı daha yüksek dolguların inşasına izin vereceği ortaya konmuştur (Bergado vd., 1994). Ayrıca, geotekstilin yumuşak killi taban zeminindeki aşırı deformasyonlara karşı koyduğu,

ancak temelde ortalama deformasyonlar %5 mertebeye ulaştıktan sonra geotekstilde yırtılmaların meydana geldiği belirtilmiştir (Bergado vd., 1994).

Rowe ve Gnanendran (1994) Sackville, New Brunswick, Kanada'da yumuşak organik killi zeminler üzerine geotekstille gúçlendirilmiř test dolgusu inşa etmişlerdir. Dolgu inşası 8.2 metre yúkseklieđe ulaştığında dolguda deformasyonlar başlamasına rağmen herhangi bir toptan gúçmeye rastlanmamıştır.

Yumuşak killi zeminler üzerine imal edilecek geosentetikle gúçlendirilmiř dolguların tasarımında uygulanacak gúçme analizleri Koerner vd., (1987) tarafından şekil 2.2'de verilmiştir. Bu tasarım aşamaları; taşıma gúcü analizi (şekil 2.2.a), toptan gúçme analizi (şekil 2.2.b), temel zemininde oturma analizi (şekil 2.2.c), geosentetik donatının sıyrılma analizi (şekil 2.2.d) ve yanal ótelenme analizi (şekil 2.2.e) olarak sıralanmıştır. Bu stabilite hesapları için çeşitli nümerik yöntemler günümüzde yaygınlıkla kullanılmaktadırlar (Palmeria et al., 1998; Bergado vd., 2002; Borges ve Cardoso, 2002; Hinchberger ve Rowe, 2003; Rowe ve Li., 2005; Wulandari ve Tjandra, 2015; Smith ve Tatari, 2016).



Şekil 2.2 Yumuşak zemin stabilizasyonunda kullanılacak geotekstiller için tasarım modelleri

Yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilecek olan dolgularda taban güçlendirmesi olarak geotekstillerin sağladığı mekanik faydalar hem arazi prototip alışmaları hem de nümerik analizlerin ışığı altında net bir şekilde ortaya konmuş ve geleneksel zemin iyileştirmelerine alternatif olarak geotekstil kullanımı günümüzde yaygınlıkla kullanılan bir teknoloji haline gelmiştir. Ancak belirtmek gerekir ki stabilite analizlerinde dolgu yükü altında meydana gelecek oturmalar ve toptan göçmelere karşı koyması için seçilecek olan geotekstilin sadece mekanik özellikleri

üzerinde durulmuştur (Şekil 2.2). Bununla birlikte, dolgu tabanlarında güçlendirme amaçlı kullanılan geotekstillerin drenaj kapasitelerine bağlı olarak sızma kuvvetleri altındaki performansına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.



### III. DENEYSEL ÇALIŞMA

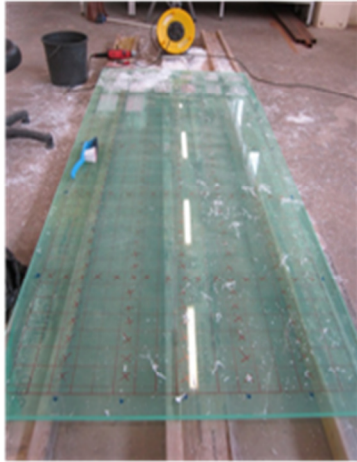
#### 3.1. Zemin Kutusu

Bu tez kapsamında toplam iki adet fiziksel küçük ölçek prototip şev deneyi yapılmıştır. Bu deneylerden biri sadece marjinal dolgu malzemesi kullanılarak yapılan şevden (Matris Dolgu) oluşurken diğeri geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgudan oluşmuştur. Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarı'nda daha önce yapılmış olan geofom blok şevlerin sızma kuvvetleri altındaki davranışlarının incelendiği çalışmalarda 200 cm uzunluğunda, 20 cm genişliğinde ve 60 cm yüksekliğinde Polimetil Metakrilat (PMMA) plakalardan (Pleksiglas Plakalar) imal edilen zemin kutularının başarı ile kullanılmasını takiben (Akay vd., 2012, 2013, 2014a, 2014b; Akay ve Özer, 2015; Akay, 2016; Koç, 2015; Özer vd., 2014; Özer ve Akay, 2014; Özer, 2016), bu çalışma için hazırlanan zemin kutusunun imalatında da Plexiglas plakalar kullanılmıştır. Bu tez kapsamında hazırlanan zemin kutusu 100 cm genişliğinde, 200 cm uzunluğunda ve 220 cm yüksekliğinde imal edilmiştir (Şekil 3.1). Zemin kutusunun dış çerçevesinde kutu çelik profiller (5 cm x 10 cm) kullanılarak zemin kutusu toprak yanal basınçlarına karşı güçlendirilmiştir. Kutunun kenarlarında 1 cm (Şekil 3.1.n), tabanında ise 2 cm kalınlığında (Şekil 3.1.d) Plexiglas plakalar kullanılmıştır. Taban plakası yerleştirildikten sonra etrafına kutu çelik profillerden oluşan taban çerçevesinin montajı yapılmış (Şekil 3.1.e, f) ve kutunun dış iskeletini oluşturan çelik profiller taban çerçeveye kaynatılmıştır (Şekil 3.1.g, h). Bu işlemleri takiben kutunun iskeletini oluşturan dış dikme profiller üstte kiriş profillere kaynatılmıştır (Şekil 3.1.i, j). Plexiglas plakaların taban plakasına

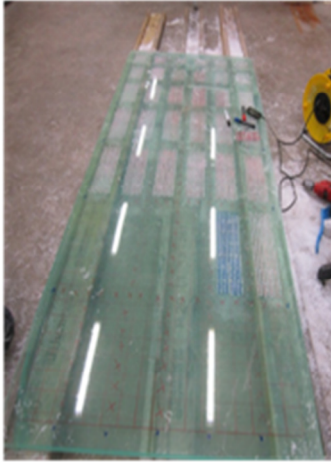
montajları yapılmadan önce, çelik çerçeve yanal (Şekil 4.1.k) ve düşey (Şekil 4.1.l) yönde ana ara kutu çelik profillerle (2 cm x 4 cm) güçlendirilmiştir.

Zemin kutusu toprak kompartmanı ve su haznesi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.2). Bu bölmeler arasında 1 cm kalınlığında ve üzerinde 8 mm çapında su haznesinden toprak kompartmanına sızma sularının geçişini sağlamak için açılmış deliklerden oluşan Pleksiglas plaka bulunmaktadır (Şekil 4.1.a, b, c). Aradaki bu PMMA plaka, su haznesinin bulunduğu bölümün 1 cm genişliğe sahip olacağı şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.2). Su haznesi ve toprak kompartmanı arasında bulunan PMMA plakanın toprak kompartmanı tarafında, dolgu malzemesinin su haznesine girişinin engellenmesi için 200 nolu eleğin göz açıklığına sahip (0.075 mm) elek teli kullanılmıştır. Su haznesi, toprak kompartmanındaki prototip şeve deney süresince sabit kalan hidrolik yükün uygulanması görevini görmektedir. Su haznesinde hidrolik yükün sabit tutulabilmesi için taşıma (tahliye) deliği mevcuttur. Hidrolik yükün sabit tutulması için su haznesine sürekli su girişi yapılırken, bir yandan da tahliye deliği aracılığı su tahliyesi yapılarak su seviyesinin sabit kalması sağlanmıştır.

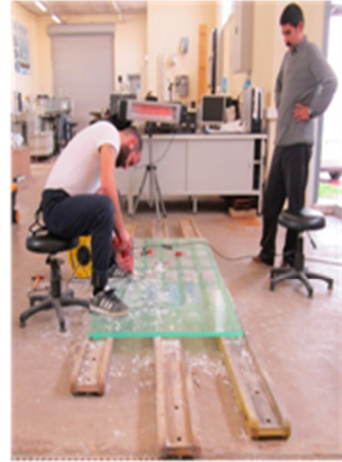
Deneyle sırasında sızma kuvvetlerinden dolayı meydana gelecek boşluk suyu basınçları zemin kutusu cidarına yerleştirilen 13 adet (T1-T13) kalem tipi boşluk suyu basınç ölçer (Soil Measurement Systems, Amerika Birleşik Devletleri) vasıtasıyla ölçülmüştür (Şekil 3.2). Tüm boşluk suyu basınç ölçerler (tansiyometre) ölçüm kapasiteleri -345 cm su basıncı ile +345 cm su basıncı aralığında olan basınç dönüştürücülere (Honeywell Sensing and Control, Amerika Birleşik Devletleri) bağlanmıştır (Şekil 3.2).



