

MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



OKAN ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL

KUMLU DOLGULARIN TABANINDA KULLANILAN GEOTEKSTİL ve
GEOKOMPOZİT DRENAJLARIN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ
DAVRANIŞLARININ LABORATUVAR DENEYLERİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT PUSAR

tarafından

YÜKSEK LİSANS

derecesi şartını sağlamak için hazırlanmıştır.

Şubat 2017

Program: İnşaat Mühendisliği

KUMLU DOLGULARIN TABANINDA KULLANILAN GEOTEKSTİL ve
GEEKOMPOZİT DRENAJLARIN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ
DAVRANIŞLARININ LABORATUVAR DENEYLERİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT PUSAR

tarafından

OKAN ÜNİVERSİTESİ

İnşaat Mühendisliği Bölümüne

Yüksek Lisans

derecesi şartını sağlamak için sunulmuştur.

Onaylayan:

Yard. Doç. Dr. Abdullah Tolga ÖZER
Danışman

Yard. Doç. Dr. Onur Akay
Eş Danışman

Doç. Dr. İlknur BOZBEY
Üye

Doç. Dr. Mustafa Kubilay
KELEŞOĞLU
Üye

Yard. Doç. Dr. Erkan BOZKURTOĞLU
Üye

Şubat 2017

Program: İnşaat Mühendisliği

ÖZET

Geosentetik ürünlerden geotekstillere dolgu tabanlarında güçlendirme amacıyla yaygınlaştıkça kullanılmaktadırlar. Geotekstillere sahip olduğu yüksek çekme mukavemetleri sayesinde dolgu tabanlarındaki oturmaları azaltırlar ve dolgu stabilitesini artırırlar. Dolgu tabanında kullanılan geotekstillere sağladığı mekanik iyileştirmeye rağmen, sızma kuvvetleri altındaki davranışlarına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada tabanında geotekstil kullanılan kum dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Performans karşılaştırılması açısından tabanında geotekstil kullanılan dolguya ek olarak, sadece kum dolgu malzemesi kullanılarak imal edilen (Matris Dolgu) ve tabanında geokompozit drenaj levhası kullanılarak imal edilen dolguların sızma kuvvetleri altındaki performansı da incelenmiştir. Dolgular, laboratuvarında inşa edilen küçük ölçek prototip zemin kutusu içerisinde 100 cm genişliğinde, 195 cm uzunluğunda, 110 cm yüksekliğinde ve 45 derece şev açısında imal edilmişlerdir. Uygulanan hidrolik yük altında matris dolguda ve geotekstil ile güçlendirilmiş kum dolguda topuktaki sığ göçmeleri takiben dairesel global kayma gözlemlenirken, geokompozit ile güçlendirilmiş dolgu sızma kuvvetleri altında fiziksel değişim yaşamamış ve stabilitesini korumuştur. Geotekstiline sınırlı drenaj kapasitesinden dolayı matris dolguya göre boşluk suyu basıncında herhangi bir azalma gözlemlenmemiş, bununla birlikte geokompozit drenaj kullanılan dolguda ise boşluk suyu basınçlarında önemli derecede azalma gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geosentetik, Geotekstil, Geokompozit Drenaj, Kum dolgu, Şev Stabilitesi, Sızma

ABSTRACT

Geotextiles are widely used as reinforcement at the base of embankments among other geosynthetics. The settlement of the embankments is reduced and stability is increased since geotextiles have higher tensile strength compared to that of in-situ soil. Although geotextiles provide mechanical improvements at the base of the embankments, their behaviour under seepage forces has not been investigated. In this study, the behaviour of sandy slopes reinforced with geotextiles at the base under seepage forces was investigated by laboratory experiments. For comparison purposes, the performance of an unreinforced slope (Matrix Slope) and a slope reinforced with geocomposite drainage were also investigated under the effect of seepage forces in addition to the slope reinforced with geotextile at the base. The slopes with 100 cm width, 110 cm height and 195 cm length were constructed inside a laboratory reduced-scale prototype lysimeter to obtain a 45 degree slope angle. The matrix slope and the slope reinforced with geotextile at the base experienced rotational global failures following shallow-seated failures at the toe whereas the slope reinforced with geocomposite drainage maintained its physical shape and its stability under the same hydraulic boundary condition. No reduction in the piezometric conditions within the slope was observed compared to matrix slope due to the limited drainage capacity of the geotextile. However, significant reduction in the piezometric conditions within the slope reinforced with geocomposite drainage was observed compared to matrix slope.

Key words: Geosynthetics, Geotextile, Geocomposite Drainage, Sand 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. İlknur BOZBEY'e, Doç. Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU'na ve Yrd. Doç. Dr. Erkan BOZKURTOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Fiziksel şev model kutusunun ve şevlerin imalatı sırasında yardımlarını esirgemeyen teknisyen Halis Şahin'e, yüksek lisans öğrencileri İnşaat Mühendisi Yalçın Elbeyli'ye ve Yelda Levent Yüzer'e, İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı çalışan öğrenci programında laboratuvarında görev alan Lisans öğrencilerinden Atakan Canoğlu'na, bitirme ödevi kapsamında çalışan Serhat Sadık Akbaş'a, Özgür Nihat Demirci'ye ve Cengizhan Hüseyin Dede'ye teşekkürlerimi sunarım. Son olarak; gösterdikleri sabır ve verdikleri her türlü destek için annem Senem Pular, babam Mustafa Pular, kardeşim Ferhat Pular'a ve bu süreçte yanımda olan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

I. GİRİŞ.....	1
II. GEOSENTETİKLERİN FONKSİYONLARI VE KULLANIM ALANLARI	5
2.1. GEOSENTETİK KAVRAMI.....	5
2.2. GEOSENTETİKLERİN BAŞLICA FONKSİYONLARI	8
2.3. GEOTEKSTİLLER VE FONKSİYONLARI.....	9
2.3.1. Geotekstillerin drenaj amaçlı kullanımı.....	10
2.3.2. Geotekstillerin ayırma amaçlı kullanımı.....	12
2.3.3. Geotekstillerin filtrasyon amaçlı kullanımı	12
2.3.4. Geotekstillerin güçlendirme amaçlı kullanımı.....	13
2.3.5. Geotekstillerin erozyon kontrolü amaçlı kullanımı	14
2.4. GEOTEKSTİLLERİN DOLGU TABANINDA KULLANIMLARI.....	14
2.5. GEOKOMPOZİTLER VE FONKSİYONLARI	19
2.5.1. Geotekstil–geoağ geokompozitleri	20
2.5.2. Geotekstil–geomembran geokompozitleri.....	21
2.5.3. Geomembran–geogrid geokompozitleri	22
2.5.4. Geotekstil–geogrid geokompozitleri.....	22
2.5.5. Geotekstil–zemin geokompozitleri	22
2.6. GEOKOMPOZİT DRENAJLARIN KULLANIM ALANLARI	22
III. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25
3.1. ZEMİN KUTUSU	25
3.2. MALZEME	33
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	40
4.1. MATRİS DOLGUNUN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI	40

4.2. TABANINDA GEOTEKSTİL KULLANILAN DOLGUNUN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI.....	49
4.3. TABANINDA GEOKOMPOZİT DRENAJ KULLANILAN DOLGUNUN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI	56
V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
VI. KAYNAKLAR.....	65



TABLO LİSTESİ

TABLO 2.1 GEOSENTETİK TÜRLERİ VE KULLANIM AMAÇLARI (KOERNER, 2012).....	6
TABLO 3.1 KUM DOLGU MALZEMESİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	34
TABLO 3.2 KUM DOLGU MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	36
TABLO 3.3 KUM DOLGU MALZEMESİNİN HİDROLİK ÖZELLİKLERİ	36
TABLO 3.4 ÖRGÜSÜZ GEOTEKSTİLİN FİZİKSEL VE HİDROLİK ÖZELLİKLERİ.....	37
TABLO 3.5 GEOKOMPOZİT DRENAJIN FİZİKSEL VE HİDROLİK ÖZELLİKLERİ	37
TABLO 3.6 SİLTİ KUM DOLGU MALZEMESİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ (ELBEYLİ, 2016)	38
TABLO 3.7 SİLTİ KUM DOLGU MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ (ELBEYLİ, 2016)	39
TABLO 3.8 SİLTİ KUM DOLGU MALZEMESİNİN HİDROLİK ÖZELLİKLERİ (ELBEYLİ, 2016)	39
TABLO 4.1 MATRİS DOLGU İLE TABANINDA GEOKOMPOZİT KULLANILMIŞ DOLGUDA TANSİYOMETRELERDEKİ YÜZDESEL AZALMALAR	62

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 1.1 DOLGU TABANINDA GEOSENTETİKLERLE İYİLEŞTİRME (CHAI VE ZHU, 2002).	2
ŞEKİL 2.1 ÖRGÜLÜ VE ÖRGÜSÜZ GEOTEKSTİL ÖRNEĞİ (ELBEYLİ, 2016)	10
ŞEKİL 2.2 GEOTEKSTİL İLE OTOYOL DOLGU TABANI İYİLEŞTİRME (CHRISTOPHER VE WAGNER, 1988).....	15
ŞEKİL 2.3 GEOTEKSTİLLE GÜÇLENDİRİLMİŞ DOLGU VE YEREL ZEMİN PROFİLİ (CHAI VE ZHU, 2002)	16
ŞEKİL 2.4 GEOTEKSTİL İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ DOLGU TABANI VE YEREL ZEMİN PROFİLİ (SAFADOUST VD., 2013).....	17
ŞEKİL 2.5 GEOSENTETİKLE GÜÇLENDİRİLMİŞ DOLGULARIN TASARIMINDA KULLANILAN GÖÇME TÜRLERİ (KOERNER VD., 1987).....	18
ŞEKİL 2.6 GEOTEKSTİL–GEOAĞ–GEOTEKSTİL BİRLEŞİMİ İLE OLUŞTURULMUŞ GEOKOMPOZİT (İNTERMAS NETS, S.A.)	21
ŞEKİL 2.7 KARAYOLU İNŞAATLARINDA GEOKOMPOZİT DRENAJLARIN MUHTEMEL KULLANIM YERLERİ (CHRISTOPHER VD., 2000).....	24
ŞEKİL 3.1 ZEMİN KUTUSUNUN İMALAT AŞAMALARI (ELBEYLİ, 2016).....	27
ŞEKİL 3.2 FİZİKSEL KÜÇÜK ÖLÇEK PROTOTİP ŞEV DENEY DÜZENEĞİ (AKAY VD., 2016)	28
ŞEKİL 3.3 H=5 CM BASINÇ PLAKALARI VE PİYEZOMETRENİN YERLEŞİMİ	30
ŞEKİL 3.4 MATRİS DOLGU İMALAT AŞAMALARI (AKAY VD., 2016).....	31
ŞEKİL 3.5 GEOTEKSTİL ÜZERİNE İNŞA EDİLEN DOLGUNUN İMALAT AŞAMALARI	32
ŞEKİL 3.6 GEOKOMPOZİT DRENAJ ÜZERİNE İNŞA EDİLEN DOLGUNUN İMALAT AŞAMALARI.....	33

ŞEKİL 3.7 CD DENEYLERİ İÇİN ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE ALMA İŞLEMLERİ.....	35
ŞEKİL 4.1 MATRİS KUM DOLGU ŞEVİNİN KADEMELİ OLARAK İNŞASI SIRASINDA TAHMİN EDİLEN TOPLAM BASINÇLARLA BASINÇ PLAKASI OKUMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI (AKAY VD., 2016).....	41
ŞEKİL 4.2 MATRİS KUM DOLGU ŞEVİNDE TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI (AKAY VD., 2016)	43
ŞEKİL 4.3 50 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDA MATRİS KUM DOLGU ŞEVİNDE PİEZOMETRELER VE TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI (AKAY VD., 2016)	44
ŞEKİL 4.4 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDA MATRİS KUM DOLGU ŞEVİNDE PİEZOMETRELER VE TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI (AKAY VD., 2016)	45
ŞEKİL 4.5 50 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDAKİ MATRİS DOLGUNUN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI	47
ŞEKİL 4.6 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDAKİ MATRİS DOLGUNUN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI	49
ŞEKİL 4.7 TABANINDA GEOTEKSTİL KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİN KADEMELİ OLARAK İNŞASI SIRASINDA TAHMİN EDİLEN TOPLAM BASINÇLARLA BASINÇ PLAKASI OKUMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI	50
ŞEKİL 4.8 TABANINDA GEOTEKSTİL KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİNDE 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDAKİ TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI.....	52

ŞEKİL 4.9 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDA TABANINDA GEOTEKSTİL KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİNDE PİEZOMETRELER VE TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI...53	53
ŞEKİL 4.10 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDA TABANINDA GEOTEKSTİL KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİNDE SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI...55	55
ŞEKİL 4.11 TABANINDA GEOKOMPOZİT DRENAJ KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİN KADEMELİ OLARAK İNŞASI SIRASINDA TAHMİN EDİLEN TOPLAM BASINÇLARLA BASINÇ PLAKASI OKUMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....57	57
ŞEKİL 4.12 TABANINDA GEOKOMPOZİT DRENAJ KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİNDE 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDAKİ TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI58	58
ŞEKİL 4.13 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDA TABANINDA GEOKOMPOZİT DRENAJ KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİNDE PİEZOMETRELER VE TANSİYOMETRELER TARAFINDAN KAYDEDİLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI59	59
ŞEKİL 4.14 100 CM-H ₂ O SABİT HİDROLİK YÜK ALTINDA TABANINDA GEOKOMPOZİT DRENAJ KULLANILAN KUM DOLGU ŞEVİN SIZMA KUVVETLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI61	61

SİMGELER

c	Toplam Gerilmelere Göre Kohezyon
c'	Efektif Gerilmelere Göre Kohezyon
C_c	Eğrilik Katsayısı
C_u	Üniformluk Katsayısı
D_{10}	Etkin Dane Çapı
e_{max}	Maximum Boşluk Oranı
e_{min}	Minimum Boşluk Oranı
G_s	Yoğunluk (Özgül Ağırlık)
k_{sat}	Hidrolik Geçirgenlik
k_g	Geotekstilin Dikey Yönlü Geçirgenliği
k_p	Geotekstilin Düzlem İçi Geçirgenliği
ϕ	Toplam Gerilmelere Göre İçsel Sürtünme Açısı
ϕ'	Efektif Gerilmelere Göre İçsel Sürtünme Açısı
θ	Transmissivite
Ψ	Permittivite
T_g	Geotekstilin Kalınlığı

KISALTMALAR

AOS	Görünen/Karakteristik Gözenek Boyutu
ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Derneği
CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
CD	Konsolidasyonlu Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi
EPS	Genleştirilmiş Polistiren
FHWA	Amerika Birleşik Devletleri Federal Karayolları İdaresi
GCL	Geosentetik Kil Örtü
LL	Likit Limit
PA	Poliyamid
PE	Polietilen
PET	Poliyester
PI	Plastisite İndisi
PL	Plastik Limit
PMMA	Poli metil metakrilat (Pleksiglas)
PP	Polipropilen
SP	Kötü Derecelenmiş Kum
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

I. GİRİŞ

Mühendislik dolgularında mukavemeti olumsuz yönde etkileyecek maddeler içermeyen, uygun gradasyona sahip, ekonomik ve kolay temin edilebilir malzemeler kullanılır. Bu nedenle, toprak dolgu inşaatlarında dayanıklılık, drenaj ve imalat kolaylıkları göz önüne alındığında iyi derecelendirilmiş granüler malzemelerden oluşan malzemelerin kullanımı tercih edilir.

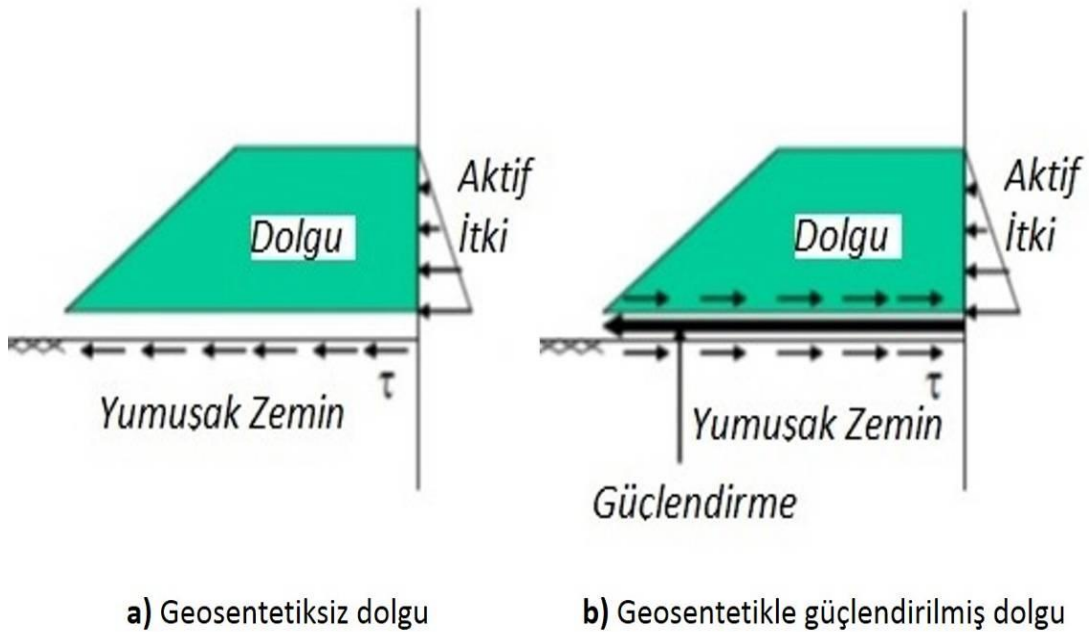
Granüler dolguların inşa edileceği zeminde, yerel zemin koşullarına bağlı olarak, inşaat öncesinde zemin iyileştirme ihtiyacı duyulabilir. Uygulanan geleneksel zemin iyileştirme yöntemleri arasında enjeksiyon, kazıklar, düşey bant drenler ve sürşarj, taş kolonlar ve benzerleri gibi yöntemler sıralanabilir.

Bu geleneksel yöntemlere alternatif olarak, 1980'lerden itibaren geosentetik çözümler de kullanılmaya başlanmıştır (Sarsby, 2007). Geosentetik ailesi ürünlerinden özellikle geotekstil ve geokompozit malzemelerin dolgu tabanında güçlendirme, drenaj veya her iki fonksiyon için birlikte kullanımına günümüz uygulamalarında sıklıkla rastlanmaktadır.

Geosentetikler, taşıma gücü düşük zeminin yüzeyine serilip üzerlerine dolgu imalatının herhangi bir stabilite kaybına neden olmadan inşa edilmesine olanak sağlarlar (Şekil 1.1). Geosentetiğin çekme mukavemetinin katkısı, devirmeye çalışan kuvvetlere karşı koyan kuvvetleri artırdığından şev stabilizasyonu ve taşıma gücünde artışa sebep olur (Şekil 1.1). Bununla birlikte, dolgu tabanında yüksek çekme mukavemetine sahip geotekstillerin kullanılması sadece yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilecek dolgular için değil aynı zamanda organik zeminler, çamur

çökelleri, maden atıkları ve benzeri yumuşak zeminler üzerlerine inşa edilecek olan dolgu uygulamalarının önünü de açmıştır (Willibey ve van't Hoog, 1987).

Taşıma gücü düşük, oturma potansiyeli yüksek zeminler üzerine inşa edilen mühendislik dolgularının geotekstil ile güçlendirilmesiyle dolgu yükleri altında meydana gelen oturmalar azalır ve dolgunun stabilitesi artar (Fowler ve Edris, 1987; Voskamp ve Risseeuw, 1987; Rowe ve Soderman, 1985; Rowe ve Gnanendran, 1994; Bergado vd., 1994; Palmeria vd., 1998; Rowe ve Li, 2005; Zhang vd., 2015). Geotekstille güçlendirilmiş dolguların geleneksel uygulamaların yerini alması nedeniyle, bu tür dolguların stabilite hesapları için geliştirilmiş çeşitli nümerik yöntemler günümüzde yaygınlıkla kullanılmaktadır (Hinchberger ve Rowe, 2003; Wulandari ve Tjandra, 2015; Smith ve Tatari, 2016).



