

İSTANBUL OKAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



— İSTANBUL —
OKAN ÜNİVERSİTESİ

LİF KATKILI KUMUN HİDROLİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE YERALTI SUYU SIZMA EROZYONUNA
KARŞI UYGULANMASININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YELDA LEVENT YÜZER

tarafından

YÜKSEK LİSANS

derecesi şartını sağlamak için hazırlanmıştır.

Ağustos 2018

Program: İnşaat Mühendisliği

LİF KATKILI KUMUN HİDROLİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE YERALTI SUYU SIZMA EROZYONUNA
KARŞI UYGULANMASININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YELDA LEVENT YÜZER

tarafından

İSTANBUL OKAN ÜNİVERSİTESİ

İnşaat Mühendisliği Bölümüne

Yüksek Lisans

derecesi şartını sağlamak için sunulmuştur.

Onaylayan:

Dr. Öğr. Üyesi Onur AKAY
Danışman

Doç. Dr. Abdullah Tolga ÖZER
İkinci Danışman

Prof. Dr. Hafzullah AKSOY
Üye

Prof. Dr. Cevza Melek
KAZEZYILMAZ ALHAN
Üye

Prof. Dr. İlknur BOZBEY
Üye

Ağustos 2018

Program: İnşaat Mühendisliği

ÖZET

Yeraltı suyu akımı doğal şevlerde erozyona yol açan başlıca sebeplerden biridir. Toprak kaymalarına, şev stabilite (duraylılık) kayıplarına yol açabilir. Stabilite kayıpları ya şev stabilitesini koruyan kuvvetleri artırarak, ya da şevi devirmeye çalışan kuvvetleri azaltarak önlenir. Bu çalışmada, şev koruyan kuvvetleri artırma prensibine dayalı kumlu şev zemine sentetik fiber (lif) katkısı uygulanmaktadır. Burada kullanılan lifin uzunlukları 6 mm ve 18 mm olarak seçilmiştir. Bu kapsamda öncelikle kullanılan kumun zemin sınıflandırma deneyleri gerçekleştirilmiştir (elek analizi, 200 no'lu elekten geçen madde miktarı, minimum ve maksimum boşluk oranı ve özgül ağırlık). Lif katkılı kumun hidrolik özelliklerinin belirlenmesi kapsamında ise hidrolik geçirgenlik ve su tutma kapasitesi deneyleri hem katkısız hem de lif katkılı olmak üzere ağırlıkça polipropilen (PP) lif oranı %0.1, %0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6, %0.7, %0.8, %0.9 ve %1.0 olan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesinde üç eksenli basınç deney düzeneği kullanılmış, konsolidasyonlu drenajlı (CD) deneyler hidrolik testlerde olduğu gibi 10 farklı lif oranında teste tabii tutulmuştur. Bu testlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda üç farklı katkı oranı belirlenmiş (%0.3, %0.5 ve %1.0) ve bu oranlarda üç boyutlu (3D) fiziksel şev modeli deneyleri yapılmıştır. Laboratuvarda 100 cm uzunluğunda, 50 cm genişliğinde ve 55 cm yüksekliğinde 45 derecelik şev elde edilecek şekilde katkısız ve lif katkılı kum 3D erozyon kanalı içerisinde inşa edilmiştir. Üç farklı hidrolik yük sınır koşulu (25, 38 ve 50 cm-su) altında, iki farklı lif uzunluğu (6mm ve 18mm) ve üç farklı katkı oranı (%0.3, %0.5 ve %1.0) kullanılarak toplam 21 adet deney (18 adet katkılı, 3 adet katkısız) yapılmıştır. Şev

yüzeyinde meydana gelen şekil değiştirmeler üç boyutlu lazer tarayıcı ile taranmış ve erozyon hacimleri belirlenmiştir. Sızma suyu erozyonunun önlenmesinde zemin içerisindeki lif katkısının etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı suyu akımı; Sızma suyu; Sentetik lif; Şev stabilitesi; 3D lazer tarama.



ABSTRACT

Subsurface flow has been one of the major factors which provoke erosion on natural slopes. This could lead to landslides, and the loss of the slope stability. The loss of slope stability could be prevented either by increasing the forces which retain the slope stability or by decreasing the forces which drive the failure of the slope. In this study, the admixture of synthetic fiber into sandy slope was carried out on the basis of increasing the forces which retain the slope. Fiber lengths used in this study were selected as 6 mm and 18 mm. In this respect, the classification tests of the sand used in this study was carried out initially (particle size distribution, analysis of the amount of the particles passing through the mesh no 200, minimum and maximum opening size and specific gravity) In order to determine the hydraulic properties of fiber reinforced sand, hydraulic permeability and water retention tests were performed on both unreinforced and fiber reinforced samples with polypropylene fiber gravimetric content of 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, 0.7%, 0.8%, 0.9%, and 1.0%. Triaxial compression test setup was used in determination of shear strength parameters and, consolidated drained (CD) tests were conducted on 10 different fiber content as in the hydraulic tests. In accordance with all the results obtained from these tests, three different gravimetric contents were selected (0.3%, 0.5% and 1.0%) for three-dimensional physical slope experiments. Both unreinforced and fiber-reinforced sand was constructed in 3D laboratory erosion flume to obtain a 45° slope with dimensions of 100 cm long, 50 cm wide and 55 cm high. A total of 21 experiments (18 reinforced and 3 unreinforced slope) were performed using two different fiber length (6 mm and 18 mm) and three different fiber gravimetric content (0.3%, 0.5%

and 1.0%) under 3 different hydraulic head boundary conditions (25-, 38-, and 50 cm-water). The displacements occurred on the slope surface were measured by using three-dimensional laser scanner and the volume of seepage erosion was computed. In an effort to prevent seepage erosion, fibers were found to be an effective additive to the soil.

Keywords: Subsurface flow; Seepage; Synthetic fiber; Slope stability; 3D laser scanning.



TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde çalışma süresince değerli bilgilerini paylaşan, her daim yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Onur Akay'a, tez ikinci danışman hocam Doç. Dr. A.Tolga Özer'e teşekkürlerimi sunarım. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar bursiyer olarak görev aldığım Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı 215M745 numaralı proje (Lif katkılı kumlu şevlerin sızma suları altındaki davranışlarının fiziksel laboratuvar deneyleri ve nümerik analizler ile incelenmesi) tarafından desteklenmiştir. Tezin incelenmesindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Hafzullah Aksoy'a, Prof. Dr. Melek Kazezyılmaz Alhan'a ve Prof. Dr. İlknur Bozbey'e teşekkürlerimi sunarım. Tüm deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli teknisyen arkadaşım Halis Şahin'e, yüksek lisans öğrencisi İnşaat Mühendisi Mert Bilen'e, çalışan öğrenci programında İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında görev alan Lisans öğrencilerinden Atakan Canoğlu'na, teşekkürlerimi sunarım. Son olarak; hayatımın her evresinde desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

I. GİRİŞ.....	1
II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
III. MALZEME VE METOT.....	14
3.1. ZEMİN SINIFLANDIRMA TESTLERİ.....	14
3.2. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TESTLERİ.....	14
3.3. HİDROLİK GEÇİRGENLİK TESTLERİ.....	17
3.4. SU TUTMA KAPASİTESİ TESTLERİ.....	18
3.5. ÜÇ BOYUTLU (3D) AKARSU ŞEV MODEL DENEYLERİ.....	19
IV. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1. ZEMİN SINIFLANDIRMA TEST SONUÇLARI.....	25
4.2. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST SONUÇLARI.....	27
4.3. HİDROLİK GEÇİRGENLİK TEST SONUÇLARI.....	30
4.4. SU TUTMA KAPASİTESİ TEST SONUÇLARI.....	32
4.5. ÜÇ BOYUTLU (3D) AKARSU ŞEV MODEL DENEY SONUÇLARI.....	35
4.5.1. Katkısız şev.....	36
4.5.2. Lif katkılı şevler.....	37
V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	41
VI. KAYNAKLAR.....	43
EKLER.....	59
EK 1. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORLARI.....	60
EK 2. ÜÇ BOYUTLU (3D) AKARSU ŞEV MODEL DENEY FOTOĞRAFLARI VE LAZER TARAMALARI.....	82
EK 3. ÜÇ BOYUTLU (3D) AKARSU ŞEV MODEL DENEYLERİNDE BOŞLUK SUYU BASINÇ VE YÜZEYSEL YER DEĞİŞTİRME ÖLÇÜMLERİ.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	126

TABLO LİSTESİ

TABLO 3.1. KUM İÇİNE KATILAN LİFİN ÖZELLİKLERİ.....	17
TABLO 3.2. FİZİKSEL ŞEV MODELLERİ İÇİN DENEY KOŞULLARI	24
TABLO 4.1. KUMUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	26
TABLO 4.2. 6 MM LİF KATKISI İÇİN CD ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST SONUÇLARI.....	28
TABLO 4.3. 18 MM LİF KATKISI İÇİN CD ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST SONUÇLARI.....	28
TABLO 4.4. 6 MM LİF KATKISI İÇİN SABİT SEVİYELİ PERMEABİLİTE TESTİ SONUÇLARI ...	31
TABLO 4.5. 18 MM LİF KATKISI İÇİN SABİT SEVİYELİ PERMEABİLİTE TESTİ SONUÇLARI .	32

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 2.1. AKARSU HİDROGRAFININ PİK SEVİYEDEN TABAN AKIŞI SEVİYESİNE DÜŞMESİYLE KIYI ŞEVLERİNDE OLUŞAN YERALTI SUYU SIZMA AKIMI	5
ŞEKİL 2.2. YAMAÇ VE ŞEVLERDE BULUNAN AĞAÇ/BİTKİ KÖKLERİNİN YÜZEYSEL GÖÇMELERİ ÖNLEMESİ (FOTOĞRAF ÇEKİM TARİHİ: 18 MART 2018, YER: BELGRAD ORMANI, SARIYER, İSTANBUL)	8
ŞEKİL 3.1. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TESTİ ÇERÇEVESİ, BOŞLUK SUYU VE HÜCRE BASINCI POMPALARI	15
ŞEKİL 3.2. 6 MM VE 18 MM POLİPROPİLEN SENTETİK LİF	16
ŞEKİL 3.3. POROZ SERAMİK UÇLU (2.5 CM UZUNLUĞUNDA - BEYAZ RENK) TANSİYOMETRE	19
ŞEKİL 3.4. LABORATUVAR 3D ŞEV MODELİ VE ZEMİN KUTUSU/EROZYON KANALI: (A) DENEY DÜZENEGİ; (B) TANSİYOMETRELERİN (T1–T22) VE LAZER POTANSİYOMETRELERİN (LP1–LP6) KONUMLARI.....	20
ŞEKİL 3.5. VERİ GÜNLÜKLEYİCİSİ/DATALOGGER DÜZENEGİ.....	21
ŞEKİL 3.6. DENEY ANINDA ŞEV YÜZEYİNİ ÜÇ BOYUTLU LAZER İLE TARAMA.....	23
ŞEKİL 4.1. KUM MALZEMESİNDEN ALINAN TOPLAM 5 ADET TEST NUMUNESİNİN DANE ÇAPI DAĞILIM EĞRİLERİ.....	25
ŞEKİL 4.2. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TESTLERİ (CD) İÇİN LİF KATKILI NUMUNE HAZIRLANIŞI	27