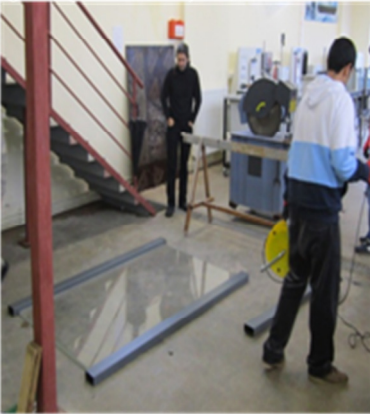
(a) Su haznesi ile toprak haznesini ayıran 105 cm x 220 cm x 2 cm boyutlarında PMMA plakaya (ayırma plakası) su geçişini sağlamak amacıyla 8 mm genişliğinde delik açılması



(b) PMMA ayırma plakasına 8 mm genişliğinde delik açılması işleminin ilerlemesi



(c) PMMA ayırma plakasına 8 mm genişliğinde delik açılması işleminin ilerlemesi



(d) 108 cm x 200 cm x 2 cm boyutlarında taban PMMA levhanın zemine yerleştirilmesi



(e) Taban PMMA levhanın etrafına çelik taban profillerinin yerleştirilmesi



(f) Taban PMMA levhanın etrafına çelik taban profillerinin yerleştirilerek kaynakla birleştirilmesi



(g) Kutu dış iskeletini oluşturacak çelik dikmelerin taban profillerine kaynakılması



(h) Kutu dış iskeletini oluşturacak çelik dikmelerin taban profillerine kaynakılması işleminin ilerlemesi



(ı) Kutu dış iskeletini oluşturacak çelik dikmelerin üst çelik kirişlerle sabitlenmesi





(i) Kutu dış iskeletini oluşturacak çelik dikmelerin üst çelik kirişlerle sabitlenmesi işleminin ilerlemesi



(j) Kutunun dış çelik iskeletinin ortaya çıkması



(k) Kutunun dış çelik iskeletinin yanıl profillerle güçlendirilmesi



(l) Kutunun dış çelik iskeletinin yanıl profillerle güçlendirilmesi işleminin ilerlemesi

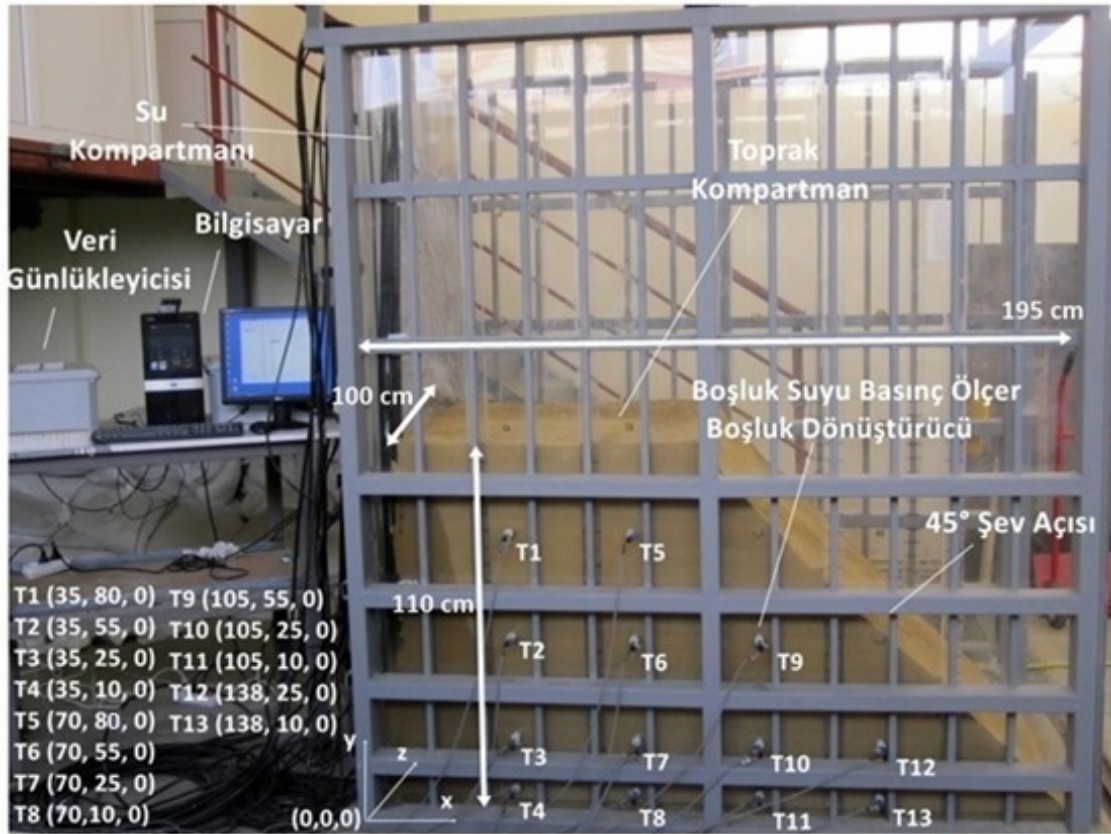


(m) Kutunun dış çelik iskeletinin yanıl profillerle güçlendirilerek iskeletin montajı tamamlanması



(n) PMMA plakalarının taban plakasına

Şekil 3.1. Zemin kutusunun imalat aşamaları

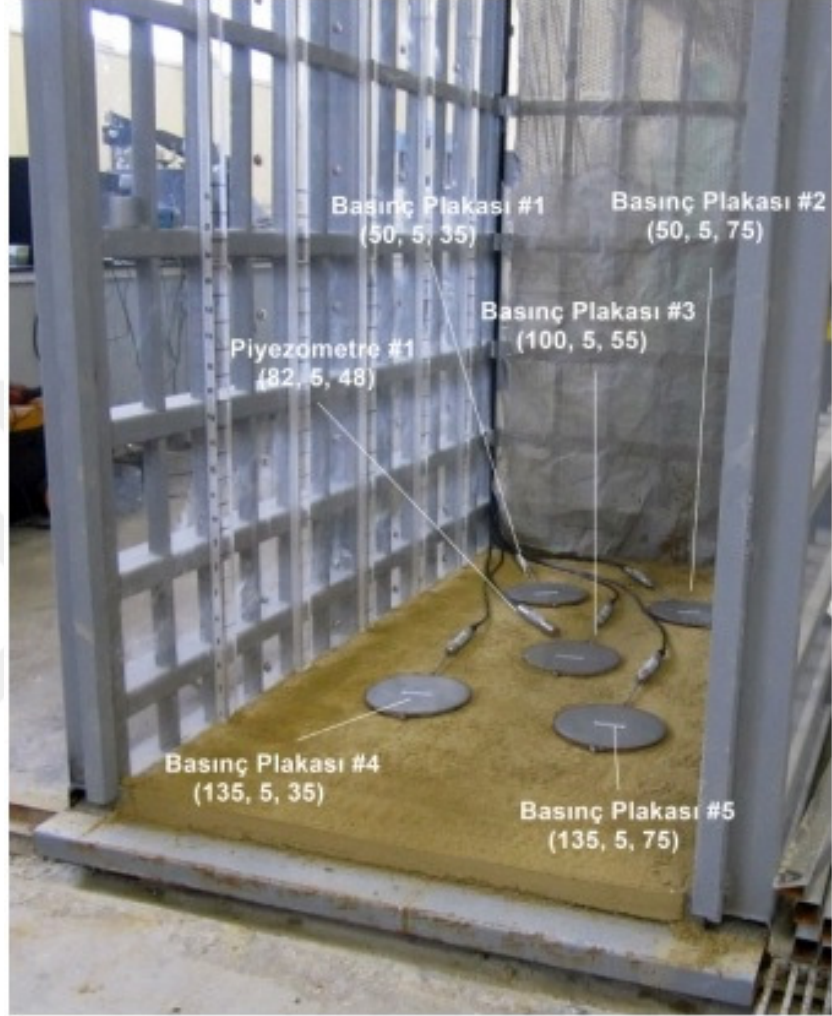


Şekil 3.2 Fiziksel küçük ölçek prototip şev deney düzeneği

Boşluk suyu basıncı her 10 s’de bir veri günlükleyicisi (Campbell Scientific, Amerika Birleşik Devletleri) tarafından değerlendirilerek kaydedilmiştir (Şekil 3.2). Deneyler sırasında kullanılan kalem tipi basınç ölçerler ve fiziksel şev modellerindeki yerleri ve numaraları Şekil 3.2’de sunulmuştur. Tansiyometrelerin koordinatları (x, y, z) modelin sol alt köşesi referans noktası (0, 0, 0) alınarak belirlenmiştir (Şekil 3.2). Bu tansiyometreler önceki laboratuvar çalışmalarında boşluk suyu basınçlarının ölçülmesinde başarıyla kullanılmışlardır (Akay vd., 2012, 2013, 2014a, 2014b; Akay ve Özer, 2015; Akay, 2016; Koç, 2015; Özer vd., 2014; Özer ve Akay, 2014; Özer,

2016). Zemin kutusu cidarına yerleştirilen boşluk suyu basınç ölçerler ve basınç dönüştürücülere ek olarak, 5 adet toplam basınç plakası (Şekil 3.3) ve 3 adet piyezometre (Durham Geo Slope Indicator, Amerika Birleşik Devletleri) şev içerisindeki toplam basınçları ve boşluk suyu basınçlarını ölçmek için yerleştirilmiştir. 24 cm çapındaki toplam basınç plakalarının merkezlerinin koordinatları ve piyezometrelerin uç (poroz plakasının) koordinatları Şekil 3.2'de belirtilen referans noktasına (0, 0, 0) göre Şekil 3.3'de verilmiştir. Tüm basınç plakaları ve piyezometrelerden bir tanesi şev tabanının 5 cm üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.3). Diğer iki piyezometre ise şev tabanından 30 cm ve 60 cm yukarıda şev içersine yerleştirilmişlerdir (Şekil 3.4 ve 3.5). Bu basınç plakaları ve piyezometreler ikinci bir veri günlükleyicisi (Campbell Scientific, Amerika Birleşik Devletleri) tarafından değerlendirilerek kaydedilmiştir.

Deneyler zemin kutusundaki su haznesinin doldurulmasıyla başlatılmıştır. Sızma sularının şev yüzeyine doğru ilerlemesi için gerekli olan hidrolik eğim su haznesindeki hidrolik yükün deney boyunca 100 cm olarak sabitlendiği sınır koşulu ile sağlanmıştır. Deneyler şev içerisindeki sızma akışının kararlı akım durumuna (ölçülen boşluk suyu basınçlarının zamanla değişmeyen duruma gelmesi) gelene kadar devam etmiştir. Deneyler sırasında deney başlangıcından sızıntı suyunun şev topuğundan çıkış anına kadar geçen süre (sızma süresi), şevin sızıntı kuvvetlerinden dolayı göçmeye başladığı an (göçme başlangıcı) ve şevin kararlı akıma ulaşarak şev topuğundaki göçen zeminin artık daha fazla göçmeye müsaade etmediği an (son göçme süresi) kaydedilmiştir. Deneyler devam ederken dakikada bir çekilen fotoğraflar ile şevin fiziksel durumu kayıt altına alınmıştır.