Şekil 1.1 Dolgu tabanında geosentetiklerle iyileştirme (Chai ve Zhu, 2002)

Geotekstiller geokompozit drenajlara göre kalınlıklarının az olması sebebiyle drenaj kapasiteleri (düzleme paralel akış kapasitesi) sınırlıdır (Koerner, 2012). Dolayısı ile dolgu tabanlarının altında güçlendirme amaçlı kullanılan geotekstillere ek olarak, yüksek çekme gerilmesine sahip iki geotekstil tabakası arasına yerleştirilmiş geoağ'dan oluşan geokompozit drenajlar da drenaj amacıyla kullanılırlar. Bu uygulamalara otoyol dolgularında (Raymond vd., 2000; Evans vd., 2002; Chen vd., 2005; Bilodeau vd., 2015), katı atık depo sahası dolgularında (Arab vd., 2009), gölet dolgularında (Swift ve Jones, 2008), maden atığı baraj dolgularında (Cole vd., 2014) rastlanılmaktadır.

Yüksek çekme mukavemetine sahip geotekstillerin yumuşak zemin üzerine inşa edilecek dolgulardaki stabiliteye olan mekanik katkısı üzerine pek çok çalışma ve vaka analizi olmasına rağmen bu uygulamalarda kullanılan geotekstillerin ikinci rolü olan drenaj kapasiteleri üzerine sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır (Tan vd., 2001).

Tıpkı geleneksel dolgu inşaatlarında olduğu gibi, geosentetiklerle güçlendirilmiş dolguların inşasında da granüler malzemeler gerilme transferi, dayanıklılık ve drenaj gerekliliği açısından tercih edilirler (Mitchel ve Villet, 1987). Benzer şekilde, Amerikan Federal Otoyol İdaresi (FHWA) geosentetiklerle güçlendirilmiş dolguların inşasında kullanılacak olan dolgu malzemenin ince dane miktarının %15'den ve plastisite indisinin 6'dan az olmasını istemektedir. Bu çalışmada FHWA şartnamesine uygun granüler dolgunun tabanında kullanılan geotekstil ve geokompozit drenajın sızma kuvvetleri altında şev stabilitesine olan etkileri incelenmiştir. Geotekstil ve

geokompozit drenajın sızma kuvvetleri altında kumlu dolgudaki performansları, çalışma prensipleri ve performanslarının kıyaslanması sadece granüler dolgu malzemesi kullanılarak yapılan dolgunun (Matris Dolgu) performansı ile fiziksel laboratuvar deneylerinin ışığı altında karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Tezin içeriğinde, Bölüm II'de öncelikle inşaat mühendisliğinde kullanılan geosentetik malzemeler ve kullanım alanları özetlenmiş, geosentetik ailesi ürünlerinden geotekstil ve geokompozit drenajların dolgu tabanında kullanımları ile ilgili önceki yıllarda yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Bölüm III'de laboratuvar da hazırlanan zemin kutusunun imalat aşamaları ve boyutları, deneyde kullanılan dolgu malzemesi ve geosentetiklerin fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri verilmiştir. Bölüm IV'de laboratuvar deneylerinde elde edilen sayısal veriler dolgu şevinde meydana gelen fiziki değişikliklerle birlikte sunulmuştur. Bölüm V'de ise çalışmanın sonuçları özetlenmiştir.

II. GEOSENTETİKLERİN FONKSİYONLARI VE KULLANIM ALANLARI

2.1. Geosentetik Kavramı

Polipropilen (PP), poliyester (PET), polietilen (PE) ve poliamid (PA) ve benzeri polimerlerden düzlemsel olarak üretilen, geoteknik mühendisliği sorunlarına geleneksel yöntemlere nazaran hızlı ve ekonomik çözümler getirmeyi sağlayan sentetik malzemeler geosentetik olarak tanımlanır. Ayrıca, geosentetik kavramı; zemin, kaya, toprak ve diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili kullanılan sistemlerde tamamlayıcı materyal olarak bulunan, polimerik malzemedan üretilen düzlemsel ürün olarak da tanımlanmıştır (ASTM D4439-15). Kullanım amaçlarına göre farklılıklar göstermekle birlikte, geosentetik ailesi ürünleri olarak geotekstil, geogrid, geomembran, geoağ, geofoam, geohücre, geosentetik kil örtü, geohasır, geoboru ve geotüp gibi çeşitleri mevcuttur. Bu ürünlerin iki veya daha fazlasının bir arada kullanımı ile imal edilen malzemeler ise geokompozit olarak tanımlanmaktadır. Bunların dışında çok çeşitli geosentetik türleri mevcut olup türleri ve kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. İmalat ve üretim teknikleri açısından yeniliklere açık olduğu için burada en çok kullanılan ürünlerin kısa tanımları verilmiştir.

Geosentetik malzemelerin ana fonksiyonları ve türlere göre fonksiyon tanımları Tablo 2.1’de özetlenmiştir. Tasarımda geosentetik malzemenin öncelikli olarak hangi fonksiyona hizmet ettiği belirlenmelidir. Geosentetikler, bir veya birden fazla

fonksiyonu aynı anda sağlayabildikleri gibi tamamlayıcı malzeme olarak da kullanılabilirler. Örneğin geotekstillerde güçlendirme amaçlı kullanım için örgülü geotekstiller tercih edilirken drenaj kabiliyetinin ön plana çıkması istenen uygulamalarda örgüsüz geotekstiller tercih edilmelidir.

Tablo 2.1 Geosentetik Türleri ve Kullanım Amaçları (Koerner, 2012)

Geosentetik Türü	Başlıca Fonksiyonları				
	Ayırma	Güçlendirme	Filtrasyon	Drenaj	Koruma
Geotekstil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Geogrid		<input type="checkbox"/>			
Geoağ				<input type="checkbox"/>	
Geomembran					<input type="checkbox"/>
Geosentetik Kil Örtü					<input type="checkbox"/>
Geofoam	<input type="checkbox"/>				
Geokompozit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geotekstiller PET, PP, PE gibi hammaddelerden üretilen ve zemin içerisinde iyileştirme amaçlı kullanılan geçirimli tekstil ürünleridir.

Geogridler sahip oldukları yüksek çekme mukavemetleri nedeniyle daha çok güçlendirme amaçlı kullanılan geosentetiklerdir. Bünyesinde sahip olduğu sürtünme kuvveti ve zemin ile oluşturduğu kenetlenme etkisi sayesinde stabiliteyi artırır.

Geomembranlar sahip oldukları geçirimsiz yüzeyleri sayesinde yalıtım ve koruma amacıyla kullanılırlar. Katı-sıvı atık tesislerinde geçirimsizliğin sağlanması,

öp depolama sahalarında sızıntı suyu kontrolü, Şevlerde erozyona karşı koruma ve benzeri birçok fonksiyon için kullanılırlar.

Geoağlar, ađ Őeklindeki yüksek boşluk oranlarına sahip yapılarıyla drenaj sistemlerinde sıvının iletimini sağlarlar.

Geosentetik kil rt (GCL) iki geotekstil arasında sandvilenmiŐ toz bentonitin iğneleme, dikiŐ veya yapıŐtırma ile birbirine bağlanması ile imal edilir ve geomembranlar gibi geçirimsizlik sağlamak amacıyla kullanılırlar (Koerner, 2012).

Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofoam blok) geoteknik mühendisliği uygulamalarında hafif dolgu malzemesi olarak kullanılır.

Geosentetik malzemelerin tasarım ve uygulama esnasında dikkat edilmesi gereken özellikleri; fiziksel ve mekanik özellikler, degregasyon özellikleri ve hidroluk özellikler olarak sıralanabilir.

Fiziksel ve mekanik özellikler olarak geosentetik malzemenin özgül ağırlığı, kalınlığı, birim hacim ağırlığı, çekme mukavemeti, elastisite (young) modülü, poisson oranı, snme özellikleri, geosentetik malzeme ile zemin arasındaki ara yüzey mukavemeti (adhezyon ve sürtünme katsayısı), patlama dayanımı, delinme ve yırtılma dayanımı, dikiŐ mukavemeti, esneklik ve rijitlik özellikleri, aŐınma dayanımı, yük altında sıkıŐabilirlik özelliği, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı ve boşluk oranı olarak sıralanır.

evre Őartlarına karşı dayanım (degregasyon) zellikleri olarak ultraviyole ıŐınlarına karşı mukavemet, ısı dayanımı, suya karşı gösterilen direnç, kimyasal madde ve mikroorganizmalardan etkilenme derecesi sıralanabilir.

Hidrolik özellikleri olarak, görünen/karakteristik gözenek açıklıklığı (AOS), düzleme dik yöndeki ve düzleme paralel yöndeki geçirgenlik sayılabilir.

2.2. Geosentetiklerin Başlıca Fonksiyonları

Geosentetiklerin birçok türleri bulunurken kullanım alanları da uygulamadaki amaca göre farklılıklar gösterir. Genel hatlarıyla kullanım alanları: drenaj, güçlendirme, ayırma, filtrasyon, koruma (yalıtım) ve erozyon kontrolüdür (Tablo 2.1). Aynı ürün farklı sahalarda farklı amaçlar için kullanılabilir. Burada önemli olan geosentetiğin öncelikli (birincil ve ikincil) fonksiyonlarını belirleyip tasarım ölçütlerini oluşturmaktır.

Geosentetikler güçlendirme fonksiyonu ile mevcut yapılara ve şevlere stabilite kazandırmak amacı ile uygulanır. Geosentetik ile taşıma gücü ve stabilite artırılır, farklı oturmalar azaltılır.

Geosentetikler filtrasyon fonksiyonu ile memba tarafındaki zemini tutarak geosentetiğin bünyesinden su akışını sağlarlar.

Geosentetikler drenaj fonksiyonu ile zemin içerisindeki suyu bünyelerine paralel akışla tahliye etmeyi sağlarlar. Drenaj fonksiyonunu yerine getirmek için geosentetikler ailesi içerisinde çoğunlukla geotekstillere, geokompozitlere ve geoağlara kullanılmaktadır.

Geosentetikler koruma fonksiyonu ile suyun geçişine engel olurlar. Yapı ve zemin için bariyer görevi görürler. Geomembranlar, geosentetik kil kaplamalar ve çeşitli geokompozitler bu amaçla kullanılırlar.

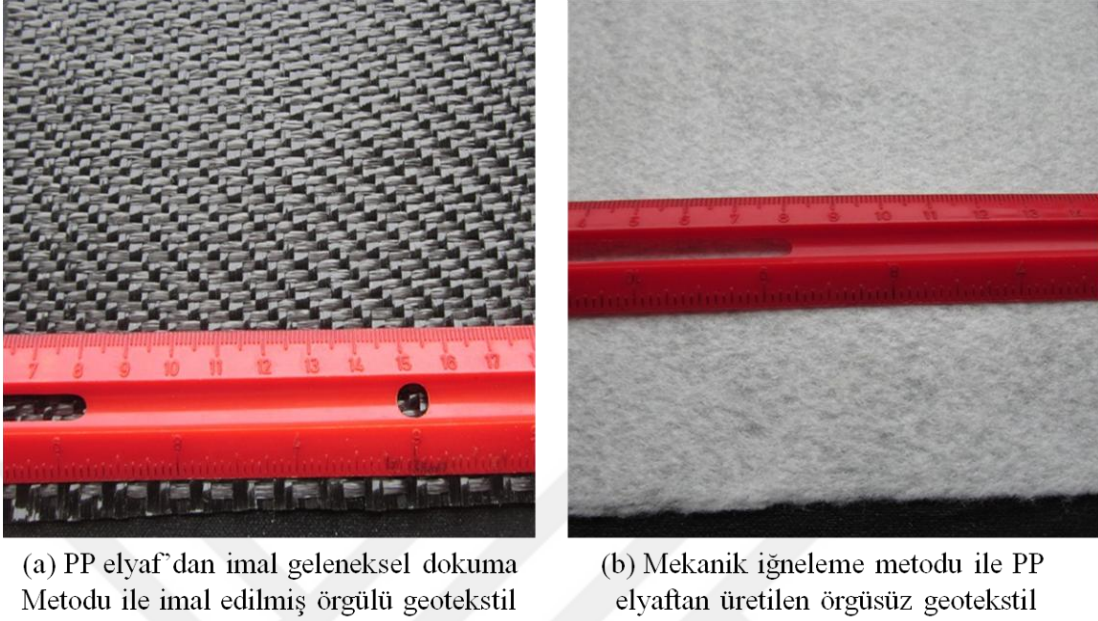
Erozyon kontrolü fonksiyonu ile şevli arazilerde toprağın yüzey suları etkisyle aşınıp hidrolik kuvvetlerin yarattığı etki sonucu taşınmasını engellerler.

Bu tez kapsamında yukarıda tanımlanan geosentetik ailesi ürünlerinden otoyol dolgularının tabanında kullanılan geotekstil ve geokompozit drenajların sızma kuvvetleri altındaki davranışları incelendiğinden tezin geri kalan kısmında geosentetik ailesi ürünlerinden sadece geotekstil ve geokompozit drenajların fonksiyonları ve genel kullanım alanları üzerinde durulmuştur. Kullanım alanları arasından teze konu olan dolgu tabanlarında geotekstil ve geokompozit drenajlar uygulamalarına yönelik geçmiş çalışmalar özetlenmiştir.

2.3. Geotekstiller ve Fonksiyonları

Yalnızca tekstilden oluşan geçirimli geosentetikler geotekstil olarak tanımlanmıştır (ASTM D4439, 2015). Örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki farklı geotekstil türü mevcuttur (Şekil 2.1).

Dokuma tezgâhları kullanılarak üretilen örgülü geotekstiller yüksek çekme mukavemetine sahip olup daha çok güçlendirme amacıyla kullanılırlar (Şekil 2.1.a). İmalatları sırasında değişik yöntemler izlenen örgüsüz geotekstiller (Şekil 2.1.b) liflerin birleştirilme yöntemine göre; iğneleme yöntemiyle birbirine bağlanmış, ısı yöntemiyle birbirine bağlanmış ve kimyasal yöntemle veya reçine ile birbirine bağlanmış olmak üzere üçe ayrılırlar (Wasti, 2007). Örgüsüz geotekstiller tüm geotekstiller içerisinde pazar payının %70'ini oluşturmaktadır (Wasti, 2007).



Şekil 2.1 Örgülü ve örgüsüz geotekstil örneği (Elbeyli, 2016)

2.3.1. Geotekstillerin drenaj amaçlı kullanımı

Geoteknik mühendisliğinde drenaj, yapı temellerini ve şevleri suyun/sıvının getireceği olumsuz etkilerden korumak, amacına uygun şekilde yapıya zarar veren herhangi bir sıvıyı yönlendirmek/uzaklaştırmak, oluşabilecek aşırı boşluk suyu basıncını azaltmak maksadıyla sıvıların transfer edildiği işlemler olarak tanımlanır.

Drenaj esnasında sıvı akışı piyezometrik basınç (yerçekimi ve su basıncı) yoluyla zeminin/geotekstilin permeabilitesine bağlı olarak gerçekleşir. Suyun akışı esnasında geotekstil malzemenin sahip olduğu düzlem içi (düzleme paralel) geçirgenlik transmissivitesi (θ) ile ilgilidir. Transmissivite değeri sayısal olarak geosentetiğin kalınlığı (T_g) ile düzlem içi sahip olduğu permeabilite (k_p) değerinin çarpımına eşittir ($\theta=T_g*k_p$). Geotekstilin kalınlığı arttıkça ve malzemenin düzlem içi permeabilitesi

yükseldikçe transmissivite değeri de aynı oranda artacaktır. Ayrıca geotekstilin basınç altında ezilerek kalınlığının azalması da transmissivite değerini düşüren önemli bir etkidir.

Geotekstillere drenaj amaçlı tasarım yapılırken genel olarak üç hususa dikkat edilmelidir; kullanılan geotekstil malzemenin yeterli akış kapasitesini sağlaması, uygun zemin tutma değerlerinin sağlanması, uzun dönem zemin – geotekstil akış denklemlerinin sağlanması (Koerner, 2012).

Geotekstillere drenaj amaçlı birçok kullanımda geleneksel yöntemlere göre hem maliyet hem de saha imalatı açısından avantaj sağlamaktadır. Örneğin zemin iyileştirme metodu olan önyüklemeli konsolidasyon metodu uygulanırken kum kazık ve drenaj şiltesi/battaniyesi yerine fitil dren ve geotekstil kullanımı daha uygun olmaktadır. Çünkü kum kazık yönteminde getirilecek agreganın taşıma maliyeti, tabaka kalınlığı, imalat süresi ve harcanan emek geotekstille sarılı fitil drene göre daha fazladır. Ayrıca geotekstillere uygulamalar geleneksel sistemlerdeki derecelenmiş agrega kullanımını ortadan kaldırır ve ekstra drenaj borusu ihtiyacını azaltır.

Sulama ve drenaj kanalları ile nehir kıyılarının şevli yüzeylerini akan su etkisinden korumak için; riprap (anroşman), taş/kaya doldurulmuş polimer veya gabion malzeme, mafsallı veya geçmeli beton bloklar, beton blokların kullanıldığı şilteler, bitüm bağlayıcı agregaların yanı sıra geotekstille beraber veya geotekstille bağlanmış agrega veya yerinde çimento harcıyla doldurulan örgülü geotekstil şilteler kullanılabilir (Wasti, 2007).

Halı sahalarda suni çim ile alt temel arasında hem esnek yüzey oluşturacak hem de yağmurlu/karlı hava koşullarından en az etkilenmeyi sağlayacak şekilde drenaj yapabilecek geotekstil drenaj malzemeleri kullanılmaktadır.

Atık depolama tesislerinde biyolojik tıkanma hususu oldukça önemlidir ve biyolojik tıkanma olasılığı ASTM D1987 (2016) deneyi ile saptanır. Yüksek poroziteli geotekstil kullanımı veya basınçlı su/sıvı ile drenaj sisteminin yıkanarak temizlenmesi gibi önlemler alınarak tıkanma riski giderilebilir (Wasti, 2007).

2.3.2. Geotekstillerin ayırma amaçlı kullanımı

Geotekstillere iki farklı zemini birbirinden ayırarak bağımsız çalışmalarını sağlarlar. Örneğin, geotekstil çakıllı dolgu malzemesinden oluşan yol alt temel/temel malzemesi ile ince daneli taban zemini arasına serilerek granüler malzemenin yol üst yapı yüklerinden dolayı yerel zemine zımbalanmasını (agrega ile zeminin karışmasını) önler. Burada ayırma fonksiyonuna ek olarak temel zeminini güçlendirdiği için yol temel tabakası kalınlığının azalmasına da sebebiyet vererek ekonomi sağlar. Sahip olduğu yüksek delinme direnci sayesinde inşaat esnasındaki zedelenmelere ve montaj hasarlarına da karşı koyarlar.

2.3.3. Geotekstillerin filtrasyon amaçlı kullanımı

Geotekstillere filtrasyon görevi görerek belirli dane çapından küçük zeminleri tutarlar ve permabilite özelliği sayesinde suyun geotekstil düzlemine dik yönde geçirilmesini sağlarlar. Günümüzde kumlu-çakıllı dolgular ve taş filtre tabakaları yerine geotekstil malzemesi kullanımı daha ekonomik ve pratik çözümler sağlamaktadır.

Filtrasyon esnasında sıvı akışı piyezometrik basınç (yerçekimi ve su basıncı) yoluyla zeminin/geotekstilin permabilitesine bağlı olarak gerçekleşir. Suyun akışı esnasında akım ağına dik yöndeki geotekstil malzemenin sahip olduğu düzlemin geçirgenlik değeri ve filtrasyon yeteneği permittivite (Ψ) ile ilgilidir. Permittivite, geotekstilin sahip olduğu dikey yönlü geçirgenlik değerinin (k_g) geotekstil kalınlığına (T_g) oranıdır. Geotekstil kalınlığı azaldıkça ve malzemenin düzleme dik yönlü permeabilitesi yükseldikçe permittivite değeri ($\Psi=k_g/T_g$) de aynı oranda artacaktır. Permittivite şartı sağlandığında geçen suyun yanında suda bulanıklığa sebep olabilecek kadar ince daneli malzeme de beraberinde taşınır ve bu tasarım esnasında göze alınabilir miktarda olmalıdır. Bir başka deyişle, ince danelerin katı taşınımı permittiviteyi kabul edilebilir değerde azaltabilir.