ŞEKİL 4.3. SU TUTMA TESTİ İÇİN 11 ADET NUMUNENİN (1 ADET KATKISIZ + 10 ADET 6 MM LİF KATKILI) HAZIRLANMASI VE BOŞLUK SUYU BASINÇLARININ TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜMÜ	32
ŞEKİL 4.4. KATKISIZ KUM VE 6 MM LİF KATKILI NUMUNELERDEN ELDE EDİLEN BOŞLUK SUYU BASINCI – HACİMSEL SU MUHTEVASI VERİ ÇİFTLERİ.....	34
ŞEKİL 4.5. KATKISIZ KUM VE 18 MM LİF KATKILI NUMUNELERDEN ELDE EDİLEN BOŞLUK SUYU BASINCI – HACİMSEL SU MUHTEVASI VERİ ÇİFTLERİ.....	35
ŞEKİL Ek 1.1. KATKISIZ KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	61
ŞEKİL Ek 1.2. 6 MM %0.1 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	62
ŞEKİL Ek 1.3. 6 MM %0.2 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	63
ŞEKİL Ek 1.4. 6 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	64
ŞEKİL Ek 1.5. 6 MM %0.4 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	65
ŞEKİL Ek 1.6. 6 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	66
ŞEKİL Ek 1.7. 6 MM %0.6 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	67
ŞEKİL Ek 1.8. 6 MM %0.7 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	68
ŞEKİL Ek 1.9. 6 MM %0.8 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU	69
ŞEKİL Ek 1.10. 6 MM %0.9 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	70
ŞEKİL Ek 1.11. 6 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	71
ŞEKİL Ek 1.12. 18 MM %0.1 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	72
ŞEKİL Ek 1.13. 18 MM %0.2 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	73
ŞEKİL Ek 1.14. 18 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	74
ŞEKİL Ek 1.15. 18 MM %0.4 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	75
ŞEKİL Ek 1.16. 18 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	76

ŞEKİL EK 1.17. 18 MM %0.6 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	77
ŞEKİL EK 1.18. 18 MM %0.7 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	78
ŞEKİL EK 1.19. 18 MM %0.8 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	79
ŞEKİL EK 1.20. 18 MM %0.9 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	80
ŞEKİL EK 1.21. 18 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ÜÇ EKSENLİ BASINÇ TEST RAPORU.....	81
ŞEKİL EK 2.1. KATKISIZ KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: (A) T = 2580 s; (B) T = 3240 s; (C) T = 4500 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 25/08/2017).....	83
ŞEKİL EK 2.2. KATKISIZ KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: (A) T = 1260 s; (B) T = 1560 s; (C) T = 1800 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 25/08/2017).....	84
ŞEKİL EK 2.3. KATKISIZ KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: (A) T = 960 s; (B) T = 1020 s; (C) T = 1380 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 07/09/2017).....	85
ŞEKİL EK 2.4. 6 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER	

DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 5400 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 02/10/2017).....	86
ŞEKİL Ek 2.5. 6 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: (A) T = 2640 s; (B) T = 3120 s; (C) T = 3900 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 02/10/2017).....	87
ŞEKİL Ek 2.6. 6 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: (A) T = 1860 s; (B) T = 2040 s; (C) T = 2340 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 03/10/2017).....	88
ŞEKİL Ek 2.7. 18 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 5400 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 15/01/2018).....	89
ŞEKİL Ek 2.8. 18 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 18/04/2018).....	90

ŞEKİL Ek 2.9. 18 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: (A) T = 1200 s; (B) T = 1500 s; (C) T =
 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 19/04/2018)91

ŞEKİL Ek 2.10. 6 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 5400 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE
 LAZER TARAMA TARİHİ: 03/11/2017).....92

ŞEKİL Ek 2.11. 6 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE
 LAZER TARAMA TARİHİ: 03/11/2017).....93

ŞEKİL Ek 2.12. 6 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: (A) T = 1440 s; (B) T = 2280 s; (C) T =
 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 03/11/2017)94

ŞEKİL Ek 2.13. 18 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)

YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 5400 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 28/11/2017).....	95
ŞEKİL Ek 2.14. 18 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLENEN SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 29/11/2017).....	96
ŞEKİL Ek 2.15. 18 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLENEN SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 30/11/2017).....	97
ŞEKİL Ek 2.16. 6 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLENEN SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 5400 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 22/08/2017).....	98
ŞEKİL Ek 2.17. 6 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLENEN SIZMA EROZYONU FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ) YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3300 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE LAZER TARAMA TARİHİ: 22/08/2017).....	99

- ŞEKİL Ek 2.18. 6 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 50 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE
 LAZER TARAMA TARİHİ: 23/08/2017)..... 100
- ŞEKİL Ek 2.19. 18 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 25 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 5400 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE
 LAZER TARAMA TARİHİ: 23/03/2018)..... 101
- ŞEKİL Ek 2.20. 18 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 38 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE
 LAZER TARAMA TARİHİ: 20/03/2018)..... 102
- ŞEKİL Ek 2.21. 18 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 50 CM-SU
 HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA GÖZLEMLenen SIZMA EROZYONU
 FOTOĞRAFI, SAYISAL NOKTA BULUTU VE SIZMA EROZYONUNUN DÜŞEY (Z EKSENİ)
 YER DEĞİŞTİRMELERİ (M) PLAN GÖRÜNÜMÜ: T = 3600 s (FOTOĞRAF ÇEKİM VE
 LAZER TARAMA TARİHİ: 19/03/2018)..... 103
- ŞEKİL Ek 3.1. KATKISIZ KUM ŞEV MODELİ DENeyİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR
 KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU

BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	105
ŞEKİL Ek 3.2. KATKISIZ KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	106
ŞEKİL Ek 3.3. KATKISIZ KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	107
ŞEKİL Ek 3.4. 6 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	108
ŞEKİL Ek 3.5. 6 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	109
ŞEKİL Ek 3.6. 6 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	110

ŞEKİL Ek 3.7. 18 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	111
ŞEKİL Ek 3.8. 18 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	112
ŞEKİL Ek 3.9. 18 MM %0.3 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	113
ŞEKİL Ek 3.10. 6 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	114
ŞEKİL Ek 3.11. 6 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	115
ŞEKİL Ek 3.12. 6 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN	

ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	116
ŞEKİL Ek 3.13. 18 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	117
ŞEKİL Ek 3.14. 18 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	118
ŞEKİL Ek 3.15. 18 MM %0.5 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	119
ŞEKİL Ek 3.16. 6 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	120
ŞEKİL Ek 3.17. 6 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	121

ŞEKİL Ek 3.18. 6 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	122
ŞEKİL Ek 3.19. 18 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 25 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	123
ŞEKİL Ek 3.20. 18 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 38 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	124
ŞEKİL Ek 3.21. 18 MM %1.0 LİF KATKILI KUM ŞEV MODELİ DENEYİNDE 50 CM-SU HİDROLİK YÜK SINIR KOŞULU ALTINDA (A) TANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN BOŞLUK SUYU BASINÇLARI; (B) LAZER POTANSİYOMETRELER TARAFINDAN ÖLÇÜLEN ŞEV YÜZEYİNDEKİ YER DEĞİŞTİRMELER	125

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	Bağıl Özgül Ağırlık
k_{sat}	Doygun Hidrolik Geçirgenlik
ϕ	Toplam Gerilmelere Göre İçsel Sürtünme Açısı
ϕ'	Efektif Gerilmelere Göre İçsel Sürtünme Açısı
γ_d	Kuru Birim Hacim Ağırlık
h	Boşluk Suyu Basıncı

KISALTMALAR

CBR	Kaliforniya Taşıma Oranı
CD	Konsolidasyonlu Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi
LL	Likit Limit
PA	Poliyamid
PET	Polietilen tereftalat
PE	Polietilen
PMMA	Poli metil metakrilat (Pleksiglas)
PP	Polipropilen
SP	Kötü Derecelenmiş Kum
USCS	Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi

I. GİRİŞ

Sızma sularının neden olduğu şev duraylılığı kayıplarını önlemenin iki yolu vardır. Bunlardan birincisi şevin duraylılığını koruyan kuvvetleri artırmak iken ikincisi şevi devirmeye çalışan kuvvetleri azaltmaktır. Bu çalışmada, şevi koruyan kuvvetleri artırma yolu olarak zeminin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi seçilmiştir. Bu kapsamda, şev erozyonları ve heyelanların önlenmesinde sıklıkla kullanılan bitkilendirme ve ağaçlandırma faaliyetlerinden esinlenerek kumlu şev zemine sentetik fiber (lif) katkısı yapılacaktır. Lif katkısının zeminlerin kayma mukavemetini, Kaliforniya taşıma oranını (CBR), penetrasyon ve serbest basınç mukavemetlerini artırdığı, deformasyonlarını, şişme basınçlarını ve büzölmelerini azalttığı bilinmesine rağmen sızma kuvvetleri altındaki davranışları henüz araştırılmamıştır.

Bu çalışmada, sentetik lif ailesinden polipropilen (PP) liflerle güçlendirilmiş şevlerin sızma kuvvetleri altındaki davranışları laboratuvarda fiziksel şev modelleri kurularak incelenmiştir. Bu kapsamda 21 adet fiziksel şev modeli (şev açısı 45°) hazırlanmıştır. Bu modeller kuru birim hacim ağırlığı 14 kN/m³ olacak şekilde ve 2.5 cm yüksekliğinde basamak şeklinde sıkıştırılmıştır. Sızma akışını oluşturmak için 25 cm-su, 38 cm-su ve 50 cm-su olacak şekilde hidrolik yük sınır koşulu uygulanmıştır.