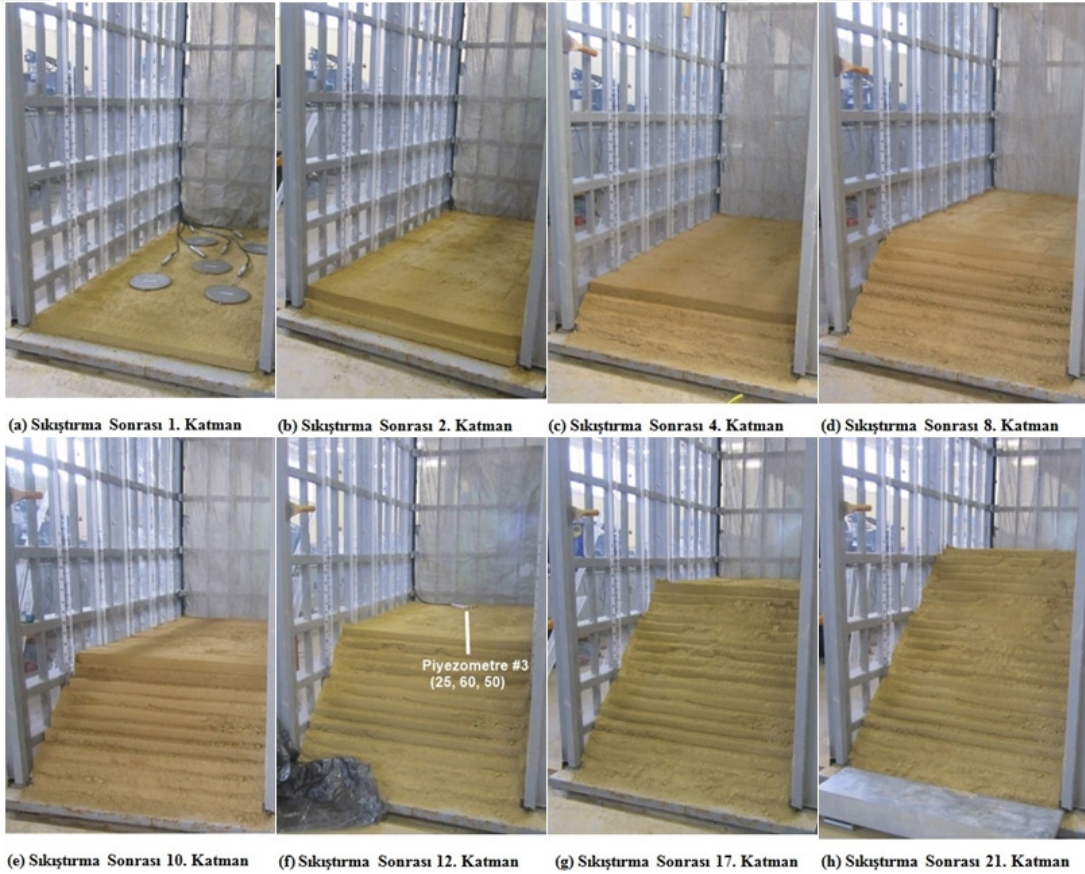


Şekil 3.3. H=5 cm'deki basınç plakaları ve piyezometre

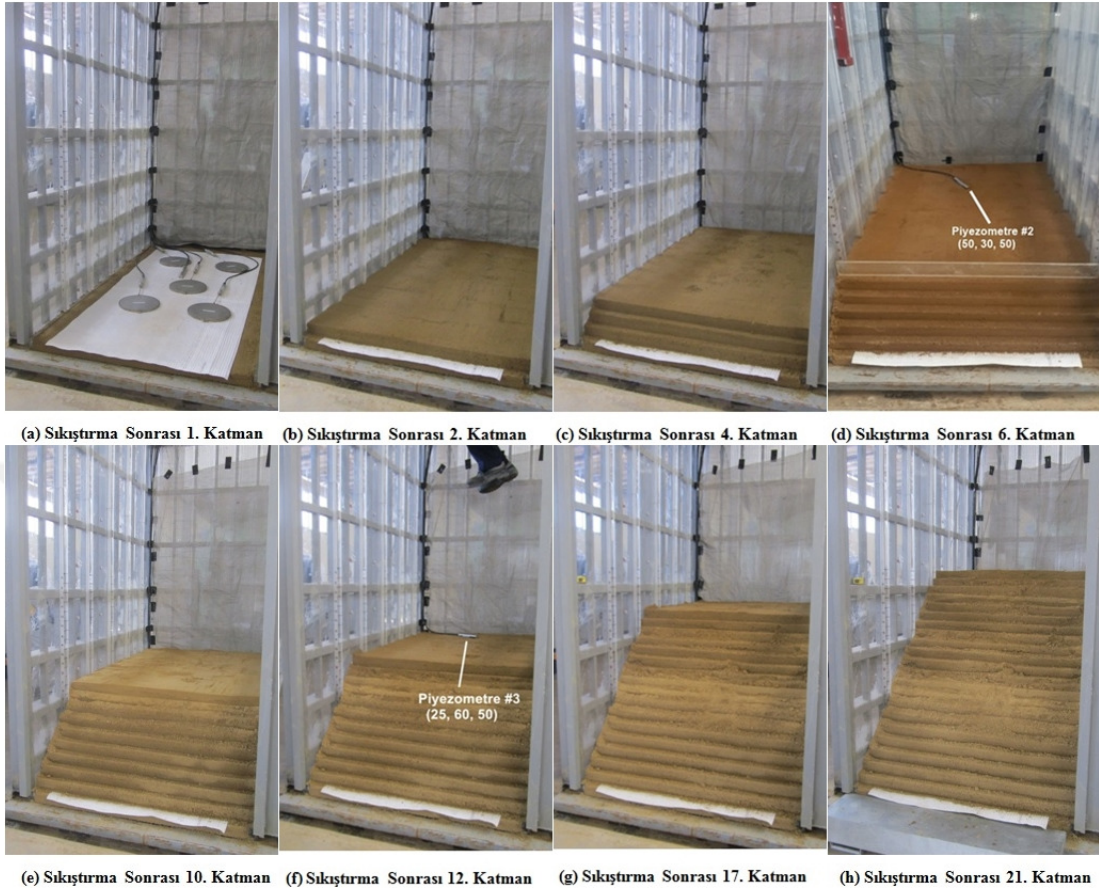
Şev imalatında kullanılan marjinal dolgu malzemesi üniform kompaksiyon koşullarını sağlamak amacıyla laboratuvar ortamında, oda sıcaklığında su muhtevası (ASTM D2216) yüzde 9.7 ile 14.6 arasında olacak şekilde kurutulmuş ve sonra zemin kutusu içerisinde kuru birim hacim ağırlığı  $13 \text{ kN/m}^3$  olacak şekilde malzemenin sıkıştırma işlemi yapılmıştır.



Sıkıştırma işlemi hem matris marjinal dolguda (Şekil 3.4), hem de geotekstille güçlendirilmiş marjinal dolguda (Şekil 3.5) 5 cm kalınlığında kontrollü olarak tabakalar halinde yapılmıştır. Güçlendirilmiş marjinal dolguda kullanılan örgüsüz geotekstil sıkıştırılan en alt tabakanın üstüne herhangi bir kıvrım oluşmayacak şekilde serilmiştir (Şekil 3.5a). İmalatı tamamlanmış şevın şev açısı 45 derece, yüksekliği 110 cm, uzunluğu 195 cm ve genişliği 100 cm'dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.4 Zemin kutusunda 5 cm tabakalar halinde kontrollü sıkıştırma işlemi neticesinde kuru birim hacim ağırlığı  $13 \text{ kN/m}^3$  olan matris dolgunun imalatı



Şekil 3.5. Zemin kutusunda 5 cm tabakalar halinde kontrollü sıkıştırma işlemi neticesinde kuru birim hacim ağırlığı  $13 \text{ kN/m}^3$  olan geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgu imalatı

### 3.2. Malzeme

Deneylerde kullanılan marjinal dolgu malzemesinin fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu tabloda her bir fiziksel özellik için verilen değerler iki farklı numune üzerinde yapılan testlerin sonuçlarıdır. Malzemenin özgül ağırlığı ASTM D854’e göre ve Atterberg Limitleri ise ASTM D4318’e göre belirlenmiştir. Dane çapı dağılımı deneyi ASTM D6913’e göre yapılmış ve dane çapı dağılım eğrisinin özellikleri Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Marjinal Dolgu Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

Özellik	Tanım & Birim	Değer
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi, USCS (USCS)	SM, Siltli Kum
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%), Silt + Kil (%)	54, 34,2, 11,8 – 55.4, 35.8, 8.8
Etkin Çap	D <sub>10</sub> (mm)	0.003
Üniformluk Katsayısı	C <sub>u</sub> [-]	53 - 57
Eğrilik Katsayısı	C <sub>c</sub> [-]	1.3 – 1.9
Yoğunluk	G <sub>s</sub> [-]	2.69 – 2.72
Likit Limit	LL [%]	40.4 – 42.9
Plastik Limit	PL [%]	27.7 – 27.8
Plastisite İndisi	PI [%]	12.7 – 15.1

Marjinal dolgu malzemesinin mukavemetini belirlemek amacıyla iki adet konsolidasyonlu drenajsız (CU) 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 deneyi sonucunda şevin göçmeyen kısımlarından alınmıştır (Şekil 3.6). Numune alıcılar daha sonra numune çıkarma krikosuna yerleştirilmiş ve son numune boyu çapının iki katı olacak şekilde ( $7.26 \times 2 = 14.5$  cm) toplam numune uzunluğunun 5.5 cm'lik kısmı kriko ile çıkarılarak zemin spatulasıyla sıyrılmıştır. Daha sonra numune kriko vasıtasıyla pirinç tüpten tamamen çıkarılarak membran geçirilmiş ayrılabilen numune kalıbına alınmıştır. Kalıptan çıkarılan numune üç eksenli deney hücresine yerleştirilmiş ve CU deneyleri üç farklı hücre basıncında (50, 100, ve 200 kPa) yapılmış ve deney sonucunda kırılma anında elde edilen deviatorik gerilmeler ve mukavemet parametreleri Tablo 3.2'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 3.2). Deneylerde uygulanan kesme hızı %0.075/dak'dır.