2.3.4. Geotekstillerin güçlendirme amaçlı kullanımı

Geotekstillere yüksek çekme mukavemetleri dolayısı ile zemin güçlendirmede inşaat mühendisleri tarafından günümüzde yaygınlıkla kullanılmaktadırlar. Geotekstillere güçlendirilmiş dolgu şevleri geleneksel yöntemlerle imal edilmiş şevlere göre daha esnek davranış göstererek göçme oluşmadan daha fazla şekil değiştirmeye müsaade ederler.

Güçlendirme işlemi düşeyle yaptığı açı 70° 'den büyük olan uygulamalarda duvar iyileştirme, düşeyle yaptığı açı 70° 'den küçük olan uygulamalarda şev iyileştirme adını alır (FHWA, 2009). Bunun yanında geotekstillere yapı temellerini iyileştirme ve zemin iyileştirme uygulamalarında da güçlendirme amaçlı yaygın olarak kullanılırlar.

2.3.5. Geotekstillerin erozyon kontrolü amaçlı kullanımı

Hızlı imalat, ekonomik kazanç ve alan tasarrufu sağlamalarından dolayı, erozyon kontrolünde kum torbası, riprap, beton blok ve gabion gibi sistemlerin yerine geotekstiller de kullanılırlar. Şev yüzeyinde erozyon kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılan geotekstiller suyu uzaklaştırarak şev yüzeyinde oluşabilecek oyulmaları engellerler.

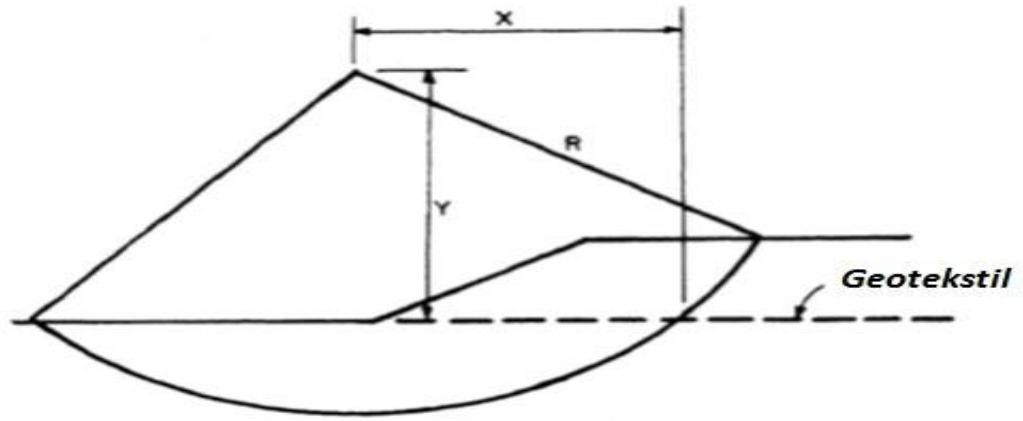
2.4. Geotekstillerin Dolgu Tabanında Kullanımları

İnşaat mühendisliğinde kayma mukavemeti düşük yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilecek olan dolgu şevlerin imalatı için çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri mevcuttur. Geleneksel yöntemler arasında fore kazıklar, jet grout kazıklar, taş kolonlar, sürşarj gibi teknikler kullanılmaktadırlar. Bu yöntemlere ek olarak dolgu malzemesi ile temel zeminini ayırma ve güçlendirme amacıyla da geotekstiller kullanılmaktadırlar.

Rowe vd. (1984) turba zemin üzerine inşa edilmiş geotekstille güçlendirilmiş dolgunun sonlu elemanlar metodu ile analizi neticesinde geotekstilin stabiliteyi arttırdığını belirtmiştir.

Fowler ve Edris (1987) geotekstil ile güçlendirilerek imal edilen test dolgusu üzerinde yapılan aletsel ölçümler sonucunda turbalık zeminler üzerine inşa edilecek dolguların tabanda uygulanacak olan geotekstil güçlendirmesi ile inşasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

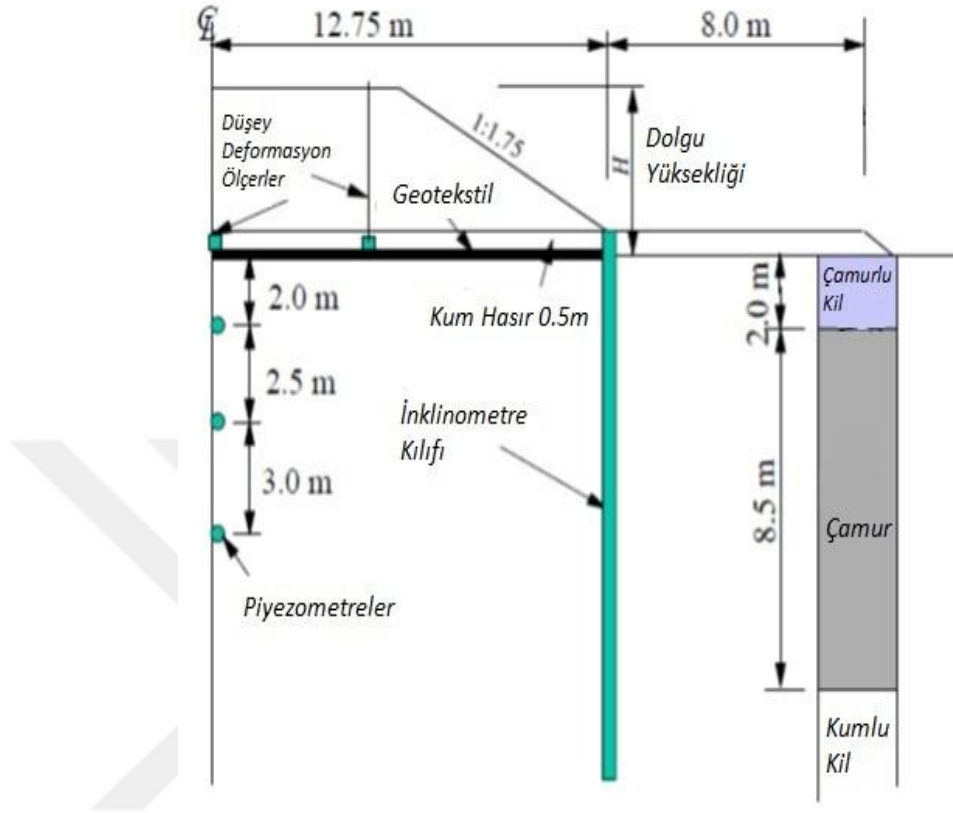
ABD'nin Wisconsin eyaletinde otoyol dolgusu güçlendirme amaçlı geotekstil kullanımına yönelik yapılan analizler sonucunda kullanılan geotekstilin (Şekil 2.2) dolgudaki oturumları tolere edilebilir seviyelerde tuttuğu, geleneksel yöntemlere göre ekonomik olduğu ortaya konmuştur (Christopher ve Wagner, 1988).



Şekil 2.2 Geotekstil ile otoyol dolgu tabanı iyileştirme (Christopher ve Wagner, 1988)

Yumuşak Bangkok kili (Bergado vd., 1994) ve New Brunswick yumuşak kili (Rowe ve Gnanendran, 1994) üzerine inşa edilen dolgularda tabanda güçlendirme amaçlı yüksek çekme gerilmesine sahip geotekstil kullanımı sayesinde iyileştirilmemiş durumdan daha yüksek dolguların inşasına olanak verdiği ortaya konmuştur.

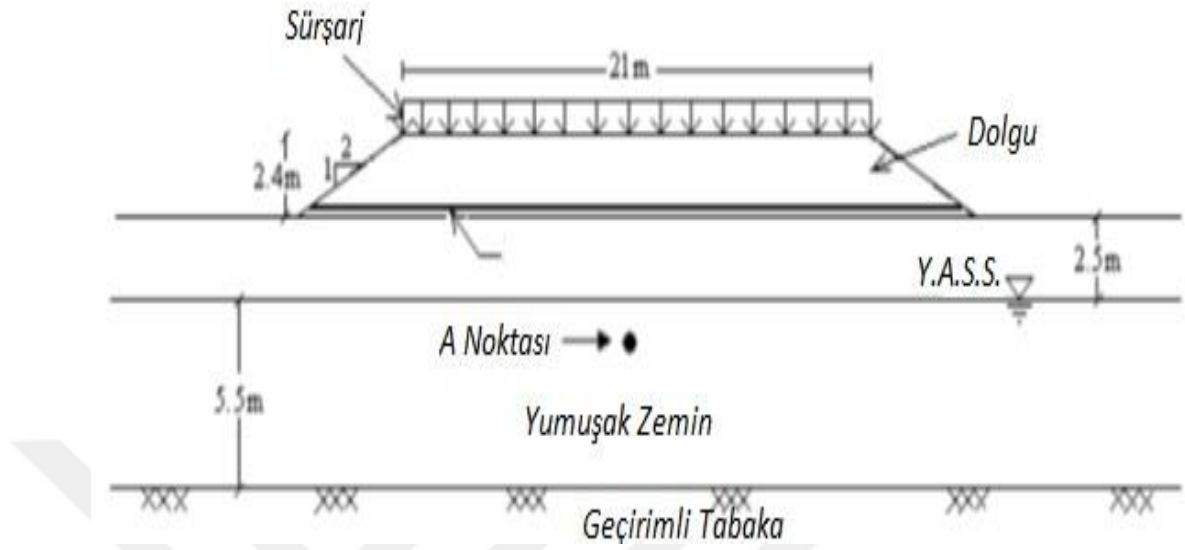
Chai ve Zhu (2002) yumuşak kil üzerine tabanda geotekstille güçlendirilerek inşa edilen dolgunun (Şekil 2.3) stabilitesini incelemişler ve geotekstil ile güçlendirmenin yanıl deformasyonları önemli derecede azalttığını belirtmişlerdir.



Şekil 2.3 Geotekstille güçlendirilmiş dolgu ve yerel zemin profili (Chai ve Zhu, 2002)

Varuso vd. (2005), New Orleans'da organik zemin üzerine inşa edilen taşkın koruma setlerinin taban güçlendirmesi olarak geotekstil kullanımının hem ekonomik hem de stabiliteyi artırıcı özelliğinden bahsetmişlerdir.

Safadoust vd. (2013) sonlu elemanlar yöntemi ile yumuşak killi zemin üzerine inşa edilen geotekstil ile güçlendirilmiş dolguların nümerik analizleri neticesinde (Şekil 2.4) tıpkı arazide elde edilen davranış gibi geotekstilin yanıl deformasyonları azalttığı ve daha yüksek dolgu inşasına izin verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

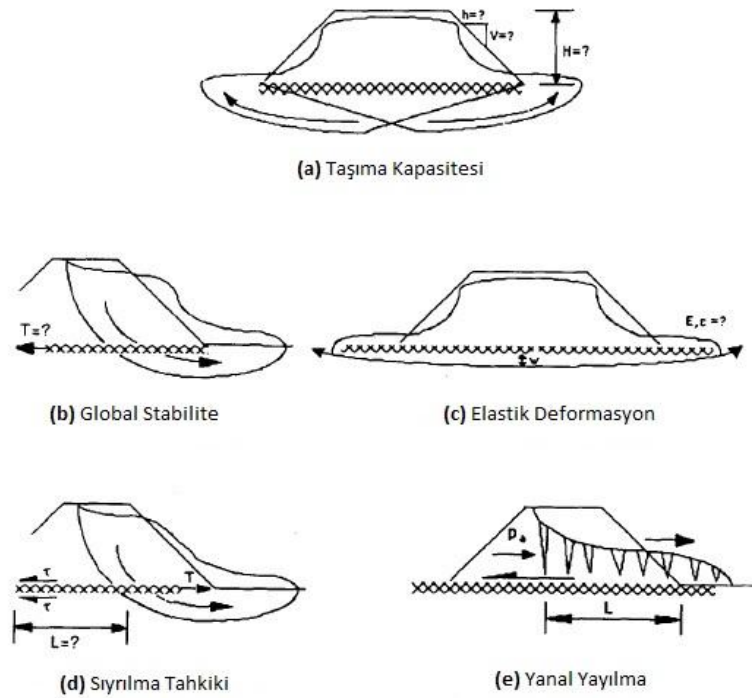


Şekil 2.4 Geotekstil ile iyileştirilmiş dolgu tabanı ve yerel zemin profili
(Safadoust vd., 2013)

Geleneksel geosentetiklerin yanı sıra, Chaiyaput vd. (2014) kenevir doğal lifleriyle oluşturulmuş örgülü geotekstili yumuşak kil üzerine inşa edilen dolgu tabanını güçlendirme için kullanmış ve kenevir kullanılarak imal edilen geotekstilin dolgu stabilitesini sağlamada kullanılabileceğini belirtmiştir.

Smith ve Tatari (2016), yumuşak zeminler üzerine geosentetik güçlendirmesi ile inşa edilecek olan dolgular için kritik dolgu yüksekliği ve gerekli geosentetik mukavemetini yumuşak dolgu temel zeminin kayma mukavemeti ve derinliğinin bir fonksiyonu olarak gösteren abaklar hazırlamışlardır. Burada, yumuşak zeminin mukavemeti ile sentetik güçlendirmenin mukavemetinin dolgunun toplam stabilitesi üzerine etkisi de göz önüne alınmıştır.

Geosentetikle güçlendirilmiş kum dolguların tasarımında uygulanacak beş temel göçme analizi Koerner vd. (1987) tarafından Şekil 2.5’de olduğu gibi belirtilmiştir. Tasarım aşamasında uygulanacak olan bu analizler detaylı olarak; taşıma gücü hesaplama (Şekil 2.5.a), genel stabilite hesaplama (Şekil 2.5.b), oturma analizinin yapılması (Şekil 2.5.c), geotekstil donatısı ile zemin arasında meydana gelen aderans ve sıyrılmaya tahkiki (Şekil 2.5.d) ve yanal yönde ötelenme hesabı (Şekil 2.5.e) şeklinde sıralanmıştır. Bu stabilite hesapları için çeşitli nümerik yöntemler günümüzde yaygınlıkla kullanılmaktadır (Palmeria vd., 1998; Bergado vd., 2002; Borges ve Cardoso, 2002; Hinchberger ve Rowe, 2003; Wulandari ve Tjandra, 2015; Smith ve Tatari, 2016).



Şekil 2.5 Geosentetikle güçlendirilmiş dolguların tasarımında kullanılan göçme türleri (Koerner vd., 1987)

Kayma mukavemeti düşük killi zeminler üzerine inşa edilecek olan dolgularda taban güçlendirmesi olarak geotekstillerin sağladığı faydalar literatürde hem arazi prototip dolgu performansları hem de nümerik çalışmalarla ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra imalat kolaylığı ve geleneksel zemin iyileştirme yöntemlerine göre ekonomikliği geotekstilin dolgu tabanında güçlendirme fonksiyonlu kullanımını artırmıştır. Bununla birlikte, Şekil 2.5'deki tasarım aşamaları neticelerinde oturma, taşıma gücü ve stabilite kriterlerine göre seçilecek olan geotekstilin mekanik özellikleri üzerinde durulmuştur. Dolgu tabanlarında güçlendirme amaçlı kullanılan geotekstillerin drenaj kapasitelerine bağlı olarak sızma kuvvetleri altındaki performansına yönelik ilk çalışma Elbeyli (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolguların sızma kuvvetleri altındaki davranışlarının laboratuvar fiziksel modelleri ile incelenmiş, dolgunun sızma kuvvetleri altında fiziksel değişim yaşamadan stabilitesini koruduğu gözlemlenmiştir (Elbeyli, 2016). Bununla birlikte, sıkıştırılmış kumdan oluşan dolguların tabanlarında güçlendirme amaçlı kullanılan geotekstillerin drenaj kapasitelerine bağlı olarak sızma kuvvetleri altındaki performansına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.

2.5. Geokompozitler ve Fonksiyonları

Geokompozitler iki veya daha fazla materyalden oluşan, bunlardan en az biri geosentetik olan ürünler şeklinde tanımlanmıştır (ASTM D4439, 2015). Geokompozitler; drenaj işlevinin yanısıra güçlendirme, ayırma, filtrasyon ve koruma amaçlı da kullanılabilen malzemelerdir. Geokompozitler geotekstil, geogrid, geoağ,

geoboşluk ve geomembran gibi geosentetik malzemelerin bir arada kullanılmasıyla oluşurlar.

Geoğ, geokompozit drenaj sisteminin çekirdek kısmını teşkil ederek suyun ilerlemesi yönünde alan oluşturur ve yük altında ezilmeye karşı direnç göstererek geokompozitin kalınlığının sabit kalmasını sağlar. Geoğlar çekme mukavemeti yüksek olması ile birlikte geokompozit içerisinde çekirdek malzemesi olmasıyla öncelikle drenaj işlevi görür. Geoğların altı ve üstü geotekstil, geomembran ve diğer materyaller ile kapatılarak geoğ çekirdeği içerisine zemin girişi engellenebilir ve drenaj fonksiyonu tıkanma olmaksızın sağlanmış olur.

2.5.1. Geotekstil–geoğ geokompozitleri

Genellikle geotekstil-geoğ-geotekstil (geokompozit drenaj) şeklinde uygulanan, iki tekstil arasına geoğın yapıştırılmasıyla imal edilen kompozit drenaj malzemeleridir (Şekil 2.6). Geotekstil – geoğ kompozitleri gölet kaplamaları altında drenaj şiltesi olarak kullanılması, katı atık sahası kaplamalarında atık sularını biriktirmekte kullanılması, kapiler bölgelerde don kabarmasına karşı drenaj işlevi görmesi gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptir.



Şekil 2.6 Geotekstil–geoağ–geotekstil birleşimi ile oluşturulmuş geokompozit
(İnternas nets, S.A.)

2.5.2. Geotekstil–geomembran geokompozitleri

Uygulama amacına göre geotekstillere geomembranın her iki yanına veya tek yönüne sarılarak geokompozit malzeme oluşturulur. Kullanılan geotekstillere örgüsüz tipte ürünlerdir. Geotekstillere çekme mukavemeti sağlamanın yanında delinme, yırtılma ve sürtünmeden dolayı aşınmalara karşı direnç sağlar. Bu tip geokompozit ürünlerde geotekstil drenaj fonksiyonunu yerine getirirken altındaki geomembran ise geçirimsizlik fonksiyonunu yerine getirmek üzere kullanılır.

2.5.3. Geomembran–geogrid geokompozitleri

Yüksek yoğunluklu polietilenden oluşan geogridler ile geçirimsizlik sağlayan geomembranların birleşiminden oluşan geokompozit malzemelerdir. Geogridler projede ihtiyaç duyulduğu oranda yüksek çekme mukavemeti taşırlar.

2.5.4. Geotekstil–geogrid geokompozitleri

Düşük permeabiliteli duvar ve şev dolgu zeminlerinde geotekstilin drenaj özelliği sağlamanın yanında geogridin çekme mukavemetinden de faydalanılarak güçlendirme fonksiyonu amacıyla kullanılırlar. Bu geokompozit ürünlerde genellikle iğneleme yöntemi ile imal edilmiş örgüsüz geotekstillerin ve yüksek yoğunluklu polietilenden oluşmuş geogridlerin kullanımı tercih edilirler.

2.5.5. Geotekstil–zemin geokompozitleri

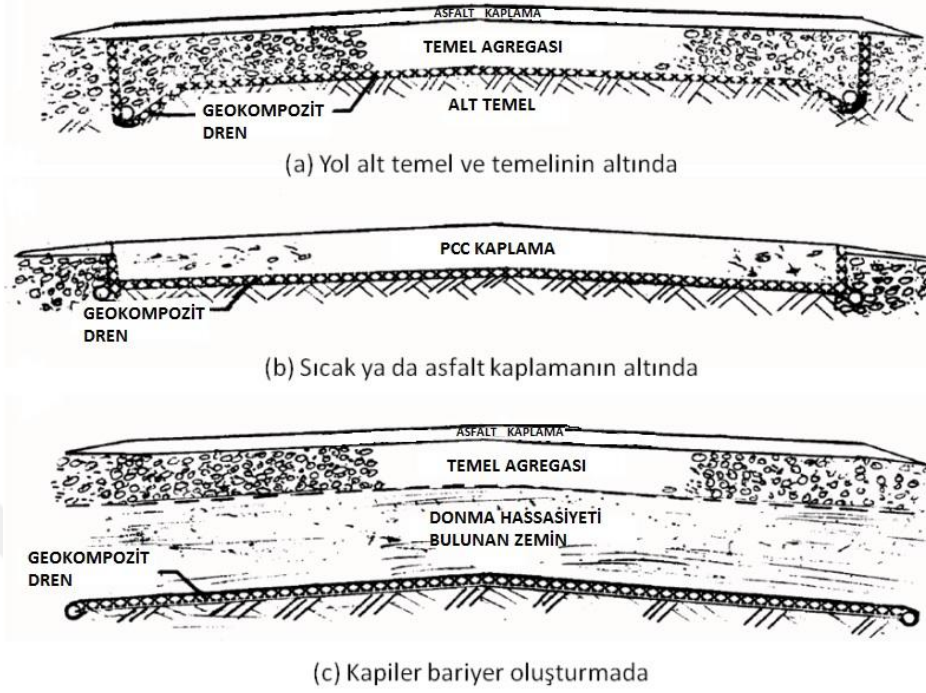
Geosentetik kil örtülerde (GCL) olduğu gibi iki geotekstil katmanı arasına bentonit kil yerleştirilerek oluşturulan tipteki geokompozitler tıpkı geomembranlar gibi koruma fonksiyonu için kullanılırlar.