Tezin içeriğinde öncelikle Bölüm II'de yeraltı suyu sızma suları altında oluşan erozyon hakkında önceki çalışmalara değinilmiştir. Bölüm III'de laboratuvar çalışmasında kullanılan malzemelerin sınıflandırma, mekanik ve hidrolik özelliklerinden oluşan kapsamlı deney çalışmaları ve bunlarla birlikte laboratuvar

fiziksel Őev model deneylerinde kullanılan dűzenek ile ilgili detaylı bilgiler sunulmuŐtur. Bűlűm IV’de laboratuvar Őev model deneylerinin sonuŐları tartiŐılmıŐtır. Bűlűm V’de çalıŐmanın sonuŐları űzetlenmiŐtir.

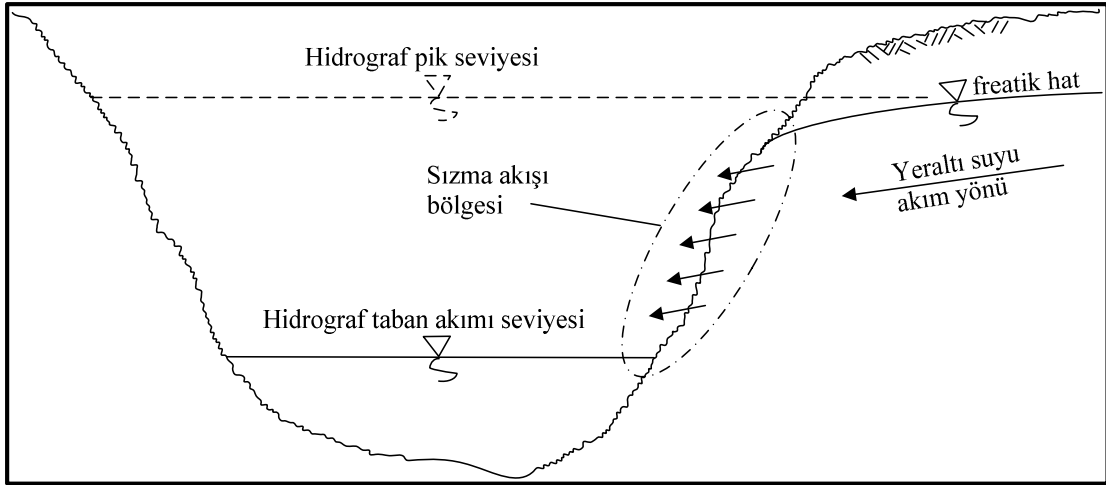


II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Akarsularda meydana gelen sediment hareketinin (askı ve sürüntü maddesi taşınımı) iki ana kaynağını akarsu tabanındaki oyulma ile şevlerindeki erozyon oluşturur. Amerika Birleşik Devletleri'nde akarsulardaki su sağlığı envanterinin çıkarılması üzerine yapılan bir araştırmada en çok karşılaşılan su kalitesi probleminin sediment taşınımı olduğu gösterilmiştir (Langendoen ve Simon, 2008). Akarsu havzası ve akarsu şev yamaçlarındaki erozyon sonucu su akımına karışan ince daneli zemin partiküllerinin su kalitesini bozduğu araştırması yapılan akarsuların %38'inde görülmüştür. Kuzey Amerika'da toprak ve kaya yüzeylerinden erozyona uğrayan yıllık yaklaşık 600 milyon ton sedimentin akarsularla taşınımının yarattığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik hasarlar yıllık 16 milyar doları geçmektedir (Osterkamp vd., 1998). Ülkemizde de yapılan benzer bir envanter çalışmasına göre her yıl yaklaşık 210 milyon ton sediment (168 milyon ton askı maddesi, 42 milyon ton sürüntü maddesi) nehirler ile taşınmaktadır (Dinçsoy, 2013). Türkiye'de en çok sediment taşıyan akarsularımız arasında Fırat, Çoruh, Yeşilırmak ve Kızılırmak yer alırken Dalaman Çayı ve İyidere havzalarının ise ormanlarla kaplı güçlü birer doğal bitki örtüsüne sahip olmalarından dolayı en az sediment taşıyan akarsularımız arasındadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2018).

Akarsu tabanı oyulması ve şev erozyonu mekanizmaları bir akarsuyun su kalitesinin yanı sıra akarsuyun morfolojisini ve üzerindeki sanat yapılarının ömrünü ve stabilitesini önemli ölçüde etkiler. Akarsu tabanındaki oyulma miktarı direkt olarak akarsu hidrolojisine, taban malzemesinin fiziksel özelliğine ve dane çapı dağılımına

bağlı iken şevlerde meydana gelen erozyon bunlara ilave olarak havzadaki yeraltı suyu rejimine de bağlıdır. Örneğin bir akarsuyun düşük akım rejimi döneminde taban oyulmaları en düşük seviyeye inerken, şev erozyonunun ise devam edebiliyor olması yeraltı suyu hidrolojisinin bir etken olduğunu göstermektedir. Yeraltı suyunun akarsu yatağı içerisine sızmasının nedeni ise düşük akım rejiminde olan akarsudaki su seviyesinin havzadaki yeraltı suyu seviyesinin altına inmesidir. Şev yüzeyinden akarsuya Şekil 2.1’de gösterildiği gibi giriş yapan sızma suları beraberinde şev göçmelerini ve erozyonunu tetiklemektedir (Wilson vd., 2007). Örneğin, Güney Avustralya’da bulunan Murray akarsuyunda 2005 ile 2010 yılları arasında hiç beklenmeyen bir düşük akım döneminin yaşanması neticesinde 162’yi geçen akarsu şevi göçmesi rapor edilmiştir (Liang vd., 2015). Araştırmalar akarsudaki toplam katı madde taşınımının %30 ila %80’nini şev erozyonu ile suya karışan zemin daneleri oluşturduğunu göstermektedirler (Simon ve Rinaldi, 2006; Fox vd., 2007; Wilson vd., 2008). Su kalitesi açısından önemli bir sorun teşkil ettiği bilinmesi rağmen, gerek deneysel gözlemlerin eksikliği gerekse de arazi mekanizmalarının yeteri kadar aydınlatılmamış olması, toplam katı madde miktarı hesaplarında sızma kaynaklı şev erozyonunun göz önünde tutulmasını engellemiştir (Fox ve Wilson, 2010).



Şekil 2.1. Akarsu hidrografının pik seviyeden taban akışı seviyesine düşmesiyle kıyı şevlerinde oluşan yeraltı suyu sızma akımı

Akarsu kıyılarındaki şevlerin stabilite (duraylılık) kayıplarının ağırlık ve sızma kuvvetlerinin fonksiyonu olduğu bilinmektedir (Pollen-Bankhead ve Simon, 2010). Simon vd. (2000) sızma kaynaklı akarsu kıyılarındaki şev kaymalarının sebebini dört farklı mekanizma ile açıklamıştır: İlk olarak, akarsu şevini oluşturan zemin ortamının toplam birim hacim ağırlığının artmasıyla şevi devirmeye çalışan kuvvetteki artış sayılabilir. İkinci olarak, şev içerisinde artan doygunluk emme basıncının kaybı ve dolayısı ile görünür kohezyon değerinin azalması duraylılık kaybına sebebiyet verir. Üçüncü olarak, boşluk suyu basınçlarında meydana gelen artışın zemin mukavemetine olumsuz etkisi olarak sayılabilir. Dördüncü ve son mekanizma ise, akarsu yatağındaki su derinliğinin düşük akım zamanlarında azalmasıyla şevin devrilmesine karşı koyan ağırlığın kalkmasıdır.

Bir şevin stabil olup olmadığını anlamak için şev güvenlik katsayısı (şevi koruyan kuvvetlerin şevi devirmeye çalışan kuvvetlere oranı) hesaplanır ve bu değer

1.0'dan büyük olması o şevin stabil olduğunu, 1.0'dan küçük olması ise stabil olmadığını belirtir. Stabil olmadığı anlaşıldığında ise göçme tetkikleri yapılarak şevin yüzeysel ya da derin kaymaya maruz kalıp kalmayacağı incelenir. Bir şevin duraylılığını artırmanın iki yolu vardır. Bunlardan birincisi şevi devirmeye karşı koruyan kuvvetleri artırmak iken ikincisi şevi devirmeye çalışan kuvvetleri azaltmaktır. Şevi devirmeye çalışan kuvvetleri azaltmak için son yıllarda bir hafif dolgu malzemesi olan geliştirilmiş polistren (EPS) geofoam'un (geofoam blok) şev duraylılığında kullanımına yönelik laboratuvar fiziksel model çalışmaları yürütülmüştür (Akay vd., 2012, 2013, 2014a, 2014b; Özer vd., 2014; Özer ve Akay, 2014; Akay, 2016; Özer, 2016, Koç, 2015).

Şevi koruyan kuvvetleri artırmanın en yaygın bilinen metodu ise geleneksel betonarme istinat (dayanma) yapılarıdır. Buna ek olarak çeşitli zemin iyileştirme metodları da (zemin ankrajları, zemin çivileri, kazıklar, vb.) şev stabilitesini artırmada kullanılmaktadır. Ancak, akarsu şevlerinin tamirini ve güçlendirmesini ağır inşaat makinelerine gerek duymadan arazideki mevcut doğal şev malzemesini kullanarak yapan yenilikçi metotlar da ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemlerdeki amaç çekme gerilmelerini taşıyamayan zeminin içerisine bu görevi üstlenecek bir malzeme kullanarak şevin duraylılığını artırmaktır. Geosentetik sektöründe bu tür güçlendirilmiş şevlere betonarme adına benzeyecek şekilde toprakarme adı da verilmektedir. Betonarme yapılarda çekme gerilmelerini içerisindeki çelik donatılar almaktadır. Toprakarme yapılarda ise bu görevi yapacak malzemeler çeşitlilik göstermektedir. Örneğin, Wu vd. (1993) yüzeysel sızmadan kaynaklanan şev kaymalarının önüne geçilmesinde geotekstil (polimerik kumaş) ve doğal bitki örtüsü

tekniklerini kullanmıştır. Bitki kökleri zemini güçlendirerek şev duraylılığının artmasına ve su erozyonunun azalmasını sağlarlar (Zhang vd., 2014).