Tablo 3.2. Marjinal Dolgu Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Numune	Hücre Basıncı (kPa)	Mukavemet Parametreleri			
		Toplam Gerilmelere Göre		Etkif Gerilmelere Göre	
		$c_T$ (kPa)	$\phi_T$ (derece)	$c'_T$ (kPa)	$\phi'_T$ (derece)
#1	50	0	18.3	1.5	34.1
	100				
	200				
#2	50	0	18.0	3.1	32.7
	100				
	200				



(a) 7,26 x 20 cm piriç numune alıcılar

(b) Piriç numune alıcılar ile şevden numune alınması

(c) Piriç numune alıcıların şevden çıkarılması

Şekil 3.6 CU deneyleri için örselenmemiş numunelerin alınması

Marjinal dolgu malzemesinin hidrolik geçirgenliğini belirlemek amacıyla üç adet esnek cidarlı permeabilite deneyi örselenmemiş numuneler üzerinden (Şekil 3.6) ASTM D5084'e göre yapılmış ve deney sonuçları Tablo 3.3'de özetlenmiştir.



Tablo 3.3. Marjinal Dolgu Malzemesinin Hidrolik Özellikleri

Numune	Hidrolik Geçirgenlik $k_{sat}$ (m/s)
#1	$2.8 \times 10^{-8}$
#2	$4.7 \times 10^{-8}$
#3	$2.9 \times 10^{-8}$

Geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgu imalatında Tech Drain GTG 520UV-12 kodlu drenaj geokompozitinin (Intermas Nets, İspanya) alt örgüsüz geotekstili kullanılmış ve özellikleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Örgüsüz Geotekstilin Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri

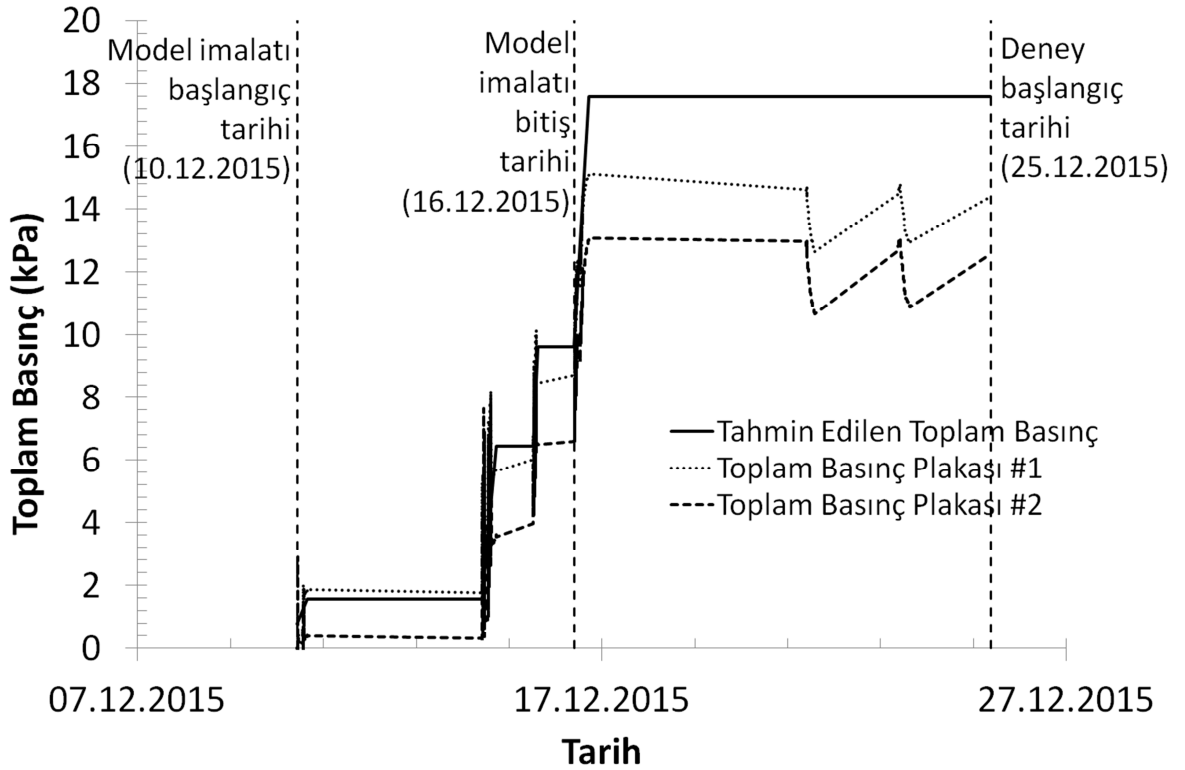
Özellik	Tanım & Birim	Değer
Polimer Tipi	[-]	Polipropilen, PP
Birim alan kütlesi	[gr/m <sup>2</sup> ]	200
CBR Delinme dayanımı	[kN]	2.5
Düzleme dik su akışı	[l/m <sup>2</sup> s]	30
Görünen/karakteristik gözenek boyutu	AOS [ $\mu$ m]	60-70

## IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Matris Marjinal Dolgu

Matris marjinal dolgu imalatı 10 Aralık 2015 tarihinde başlatılmış ve 16 Aralık 2015 tarihinde bitirilmiştir. Toplam 4 iş gününü içeren bu zaman içerisinde 5 cm yüksekliğinde kademeler halinde yapılan kontrollü sıkıştırma işlemi sırasında ölçülen toplam basınç kaydı Şekil 4.1’de verilmiştir. Dolgu imalatı tamamlandığında 17.6 kPa ( $13 \text{ kN/m}^3 \times 1.05 \text{ m} \times (1 + \text{su muhtevası})$ ) olarak tahmin edilen 105 cm yüksekliğindeki (110 cm şev yüksekliği – 5 cm basınç plaka seviyesi) zemin toplam basınç değerine ulaşamadığı görülmektedir. Basınç plakası #1 15.1 kPa okurken basınç plakası #2 ise 13.6 kPa değerini göstermektedir. Bu iki basınç değeri arasındaki farkın %10’un altında olması şev en kesintindeki kontrollü sıkıştırmanın uniform olduğunu göstermektedir. Yatay olan şev kreti ile 45 derece eğimli şev yüzeyi kesişim çizgisinin x koordinatı 85 cm olduğu dikkate alındığında x koordinatları 85 cm’den fazla olan basınç plakaları #3, #4 ve #5 kıyaslamaya katılmamıştır. Basınç plakası #1 (50, 5, 35) ve basınç plakası #2 (50, 5, 75) tahmin edilen toplam basınç hesabındaki 105 cm yüksekliğindeki dolguya maruz kalmakta iken basınç plakaları #3, #4 ve #5 45 derece eğimli şev yüzeyinin iz düşümüne gelmektedir. Bununla birlikte, basınç plakası #1 ve #2’de şev imalatı bitişi ile (16 Aralık 2015) deney başlangıç tarihi (25 Aralık 2015) arasında geçen 9 gün içerisinde gözlemlenen toplam basınçtaki azalmanın basınç plakalarının hemen yakınındaki bölgede meydana gelen muhtemel oturmalardan kaynaklanmış olabileceği

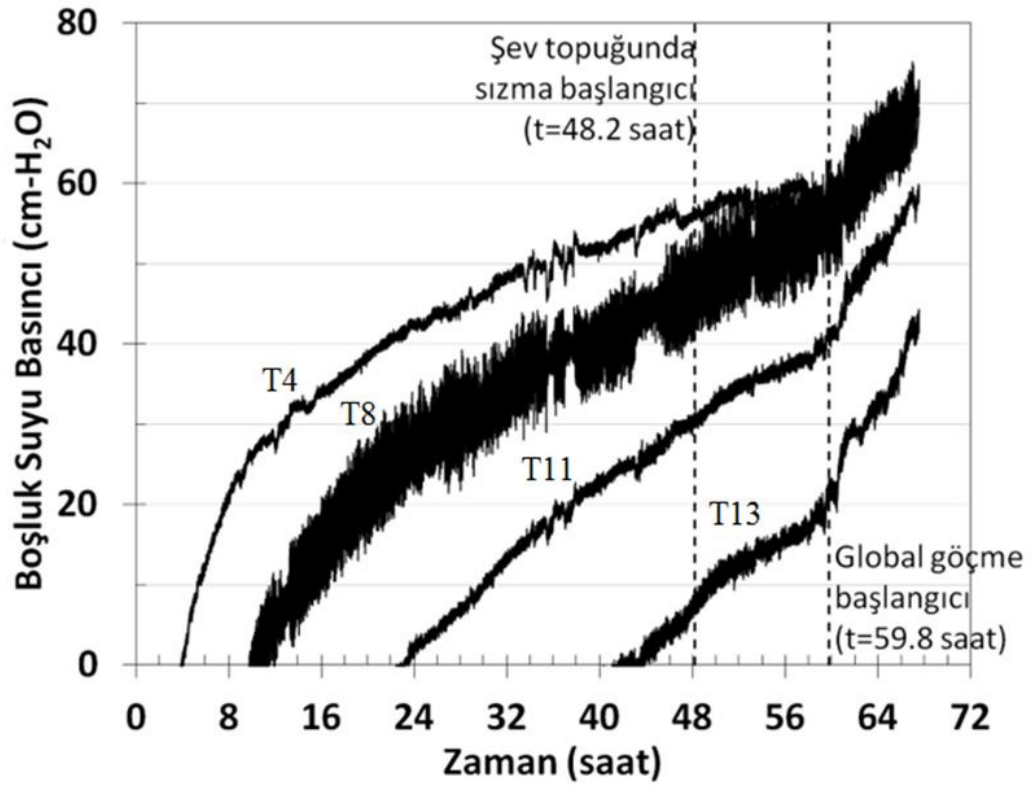
düşünülmektedir. Bunun gibi şev imalatı sonrası benzer basınç azalmaları arazi uygulamalarında da oluşmaktadır (Negussey ve Stuedlein, 2003).