2.6. Geokompozit Drenajların Kullanım Alanları

Bünyelerindeki geoağların yüksek drenaj kapasitelerinden dolayı drenaj geokompozitleri günümüzde inşaat mühendiliği projelerinin drenaj uygulamalarında servis ömürleri boyunca drenaj kapasitelerini koruyabilmeleri sayesinde geleneksel drenaj uygulamaların yerine ekonomik çözüm olarak karşımıza çıkmaktadırlar

(McKean ve Inouye, 2001; Müller vd., 2008). Geokompozit drenajlar, donma çözünmeye maruz otoyol kaplamalarının altında (Evans vd., 2002; Chen vd., 2005; Bilodeau vd., 2015), otoyol kenar drenaj sistemlerinde (Raymond vd., 2000), fosfat atığı depo sahalarında (McCartney ve Berends, 2010), silindirle sıkıştırılmış betondan oluşan baraj kaplamalarının altında (Özer ve Bromwell, 2011), zemin çivisi uygulamalarında (Snow ve Cotton, 2000), katı atık depo sahalarındaki sızıntı sularını toplama (Arab vd., 2009) ve katı atık üzeri kapatılması için inşa edilen sistemlerin drenajında (Narejo, 2013), sızıntı sularını toplamak için inşa edilen göletlerde (Swift ve Jones, 2008), sulama kanallarının kaplamalarının altında (Khosravi vd., 2011), maden atığı barajlarında (Cole vd., 2014) kullanılmaktadırlar.

Geokompozit drenajların otoyol inşaatlarında kullanımı Christopher vd. (2000) tarafından verilmiştir (Şekil 2.7). Burada kullanılacak olan geokompozit drenajın geoağ çekirdeği tekrarlı trafik yükleri altında deforme olmadan servis ömrü boyunca drenaj fonksiyonunu yerine getirmesi için yeterli basınç mukavemetine sahip olması gerekmektedir. Geokompozitin yerine göre değişmekle birlikte üzerine etkiyen düşey basınç yüksek hacimli otoyollarda 80 – 600 kPa arasında değişmektedir (Christopher vd., 2000). Bu etkiyen düşey basınçları karşılayabilecek ezilme dayanımına sahip geoağlar geokompozit drenajlarda kullanılmalıdır.



Şekil 2.7 Karayolu inşaatlarında geokompozit drenajların muhtemel kullanım yerleri (Christopher vd., 2000)

Verilen örneklerde görüldüğü gibi mühendislik dolgularının (otoyol dolgusu, otoyol alt temel-temelleri, katı atık depo sahaları, barajlar, vb.) altında geokompozit kullanımı malzemenin servis ömrü boyunca etkin drenaj özelliği sayesinde geleneksel drenajların yerini almışlardır. Bunun yanısıra imalat kolaylığı ve hızının yanı sıra ekonomik çözüm sağlaması dolgu altında geokompozit kullanımı günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır.

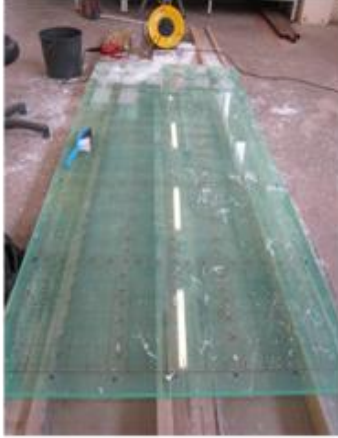
Bu çalışmada, tabanında geotekstil kullanılan kumlu dolguların sızma kuvvetleri altındaki davranışlarının laboratuvar fiziksel modelleri ile incelenmesine ek olarak, bu tür dolguların tabanlarında drenaj amaçlı kullanılan geokompozit drenajların sızma kuvvetleri altındaki performansı da incelenmiştir.

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

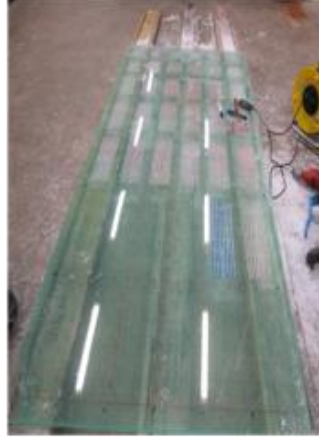
3.1. Zemin Kutusu

Bu tez çalışmasında sızma kuvvetleri altında toplam üç adet küçük ölçek prototip model inşa edilmiştir. Bu fiziksel şev modellerinden birincisinde sadece kum zeminden oluşan (matris şev), ikincisinde geotekstil ve üçüncüsünde ise geokompozit üzerine imal edilen dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı incelenmiştir. Daha önce Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda yapılan sızma kuvvetleri altında geofoam blok şevlerin davranışlarının incelendiği çalışmalarda 200 cm uzunluğunda, 20 cm genişliğinde ve 60 cm yüksekliğinde pleksişglas plakalardan (Polimetil Metakrilat, PMMA) imal edilen zemin kutuları başarı ile kullanılmıştır (Akay vd., 2012, 2013, 2014a, 2014b; Akay ve Özer, 2015; Akay, 2016; Koç, 2015; Özer vd., 2014; Özer ve Akay, 2014; Özer, 2016; Özer ve Akay, 2016).

Bu önceki çalışmaların ışığı altında, küçük ölçek prototip şevlerin sızma kuvvetleri altındaki davranışlarını incelemek amacıyla imalat adımları Şekil 3.1'de verilen 5 cm x 10 cm, 2 cm x 4 cm ve 4 cm x 4 cm boyutlarındaki çelik profil iskelet içerisine Plexiglas plakalar kullanılarak 100 cm genişliğinde, 200 cm uzunluğunda ve 220 cm boyutlarında imal edilen zemin kutusu inşa edilmiştir (Akay vd., 2016; Elbeyli, 2016). Bu tez kapsamında incelenen dolgular küçük ölçek prototip şev kutusu içerisinde imal edilmişlerdir (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 kaynatılması



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



(i) 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



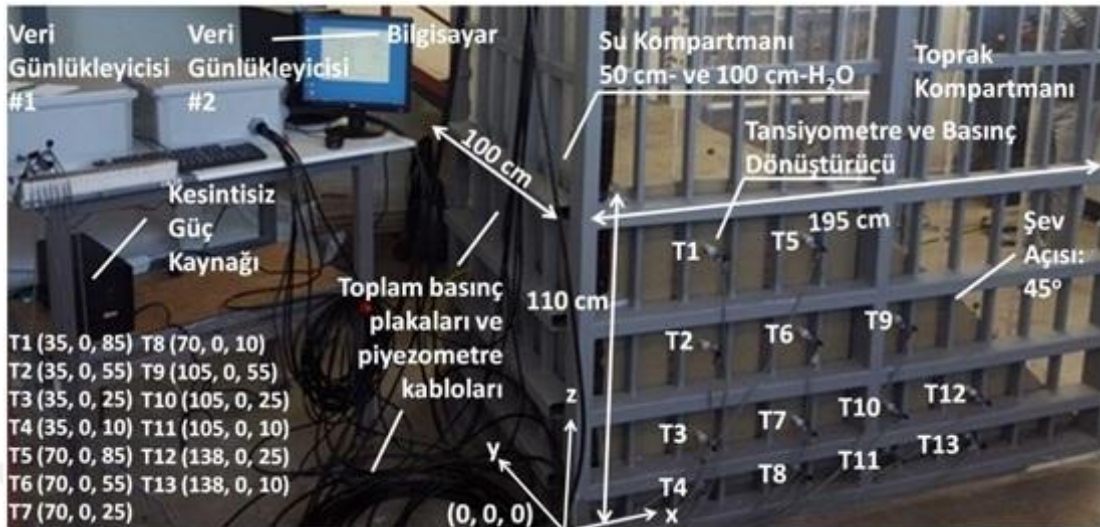
(m) Kutunun dış çelik iskeletinin yanıl profillerle güçlendirilerek iskeletin montajı tamamlanması



(n) PMMA plakalarının taban plakasına

Şekil 3.1 Zemin kutusunun imalat aşamaları (Elbeyli, 2016)

Küçük ölçek prototip şevlerin imalatı için tasarlanmış zemin kutusu 2 cm genişliğe sahip su haznesi ve toprak kompartmanı olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.2). Bu iki bölme 1 cm kalınlığında 8 mm çapında sızma suyunun zemin kompartmanına geçişine izin vermek için açılan (Şekil 3.1a, b, c) deliklerden oluşan Pleksiglas plaka ile ayrılmıştır. Model inşası sırasında toprak kompartmanındaki malzemenin su haznesine geçişini önlemek amacıyla toprak kompartmanı tarafına 200 nolu eleğin göz açıklığına sahip (0.075 mm) elek teli kullanılmıştır.

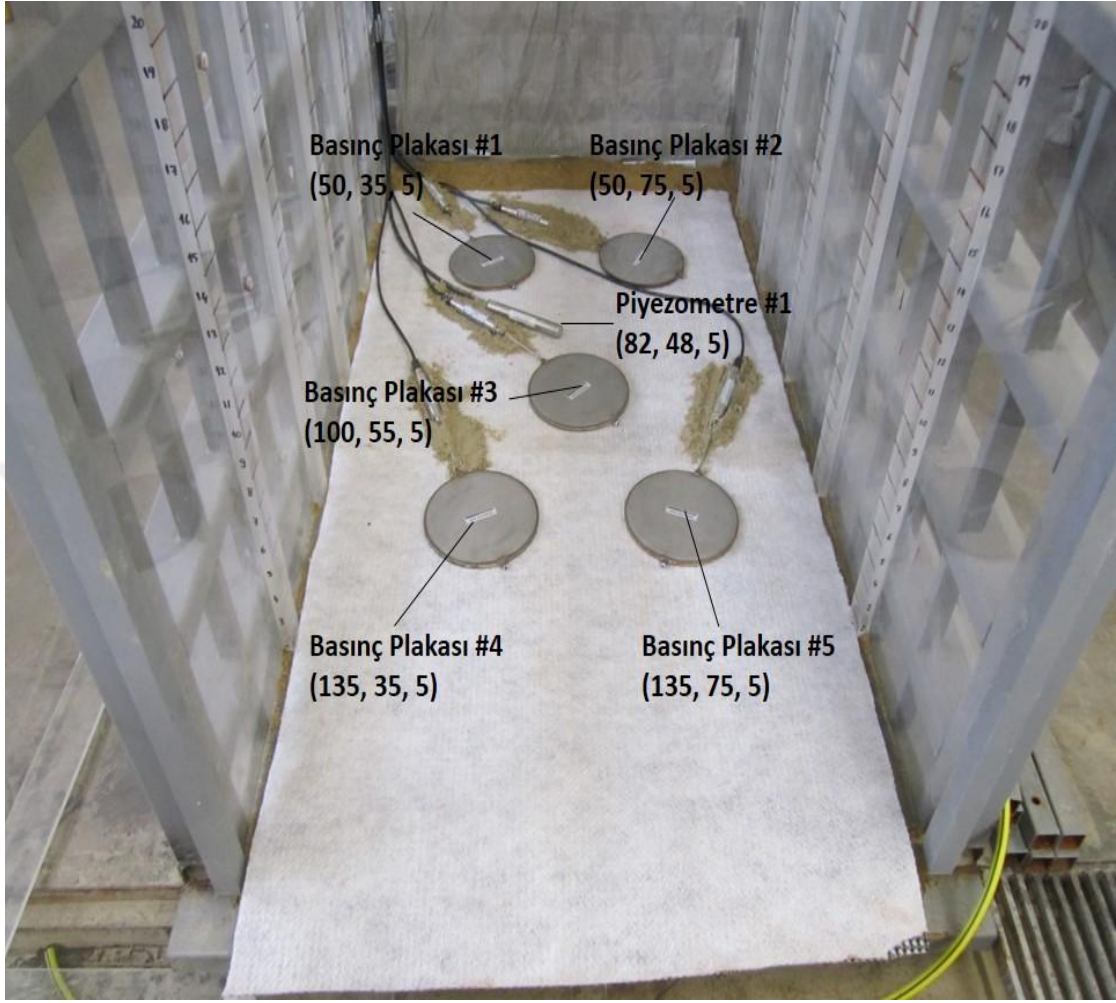


Şekil 3.2 Fiziksel küçük ölçek prototip şev deney düzeneği (Akay vd., 2016)

Su haznesine sürekli su beslemesi yapılırken diğer taraftan da uygulanacak hidrolik yüke göre açılmış tahliye deliği aracılığı ile su tahliyesi yapılarak, toprak kompartımanındaki prototip şeve deney süresince sabit kalan hidrolik yük uygulanmıştır.

Deney süresince kum dolgu içerisinde oluşacak boşluk suyu basınçlarını ölçmek için Şekil 3.2'de görülen toplam 13 adet (T1-T13) kalem tipi boşluk suyu basınç ölçerler (tansiyometreler) kapasiteleri -345 cm su basıncı ile +345 cm su basıncı aralığında olan basınç dönüştürücülerle birlikte kullanılmışlardır. Şekil 3'de ayrıca T1-T13'ün koordinatları (x, y, z) kanalın sol alt köşesi referans noktası (0, 0, 0) olacak şekilde alınarak verilmiştir. Veri günlükleyicisi (Şekil 3.2) sayesinde deney esnasında her 10 saniyede bir boşluk suyu basıncı ölçülmüş ve bilgisayara kaydedilmiştir.

Pleksiglas kutunun cidarına yerleştirilmiş toplam 13 adet kalem tipi boşluk suyu basınç ölçer - basınç dönüştürücülerine ek olarak şev içerisindeki toplam basıncı ve boşluk suyu basınçlarını ölçmek için 24 cm çapında toplam 5 adet basınç plakası (Şekil 3.3, 3.4a, 3.5a ve 3.6a) ve toplam 3 adet piyezometre (Şekil 3.4a, d, f) yerleştirilmiştir. Toplam basınç plakalarının tamamı tüm küçük ölçek prototip şev tabanından 5 cm seviyesinde yerleştirilmiş (Şekil 3.4a, 3.5a ve 3.6a) ve merkezlerinin koordinatları Şekil 3.2’de verilen referans noktasına (0, 0, 0) göre Şekil 3.3’de verilmiştir. Piyezometrelerden birincisi şev tabanından 5 cm yukarıda (Şekil 3.4a, 3.5a ve 3.6a) (tüm basınç plakalarının yerleştirildiği seviyeye) diğer ikisi ise şev tabanından 30 cm (Şekil 3.4d, 3.5d ve 3.6d) ve 60 cm (Şekil 3.4f, 3.5d ve 3.6d) yukarıda şev içerisine yerleştirilmiştir. Tıpkı kalem tipi boşluk suyu basınç ölçer - basınç dönüştürücüleri gibi toplam basınç plakaları ve piyezometreler tarafından ölçülen veriler de ikinci bir veri günlükleyicisi kullanılarak kaydedilmiştir.

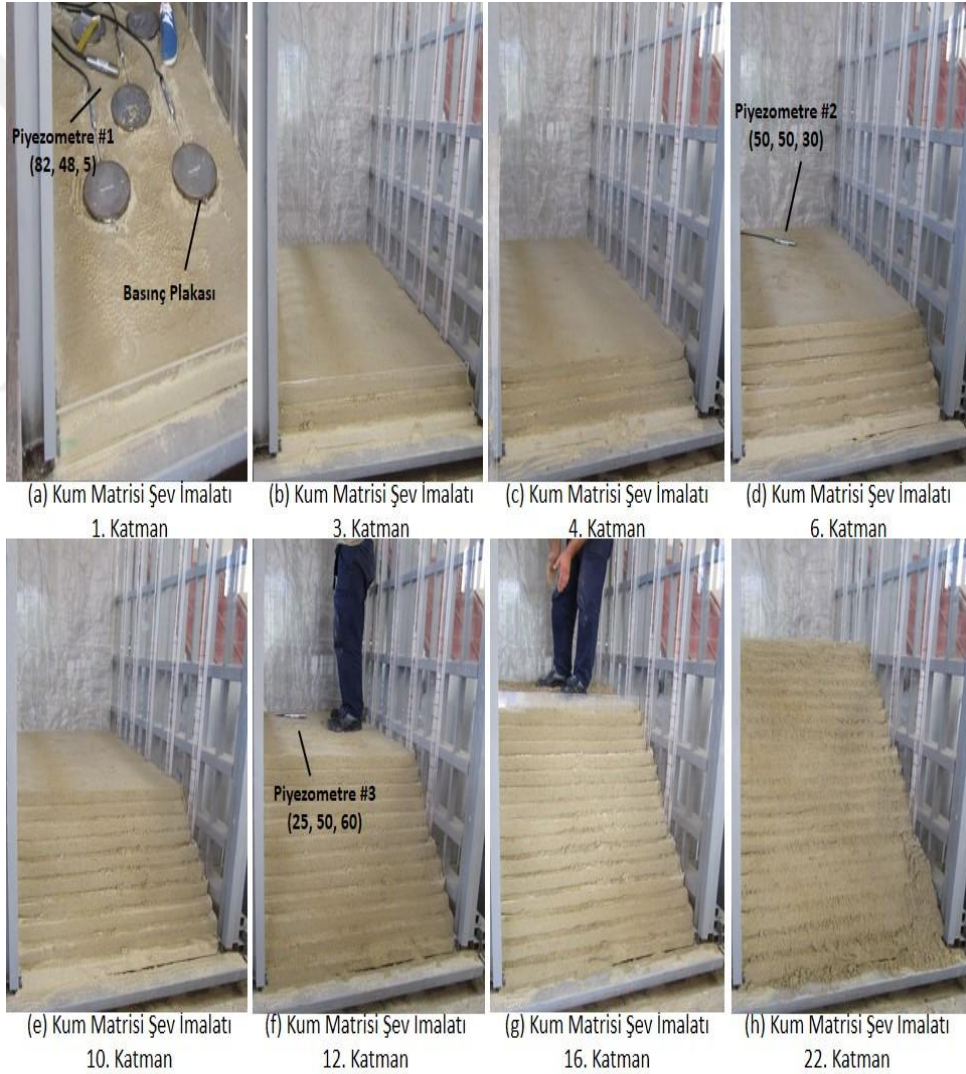


Şekil 3.3 H=5 cm basınç plakaları ve piyezometrenin yerleşimi

Şev imalatında kullanılan kum dolgu malzemesi oda sıcaklığında laboratuvar koşullarında su muhtevası (ASTM D2216) % 6.5-10.4 olacak şekilde kurutulmuş ve daha sonra tokmak kullanılarak kuru birim hacim ağırlığı 14 kN/m^3 olacak şekilde kanal içerisinde üniform sıkıştırma yapılmıştır.