Biyomühendislik sistemler canlı bitkileri zamanla lif katkısı (kökler) sağlayan/geliştiren ve akarsu kıyısının şev duraylılığını/stabilitesini geliştiren (Simon ve Collison, 2002) ve erozyonun azalmasını sağlayan (Li ve Pan, 2018) bir yapısal bileşen olarak kullanılmaktadırlar. Bu amaçla yamaçlara ekilen bitki ve ağaç köklerinin (Şekil 2.2) çekme gerilmelerini taşıyarak sığ (yüzeysel) şev göçmelerine karşı şev güvenlik katsayısını artırdığı tespit edilmiştir (Day, 1993; Ji vd., 2012). Bazı ağaç köklerinin çekme mukavemetlerinin 70 MPa mertebelerinde olduğu bilinmektedir (Frei, 2009). Bu değer ise akma dayanımı 220 MPa olan düz yüzeyli S 220 yapı çeliği mukavemetinin neredeyse üçte biridir. Zemine uygulanan kayma gerilmelerinin bitki köklerinin çekme mukavemeti sayesinde karşılanarak zemin ve bitki kökünden oluşan hibrit ortamın mukavemetinin iyileştiği ortaya konmuştur (Abdi vd., 2010). Bitki köklerinin aynı zamanda zemine kazandırdığı ilave kohezyon mukavemeti Waldron (1977) tarafından incelenmiştir. Akarsu ve nehir şevlerinde büyümüş istilacı türdeki bitkilerin temizlenmesinin şev erozyonuna, şev kaymalarına ve nehir yataklarında genişlemeye neden olduğu belgelenmiştir (Pollen-Bankhead vd., 2009). Bitki kökleri sığ şev kaymalarını önlemekle birlikte, kök karakteristikleri, çapları, sayıları ve bu faktörlerin sağladığı ilave kohezyon mukavemeti şev boyunca homojen olarak dağılmamaktadır (Ji vd., 2012). Bir diğer olumsuzluk ise taşkın seddelerinin şev yüzeylerindeki ağaçların fırtınalar ve kuvvetli rüzgarlar sırasında maruz kaldıkları kaldırma kuvvetleri neticesinde kökleri ile birlikte devrilerek şev duraylılığını olumsuz etkilemesi olarak karşımıza çıkar (Cobos-Roa ve Bea, 2008).



Şekil 2.2. Yamaç ve şevlerde bulunan ağaç/bitki köklerinin yüzeysel göçmeleri önlemesi (Fotoğraf çekim tarihi: 18 Mart 2018, Yer: Belgrad Ormanı, Sarıyer, İstanbul)

Bitki köklerinin mekanik özelliklerinden esinlenerek tıpkı kökler gibi yüksek çekme mukavemetine sahip liflerin kullanılması son yıllarda yaygınlaşmıştır. Lifler tıpkı ağaç kökleri gibi yüksek çekme mukavemetine sahiptirler ve zeminde homojen bir şekilde karıştırılınca doğal zeminin mukavemetini iyileştirerek şev duraylılığını artırırılar. Lifler doğal ve sentetik olmak üzere iki grup altında incelenebilirler (Hejazi vd., 2012). Doğal liflerden bambu lifi (Abdul Khalil vd., 2012), hindistan cevizi lifi (Babu ve Vasudevan, 2007, 2008a, 2008b; Anggraini vd., 2015), kenaf lifi (Akil vd., 2011), palmiye lifi (Ahmad vd., 2010) ve kenevir lifi (Prabakar ve Sridhar.,

2002; Jamei vd., 2013) zeminlerin mekanik özelliklerini iyileştirerek kayma mukavemetlerini artırır. Bambu lifinin mukavemetinin ağırlığına oranının yüksek olmasıyla hafif ve yüksek mukavemetli kompozitler üretilirken bambu bitkisinin ekimi ile de toprak kayması ve erozyon gibi doğal afetlerle mücadelede kullanılabilir (Abdul Khalil vd., 2012). Hindistan cevizi lifleri ile kum karışımları üzerinde yapılan deneyler deviatörük gerilmenin katkısız kuma göre 3.5 kata kadar daha fazla olduğu gösterilmiş (Babu ve Vasudevan, 2008b) ve kayma mukavemeti parametrelerinin de katkısız kuma göre iyileştiği ortaya konmuştur (Babu ve Vasudevan, 2007; 2008b). Benzer şekilde, palmiye lifi siltli kumların (Ahmad vd., 2010) ve kenevir lifi de killi zeminlerin (Prabakar ve Sridhar, 2002; Jamei vd., 2013) pik kayma mukavemetlerini artırmıştır. Ancak, doğal lifler çevreye duyarlı ve ucuz olmaları yanında sadece yerel olarak belli bölgelerde yer almaktadırlar. Örneğin, hindistan cevizi lifi Hindistan, Sirilanka ve diğer Asya ülkelerinde kolaylıkla bulunabilirken (Babu ve Vasudevan, 2007), bambu lifinin %65'i Asya ve %28'i ise Amerika kıtasındadır (Abdul Khalil vd., 2012).

Zemin güçlendirmesinde doğal liflerin yanı sıra sentetik lifler de kullanılmaktadır. Sentetik lif ailesi ürünleri olarak cam lifler (Lovisa vd., 2010; Ahmad vd., 2012), naylon lifler (Punthutaecha vd., 2006; Sadek vd., 2010), polietilen (PE) lifler (Consoli vd., 2002; Botero vd., 2015), polyester (PET) lifler (Kumar vd., 2006; Divya vd., 2014), polipropilen (PP) lifler (Nataraj ve McManis, 1997; Yetimoğlu ve Salbaş, 2003; Diambra vd., 2010; Plé ve Lê, 2012), polivinil alkol (PVA) lifler (Park, 2009), geri dönüştürülmüş halı lifleri (Fatahi vd., 2013), lastik lifler (Özkul ve Baykal, 2007) ve atık plastik lifler (Muntohar vd., 2013) sayılabilir.

Sentetik lif–zemin homojen karışımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri kapsamlıca çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmış ve kayma mukavemeti parametreleri, gerilme–şekil değiştirme davranışları, kompaksiyon ve konsolidasyon karakteristikleri detaylıca rapor edilmiştir. Sentetik lif ailesinden PP lifler zeminlerin fiziksel, mekanik, dinamik ve şişme–büzülme özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla literatürde en kapsamlı çalışılan grubudur (Nataraj ve McManis, 1997; Al-Refeai ve Al-Suhaibani, 1998; Musenda, 1999; Yetimoğlu ve Salbas, 2003; Consoli vd., 2005, 2007, 2009, 2011; Yetimoğlu vd., 2005; Casagrande vd., 2006; Tang vd., 2007; Chauhan vd., 2008; Viswanadham vd., 2009; Yılmaz, 2009; Fatahi vd., 2013; Olgun, 2013; Sadeghi ve Beigi, 2014; Correia vd., 2015; Cristelo vd., 2015; Festugato vd., 2015). Bu çalışmalarda PP lifler ile güçlendirilmiş zeminler üzerinde kompaksiyon (Nataraj ve McManis, 1997; Chauhan vd., 2008; Viswanadham vd., 2009), basit kesme (Nataraj ve McManis, 1997; Yetimoğlu ve Salbas, 2003; Tang vd., 2007), statik üç eksenli basınç (Consoli vd., 2005; 2007; 2009; Chauhan vd., 2008; Diambra vd., 2010), dinamik üç eksenli basınç (Chauhan vd., 2008; Sadeghi ve Beigi, 2014), serbest basınç mukavemeti (Nataraj ve McManis, 1997; Musenda, 1999; Tang vd., 2007; Chauhan vd., 2008; Yılmaz, 2009; Consoli vd., 2011; Olgun, 2013; Correia, 2015; Cristelo, 2015), taşıma oranı (CBR) (Nataraj ve McManis, 1997; Al-Suhaibani, 1998, Yetimoğlu vd., 2005), rezilient modülü (Al-Suhaibani, 1998), şişme basıncı ve büzülme (Musenda, 1999; Viswanadham vd., 2009), halka kesme (Casagrande vd., 2006), statik ve dinamik basit kesme (Festugato vd., 2015) deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamlı çalışmalar PP liflerin zeminlerin kayma, CBR penetrasyon ve serbest basınç

mukavemetlerini iyileştirdiğini, deformasyonları, şişme basınçlarını ve büzülmeyi azalttığını göstermişlerdir.

Sentetik lif–zemin homojen karışımlarının standart fiziksel ve mekanik özelliklerine ek olarak arkasında su tutan şev yapıları için önemli tasarım parametreleri olan borulanma (sızma kuvveti etkisiyle şev yapısı içerisinde boşluklu kanallar oluşması) ve sıvılaşma (kum danelerinin taşıma gücünü yitirmesi) mekanizmaları da literatürde laboratuvar numuneleri üzerinden incelenmiştir. Örneğin, PET liflerle güçlendirilmiş uçucu külün (%64’ü kum ve %36’sı silt) laboratuvarında yapılan tek boyutlu borulanma deneyleri neticesinde PET lif ilavesinin yeraltı suyu sızma hızını azaltarak borulanmaya karşı direnci artırdığı ortaya konmuştur (Das vd., 2009). Benzer çalışmalarda da siltli kum içerisine katılan PP ve PET liflerin (Das ve Wisvanadham, 2010) ve PE ve PET liflerin (Estabragh vd., 2012) borulanmaya karşı direnci artırdığı görülmüştür. Ayrıca, PP lifler ile güçlendirilmiş %82’si siltten oluşan düşük bağıl sıklıkta hazırlanan uçucu külün (Bominathan ve Hari, 2002), PP lifler ile güçlendirilmiş gevşek kumun (İbrahim vd., 2010; Liu vd., 2011; Noorzad ve Amini, 2014) güçlendirme öncesine göre sıvılaşmaya karşı direnci artmış, ve lif ile güçlendirmenin sıvılaşmadan dolayı oluşacak yanal yayılmayı sınırlandırabileceği hatta önleyebileceği ortaya konmuştur. Sentetik lif katkılı laboratuvar örneklerinin sızma etkisi altındaki borulanma ve sıvılaşma mekanizmalarına karşı performans analizi yapılmış olmasına karşın şev içerisindeki performansları henüz çalışılmamıştır. Ayrıca, şev projelendirmesinde önemli bir yer tutan sızma etkisi altındaki duraylılık/göçme (şev güvenlik katsayısı hesabı) analizi ile

erozyon (zemin danelerinin sızma kuvveti etkisiyle şev yapısından ayrılması) mekanizmaları da literatürde doldurulması gereken önemli bir boşluktur.