Şekil 4.1 Küçültülmüş ölçek marjinal dolgunun kademeli olarak inşası sırasında tahmin edilen toplam basınçlarla basınç plakası okumalarının karşılaştırılması

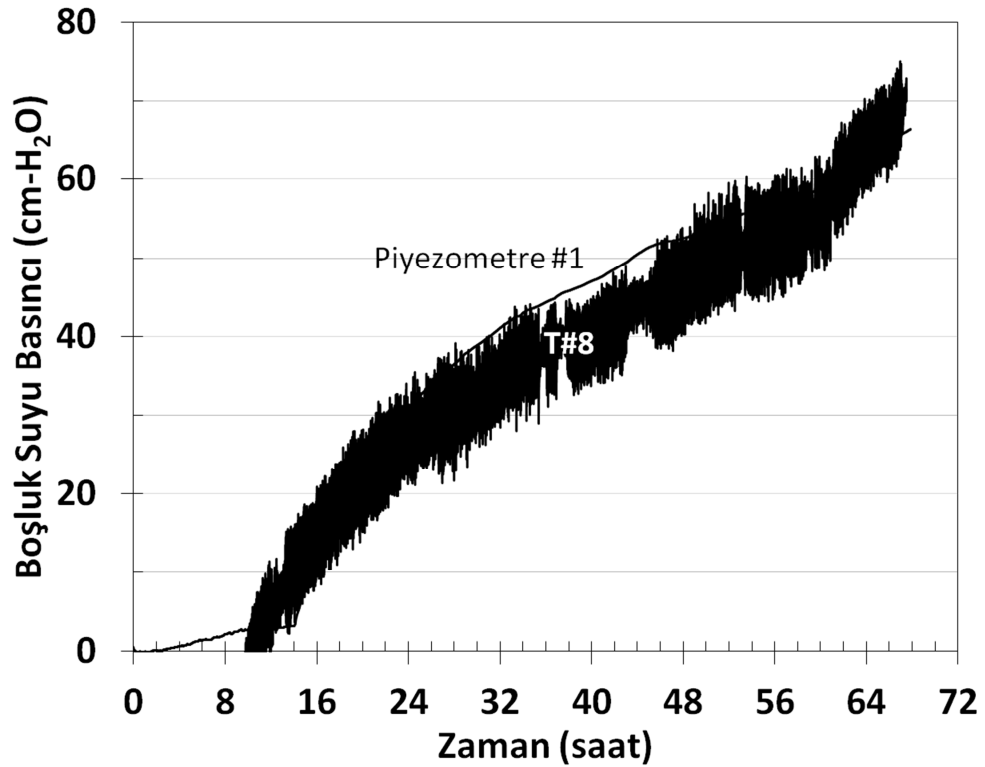
Matris marjinal dolgu deneyi zemin kutusunun su haznesine su girişinin yapılmasıyla 25 Aralık 2015 tarihinde başlamıştır. Su haznesindeki 100 cm'lik hidrolik yük sayesinde şev yüzeyine doğru sızma akışı oluşmuş, boşluk suyu basıncındaki artış ilk olarak T4 (35, 10, 0) tansiyometresi tarafından deneyin yaklaşık olarak dördüncü saatinde algılanmaya başlamış ve bu zamandan sonra pozitif boşluk suyu basınçları kayıt altına alınmaya başlamıştır (Şekil 4.2). Şev dolgununun  $H = 10$

cm yüksekliğinde zemin kutusu yan duvarına yerleştirilmiş olan diğer tansiyometreler de deneyin ilerleyen zamanlarında negatif boşluk suyu basınçlarından pozitif boşluk suyu basınçlarına geçmişlerdir. Örneğin, T8 (70, 10, 0) yaklaşık 10. saatte, T11 (105, 10, 0) yaklaşık 23. saatte ve son olarak topuk bölgesinde yer alan T13 (138, 10, 0) 42. saatte negatif boşluk suyu basıncından pozitif boşluk suyu basıncına geçmiştir (Şekil 4.2). T13 tansiyometresinin pozitif basınç ölçmesinden yaklaşık 6 saat sonra da sızma suyunun şev yüzeyinden ilk çıkışı topuk bölgesinde deneyin yaklaşık 48. saatinde meydana gelmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Küçültülmüş ölçek marjinal dolguda tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçları

Sızma sularının şev genişliği boyunca uniform olarak ilerleyip ilerlemediği zemin kutusu yan duvarına yerleştirilen tansiyometre ölçümleri ile şev içerisine yerleştirilen piyezometre ölçümlerinin karşılaştırılması sonucu belirlenmiştir. Örneğin, T8 (70, 10, 0) ile piyezometre #1 (82, 5, 48) tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları sızma suyunun ilerleyişine bağlı olarak benzer tepkiler göstermektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Küçültülmüş ölçek marjinal dolgu deneyinde tansiyometre #8 ve piyezometre #1 tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

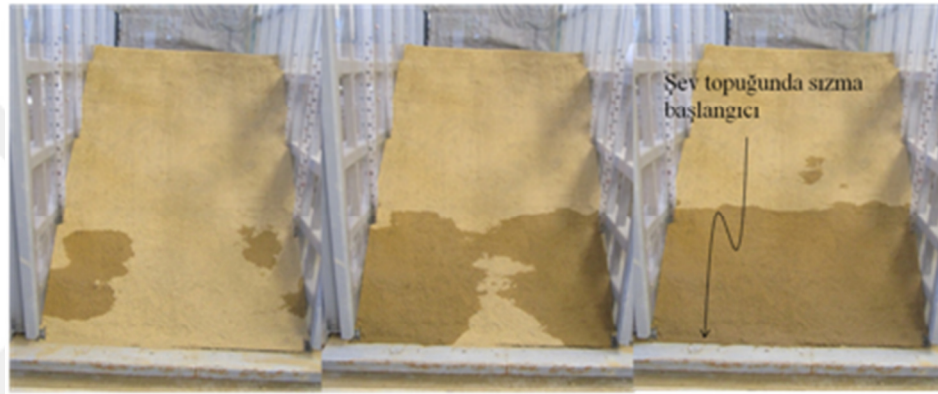
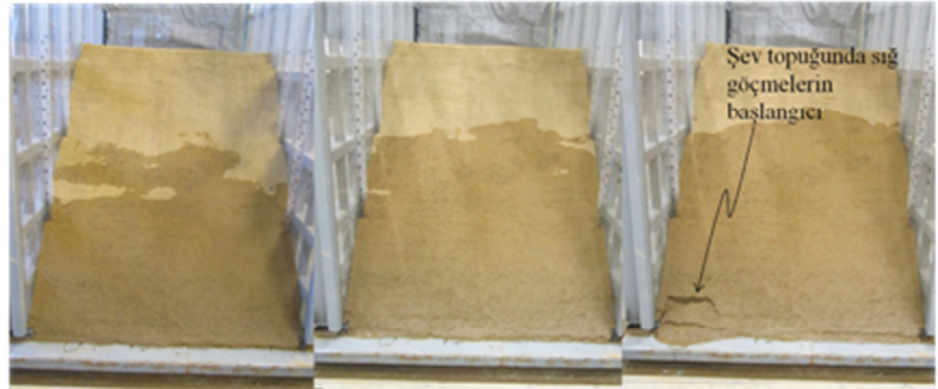
Deney süresince şevin fiziksel durumu fotoğraflarla sunulmuştur (Şekil 4.4). Görüleceği üzere, sızma başlangıcı (48.2 saat) sonrasında sızma suları etkisiyle şev yüzeyindeki ilk fiziksel deformasyon topuk bölgesindeki sığ göçmelerle kendini

göstermiştir (Şekil 4.4ı). Şev yüzeyindeki sığ göçmeler deneyin 60. saatine kadar devam etmiş ve şev kretinde oluşan çatlaklar belirgin hale gelmiştir (Şekil 4.4r). Ancak, tansiyometrelerin gösterdiği üzere bu anda boşluk suyu basınçları yükselmeye devam etmekte olduğundan kararlı akıma erişilmemiştir. Bu durum global göçme başlangıcı olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). Deneyin devamında dairesel göçme meydana gelmesiyle deney 67.5 saatte sonlandırılmıştır (Şekil 4.4u).