Sıkıştırma işlemi matris dolguda (Şekil 3.4), tabanında geotekstil kullanılan dolguda (Şekil 3.5) ve tabanında geokompozit kullanılan dolguda (Şekil 3.6) 5 cm

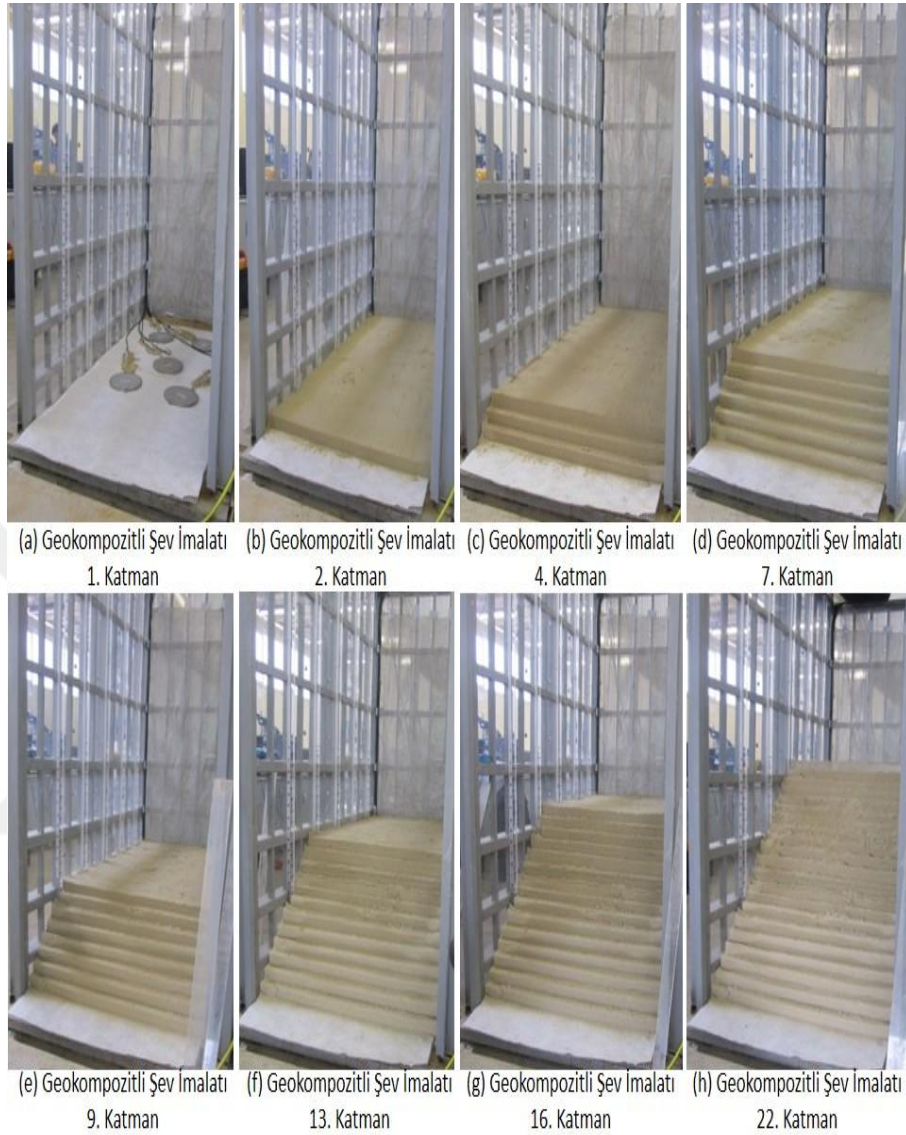
kalınlığında tabakalar halinde kontrollü olarak yapılmıştır. Tabanında geotekstil (Şekil 3.5) ve geokompozit drenaj (Şekil 3.6) kullanılan dolguların imalatında geotekstil ve geokompozit drenaj sıkıştırılma işlemi tamamlanan en alt tabakanın üstüne herhangi bir kıvrım-boşluk oluşmayacak şekilde serilmiştir (Şekil 3.5a ve Şekil 3.6a). İmalatı tamamlanmış şevin şev açısı 45 derece, yüksekliği 110 cm, uzunluğu 195 cm ve genişliği 100 cm'dir (Şekil 3.2; Şekil 3.4h; Şekil 3.5h; Şekil 3.6h).



Şekil 3.4 Matris dolgu imalat aşamaları (Akay vd., 2016)



Şekil 3.5 Geotekstil üzerine inşa edilen dolgunun imalat aşamaları



Şekil 3.6 Geokompozit drenaj üzerine inşa edilen dolgunun imalat aşamaları

3.2. Malzeme

Deneyleerde kullanılan dolgu malzemesinin dane çapı dağılımı özellikleri (ASTM D6913), maksimum-minimum boşluk oranları (ASTM D4253 ve ASTM D4254), yoğunluğu (ASTM D854) ve zemin sınıfı Tablo 3.1’de özetlenmiştir. Fiziksel

özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler şevlerin beş farklı yerinden alınarak yapılmıştır. Tablo 3.1’de verilen değerler elde edilen sonuçların ortalamasını göstermektedir.

Tablo 3.1 Kum Dolgu Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

Özellik	Tanım & Birim	Değer
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi, (USCS)	SP, Kötü Derecelenmiş Kum
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%), Silt + Kil (%)	97.5, 2.5
Etkin Çap	D_{10} (mm)	0.15
Üniformluk Katsayısı	C_u [-]	2.8
Eğrilik Katsayısı	C_c [-]	1.5
Yoğunluk (Özgül Ağırlık)	G_s [-]	2.62
Maksimum Boşluk Oranı	e_{max} [-]	0.93
Minimum Boşluk Oranı	e_{min} [-]	0.62

Dolgu malzemesinin mukavemet özelliklerini belirlemek için, fiziksel şev model deneyleri bittikten sonra şevin göçmemiş (deformasyona uğramamış) kısmından 20 cm uzunluğunda ve 7.26 cm çapında pirinç numune alıcılar vasıtasıyla örselenmemiş numuneler alınmıştır (Şekil 3.7). Sonrasında numune alıcılar numune çıkarma krikosuna yerleştirilerek numune uzunluğu çapının iki katı olacak şekilde (7.26 cm x 2 = 14.5 cm) numune alıcı tüpü içerisindeki numunenin 5.5 cm’lik kısmı numune çıkarma krikosu vasıtası ile çıkarılarak sıyrılmış ve deney başlangıç su muhtevası tayininde kullanılmıştır. Numunenin geri kalan kısmı kriko vasıtasıyla tamamen çıkarılarak membran geçirilmiş ayrılabilen numune kalıbına alınmıştır. Sonrasında

numune kalıptan çıkarılarak üç eksenli basınç deneyi hücresine yerleştirilerek üç farklı hücre basıncında konsolidasyonlu drenajlı (CD) üç eksenli basınç deneyleri (ASTM D7181) yapılmıştır. Deneyler neticesinde elde edilen maksimum deviatorik gerilmeler ve efektif gerilmelere göre Mohr-Coulomb mukavemet parametreleri Tablo 3.2’de özetlenmiştir. ASTM D7181’in kırılma kriterine göre deney sırasında ölçülen en fazla deviatorik gerilme ya da %15 birim boy kısalmaya gelen deviatorik gerilmeden hangisi büyük ise kırılma anındaki maksimum deviatorik gerilme olarak rapor edilmiştir (Tablo 3.2).

Kum dolgu malzemesinin hidrolik özelliklerini belirlemek amacıyla toplam altı adet örselenmemiş numuneler (Şekil 3.7) üzerinde zeminin hidrolik geçirgenlik testleri (ASTM D2434) yapılmış ve değeri Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.7 CD deneyleri için örselenmemiş numune alma işlemleri

Tablo 3.2 Kum Dolgu Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Numune	Hücre Basıncı (kPa)	Maksimum Deviatorik Gerilme (kPa)	Mukavemet Parametreleri (Efektif Gerilmelere Göre)	
			c' (kPa)	ϕ' (kPa)
#1	50	124.7	0	33.5
	100	227.0		
	200	497.4		
#2	50	115.1	1.8	30.5
	100	205.2		
	200	421.8		
#3	50	123.7	2.4	31.3
	100	213.8		
	200	443.6		

Tablo 3.3 Kum Dolgu Malzemesinin Hidrolik Özellikleri

Numune	Numune No	k_{sat} (m/s)
Kum	#1	1.3×10^{-4}
	#2	1.1×10^{-4}
	#3	1.0×10^{-4}
	#4	1.3×10^{-4}
	#5	1.0×10^{-4}
	#6	1.1×10^{-4}
Ortalama		1.1×10^{-4}

Geokompozit üzerine inşa edilen modelde Tech Drain GTG 520UV-12 kodlu drenaj geokompoziti (Intermas Nets, İspanya), geotekstil ile inşa edilen modelde ise bu geokompozitin alt örgüsüz geotekstili kullanılmıştır. Geotekstil ve geokompozit drenajın özellikleri sırasıyla Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Örgüsüz Geotekstilin Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri

Özellik	Tanım & Birim	Değer
Polimer Tipi	[-]	Polipropilen
Birim Alan Kütlesi	[gr/m ²]	120
CBR Delinme Dayanımı	[kN]	1.4
Düzleme Dik Su Akışı	[l/m ² s]	90
Görünen/karakteristik Gözenek Boyutu	AOS [μ m]	<170

Tablo 3.5 Geokompozit Drenajın Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri

Özellik	Tanım & Birim	Değer
Birim alan kütlesi	[gr/m ²]	1100
Kalınlık	2 kPa Basınç Altında	6.2
	200 kPa Basınç Altında	5.6
Maksimum Çekme Mukavemeti	Boyuna	22
	Enine	18
Kopmada Uzama	Boyuna	40
	Enine	50
Düzlem Yönünde Su Akışı	$\sigma = 100$ kPa Basınç Altında	0.84
	$\sigma = 200$ kPa Basınç Altında	0.75
	$\sigma = 500$ kPa Basınç Altında	0.55
	$\sigma = 800$ kPa Basınç Altında	0.40

Zemin kutusu tabanında plexiglas yüzeyle zemin malzemesi arasında tercihlili akım oluşmaması için ilk 5 cm'lik katman düşük hidrolik geçirgenliği olan sıkıştırılmış siltli kumdan imal edilmiştir. Bu malzemenin fiziksel (Tablo 3.6),

mekanik (Tablo 3.7) ve hidrolik (Tablo 3.8) özellikleri Elbeyli (2016) tarafından ortaya konmuştur. Atterberg (kıvam) Limitleri ASTM D4318'e göre, mukavemet parametreleri ASTM D4767'e göre ve hidrolik geçirgenliği ise ASTM D5084'e göre belirlenmiştir.

Tablo 3.6 Siltli Kum Dolgu Malzemesinin Fiziksel Özellikleri (Elbeyli, 2016)

Özellik	Tanım & Birim	Değer
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi, (USCS)	SM, Siltli Kum
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%), Silt(%), Kil (%)	54, 34,2, 11,8 – 55.4, 35.8, 8.8
Etkin Çap	D ₁₀ (mm)	0.003
Üniformluk Katsayısı	C _u [-]	53 - 57
Eğrilik Katsayısı	C _c [-]	1.3 – 1.9
Yoğunluk	G _s [-]	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

Tablo 3.7 Siltli Kum Dolgu Malzemesinin Mekanik Özellikleri (Elbeyli, 2016)

Numune	Hücre Basıncı (kPa)	Mukavemet Parametreleri			
		Toplam Gerilmelere Göre		Etketif Gerilmelere Göre	
		c (kPa)	ϕ (derece)	c' (kPa)	ϕ' (derece)
#1	50	0	18.3	1.5	34.1
	100				
	200				
#2	50	0	18.0	3.1	32.7
	100				
	200				

Tablo 3.8 Siltli Kum Dolgu Malzemesinin Hidrolik Özellikleri (Elbeyli, 2016)

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

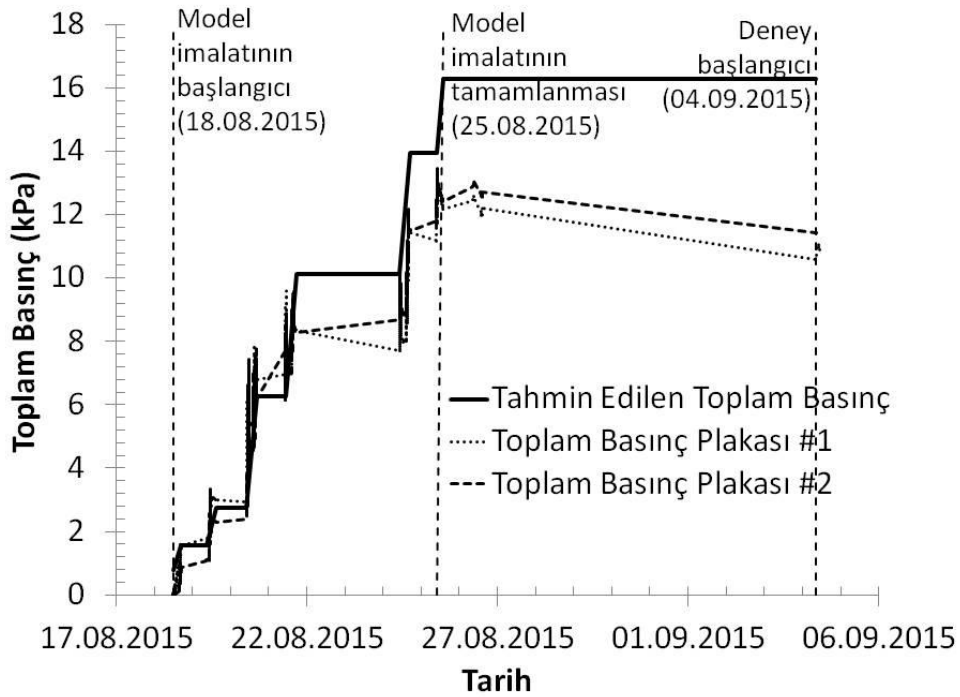
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Matris Dolgunun Sızma Kuvvetleri Altındaki Davranışı

Matris kum dolgu şevi imalatı 18.08.2015 tarihinde başlayıp 25.08.2015 tarihinde sona ermiştir (Şekil 4.1). 5'er cm'lik kademeler halinde üniform olarak sıkıştırılan matris kum dolgu şevinin (Şekil 3.4) imalatı sırasında basınç plakası #1 ve basınç plakası #2 tarafından kaydedilen toplam basınçlar Şekil 4.1'de verilmiştir. Dolgu şevi tamamlandığı andaki zemin toplam basınç değeri ($14 \text{ kN/m}^3 \times 1.05 \text{ m} \times [1 + \text{su muhtevası}]$) hesaplanarak (tahmin edilen toplam basınç) 16.3 kPa değeri elde edilmiş ve toplam basınç plakası #1'den elde edilen 12.6 kPa değeri ile toplam basınç plakası #2'den elde edilen 13.1 kPa değeri bu değer altında kalmıştır. Toplam basınç plakası 1 ve toplam basınç plakası 2'den elde edilen basınç okuması farklarının %10'un altında olması, yapılan sıkıştırma işleminin üniform olduğunu göstermektedir. Şev kreti ile 45° açılı şev yüzeyi kesişim çizgisinin x koordinatı 85 cm olduğundan; basınç plakası #1 (50, 35, 5) ve basınç plakası #2 (50, 75, 5) dolgu kretinin izdüşümüne gelmekte iken, basınç plakası #3, #4 ve #5 45° eğimli şev yüzeyinin iz düşümüne denk gelmektedir. Bu yüzden; #3, #4 ve #5 nolu basınç plakaları bu ve bundan sonraki modellerde tahmin edilen basınçlarla kıyaslamaya katılmamışlardır. Basınç plakası #1 ve #2'de şev imalatı bitişi (25.08.2016) ile deney başlangıç tarihi (04.09.2016) arasında geçen 10 gün içerisinde gözlemlenen toplam basınçtaki azalmanın (Basınç plakası #1 12.6 kPa'dan 10.9 kPa'a ve basınç plakası #2 13.1 kPa'dan 11.7 kPa'a) basınç plakalarının hemen yakınındaki bölgede oluşan

muhtemel oturmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Negusse ve Stuedlein (2003) benzer şekilde arazi uygulamalarında şev imalatı sonrasında basınç azalmaları meydana gelebileceğinden bahsetmiştir.

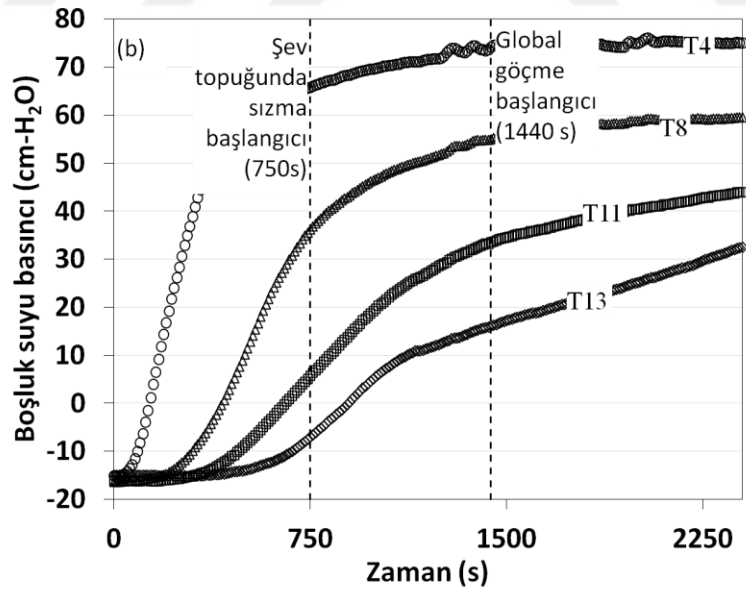
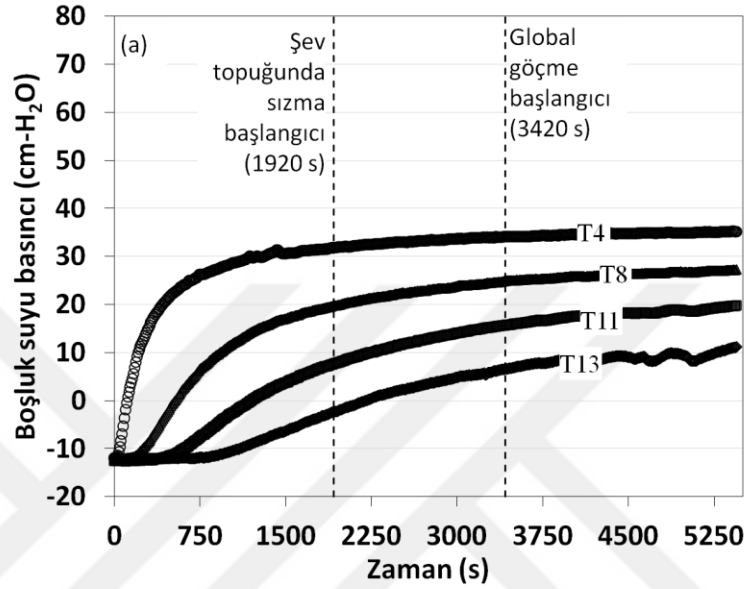
Matris kum dolgu şevi sızma deneyleri iki farklı sabit hidrolik yük (50 cm- ve 100 cm-H₂O) altında yapılmıştır. Fiziksel modelin inşasını takiben ilk olarak 50 cm-H₂O'lik hidrolik yük altında model deneyi tamamlanmış ve sonrasında 100 cm-H₂O'lik hidrolik yük altındaki deney yapılmıştır. 50 cm-H₂O'lik hidrolik yük altındaki deney zemin kutusunun su haznesine su verilmesi ile 04.09.2015 tarihinde başlamıştır.