Lif katkısız şevlerin sızma kuvvetleri etkisi altındaki hidrolojik davranışları (boşluk suyu basıncı değişimleri, hacimsel su içeriği, sızma yüzü, doymun olmayan su akımı) çeşitli fiziksel modeller ile laboratuvar ortamında araştırılmıştır (Lourenço vd., 2006; Ching-Chuan vd., 2009). Şevlerdeki su seviyesi yükselmesi ve düşmesinin şev hidrolojisine olan etkisi çeşitli laboratuvar şev modelleri ile incelenmiştir (Jia vd., 2009; Yan vd., 2010; Schnellmann vd., 2010). Chu-Agor (2009) sızma sürecinin akarsu şevlerine olan etkisini laboratuvar modelleri ile analiz etmiştir. Ancak bu çalışmalar sızıntı kuvvetlerinin sadece şev hidrolojisi üzerindeki etkilerini ön plana çıkarmıştır. Son yıllarda ise Akay vd. (2012; 2013; 2014a; 2014b), Akay (2016), Akay ve Özer (2015), Özer vd. (2014), Özer ve Akay (2014), Özer (2016) ve Koç (2015) tarafından yapılan disiplinler arası çalışmalarda ise lif katkısız şevlerin çeşitli hidrolojik koşullar altındaki davranışları geoteknik (kayma mukavemeti, göçme mekanizması, şev duraylılığı) analizler ışığı altında laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir.

Lif katkısı ile zeminlerin sıvılaşmaya karşı direncinin artırılması, taşıma gücünün iyileştirilmesi, borulanmaya karşı direncin artması, arkasında toprak tutan istinat yapılarına gelen yükün azaltılması, şişme potansiyelinin azaltılması ve benzeri pek çok konuda araştırmalar yapılmasına rağmen sızma kuvvetleri altındaki şevlerde kullanımlarına yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Sentetik lif katkılı zeminden oluşan şevlerin sızma etkisi altında davranışları daha önce ne sahada ne de

laboratuvar koşullarında test edilmiştir. Bu çalışmada sentetik lif katkısı ile güçlendirilmiş kumun hidrolik ve mekanik özellikleri belirlendikten sonra inşa edilen fiziksel şev modellerinin sızma olayı altındaki davranışları incelenmiştir. şev erozyonunun önlenmesi/azaltılması amacıyla şevler değişik oranlarda lif katkısı yapılarak güçlendirilmiş ve katkısız şev modelleri ile aynı başlangıç ve sınır hidrolojik koşullar altında deneyleri yapılmıştır.



III. MALZEME VE METOT

3.1. Zemin Sınıflandırma Testleri

Kum malzemesinin sınıflandırması Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre yapılmıştır. Bu amaçla, kumdan alınan numuneler üzerinde zemin sınıflandırma ve fiziksel özellik testleri kapsamında elek analizi (ASTM, 2009), 200 nolu elekten geçen madde miktarı, minimum ve maksimum boşluk oranı ve özgül ağırlık değeri belirlenmiştir.

3.2. Üç Eksenli Basınç Testleri

Hem katkısız kum hem de sentetik lifle güçlendirilmiş kum numuneler üzerinde üç eksenli basınç deneyleri laboratuvarında birim hacim ağırlıkları 14 kN/m^3 olacak şekilde (fiziksel şev modelleri ile aynı birim hacim ağırlıkta) silindirik pirinç numune alıcılar içinde beş eşit tabakada halinde homojen olarak sıkıştırılan numuneler üzerinde yapılmıştır (ASTM, 2011). Kayma mukavemeti parametrelerinin üç eksenli basınç deneyleri ile belirlenmesinde tam otomatik (Geocomp Marka) üç eksenli basınç deney düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.1).

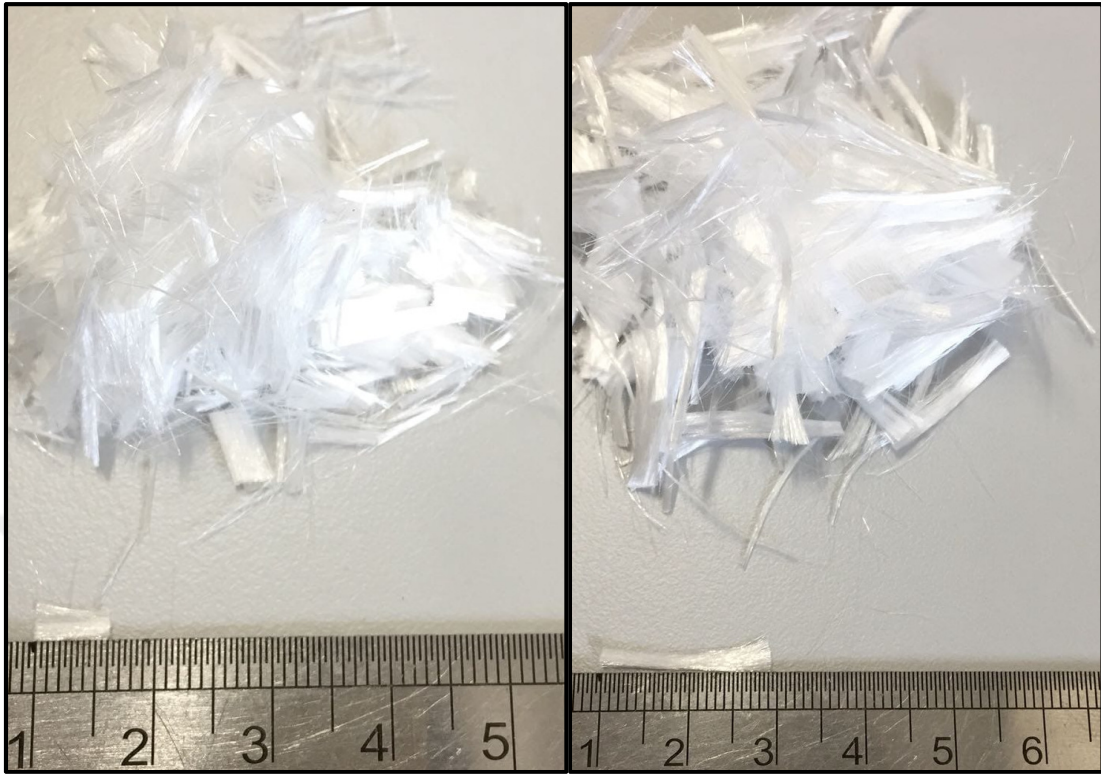
Üç eksenli basınç testlerinin kesme aşaması boyunca sabit eksenel birim şekil değiştirme hızı olarak $0.075/\text{dakika}$ uygulanmıştır. Tüm deney süreci yazılım tarafından tam otomatik olarak kontrol edilerek (doyurma, konsolidasyon ve kesme) elde edilen veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Konsolidasyonlu drenajlı (CD) deneyler hem 6 mm hem de 18 mm uzunluğundaki polipropilen lifler için ağırlıkça oranı (kuru

lif ağırlığının kuru kum ağırlığına oranı) %0.1, %0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6, %0.7, %0.8, %0.9 ve %1.0 olan numuneler (15 cm uzunluğunda ve 7.25 cm çapında) üzerinde yapılmıştır.



Şekil 3.1. Üç eksenli basınç testi çerçevesi, boşluk suyu ve hücre basıncı pompaları

Bu tezde kum malzemesine 6 mm ve 18 mm uzunluğundaki ayırık monofilament polipropilen (PP) lif (model no: M06, Polyfibers Polipropilen Elyaf Sanayi, Kartal, İstanbul) katılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. 6 mm ve 18 mm polipropilen sentetik lif

Lifin malzeme özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Kullanılan PP lifin 350 MPa olan çekme mukavemeti (TS) birçok tekil bitki kök lifinin sahip olduğu dayanımla benzer büyüklük mertebesindedir. Örneğin, Preti ve Giadrossich (2009) tarafından katırtırnağı (Spanish broom/ Spartium junceum) bitkisinin köklerinin kullanıldığı 98 çekme testi sonucunda çekme dayanımı ile kök lifi çapı arasında geliştirilmiş regresyon denklemi bu çalışmada kullanılan PP lifin eşdeğer çapı (D_{eq}) olan $32 \mu m$ için 108 MPa değerinde çekme mukavemeti vermektedir.

Tablo 3.1. Kum içine katılan lifin özellikleri

Özellik	Sembol ve birimi	Değeri
Kompozisyon	Polimer (polipropilen)	Monofilament PP
Boy	L (mm)	6, 18
Lineer yoğunluk	D (denier) (g/9000 m)	6.5
Eşdeğer çap	D_{eq} (μm)	32
Bağıl özgül ağırlık	S	0.91
Su emme	w (%)	Nil
Erime sıcaklığı	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	165
Elastisite modülü	E (GPa)	1.0
Çekme gerilmesi dayanımı	TS (MPa)	350

Laboratuvarda elde edilen tecrübenin gösterdiği üzere PP liflerin topaklanmadan kuru kum ile homojen olarak karışması oldukça zordur. Bundan dolayı, üç eksenli basınç testleri için numuneler hazırlanırken kum malzemesi ağırlıkça su muhtevası 0.08 ila 0.10 olacak şekilde önce nemlendirilmiş, daha sonra da rastgele dağılmış (segregasyonsuz homojen) bir karışım elde edinceye kadar (görsel inceleme) elde PP liflerle karıştırılmıştır. Üç eksenli testler sayesinde lif katkılı numunelerin Mohr-Coulomb kayma mukavemeti parametreleri (efektif kohezyon, c' ve efektif içsel sürtünme açısı, ϕ') elde edilmiş ve bu değerler katkısız numunelerle karşılaştırılarak lif etkisi belirlenmiştir.