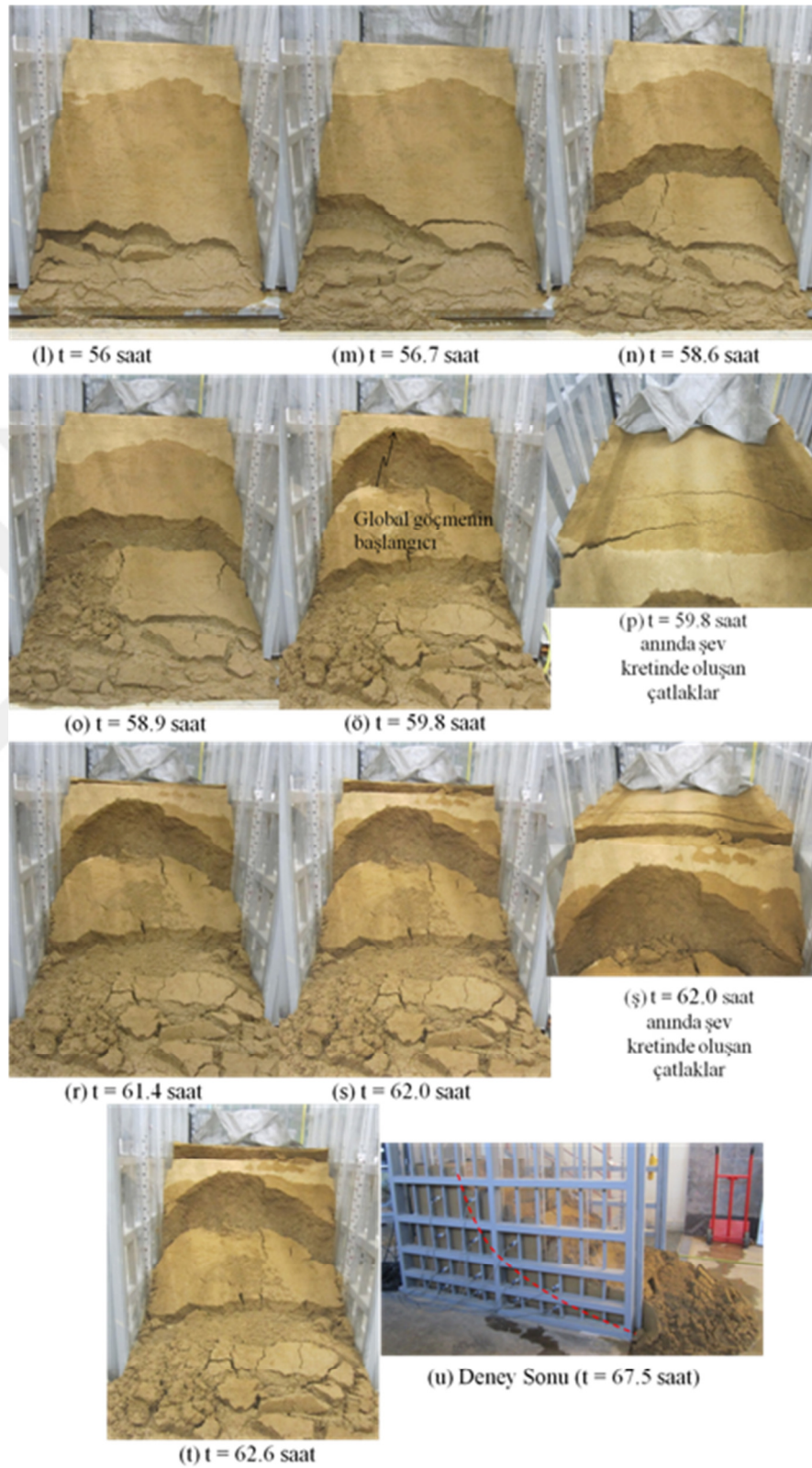




(a) Deney başlangıcı

(b)  $t = 43.3$  saat(c)  $t = 44.1$  saat(d)  $t = 44.7$  saat(e)  $t = 46.6$  saat(f)  $t = 48.2$  saat(g)  $t = 50$  saat(h)  $t = 51.6$  saat(i)  $t = 52.5$  saat(j)  $t = 53.6$  saat(k)  $t = 54$  saat(k)  $t = 55.3$  saat



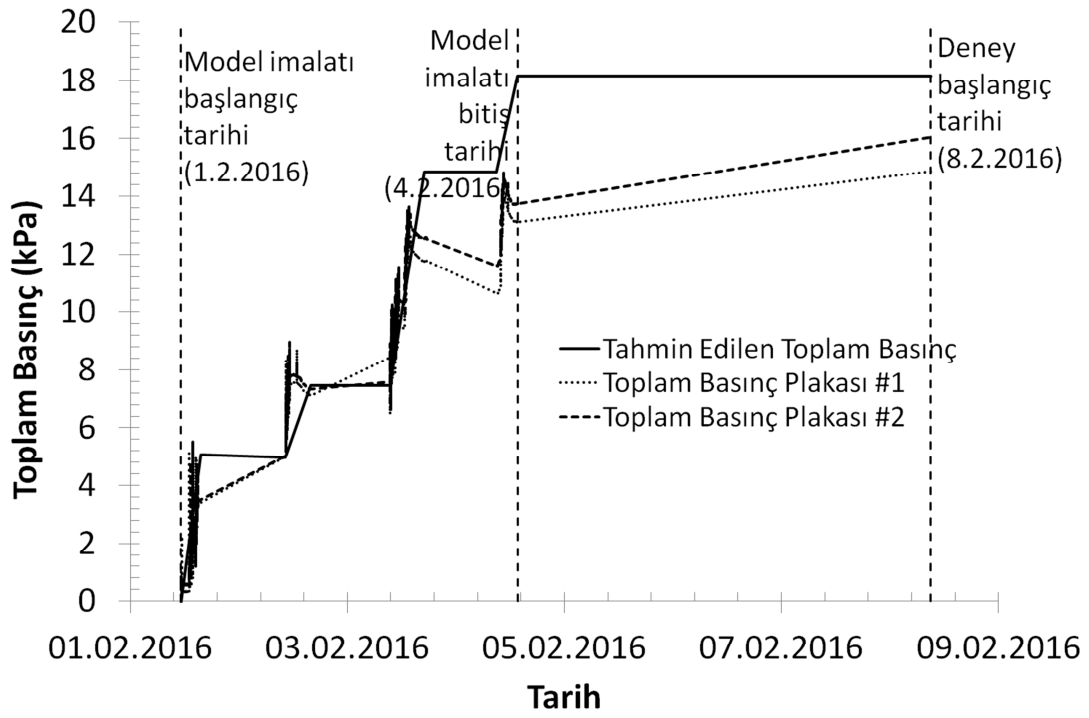


Şekil 4.4 Marjinal dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı



#### 4.2. Geotekstil ile Güçlendirilmiş Marjinal Dolgu

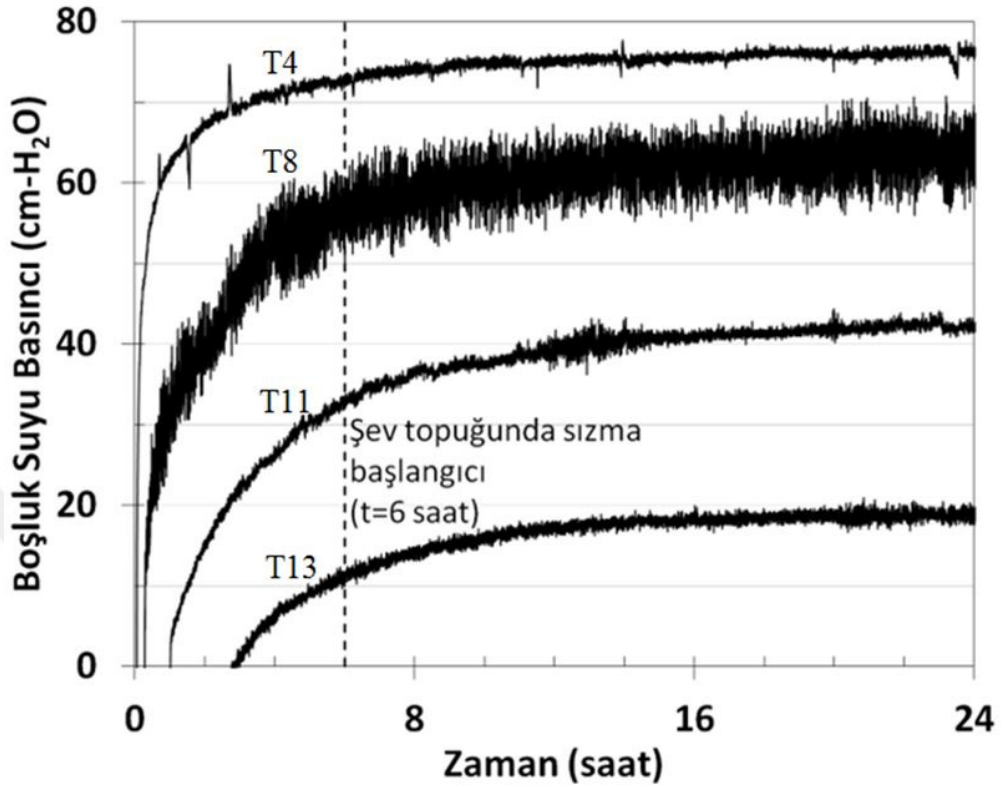
Geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgu imalatı 1 Şubat 2016 tarihinde başlatılmış ve 4 Şubat 2016 tarihinde bitirilmiştir. Toplam 4 iş gününü içeren bu zaman içerisinde 5 cm yüksekliğinde kademeler halinde yapılan kontrollü sıkıştırma işlemi sırasında ölçülen toplam basınç kaydı Şekil 4.5’de verilmiştir. Dolgu imalatı tamamlandığında 18.2 kPa ( $13 \text{ kN/m}^3 \times 1.05 \text{ m} \times (1 + \text{su muhtevası})$ ) olarak tahmin edilen zemin toplam basınç değerine matris marjinal dolgu imalatında olduğu gibi ulaşamadığı görülmektedir. Basınç plakası #1 14.9 kPa okurken basınç plakası #2 ise 16.1 kPa değerini göstermesi (aradaki fark %10’un altında) şev en kesintindeki kontrollü sıkıştırmanın uniform olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5 Küçültülmüş ölçek geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgunun kademeli olarak inşası sırasında tahmin edilen toplam basınçlarla basınç plakası okumalarının karşılaştırılması