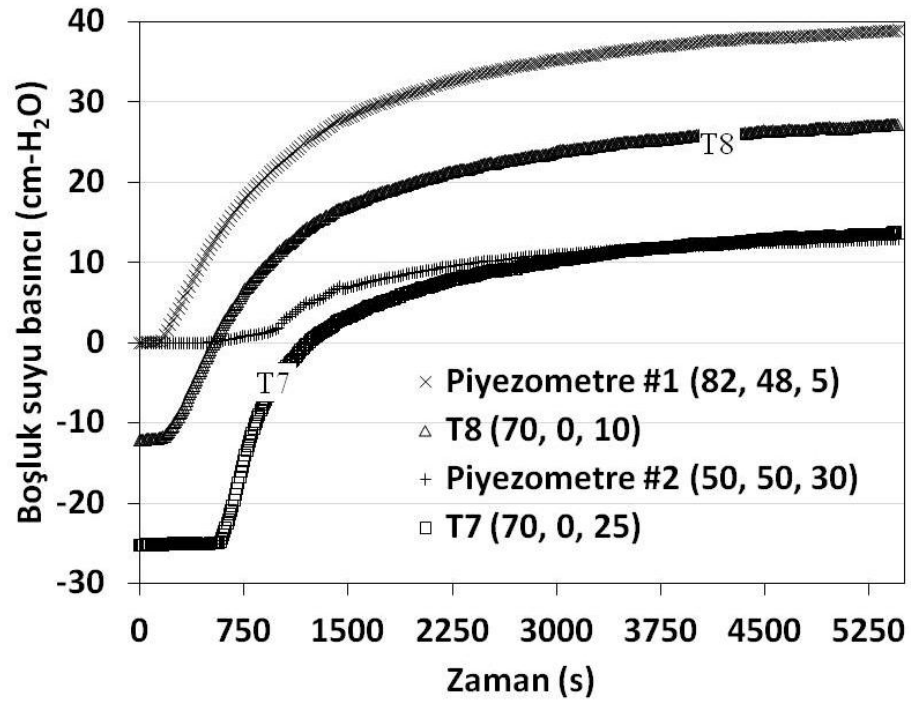
Şekil 4.1 Matris kum dolgu şevinin kademeli olarak inşası sırasında tahmin edilen toplam basınçlarla basınç plakası okumalarının karşılaştırılması (Akay vd., 2016)

Modelin en alt sırasına yerleştirilmiş T4, T8, T11 ve T13 tansiyometreleri tarafından deney sırasında ölçülen boşluk suyu basınçlarının zamana göre değişimleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Deneyler, her iki sabit hidrolik yük altında boşluk suyu basınçları kararlı hale geldiklerinde sonlandırılmıştır (Şekil 4.2). Deneylerde uygulanan sabit hidrolik yükün artmasıyla boşluk suyu basınçları da artmıştır. Örneğin, kararlı akım durumunda 50 cm- ve 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altındaki deneylerde tansiyometre T4 tarafından ölçülen boşluk suyu basınç değerleri sırası ile 35.2 cm- ve 74.9 cm-H₂O olmuştur. 50 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında yapılan deneyde sızma suyunun şev yüzeyinden ilk çıkışı topuk bölgesinde deney başlangıcından itibaren 1920 s gözlemlenmiş iken (Şekil 4.2a), hidrolik yükün 100 cm-H₂O’ya yükseltilmesiyle birlikte sızma suyunun şev yüzeyinden topukta ilk çıkışı deney başlangıcından 750 s sonra olmuştur. Zemin kutusunun duvarına yerleştirilen tansiyometrelerle şev içerisine yerleştirilen piyezometre ölçümleri sızma sularının şev genişliği boyunca üniform olarak ilerleyip ilerlemediğinin kontrolü amacıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). 50 cm-H₂O sabit yük altında yapılan deney kararlı akım durumuna geldiği zaman tansiyometre T7 tarafından ölçülen boşluk suyu basıncı 12.9 cm-H₂O ve piyezometre #2 tarafından ölçülen boşluk suyu basıncı 12.8 cm-H₂O’dur (Şekil 4.3). 100 cm-H₂O sabit yük altında yapılan deney kararlı akım durumuna geldiği zaman tansiyometre T2 tarafından ölçülen boşluk suyu basıncı 31.6 cm-H₂O ve piyezometre #3 tarafından ölçülen boşluk suyu basıncı 29.3 cm-H₂O’dur (Şekil 4.4). Sızma suyunun ilerleyişine bağlı olarak tansiyometreler ve piyezometreler

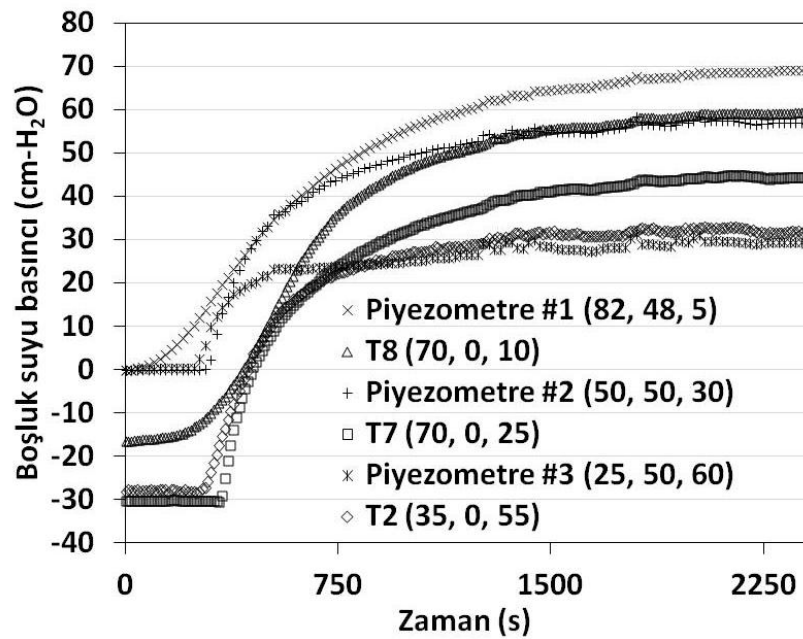
tarafından ölçülen benzer boşluk suyu basınç değerleri şev içerisindeki akış dinamiğinin homojen olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 4.2 Matris kum dolgu şevinde tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçları (Akay vd., 2016)



Şekil 4.3 50 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında Matris kum dolgu şevinde piyezometreler ve tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması (Akay vd., 2016)



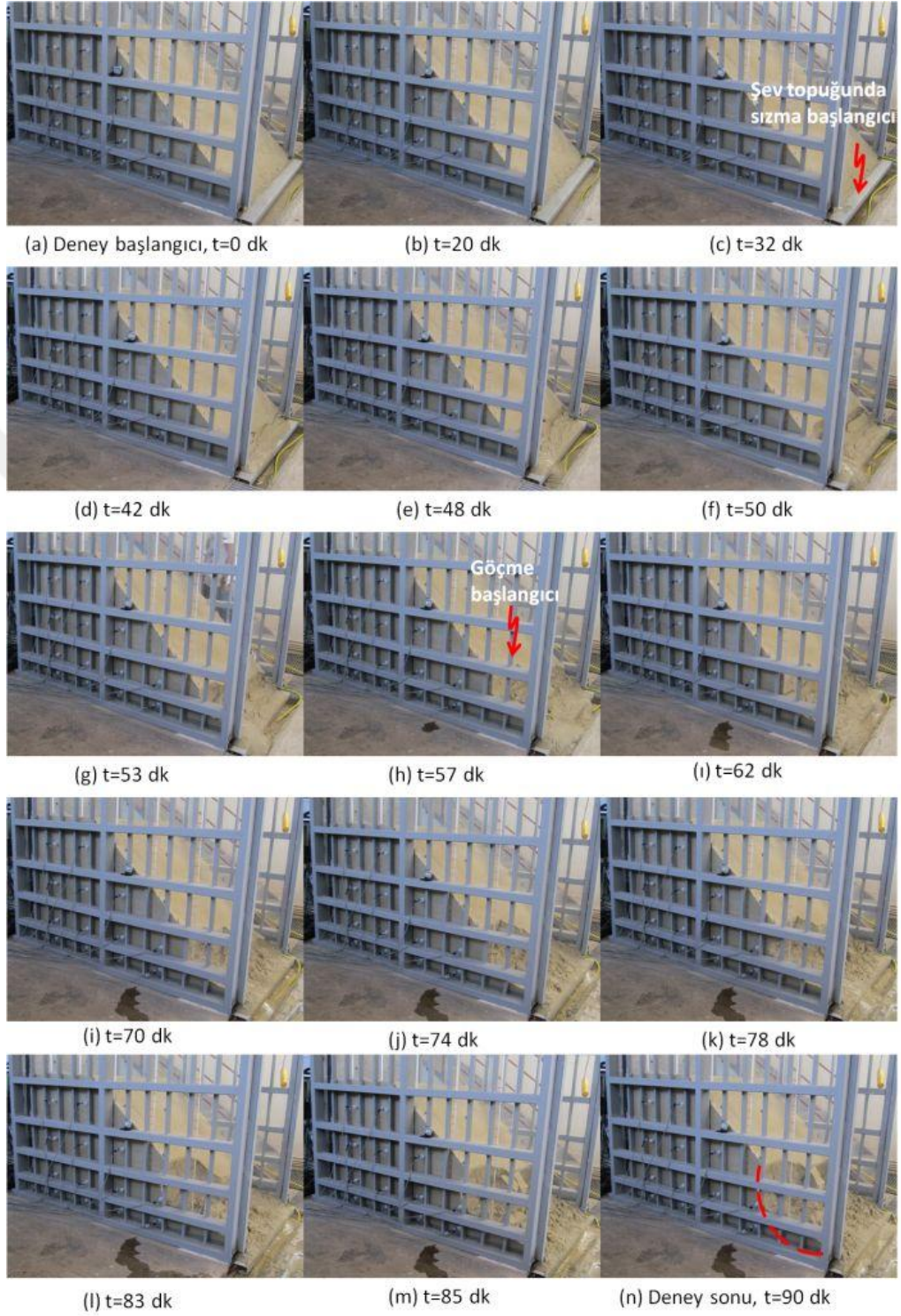
Şekil 4.4 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında Matris kum dolgu şevinde piyezometreler ve tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması (Akay vd., 2016)

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sırası ile 50 cm- ve 100 cm-H₂O sabit hidrolik yükleri altında gerçekleştirilen deneylerin başlangıcından bitişine kadar olan süreçteki fiziki şev hareketleri gösterilmiştir.

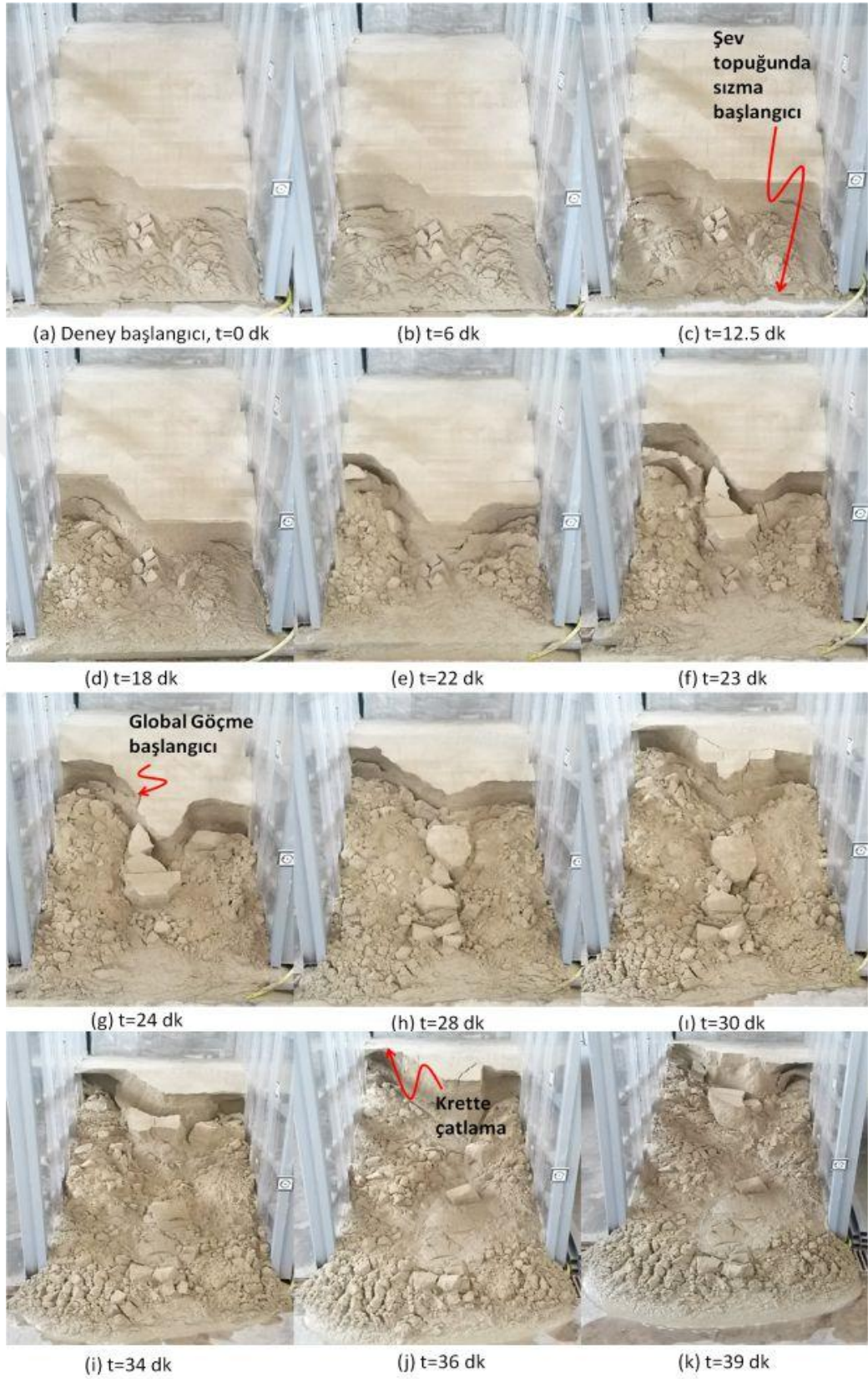
50 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında 32. dakikada gözlemlenen sızma başlangıcından (Şekil 4.5c) sonra sızma sularının etkisiyle topuk bölgesinde fiziksel deformasyonlar başlamıştır (Şekil 4.5d). Bu fiziksel deformasyonlar kendini sığ göçmeler şeklinde göstermiştir (Şekil 4.5d – Şekil 4.5n). Şev topuğunda sızmalar meydana geldikten sonra şev içerisindeki boşluk suyu basınçları 57. dakikaya kadar artmaya devam ederek (Şekil 4.2a) şev göçmesini tetikleyen başlangıcı yapmışlardır (Şekil 4.5h). Bu zamandan sonra, şev içerisindeki boşluk suyu basınçları kararlı akım

durumuna gelmiştir. Deney 90. dakikada tansiyometrelerde görünen kararlı akım durumu (Şekil 4.2a) kayıt altına alınınca sonlandırılmıştır.

50 cm-H₂O sabit hidrolik yük altındaki deney tamamlandıktan 4 gün sonra (08/09/2015) şevin içerisindeki boşluk suyu basınç dağılımı başlangıçtaki dağılıma yakın davranış gösterince (Şekil 4.2'de görüleceği üzere T4, T8, T11 ve T13 için ortalama başlangıç değeri 50 cm- ve 100 cm-H₂O sınır koşulları için sırası ile -12.2 cm- ve -15.7 cm-H₂O) 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altındaki deney yapılmıştır. 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında 12. dakikada şev topuğunda sızma başlangıcı gözlemlenmiş (Şekil 4.6c), daha sonra fiziksel deformasyonlar ve topuk bölgesindeki sığ göçmeler başlamıştır (Şekil 4.6d). Deneyin 24. dakikasına kadar şev yüzeyinde oluşan sığ göçmeler artarak devam etmiş ve bu anda şevin global göçmesini tetikleyen şev hareketi meydana gelmiştir (Şekil 4.6g). Deney başından itibaren sızmanın gözlemlendiği ana kadar artan boşluk suyu basınçları başlangıca göre daha az bir oranda da olsa global göçme başlangıcına kadar artarak devam etmiştir (Şekil 4.2b). Şev yüzeyindeki göçmeler 36. dakikada krete ulaşmış ve krette meydana gelen çekme çatlakları ile kretten başlayıp topuğa doğru devam eden kayma yüzeyi oluşmuştur (Şekil 4.6j). T4 ve T8 tansiyometrelerinde global göçme başlangıcından sonra kararlı akım durumuna gelinmesine rağmen topuğa yakın T11 ve T13'de gözlemlenen boşluk suyu basıncı değerlerinin kararlı hale gelmeden artarak devam etmesi (Şekil 4.2b) şevdeki global göçmeyi işaret etmektedir (Şekil 4.6l ve m). 40. Dakikada deney sonlandırılmış ve bu anda şev kretinden başlayıp topukta son bulan dairesel kayma yüzeyi Şekil 4.6m'de verilmiştir.



Şekil 4.5 50 cm-H₂O sabit hidrolik yük altındaki Matris dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı





(l) Deney sonu, t=40 dk

(m) Deney sonu, yandan görünüş, t=40 dk

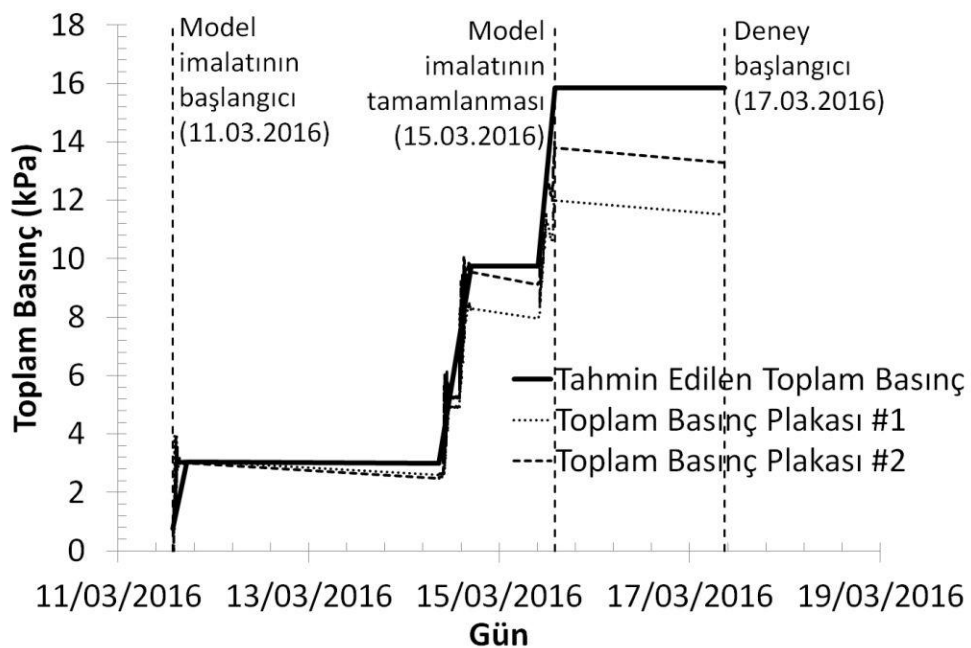
Şekil 4.6 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altındaki Matris dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışı

Deneyleerde uygulanan sabit hidrolik yükün artmasıyla boşluk suyu basınçlarındaki artış (Şekil 4.2) şevin sızma kuvvetleri altındaki davranışı üzerinde doğrudan etkili olmuştur. 50 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında şev yüzeyinde sığ göçme olmuşken (Şekil 4.5n) hidrolik yükün 100 cm-H₂O seviyesine yükseltilmesi ile birlikte kretten başlayıp topukta sona eren global göçme gözlemlenmiştir (Şekil 4.6m).