3.3. Hidrolik Geçirgenlik Testleri

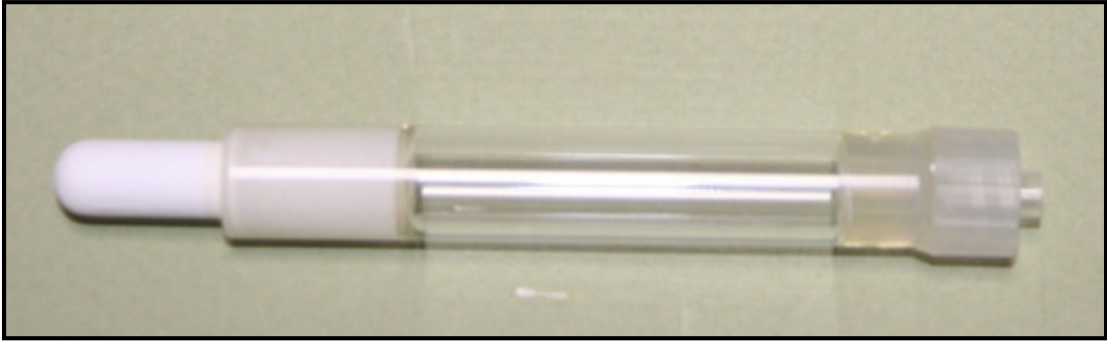
Laboratuvarda üç eksenli basınç testleri için hazırlanan numuneler üzerinde, sabit seviyeli permeabilite düzeneği kullanılarak sentetik liflerle güçlendirilmiş kumların

hidrolik geçirgenlik katsayısı belirlenmiştir (ASTM, 2006). Sabit seviyeli deney düzeneği kaba daneli (kumlu ve çakıllı) zeminler için yaygınlıkla kullanılmaktadır. Tıpkı üç eksenli basınç deneylerinde olduğu gibi burada da hidrolik geçirgenlik değerleri ağırlıkça polipropilen lif oranı %0.1, %0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6, %0.7, %0.8, %0.9 ve %1.0 olan numuneler üzerinde yapılmıştır.

3.4. Su Tutma Kapasitesi Testleri

Sentetik liflerle güçlendirilmiş kumların yarı doymuş hidrolik özellikleri Akay vd. (2013) tarafından geliştirilmiş kademeli ıslatma prosesi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntem doğrultusunda 6.4 cm boyunda ve 7.3 cm çapındaki numune alıcıları içerisinde hazırlanan numunelerin su muhtevaları 5'er mg su enjekte edilmesiyle tekrarlı dozajlarla kademeli olarak artırılarak doymuş hale getirilirken boşluk suyu basınçları (negatif emme basınçları) poroz seramik uç uzunluğu 2.5 cm olan kalem tipi tansiyometreler/basınçölçerler (akrilik tüp ile birlikte toplam uzunluk 7.5 cm) vasıtasıyla ölçülmektedir (Şekil 3.3).

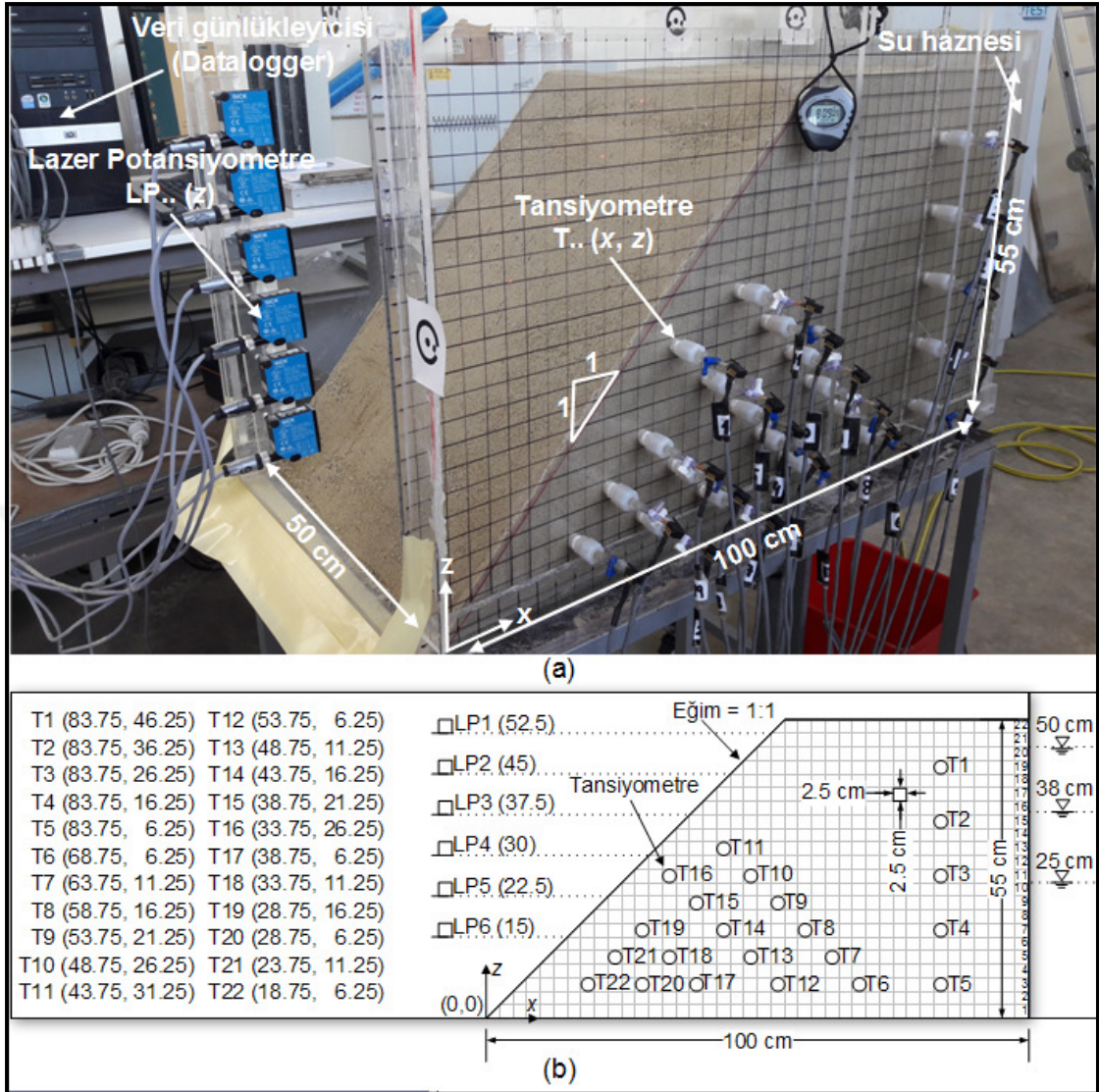
Elde edilen hacimsel su muhtevası-boşluk suyu basınç veri çiftleri RETC (RETention Curve) bilgisayar modeline girilerek lif katkılı kum numunelerin (ağırlıkça polipropilen lif oranı %0.1, %0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6, %0.7, %0.8, %0.9 ve %1) yarı doymuş hidrolik parametreleri van Genuchten-Mualem modeline göre belirlenmiştir (van Genuchten, 1980).



Şekil 3.3. Poroz seramik uçlu (2.5 cm uzunluğunda - beyaz renk) tansiyometre

3.5. Üç Boyutlu (3D) Akarsu Şev Model Deneyleri

Üç Boyutlu (3D) akarsu fiziksel şev (yüzey açısı 45°) modelleri 100 cm uzunluğunda, 50 cm genişliğinde ve 55 cm yüksekliğinde inşa edilmişlerdir (Şekil 3.4). İnşası sırasında nemli kum (ağırlıkça su muhtevası 0.08–0.10) zemin kutusu içinde kuru birim hacim ağırlığı 14 kN/m^3 olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Kompaksiyon işlemi 2.5 cm kalınlığında kontrollü olarak tabakalar halinde yapılmıştır (55 cm şev yüksekliği için toplam 22 tabaka). Zemin kutusu fiziksel şev modelin inşa edildiği toprak kompartımanı ve sızma için gerekli hidrolik enerjinin uygulanmasına olanak sağlayan su haznesi olmak üzere iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Bu iki bölme birbirlerinden üzerinde su haznesinden şeve su girmesi için 8 mm çapında açılmış deliklerden oluşan Pleksiglas plaka ile ayrılmışlardır. Bu ayırma plakasının toprak kompartmanı tarafında 0.063 mm göz açıklığına sahip elek teli deney öncesi zeminin kompaksiyonu ve deney sırasında da su deposuna kum girişini önlemek amacıyla kullanılmıştır.

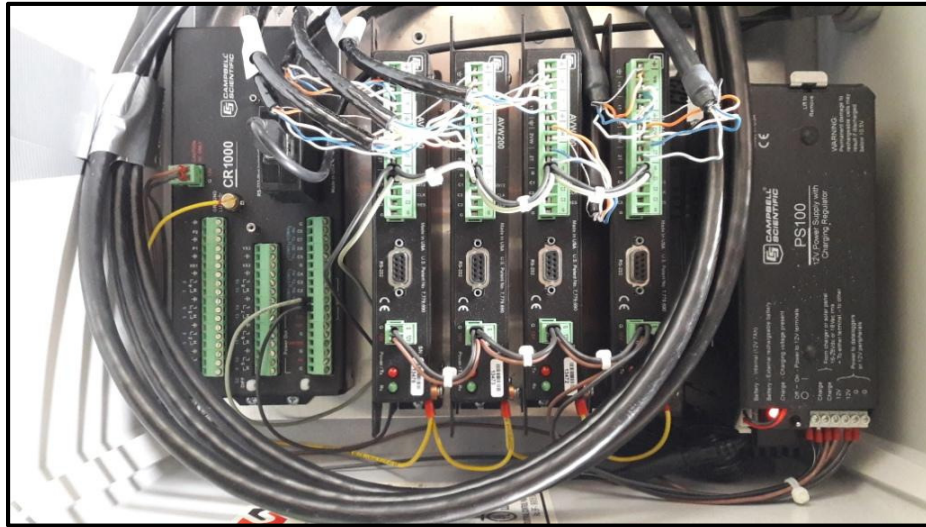


Şekil 3.4. Laboratuvar 3D şev modeli ve zemin kutusu/erozyon kanalı: (a) deney düzeneği; (b) tensiyometrelerin (T1–T22) ve lazer potansiyometrelerin (LP1–LP6) konumları

Zemin kutusunun su haznesi deney süresince sabit kalan üç farklı piyezometrik/hidrolik yükün (şev tabanından 25 cm, 38 cm ve 50 cm-H₂O) şeve uygulanmasında kullanılmıştır (Şekil 3.4a). Böylelikle farklı hidrolik eğimlerin sentetik lifle güçlendirilmiş şevlerin duraylılığına etkisi araştırılabilmektedir. Deney