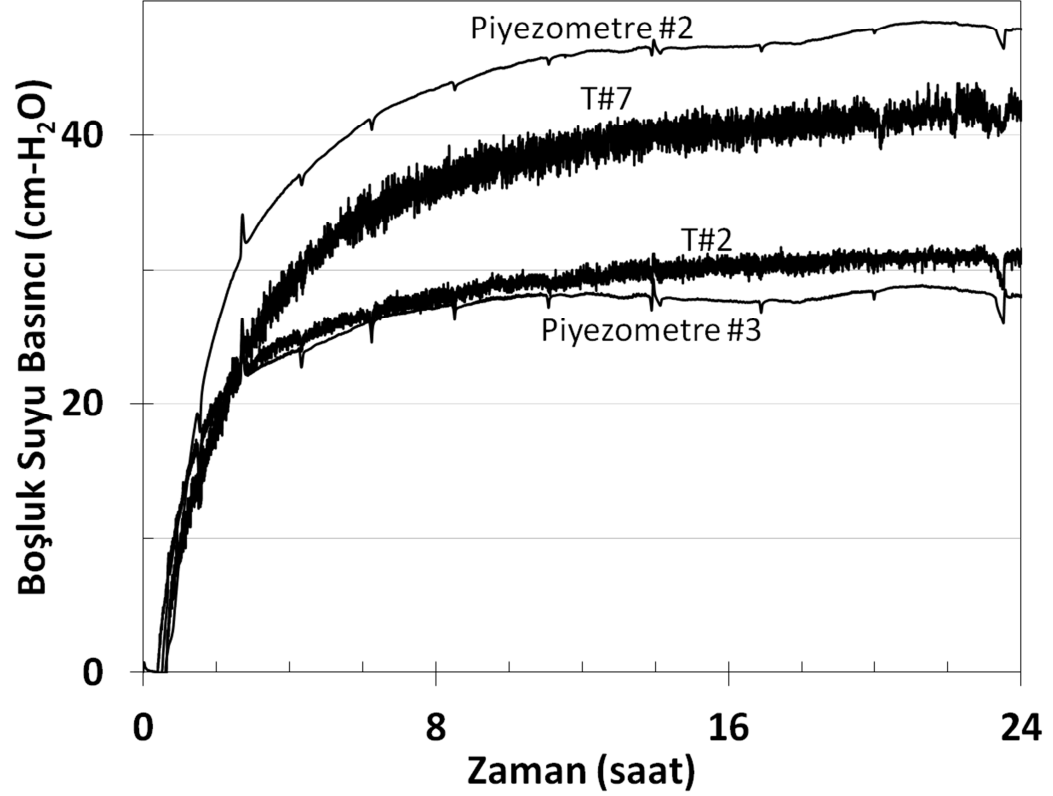
Geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgu deneyi zemin kutusunun su haznesine su girişinin yapılmasıyla 8 Şubat 2016 tarihinde başlamıştır. Su haznesindeki 100 cm'lik hidrolik yük sayesinde şev yüzeyine doğru sızma akışı oluşmuş, boşluk suyu basıncındaki artış ilk olarak T4 (35, 10, 0) tansiyometresi tarafından deneyin yaklaşık olarak 0.05 saatinde algılanmaya başlamış ve bu zamandan sonra pozitif boşluk suyu basınçları kayıt altına alınmaya başlamıştır (Şekil 4.6). Matris marjinal dolgu deneyinde ise bu değer yaklaşık olarak 4 saat olduğu dikkate alındığında kullanılan geotekstilin drenaj fonksiyonunun etkisi görülmektedir.

Bu hızlı sızma akışı şev dolgusunun  $H = 10$  cm yüksekliğinde zemin kutusu yan duvarına yerleştirilmiş olan diğer tansiyometreler tarafından da negatif boşluk suyu basınçlarından pozitif boşluk suyu basınçlarına matris marjinal dolguya kıyasla daha hızlı geçmeleri ile kendini göstermiştir. Örneğin, T8 (70, 10, 0) yaklaşık 0.28. saatte, T11 (105, 10, 0) yaklaşık 1. saatte ve son olarak topuk bölgesinde yer alan T13 (138, 10, 0) 2.8. saatte negatif boşluk suyu basıncından pozitif boşluk suyu basıncına geçmiştir (Şekil 4.6). T13 tansiyometresinin pozitif basınç ölçmesinden yaklaşık 3 saat sonra da sızma suyunun şev yüzeyinden ilk çıkışı topuk bölgesinde deneyin yaklaşık 6. saatinde meydana gelmiştir (Şekil 4.6). Ayrıca, topuk bölgesinde (T13) boşluk suyu basıncı kararlı akım haline gelindiğinde yaklaşık 20 cm- $H_2O$  değerine ulaşmıştır (Şekil 4.6). Bu değer matris dolguda 40 cm- $H_2O$  değerini aşmaktadır (Şekil 4.2).



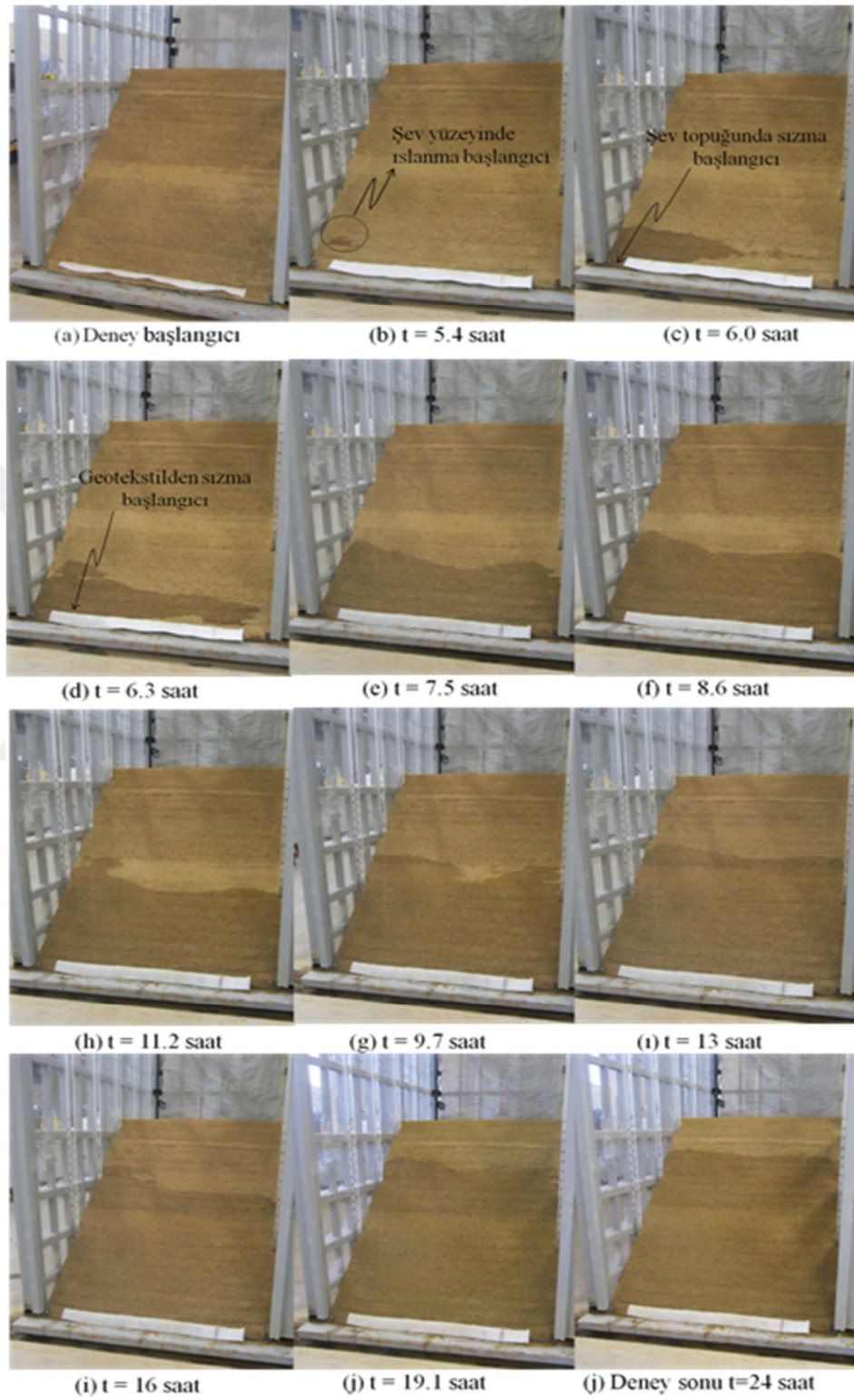
Şekil 4.6 Küçültülmüş ölçek geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolguda tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçları

Sızma sularının şev genişliği boyunca uniform olarak ilerleyip ilerlemediğini belirlemek amacıyla tansiyometre ölçümleri ile şev içerisine yerleştirilen piyezometre ölçümlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Örneğin, T7 (70, 25, 0) ile piyezometre #2 (50, 30, 50) tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları sızma suyunun ilerleyişine bağlı olarak benzer tepkiler göstermektedir (Şekil 4.7). Benzer durum T2 (35, 55, 0) ile piyezometre #3 (25, 60, 50) tarafından ölçülen boşluk suyu basınçlarında da gözlemlenmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Küçültülmüş ölçek geotekstille güçlendirilmiş marjinal dolgu deneyinde tansiyometre #7 - piyezometre #2 ve tansiyometre #2 - piyezometre #3 tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

Deney süresince şevin fiziksel durumu fotoğraflarla sunulmuştur (Şekil 4.8). Görüleceği üzere, sızma başlangıcı (6. saat) sonrasında matris marjinal dolgu deneyinde gözlemlenen sığ göçmeler oluşmamıştır. Şev topuğundan sızma sularının çıkışını takiben örgüsüz geotekstil düzleminden de çıkış 6.3. saatte başlamıştır (Şekil 4.8c ve d). Sızma akışı yaklaşık 13. saatten sonra kararlı duruma gelmiş ve deneyin ilerleyen zamanlarında da şevde herhangi bir fiziksel değişim gözlemlenmemiştir (Şekil 4.8). Küçültülmüş ölçek geotekstille güçlendirilmiş marjinal dolgu deneyi 24 saat sonra da sonlandırılmıştır.