4.2. Tabanında Geotekstil Kullanılan Dolgunun Sızma Kuvvetleri Altındaki Davranışı

Tabanında geotekstil kullanılan kum dolgu şevi imalatı 11.03.2016 tarihinde başlayıp 15.03.2016 tarihinde sona ermiştir (Şekil 4.7). 5'er cm'lik kademeler halinde üniform olarak sıkıştırılan geotekstil üzerine inşa edilen dolgunun (Şekil 3.5) ilk katmanından son katmanına kadar yapılan kontrollü sıkıştırma işlemi esnasında elde edilen toplam basınç değerleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Dolgu şevi tamamlandığı andaki zemin

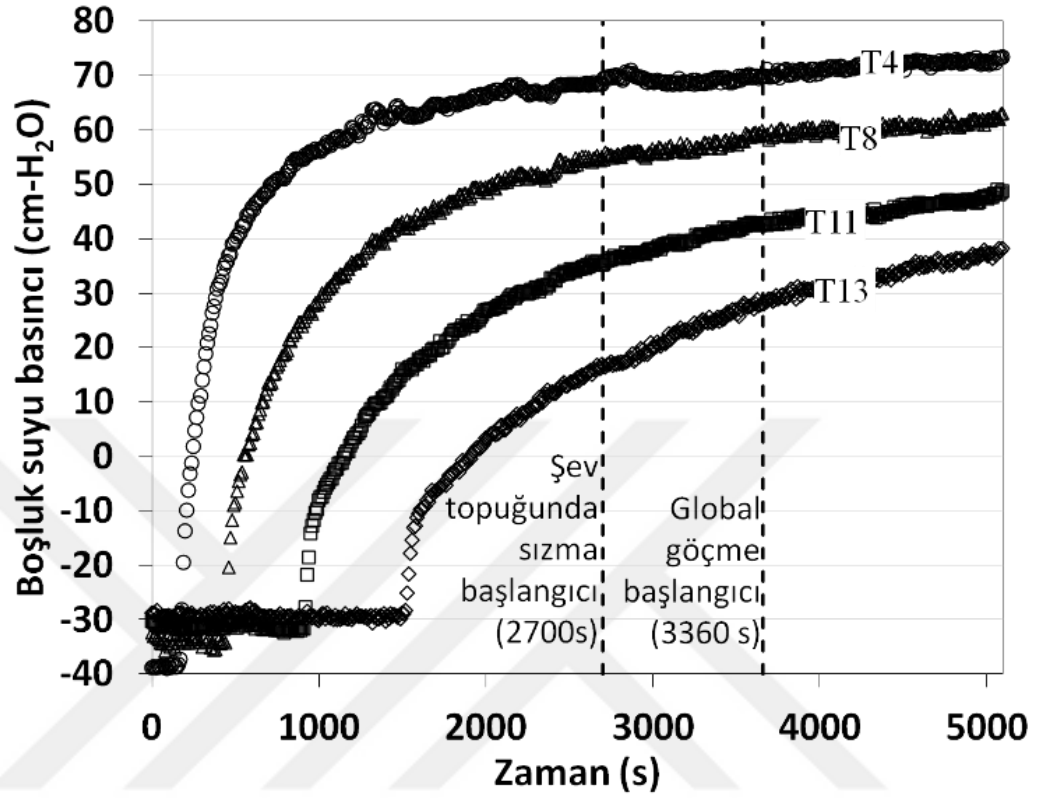
toplam basınç değeri ($14 \text{ kN/m}^3 \times 1,05 \text{ m} \times [1 + \text{su muhtevası}]$) hesaplanarak $15,9 \text{ kPa}$ olarak tahmin edilmiş ve matris dolguda olduğu gibi toplam basınç plakalarının bu değere ulaşamadığı görülmüştür. Bununla birlikte, sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra basınç plakası #1'den elde edilen $11,9 \text{ kPa}$ ve basınç plakası #2'den elde edilen $13,8 \text{ kPa}$ değerleri arasındaki farkın %10'un altında olması şev imalatı sırasında uygulanan kontrollü sıkıştırma işleminin üniform olduğunu göstermektedir. Tıpkı matris dolguda olduğu gibi, basınç plakalarında şev imalatı bitişi (15.03.2016) ile deney başlangıç tarihi (17.03.2016) arasında geçen sürede gözlemlenen azalmanın basınç plakalarının hemen yakınındaki bölgede oluşan muhtemel oturmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



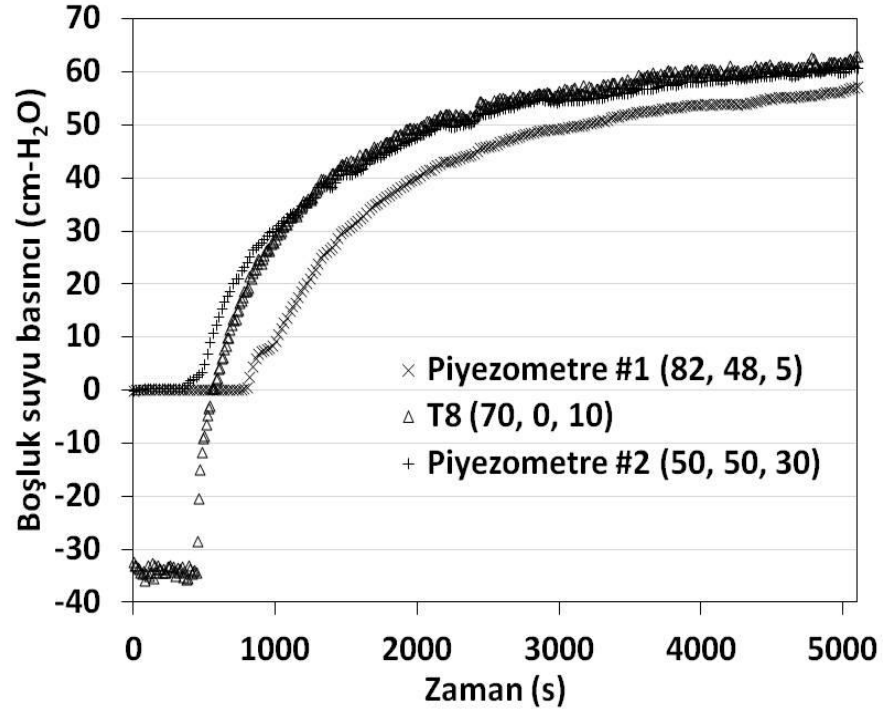
Şekil 4.7 Tabanında geotekstil kullanılan kum dolgu şevin kademeli olarak inşası sırasında tahmin edilen toplam basınçlarla basınç plakası okumalarının karşılaştırılması

Matris dolgunun 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında yapılan deney neticesinde kretten başlayıp topukta sona eren global göçmeye (Şekil 4.6) geotekstil'in etkisini incelemek amacı ile tabanında geotekstil kullanılan kum dolgu şevi sızma deneyi de 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında yapılmıştır. Fiziksel modelin inşasından iki gün sonra deney zemin kutusunun su haznesine su verilmesi ile 17.03.2016 tarihinde başlamıştır (Şekil 4.7). Modelin en alt sırasına yerleştirilmiş T4, T8, T11 ve T13 tansiyometreleri tarafından deney sırasında ölçülen boşluk suyu basınçlarının zamana göre değişimleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Deney, uygulanan sabit hidrolik yük altında boşluk suyu basınçları kararlı hale geldiklerinde sonlandırılmıştır (Şekil 4.8). Sızma suyunun şev yüzeyinden ilk çıkışı topuk bölgesinde deney başlangıcından itibaren 2700 s gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).

Tıpkı Matris deneyde olduğu gibi, zemin kutusunun duvarına yerleştirilen tansiyometrelerle şev içerisine yerleştirilen piyezometre ölçümleri sızma sularının şev genişliği boyunca üniform olarak ilerleyip ilerlemediğinin kontrolü amacıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 4.9). Deney kararlı akım durumuna geldiği zaman piyezometre #1 tarafından ölçülen boşluk suyu basıncı 60.8 cm-H₂O ve tansiyometre T8 tarafından ölçülen ise 61.2 cm-H₂O ve piyezometre #2 tarafından ölçülen boşluk suyu basıncı 55.9 cm-H₂O ve tansiyometre T7 tarafından ölçülen ise 51.0 cm-H₂O'dur (Şekil 4.9). Sızma suyunun ilerleyişine bağlı olarak model cidarına yerleştirilen tansiyometreler ve model içerisine yerleştirilen piyezometreler tarafından ölçülen benzer boşluk suyu basınç değerleri şev içerisindeki akış dinamiğinin homojen olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 4.8 Tabanında geotekstil kullanılan kum dolgu şevinde 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altındaki tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçları

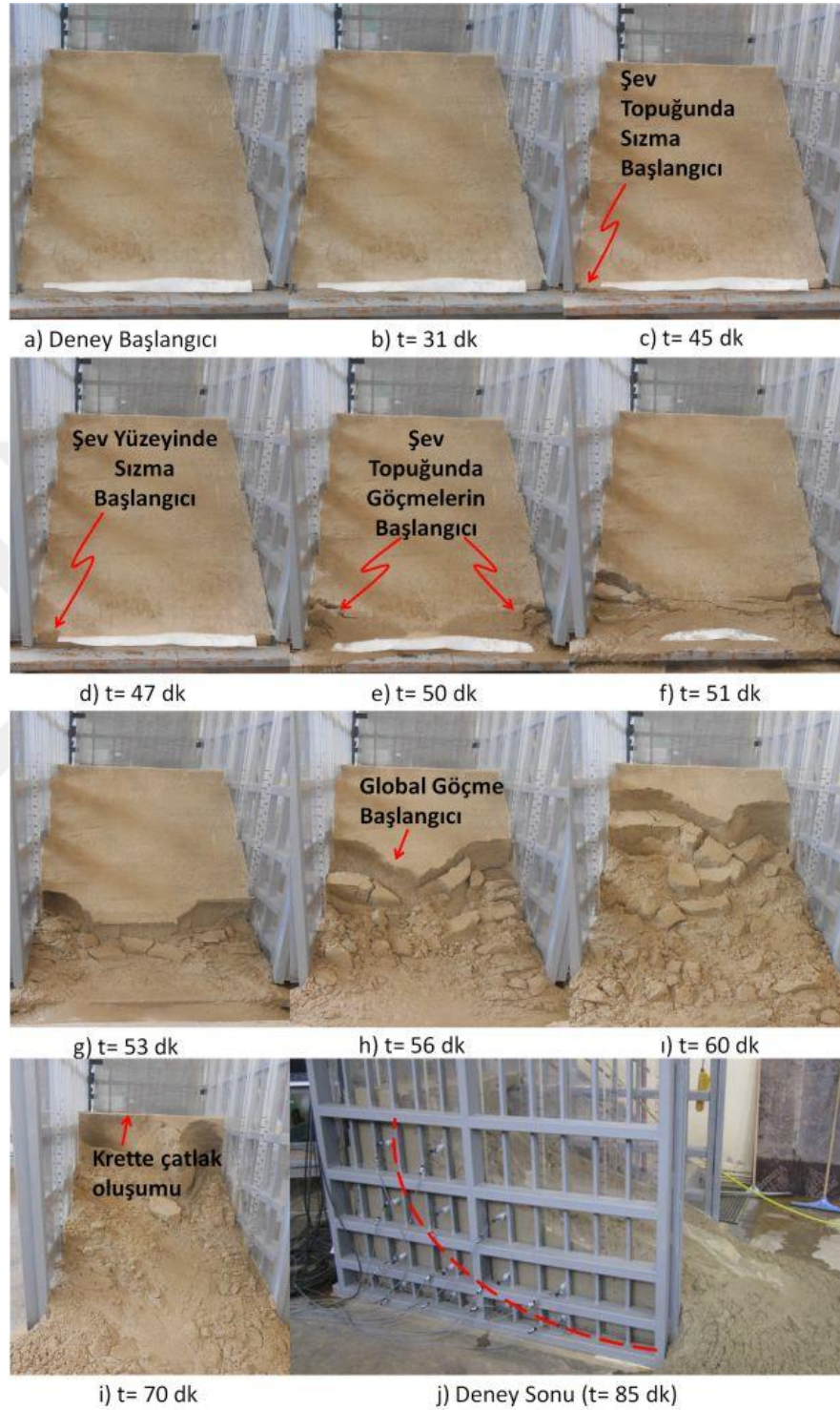


Şekil 4.9 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında tabanında geotekstil kullanılan kum dolgu şevinde piyezometreler ve tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.10'da deneyin başlangıcından bitişine kadar olan süreçteki fiziki şev hareketleri gösterilmiştir. Deneyin 45. dakikasında dolgunun topuğundan ve 47. dakikasında ise şev yüzeyinde gözlemlenen sızma başlangıcından (Şekil 4.10c ve d) sonra sızma sularının etkisiyle topuk bölgesinde fiziksel deformasyonlar başlamıştır (Şekil 4.10e). Bu fiziksel deformasyonlar kendini sığ göçmeler şeklinde ilerletmiştir (Şekil 4.10f ve g). Deneyin 56. dakikasına kadar şev yüzeyinde oluşan sığ göçmeler artarak devam etmiş ve bu anda şevin global göçmesini tetikleyen şev hareketi

meydana gelmiştir (Şekil 4.10h). Deney başından itibaren sızmanın gözlemlendiği ana kadar artan boşluk suyu basınçları başlangıca göre daha az bir oranda da olsa global göçme başlangıcına kadar artmaya devam etmiştir (Şekil 4.8). Şev yüzeyindeki göçmeler 70. dakikada krete ulaşmış (Şekil 4.10i) ve sonrasında kreten başlayıp topuğa doğru devam eden kayma yüzeyi oluşmuştur (Şekil 4.10j). Tıpkı matris dolguda gözlemlendiği gibi (Şekil 4.2b) T4 ve T8 tansiyometrelerinde global göçme başlangıcından sonra kararlı akım durumuna gelinmesine rağmen topuğa yakın T11 ve T13’de gözlemlenen boşluk suyu basıncı değerlerinin kararlı hale gelmeden artarak devam etmesi (Şekil 4.8) şevdeki global göçmeyi işaret etmektedir (Şekil 4.10 j).

100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında, hem matris (Şekil 4.6) hem de tabanında geotekstil kullanılan kum dolguda (Şekil 4.10) meydana gelen benzer global şev göçmeleri geotekstillerin sınırlı drenaj kapasitelerinin (düzleme paralel akış kapasitesi) şev içerisinde meydana gelen boşluk suyu basınçlarını azaltamaması ile açıklanabilir. Kararlı akım durumunda matris dolguda T4, T8, T11 ve T13 tarafından kayıtlı edilen boşluk suyu basınçları sırası ile 75 cm-, 59.5 cm-, 44.0 cm- ve 32.5 cm-H₂O (Şekil 4.2b) iken aynı tansiyometrelerin tabanında geotekstil kullanılan dolguda kararlı akım durumunda kayıtlı ettiği basınçlar sırası ile 73.5 cm-, 62.5 cm-, 48.5 cm- ve 37.7 cm-H₂O’dur (Şekil 4.8).



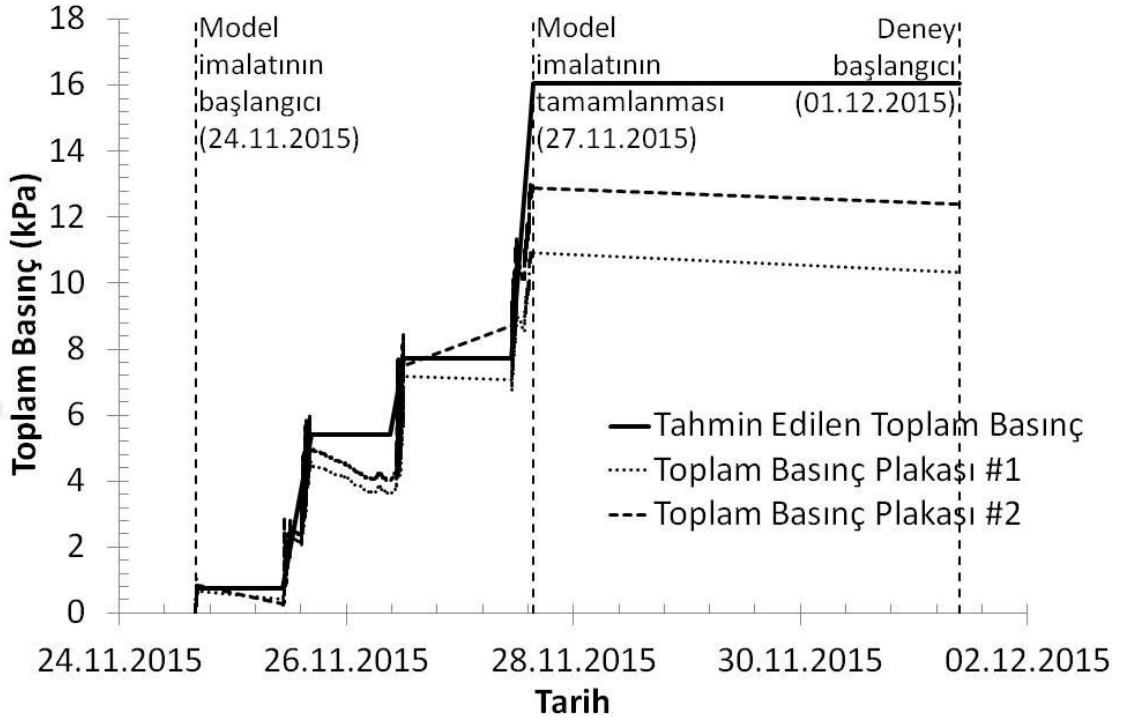
Şekil 4.10 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında tabanında geotekstil kullanılan kum dolgu şevinde sızma kuvvetleri altındaki davranışı

4.3. Tabanında Geokompozit Drenaj Kullanılan Dolgunun Sızma Kuvvetleri

Altındaki Davranışı

Tabanında geokompozit drenaj kullanılan kum dolgu şevi imalatı 24.11.2015 tarihinde başlayıp 27.11.2015 tarihinde sona ermiştir (Şekil 4.11). 5'er cm'lik kademeler halinde üniform olarak sıkıştırılan dolgudaki (Şekil 3.6) tahmin edilen ve basınç plakaları tarafından kaydedilen toplam basınç değerleri Şekil 4.11'de sunulmuştur. Tıpkı matris ve tabanında geotekstil kullanılan dolgu modellerinde olduğu gibi, bu modelde de toplam basınç plakaları tarafından kayıt edilen değerler (basınç plakası #1'den elde edilen 10.9 kPa ve basınç plakası #2'den elde edilen 12.9 kPa) dolgu şevi tamamlandığı andaki zemin toplam basınç ($14 \text{ kN/m}^3 \times 1,05 \text{ m} \times [1 + \text{su muhtevası}]$) değerinden (16.1 kPa) küçüktür. Bununla birlikte, sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra basınç plakası #1 ve #2'den elde edilen değerleri arasındaki farkın %10'un altında olması şev imalatı sırasında uygulanan kontrollü sıkıştırma işleminin üniform olduğunu göstermektedir.

Matris dolgunun ve tabanında geotekstil kullanılan dolgunun 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında yapılan deneyleri neticesinde kretten başlayıp topukta sona eren global göçmelere (Şekil 4.6 ve Şekil 4.10) geokompozit drenajın etkisini incelemek amacı ile tabanında geokompozit drenaj kullanılan kum dolgu şevin sızma deneyi de 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında yapılmıştır. Fiziksel modelin inşasının tamamlanmasından dört gün sonra deney zemin kutusunun su haznesine su verilmesi ile 01.12.2015 tarihinde başlamıştır (Şekil 4.11).