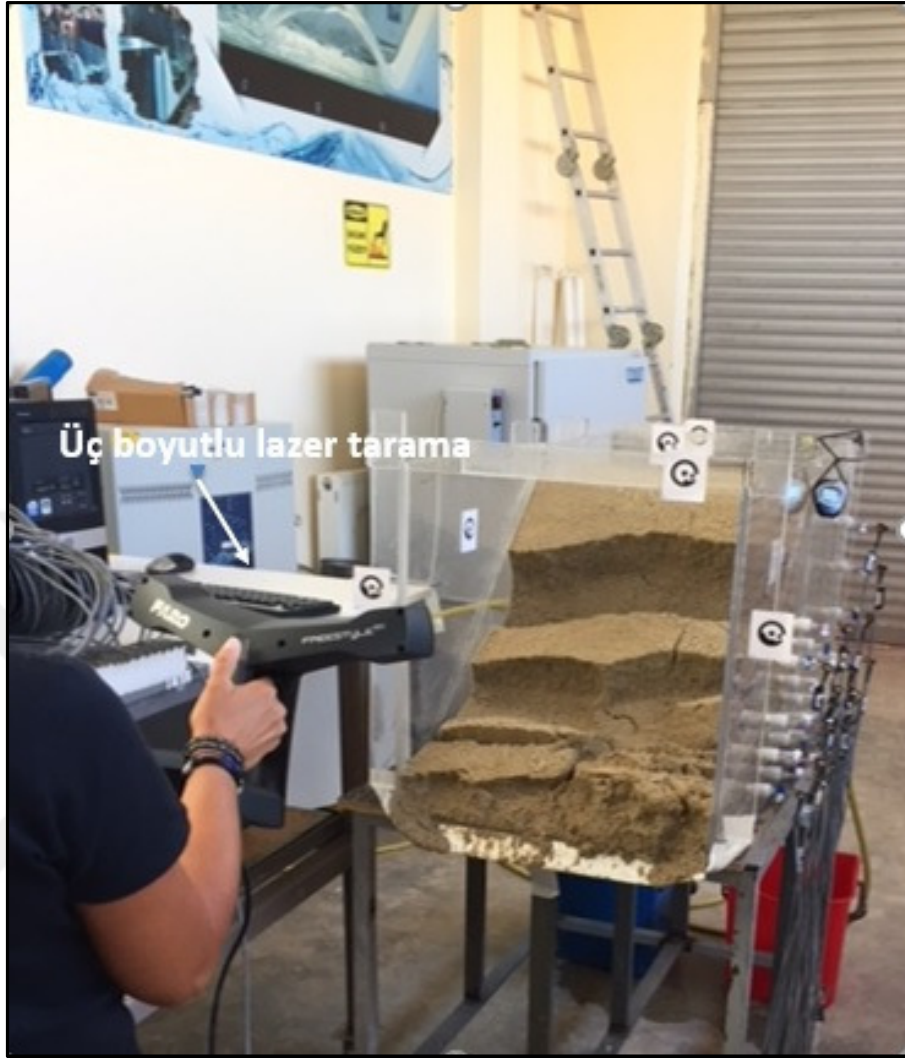
sırasında su haznesine devamlı su girişi sağlanmış, her bir hidrolik yük için cidardaki taşıma deliklerinden tahliye edilerek su seviyesi haznede sabit tutulmuştur.

Deneyle sırasında şevde oluşan boşluk suyu basınç yükleri (h -cm) 22 adet kalem tipi boşluk suyu tansiyometre (T1–T22) (model no: CL-029B, Soil Measurement Systems) vasıtasıyla ölçülmüştür (Şekil 3.3, 3.4). Tansiyometreler ölçüm kapasiteleri -345 – $+345$ cm- H_2O basıncı yükü aralığında olan basınç dönüştürücülere (model no: ASDXRRX005PDAA5, Honeywell Sensing and Control) bağlanmıştır. Boşluk suyu basınçları her 10 saniyede bir veri günlükleyicisi (model no: CR1000, Campbell Scientific) tarafından kaydedilmiştir (Şekil 3.5). Ayrıca, düşey ekseninde 6 adet lazer mesafe ölçer/potansiyometre (LP1–LP6) (model no: DT20-x22, SICK) şev yüzeyinde oluşan şekil değiştirmeleri veri günlükleyicisine 1.25 mm hassasiyetle aktarmıştır (Şekil 3.4). Deneyle süresi boyunca kayıt altına alınacak bu ölçümler deneyle başlangıcında alınan verilerle kıyaslanarak şev yüzeyinin 6 noktasında yatay yer değiştirmeler hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Veri günlükleyicisi/datalogger düzeneği

Deneyle su haznesine suyun doldurulmasıyla (deney başlangıç zamanı) başlamıştır. Tüm deneyle boşluk suyu basınçları kararlı akım (zamanla değişmeyen akım) durumunu belirtene kadar veya kayma yüzeyi boyunca göçen kum malzemesinin topuğa yığılarak şevin daha fazla göçmesini önleyecek hale gelmesine kadar devam etmiştir. Deneyle su haznesinin boşaltılmasıyla sonlandırılmıştır. Her bir deney için sızma suyunun şevin topuğundan çıkması anı (sızma zamanı) kaydedilmiştir. Boşluk suyu basınçlarına ek olarak, kararlı akım durumuna erişildiği durumda duraylılığını koruyan şevlerde fiziksel şev modelinden çıkan sızma suyu miktarı zemin kutusunun mansap tarafına yerleştirilen dijital tartı vasıtasıyla ölçülmüştür. Deneylede sızma kuvvetleri altında şev yüzeyinde meydana gelebilecek yüzeysel tipli kaymalar/erozyon veya derin toprak kayması şeklinde oluşabilecek dairesel tipli göçmeler dijital fotoğrafılama yöntemiyle kayıt altına alınmıştır. Bu ekipman düzeneği daha önce Akay (2016, 2018), Akay ve Özer (2015, 2018a, 2018b), Akay vd. (2012, 2013, 2014a, 2014b, 2016a, 2016b, 2017, 2018a, 2018b), Özer (2016), Özer ve Akay (2014) ve Özer vd. (2014) tarafından başarıyla kullanılmıştır. Ayrıca, şev yüzeyinde meydana gelen şekil değiştirmeler üç boyutlu lazer tarayıcı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.6). Elde taşınır lazer tarayıcı (model no: Freestyle^{3D}, FARO) kullanılarak elde edilen 3D nokta bulutları 0.2 mm çözünürlükte ve 1.5 mm hassasiyettedir. Sayısal nokta bulutları daha sonra açık kaynaklı yazılım olan CloudCompare (CloudCompare, 2018) bilgisayar programı ile toprak kaybının/erozyon hacimlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Deney anında şev yüzeyini üç boyutlu lazer ile tarama

Deneylerde kullanılacak ağırlıkça lif katkı oranları ileride Bulgular ve Tartışma bölümünde irdelenen üç-eksenli basınç testleri sonucunda %0.3, %0.5 ve %1.0 olarak belirlenmiştir. Tez kapsamında yapılan fiziksel şev modelleri için deney koşulları Tablo 3.2’de verilmiştir.

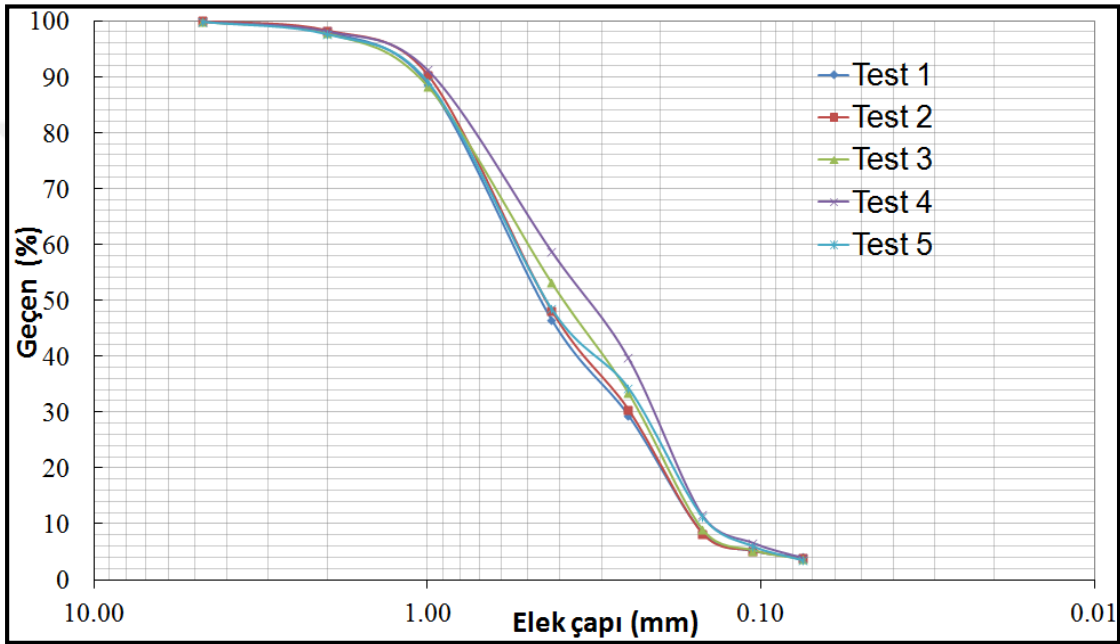
Tablo 3.2. Fiziksel Şev modelleri için deney koşulları

Deney koşulu	Değer
Boyutlar (En, Boy, Yükseklik)	50 cm, 100 cm, 55 cm
Su Haznesi (Piyezometrik Yük) Sınır Koşulları	25 cm, 38 cm, 50 cm
Kuru kum miktarı	279 kg
Lif Katkısı Ağırlıkça Oranları	%0.0, %0.3, %0.5, %1.0
Lif Uzunlukları	6 mm, 18 mm
Deney Sayısı	21 (3 katkısız + 18 katkılı)

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Zemin Sınıflandırma Test Sonuçları

5 farklı kum numunesi için tekrarlanan elek analizi testi kapsamında belirlenen dane çapı eğrileri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kum malzemesinden alınan toplam 5 adet test numunesinin dane çapı dağılım eğrileri

Dane çapı eğrilerinden elde edilen 200 nolu elekten geçen madde miktarı, karakteristik dane çapı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Ayrıca boşluk oranı (minimum ve maksimum boşluk oranı) ve özgül ağırlık test sonuçları da Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kumun fiziksel özellikleri