Şekil 4.8 Geotekstille güçlendirilmiş marjinal dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı

## V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Bu kapsamda iki adet fiziksel şev deneyi yapılmıştır. Bu deneylerden biri sadece marjinal dolgu malzemesi kullanılarak yapılan şevden (Matris Dolgu) oluşurken diğeri geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgudan oluşmuştur. Uygulanan hidrolik yük altında matris dolguda topuktaki sığ göçmeleri takiben dairesel global kayma gözlemlenirken, geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolgu sızma kuvvetleri altında fiziksel değişim yaşamamış ve stabilitesini korumuştur.

Marjinal dolguların temel bölgesinde geotekstil kullanımı sızma sularının geotekstil kullanılmayan şeve göre daha hızlı bir akışa sahip olmasına neden olmuştur. Bu sayede özellikle topuk bölgesindeki boşluk suyu basınçlarında azalma gözlenmiştir.

Bu çalışma küçültülmüş ölçek prototip fiziksel deney metodunu kullanarak marjinal dolguların sızma kuvvetleri altındaki davranışına ışık tutmaktadır. Bununla birlikte, tipik bir arazi uygulamasındaki toplam basınç değerlerine ulaşmak için deney düzeneğine sürşarj etkisi yapabilecek mekanizmaların eklenmesi ilerideki çalışmalarda değerlendirilmelidir.

## VI. KAYNAKLAR

Akay, O., 2016. Slope stabilisation using EPS block geofoam with internal drainage system, *Geosynthetics International*, 23(1), 9-22.

Akay, O. & Özer, A.T., 2015. Kumlu şevlerin sızma kuvvetleri altındaki davranışlarının iki ve üç boyutlu laboratuvar fiziksel modelleri ile araştırılması, 6. Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana

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

Akay, O., Özer, A.T., & Fox, G.A., 2014b. Assessment of EPS block geofoam with internal drainage for sandy slopes subjected to seepage flow, *Geosynthetics International*, 21(6), 364-376.

Akay, O., Özer, 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., Özer, A.T. & Fox, G.A., 2012. Experimental investigation of failure mechanism of expanded polystyrene block geofoam slope system under seepage. 5th European Geosynthetics Congress, EuroGeo5, 16th – 19th of September, Valencia, Spain, Volume 4 – Soil Improvement and Reinforcement, pp. 13–17.

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 Standard 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 4318, 2010. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. 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 D5084, 2010. Standard test methods for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous materials using a flexible wall permeameter. 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.

ASTM Standard D 4439, 2015. Standard terminology for geosynthetics. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

Berg, R. R., Christopher, B. R. & Samtani, N. C., 2009. Design of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes – volume I, Federal Highway Administration, FHWA, Report No FHWA-NHI-10-024, National Highway Institute, NHI Courses No. 132040 and 132043.

Balakrishnan, S. & Viswanadham, B. V. S., 2016. Performance evaluation of geogrid reinforced soil walls with backfills through centrifuge model tests, *Geotextiles and Geomembranes*, 44, 95-108.

Bergado, D. T., Lorenzo, G. A. & Long, P. V., 2002. Limit equilibrium method back analyses of geotextile-reinforced embankments on soft Bangkok Clay – a case study, *Geosynthetics International*, 9 (3), 217 – 245.

Bergado, D. T., Long, P. V., Lee, C. H., Loke, K. H. & Werner, G., 1994. Performance of reinforced embankment on soft Bangkok Clay with high-strength geotextile reinforcement, *Geotextiles and Geomembranes*, 13, 403-420.

Borges, J. L. & Cardoso, A. S., 2002. Overall stability of geosynthetic-reinforced embankment on soft soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 395-421.

Christopher, B. R. & Stuglis, R. S., 2005. Low permeable backfill soils in geosynthetic reinforced soil wall: state of the practice in North America: North American Geosynthetics Conference, Las Vegas, Nevada, USA.

Christopher, B. R., Zornberg, J. G. & Mitchel, J. K., 1998. Design guidance for reinforced soil structures with marginal soil backfills, Sixth International Conference on Geosynthetics, Georgia, Atlanta, USA, 797-804.

Fowler, J. & Edris E. V., 1987. Fabric reinforced embankment test section, *Geotextiles and Geomembranes*, 6, 1-31.

Freedonia, 2013. World geosynthetics. Freedonia Focus Reports, Cleveland, Ohio, USA.

- Hinchberger, S. D. & Rowe, R. K., 2003. Geosynthetic reinforced embankments on soft clay foundations: predicting reinforcement strains at failure, *Geotextiles and Geomembranes*, 21, 151-175.
- Holtz, R. D., 2001. Geosynthetics for soil reinforcement, The Ninth Spencer Buchanan Lecture, College Station, Texas, USA.
- Intermas Geosynthetics, Interma Nets, S. A, Spain. Product specifications of Tec H Drain GTG 520UV-12 drainage geocomposite.
- Iryo, T. & Rowe, R. K., 2005. Infiltration into an embankment reinforced by nonwoven geotextiles, *Canadian Geotechnical Journal*, 42, 1145-1159.
- Jewell, R. A., 1990. Strength and deformation in reinforced soil design. Proceedings of Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Balkema, The Hague, Netherlands, 913-946.
- Koç, Ş., 2015. EPS blok geofom ve kum+EPS boncuk karışımlarının sızmaya maruz kumlu şevlerde kullanılmasının laboratuvar fiziksel şev modelleri ile araştırılması, T. C. Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Koerner, R. M., 2012. Designing with geosynthetics, 6<sup>th</sup> Edition, Xlibris Cooperation.
- Koerner, R. M., Hwu, B-L. & Wayne, M. H., 1987. Soft soil stabilization designs using geosynthetics, *Geotextiles and Geomembranes*, 6, 33-51.
- Liu, H., Wang, X. & Song, E., 2009. Long-term behavior of GRS retaining walls with marginal backfill soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 27, 295-307.
- Markets and Markets, 2013. Geosynthetics market. Dallas, TX, USA.
- Mitchel, J. K. & Zornberg, J. G., 1995. Reinforced soil structures with poorly draining backfills part II: case histories and applications, *Geosynthetics International*, 2 (1), 265 – 307.
- Mitchel, J. K. & Villet, W. C. B., 1987. Reinforcement of earth slopes and embankments, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP, Report Number 290, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Negusse, G. & Stuedlein, A., 2003. Geofom fill performance monitoring, Utah Department of Transportation Research Division, Report No. UT-03.17, SLC, UT.
- Özer, A.T., 2016. Laboratory study on the use of EPS-block geofom for embankment widening, *Geosynthetics International*, 23(2), 71-85.

- Özer, A. T. & Akay, O., 2014. Use of interlocked EPS block geofoam for sandy slopes subjected to seepage flow. Proceedings of 10<sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany.
- 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 and Geomembranes*, 42(2): 166-180.
- Palmeria E. M., Pereira, J. H. F. & da Silva, A. R. L., 1998. Backanalyses of geosynthetic reinforced embankments on soft soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 16, 273-292.
- Raja, J., Dixon, N., Frost, M., Fraiser, I. & Fowmes, G., 2012. Designing with marginal fills: understanding and practice, 5<sup>th</sup> European Geosynthetics Congress, EuroGeo5, Valencia, Spain.
- Rowe, R. K. & Li, A. L., 2005. Geosynthetic-reinforced embankments over soft foundations, *Geosynthetics International*, 12 (1), 50-85.
- Rowe, R. K. & Gnanendran, C. T., 1994. Geotextile strain in a full scale reinforced test embankment, *Geotextiles and Geomembranes*, 13, 781-806.
- Rowe, R. K. & Soderman, K. L., 1987. Stabilization of very soft soils using high strength geosynthetics: The role of finite element analyses, *Geotextiles and Geomembranes*, 6, 53-80.
- Smith, C. C. & Tatari, A., 2016. Limit analysis of reinforced embankments on soft soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 44, 504-514.
- Tan, S. A., Chew, S. H., Ng, C. C., Loh, S. L., Karunaratne, G. P., Delmas, Ph. & Loke, K. H., 2001. Large-scale drainage behavior of composite geotextile and geogrid in residual soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 19, 163-176.
- Uibel, B. L., 1987. Overview of Wilmington harbor south project, *Geotextiles and Geomembranes*, 6, 233-246.
- Veylon, G., Stoltz, G., Meriaux, P., Faure, Y-H. & Touze-Foltz, N., 2016. Performance of geotextile filters after 18 years service in drainage trenches, *Geotextiles and Geomembranes*, 44, 515-533.
- Voskamp, W. & Risseuw, P., 1987. Method to establish the maximum allowable load under working conditions of polyester reinforcing fabrics, *Geotextiles and Geomembranes*, 6, 173-184.

Wahls, H. E. (1990). Design and construction of bridge approaches, Federal Highway Administration, FHWA, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Report No 159, Transportation Research Board, TRB, Washington D. C., USA.

Wasti, Y, 2007. Geosentetikler teori ve uygulama, Ankara, TÜRKİYE.

Willibey, G. & van't Hoog, L. S., 1987. Design optimization of geosynthetic reinforced embankments over soft foundations, Geotextiles and Geomembranes, 6, 185-195.

Wulandari, P. S. & Tjandra, D., 2015. Analysis of geotextile reinforced road embankment using Plaxis 2D, Prodedia Engineering, 125, 358-362.

Zhang, N., Shen, S.L., Wu, H.N., Chai, J.C. & Xu, Y.S., 2015. Evaluation of effect of basal geotextile reinforcement under embankment loading on soft marine deposits, Geotextiles and Geomembranes, 43, 506-514.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Yalçın ELBEYLİ

Doğum Yeri:Üsküdar

Doğum Tarihi:02.06.1990

## EĞİTİM DURUMU

Lisans: Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2008 - 2013

Lise: Özel Üsküdar Bağlarbaşı Anadolu Lisesi, İstanbul, 2004-2008

## İŞ DENEYİMİ

Arge Gayrimenkul Değerleme ve Danışmanlık - Gayrimenkul Değerleme Uzmanı

## İLETİŞİM

[yalcinelbeyli@gmail.com](mailto:yalcinelbeyli@gmail.com)