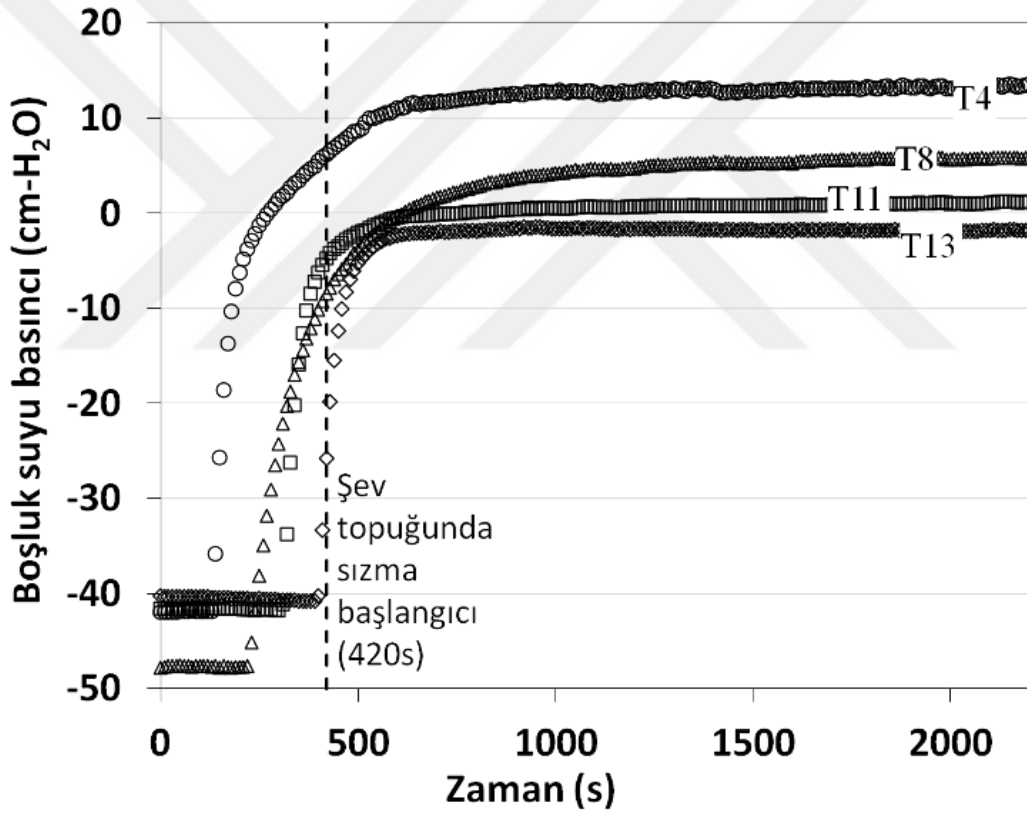


Şekil 4.11 Tabanında geokompozit drenaj kullanılan kum dolgu şevin kademeli olarak inşası sırasında tahmin edilen toplam basınçlarla basınç plakası okumalarının karşılaştırılması

Modelin en alt sırasına yerleştirilmiş T4, T8, T11 ve T13 tansiyometreleri tarafından deney sırasında ölçülen boşluk suyu basınçlarının zamana göre değişimleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Deney, uygulanan sabit hidrolik yük altında boşluk suyu basınçları kararlı hale geldiklerinde sonlandırılmıştır (Şekil 4.12). Sızma suyunun şev yüzeyinden ilk çıkışı topuk bölgesinde deney başlangıcından itibaren 420 s gözlemlenmiştir (Şekil 4.12). Bu sızma zamanı hem matris (Şekil 4.2b) hem de

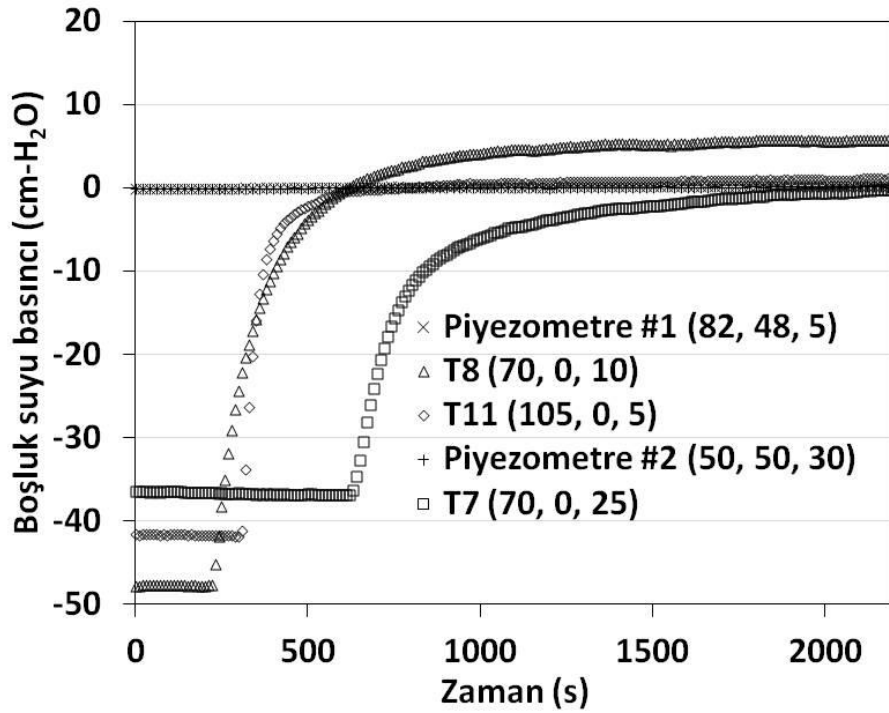
tabanında geotekstil kullanılan (Şekil 4.8) modele göre çok daha erken gözlemlenmiştir.

Tıpkı bundan önceki modellerde olduğu gibi, sızma sularının şev genişliği boyunca üniform olarak ilerleyip ilerlemediğinin kontrolü amacıyla zemin kutusunun duvarına yerleştirilen tansiyometrelerle şev içerisine yerleştirilen piyezometre ölçümlerinin karşılaştırılması karşılaştırılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.12 Tabanında geokompozit drenaj kullanılan kum dolgu şevinde 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altındaki tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçları

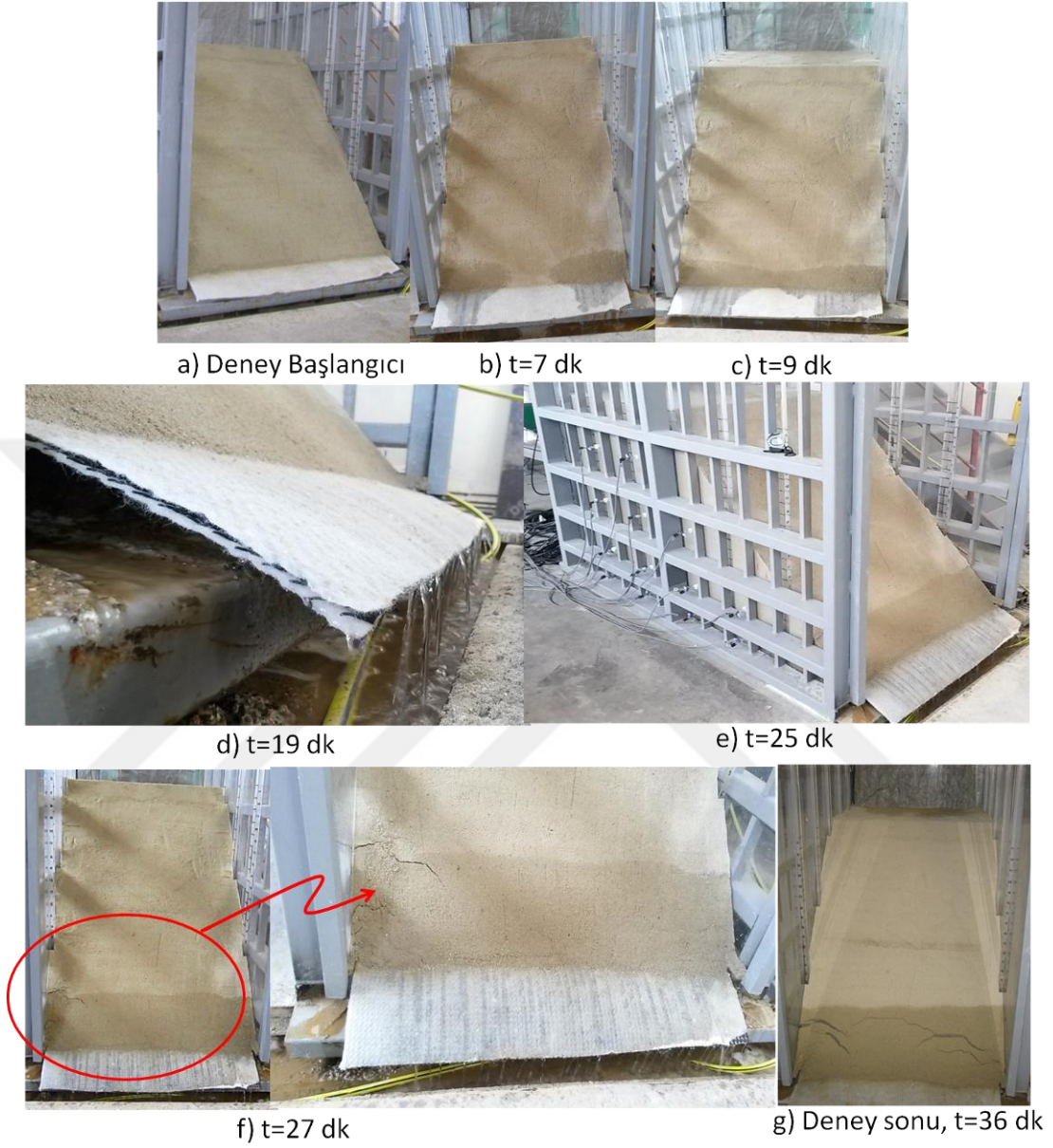
Deney kararlı akım durumuna geldiği zaman piyezometre #1 tarafından ölçülen boşluk suyu basıncı 0.2 cm-H₂O iken civarındaki tansiyometreler T8 ve T11 tarafından ölçülenler ise sırası ile 5.8 cm- ve 1.2 cm-H₂O'dur. Piyezometre #2 ve tansiyometre T7 tarafından ölçülen değerler ise sırası ile -0.17 cm- ve 0.2 cm-H₂O'dur (Şekil 4.13). Sızma suyunun ilerleyişine bağlı olarak tansiyometreler ve piyezometreler tarafından ölçülen benzer boşluk suyu basınç değerleri şev içerisindeki akış dinamiğinin homojen olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 4.13 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında tabanında geokompozit drenaj kullanılan kum dolgu şevinde piyezometreler ve tansiyometreler tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.14'de deneyin başlangıcından bitişine kadar olan süreçteki şevin fiziksel durumu gösterilmiştir. Görüldüğü üzere geokompozit drenaj aktif olarak çalışarak (Şekil 4.14d) şev içerisindeki boşluk suyu basınçlarının daha önceki deneylerde gözlemlenen global göçmeyi tetikleyecek mertebelerine yükselmesine izin vermemiştir. Deneyin 27. dakikasında şev yüzeyinde gözlemlenen yüzeysel kılcal çatlaklar (Şekil 4.14f) şev içerisindeki boşluk suyu basınçlarının kararlı hale gelmesinden dolayı (Şekil 4.12) herhangi bir göçmeyi tetikleyecek mertebeyle ulaşmamışlardır.

100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında, hem matris (Şekil 4.6) hem de tabanında geotekstil kullanılan kum dolguda (Şekil 4.10) meydana gelen benzer global şev göçmelerinin, geokompozit drenaj kullanıldığında önlenmesi geokompozitlerin yüksek drenaj kapasiteleri sayesinde şev içerisinde meydana gelen boşluk suyu basınçlarını azaltabilmesi ile açıklanabilir. Kararlı akım durumunda matris dolguda T4, T8, T11 ve T13 tarafından kayıt edilen boşluk suyu basınçları sırası ile 75 cm-, 59.5 cm-, 44.0 cm- ve 32.5 cm-H₂O (Şekil 4.2b) iken aynı tansiyometrelerin tabanında geokompozit drenaj kullanılan dolguda kararlı akım durumunda kayıt ettiği basınçlar sırası ile 13.5 cm-, 5.9 cm-, 1.2 cm- ve -1.8 cm-H₂O'dur (Şekil 4.12). Geokompozitin yüksek drenaj kapasitesi sayesinde şev içerisinde oluşan boşluk suyu basınçlarındaki bu kayda değer azalmalar (Tablo 4.1) global göçmenin önüne geçmiştir.



Şekil 4.14 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında tabanında geokompozit drenaj kullanılan kum dolgu şevin sızma kuvvetleri altındaki davranışı

Tablo 4.1 Matris Dolgu ile Tabanında Geokompozit Kullanılmış Dolguda
Tansiyometrelerdeki Yüzdesel Azalmalar

Tansiyometre	Matris Kum Dolgu (T_{matris}) (cm-H ₂ O)	Tabanında Geokompozit Drenaj Kullanılan Kum Dolgu ($T_{\text{geokompozit}}$) (cm-H ₂ O)	Fark = $((T_{\text{matris}} - T_{\text{geokompozit}}) / T_{\text{matris}})$ (%)
T4	75	13.5	82
T8	59.5	5.9	90
T11	44	1.2	97
T13	32.5	-1.8	>100

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tabanında geotekstil ve geokompozit drenaj kullanılan kum dolgunun sızma kuvvetleri altındaki davranışları laboratuvar model deneyleri ile incelenmiştir. Bu kapsamda toplam dört adet fiziksel şev model deneyi yapılmıştır. Bu modellerden iki tanesi sadece kum dolgu malzemesi (Matris Dolgu) kullanarak imal edilen deneylerden oluşurken, birinin tabanında geotekstil diğerinde ise geokompozit drenaj olan dolgulardan oluşmaktadır. 100 cm-H₂O sabit hidrolik yük altında hem matris hem de tabanında geotekstil kullanılan dolgularda topuktaki sığ göçmeleri takiben dolgu kretinde başlayan ve topukta sona eren dairesel kayma yüzeyleri elde edilmiştir. Bunun yanında tabanda geokompozit drenaj uygulanan dolgu ise sızma kuvvetleri altında fiziksel değişime maruz kalmayarak stabilitesini korumuştur.

Tabanında geotekstil kullanılan kum dolguda, geotekstilin sınırlı drenaj kapasitesinden dolayı matris dolguya göre herhangi bir boşluk suyu basıncında azalma gözlemlenmemiş iken, geokompozit kullanılan dolguda ise boşluk suyu basınçlarında önemli derecede azalma gözlemlenmiştir.

Zayıf zemin güzergâhları üzerine inşa edilen otoyol dolgu tabanlarını geleneksel zemin ıslahı yöntemleri yerine, yüksek çekme mukavemetine sahip geotekstiller ile güçlendirme yaygınlıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu sayede otoyol dolgusundan dolayı meydana gelen oturmaların izin verilen sınırlar içinde kalması ve dolgu stabilitesinin artırılması sağlanmaktadır. Bununla birlikte, sızmaya maruz kumlu dolguların taban güçlendirmesinde geotekstiller kullanılacakları zaman ilave drenaj

önlemlerinin alınması gerekmektedir. Bu amaçla, drenaj kapasiteleri geotekstillere nazaran çok daha yüksek geokompozit drenajlar kullanılabilir.

Bu çalışma laboratuvarda küçültülmüş ölçek prototip fiziksel deneyler yardımıyla kumlu dolguların sızma kuvvetleri altındaki davranışlarının incelenmesine ışık tutmaktadır. Geleneksel arazi uygulamasındaki örtü basınçlarına laboratuvar ölçeğinde ulaşmak için deney sistemine sürşarj uygulayabilecek donanım ve mekanizmaların eklenmesi ilerdeki 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., Elbeyli, Y. & Pular, M., 2016. Investigating the failure mechanisms of sandy slopes under seepage using reduced scale laboratory models, 4th International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

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 10th 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.

Arab, R., Cherifi, F. & Loudjani, F., 2009. Landfill drainage with geocomposites, Colloque International Sols Non Saturés et Environnement UNSATlemcen09.

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 1987, 2016. Standard test method for biological clogging of geotextile or soil/geotextile filters. 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 D2434 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 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 4439, 2015. Standard terminology for geosynthetics. 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 5084, 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 7181, 2011. Method for consolidated drained triaxial compression test for soils. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

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.

- 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.
- Bilodeau, J.P., Dore, G. & Savoie, C., 2015. Laboratory evaluation of flexible pavement structures containing geocomposite drainage layers using light weight deflectometer, *Geotextiles and Geomembranes* 43, 162-170.
- Borges, J. L. & Cardoso, A. S., 2002. Overall stability of geosynthetic-reinforced embankment on soft soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 395-421.
- Chai, J.-C. & Zhu, H.-H., 2002. Behavior Of Reinforced Embankment Over Soft Subsoil, *Proc. of Inter. Seminar on Practice and Advance in Geotechnical Engineering*, Shanghai, China, 2002.
- Chaiyaput, S., Bergado, D.T. & Artidteang, S., 2014. Measured and simulated results of a Kenaf Limited Life Geosynthetics (LLGs) reinforced test embankment on soft clay, *Geotextiles and Geomembranes*, 42, 39-47.
- Chen, R. L. H., Leng, J., & Zhao, A., 2005. Performance of concrete pavements using geocomposite drainage layer, *Geofrontiers 2005*, GRI-18 Geosynthetics Research and Development in Progress, Austin, Texas, January 24-26, 2005.
- Christopher, B.R., Hayden, S.A. & Zhao, A., 2000. Roadway Base and Subgrade Geocomposite Drainage Layers, ASTM STP 1390, J. B. Goddard, L. D. Suits and J. S. Baldwin, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.
- Christopher, B. R. & Wagner, A. B., 1988. A Geotextile Reinforced Embankment for a Four Lane Divided Highway – U.S. Hwy. 45, West Bend, Wisconsin, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. Paper 1.
- Cole, J., Walls, J. & Collins, R., 2014. Husab Tailings Storage Facility Containment Design, *Proceedings of Geosynthetics Mining Solutions*, 2014 September 8–11, 2014, Vancouver, Canada.
- Elbeyli, Y., 2016. Geotekstil ile güçlendirilmiş marjinal dolguların sızma kuvvetleri altındaki davranışlarının laboratuvar deneyleri ile incelenmesi, T. C. Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Evans B.M.D., Henry K.S., Hayden S.A. & Reese M., 2002. The Use Of Geocomposite Drainage Layers To Mitigate Frost Heave In Soils, *Cold Regions Engineering*: pp. 323-335.

Federal Highway Administration (FHWA), (2009). "Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I" NHI Courses No. 132042 and 132043 Manuel, Publication No. FHWA-NHI-10-024, FHWA, Washington D.C.

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

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.

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

Intermas Geosynthetics, Interma Nets, S. A, Spain. Product specifications of Tec H Drain GTG 520UV-12 drainage geocomposite.

Khosravi A. A., Rahimi H. & Eskandari G. H., 2011. Performance of geocomposite and granular drains under irrigation canal linings, *Geosynthetics International*, 18, No. 1, 48–55.

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*, 6th 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.

McCartney, J.S. & Berends, R.E., 2010. Measurement of filtration effects on the transmissivity of geocomposite drains for phosphogypsum, *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 226–235.

McKean, J. & Inouye, K., 2001. Field evaluation of the long-term performance of geocomposite sheet drains, *Geotextiles and Geomembranes*, 19, 213–234.

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.

- Müller, W. W., Jakob, I. & Tatzky-Gerth, R. (2008). Long-term water flow capacity of geosynthetic drains and structural stability of their drain cores, *Geosynthetics International*, 15, No. 6, 437–451.
- Narejo, D., 2013. Finite element analysis experiments on landfill cover drainage with geosynthetic drainage layer, *Geotextiles and Geomembranes*, 38, 68-72.
- Negussey, G. & Stuedlein, A., 2003. Geofilm fill performance monitoring, Utah Department of Transportation Research Division, Report No. UT-03.17, SLC, UT.
- Özer, A. T. & Akay, O., 2016. Performance of hybrid lightweight slope system under seepage, 6th European Geosynthetics Congress, Ljubljana, Slovenia, September 25-28, 2016, 735-742.
- Özer, A.T., 2016. Laboratory study on the use of EPS-block geofilm for embankment widening, *Geosynthetics International*, 23(2), 71-85.
- Özer, A. T. & Akay, O., 2014. Use of interlocked EPS block geofilm for sandy slopes subjected to seepage flow. *Proceedings of 10th 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 geofilm. *Geotextiles and Geomembranes*, 42(2), 166-180.
- Özer, A. T. & Bromwell, L. G. (2011). Use of geocomposite drain against rapid drawdown loading for roller compacted concrete (RCC) armored earth dam. *Geosynthetics International*, 18(5), 207-220
- 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.
- Raymond G.P., Bathurst R.J. & Hajek J., 2000. Evaluation and suggested improvements to highway edge drains incorporating geotextiles, *Geotextiles and Geomembranes*, 18, 23-45.
- 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., 1985. An approximate method for estimating the stability of geotextile reinforced embankments, *Canadian Geotechnical Journal* 22 (3), 392-398.
- Rowe, R. K., Maclean., M. D. & Soderman., K. L., 1984. Analysis of a geotextile-reinforced embankment constructed on peat, *Can. Geotech. J.* 21, 563-576.
- Safadoust, J., Amiri, S.N. & Esmaeily, A., 2013. Numerical Analysis of Reinforced Embankment Over Soft Foundation, *Journal of Engineering Science and Technology Review* 6 (3), 153-159.
- Sarsby, R.W., 2007. *Geosynthetics in Civil Engineering*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- Smith, C.C. & Tatari, A., 2016. Limit analysis of reinforced embankments on soft soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 44, 504-514.
- Snow M. & Cotton D., 2000. Design and Installation Considerations of Geocomposite Drains in Soil Nail Walls, *GeoInstitute Conference August 2000, Denver, Colorado*, 103: 129-139.
- Swift, G. & Jones, R., 2008. The Design and Construction of a Reinforced Embankment on Soft Compressible Soil, *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, 46.
- 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.
- Ten Cate Nicaolon, MIRAFİ, *Geosynthetics for soil reinforcement, Reinforced Soil Engineering*.
- Varuso, R.J., Grieshaber, J.B. & Nataraj, M.S., 2005. Geosynthetic reinforced levee test section on soft normally consolidated clays, *Geotextiles and Geomembranes*, 23, 362-383.
- 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.
- 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, *Procedia 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: Murat Pular

Doğum Yeri: Polatlı

Doğum Tarihi: 17.06.1990

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, 2012

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

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

- Okan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Öğrenci Asistanı, 2015- Devam Ediyor
- Kaya Mühendislik Müş. Taah. Tic. Ltd. Şti., İnşaat Mühendisi, 02.02.2013-02.11.2013

İLETİŞİM

E-posta Adresi: mpular_22@hotmail.com