Özellik	Tanım & Birim	Değer					Aralık
		Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	
Zemin Sınıflandırma	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)	SP	SP	SP	SP	SP	---
Dane Çapı Dağılımı	Kum (%), Silt + Kil (%)	95.9, 4.1	96.2, 3.8	96.4, 3.6	96.1, 3.9	96.6, 3.4	95.9 – 96.6, 3.4 – 4.1
Etkin Çap	D_{10} (mm)	0.16	0.16	0.17	0.14	0.14	0.14 – 0.17
Ortalama Çap	D_{50} (mm)	0.45	0.45	0.40	0.33	0.44	0.33 – 0.45
Üniformluk Katsayısı	C_u [-] (D_{60}/D_{10})	3.5	4.0	2.9	3.0	3.9	2.9 – 4.0
Eğrilik Katsayısı	C_c [-] ($D_{30}^2/D_{10}D_{60}$)	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6 – 0.8
Yoğunluk	G_s [-]	2.65	2.65	2.62	2.69	2.66	2.62 – 2.69
Maximum Birim Hacim Ağırlık	γ_{max} [kN/m ³]	16.0	16.1	15.9	16.0	15.9	15.9 – 16.1
Minimum Birim Hacim Ağırlık	γ_{min} [kN/m ³]	13.7	13.6	13.6	13.6	13.7	13.6 – 13.7
Maximum Boşluk Oranı	e_{max} [-]	0.90	0.91	0.89	0.94	0.91	0.89 – 0.94
Minimum Boşluk Oranı	e_{min} [-]	0.63	0.62	0.62	0.65	0.64	0.62 – 0.65

4.2. Üç Eksenli Basınç Test Sonuçları

Konsolidasyonlu drenajlı (CD) üç eksenli testler için fiber uzunluğu 6 mm ve 18 mm ve ağırlıkça polipropilen lif oranı %0.0 (katkısız kum), %0.1, %0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6, %0.7, %0.8, %0.9 ve %1 olan numunelerin hazırlanması aşamaları Şekil 4.2’de, test sonuçları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2. Üç eksenli basınç testleri (CD) için lif katkıli numune hazırlanışı

Tablo 4.2. 6 mm lif katkısı için CD üç eksenli basınç test sonuçları

6 mm lif katkı oranı (%)	Pik Deviatorik Gerilme (kPa)			Efektif kohezyon c' (kPa)	Efektif içsel sürtünme açısı ϕ' ($^{\circ}$)
	Hücre Basıncı 50 kPa	Hücre Basıncı 100 kPa	Hücre Basıncı 200 kPa		
0.0	114.1	196.2	389.5	0	29.6
0.1	93.3	205.7	395.5	0	29.7
0.2	106.2	192.3	404.2	3.0	29.5
0.3	97.1	220.4	463.0	1.6	31.2
0.4	114.9	229.1	392.5	5.7	28.9
0.5	105.8	233.5	455.6	3.0	31.6
0.6	112.1	212.3	420.1	2.4	30.6
0.7	105.4	242.1	426.6	0.6	31.0
0.8	126.8	236.9	433.8	3.4	30.5
0.9	116.9	243.1	413.7	2.6	30.2
1.0	129.8	270.7	484.9	6.2	32.5

Tablo 4.3. 18 mm lif katkısı için CD üç eksenli basınç test sonuçları

18 mm lif katkı oranı (%)	Pik Deviatorik Gerilme (kPa)			Efektif kohezyon c' (kPa)	Efektif içsel sürtünme açısı ϕ' ($^{\circ}$)
	Hücre Basıncı 50 kPa	Hücre Basıncı 100 kPa	Hücre Basıncı 200 kPa		
0.0	114.1	196.2	389.5	0	29.6
0.1	128.5	203.0	399.0	8.3	28.6
0.2	147.5	213.7	402.1	17.0	27.7
0.3	167.9	253.6	509.4	18.4	31.6
0.4	212.1	286.5	561.0	22.5	33.0
0.5	199.2	382.7	532.0	23.2	31.9
0.6	218.3	372.4	612.9	22.7	34.6
0.7	249.7	348.7	598.3	23.7	34.1
0.8	201.4	403.4	619.3	17.2	35.4
0.9	252.0	344.8	667.2	25.4	35.9
1.0	251.5	417.9	668.7	31.1	35.2

Kırılma zarflarını ve testler sırasında kaydedilen aksel deformasyona karşılık gelen deviatorik gerilme, boşluk suyu basıncı ve hacimsel deformasyon grafiklerini içeren toplam 21 adet (1 adet katkısız + 10 adet 6 mm lif katkılı [%0.1–%1.0] + 10 adet 18 mm lif katkılı [%0.1–%1.0]) test raporu Ek 1’de verilmiştir.

Katkısız kum malzemesinin doygun durumda efektif kohezyonunun sıfır olduğu Tablo 4.2’de görülmektedir. Bu numuneye ait değerler Tablo 4.3’ün ilk satırında da karşılaştırma kolaylığı olması açısından tekrar verilmiştir. 6 mm lif uzunluğu için katkı oranının %0.1 olduğu durumda efektif kohezyon değerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte, lif katkısından kaynaklanan kohezyon kendini %0.2 lif katkı oranında 3.0 kPa değeriyle göstermiştir (Tablo 4.2). Ancak 6 mm lif için görülmektedir ki lif katkı oranındaki artışa karşılık efektif kohezyon değerindeki artış düzenli değildir. Bunda lif katkılı numunelerin kırılma zarfına bağlı olarak (Ek 1) değişebilen efektif içsel sürtünme açılarının (ϕ') da rol aldığı görülmektedir. Örneğin, katkı oranı değerinin %0.2’den %0.3’e çıktığı durumda c' değeri 3.0 kPa’dan 1.6 kPa’a düşerken ϕ' değeri 29.5°’den 31.2°’ye çıkmıştır. Dahası, katkı oranı değerinin %0.3’den %0.4’e çıktığı durumda c' değeri 1.6 kPa’dan 5.7 kPa’a çıkarken ϕ' değeri 31.2°’den 28.9°’ye düşmüştür. Lif katkısının artışıyla dayanım parametrelerinde gözlemlenen bu dalgalanma katkı oranı değerinin %1.0 olduğunda c' değerinin 6.2 kPa ve ϕ' değerinin 32.5° olmasına kadar devam etmiştir. 6 mm uzunluğundaki lif katkısının kazandırdığı kohezyonun bu çalışmada bulunmuş olan değişim aralığı (0 – 6.2 kPa) daha önce Cancienne vd. (2008) tarafından belirli bitki türleri için listelenen kök lifinin kazandırdığı kohezyonlara benzemektedir: Kara Söğüt/*Salix nigra* (2.0 kPa), Dar Yapraklı Söğüt/*Salix exigua* (3.0 kPa), Sığla Ağacı/*Liquidambar styraciflua*

(4.0 kPa), Himalaya böğürtleni/*Rubus armeniacus* (5.5 kPa), Kuzey Amerika Güllü/*Spiraea douglasii* (6.0 kPa), Çayır Otu/*Tripsacum* (6.0 kPa) ve Uzun İbrelî Çam/*Pinus palustris* (6.0 kPa).

18 mm uzunluğundaki lifin kullanılmasıyla güçlendirilmiş numuneler üzerinde yapılan test sonuçları çok açık bir şekilde 6 mm lif uzunluğunun kazandırdığı kohezyondan fazla dayanım göstermiştir (Tablo 4.3). Örneğin, sadece 18 mm lifin %0.1 katkı oranında kazandırdığı kohezyon değeri (8.3 kPa) 6 mm lifin %1.0 katkı oranında kazandırdığı kohezyon değerinden (6.2 kPa) büyüktür. 6 mm lif katkısının %0.1'den %1.0'a artışı sırasında dayanım parametrelerinde (c' , ϕ') görülen dalgalanma burada daha sınırlıdır. 18 mm uzunluğunda lifin kullanıldığı %1.0 katkı oranına sahip numunelerden elde edilen kırılma zarfı (Ek 1) 31.1 kPa değerinde c' ve 35.2° değerinde ϕ' kazandırmıştır. 18 mm uzunluğundaki lif katkısının kazandırdığı kohezyonun bu çalışmada bulunmuş olan değişim aralığı (8.3 – 31.1 kPa) daha önce Cancienne vd. (2008) tarafından belirli bitki türleri (genellikle Kuzey Amerika bitki örtüsü) için listelenen kök lifinin kazandırdığı kohezyonlara benzemektedir: Kavak/*Populus deltoides* (8.0 kPa), Kara Huş/*Betula nigra* (8.0 kPa), Dallı Darı/*Panicum virgatum L.* (18.0 kPa), Fremont kavağı/*Populus fremontii* (30.0 kPa).

4.3. Hidrolik Geçirgenlik Test Sonuçları

Sabit seviyeli permeabilite testleri ile 6 mm ve 18 mm lif katkısı için belirlenen doygun hidrolik geçirgenlik katsayısı (K_d) değerleri sırasıyla Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de verilmiştir. Katkısız kumdan hazırlanmış 5 adet numune üzerinde yapılan test sonucunda doygun hidrolik iletkenlik katsayısının ortalama değeri, \bar{K}_d , 1.5×10^{-4} m/s

olarak bulunmuştur. \bar{K}_d değeri 6 mm lif katkısının %0.0 ila %0.5 aralığında olduğu numuneler için neredeyse hiç değişmemiştir. Ancak, lif katkısının %0.5'den %1.0'a doğru çıkarken \bar{K}_d değerinde azalma gözlemlenmektedir. Lif katkısının %1.0 olduğu 5 adet numune üzerinde yapılan test sonucunda \bar{K}_d değeri 0.9×10^{-4} m/s değerine düşmüştür. 18 mm lif katkısıyla yapılan testler sonucunda bulunan \bar{K}_d değerleri 6 mm lif katkısıyla bulunan değerlerle benzerdir (Tablo 4.5). 18 mm lif katkısının %1.0 olduğu 5 adet numune üzerinde yapılan test sonucunda \bar{K}_d değeri 1.3×10^{-4} m/s'dir. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 değerleri karşılaştırıldığında lif uzunluğunun hidrolik geçirgenlik üzerinde bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Bununla birlikte, 18 mm lifli testlerde de %0.5 ila %1.0 aralığında gözlemlenen \bar{K}_d (veya yeraltı suyu sızma hızı) ile katkı oranı arasındaki ters korelasyon bir başka lif malzemesi olan doğal hindistancevizi lifi katkılı kum üzerinde testler yapan Babu ve Vasudevan (2008a) tarafından da rapor edilmiştir.

Tablo 4.4. 6 mm lif katkısı için sabit seviyeli permeabilite testi sonuçları

6 mm lif katkı oranı (%)	K_d (m/s)					\bar{K}_d
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	
0.0	1.4×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.5×10^{-4}
0.1	1.5×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.5×10^{-4}
0.2	1.4×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.3×10^{-4}
0.3	1.3×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.6×10^{-4}
0.4	1.4×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.4×10^{-4}
0.5	1.3×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.4×10^{-4}
0.6	1.3×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.3×10^{-4}
0.7	1.0×10^{-4}	1.2×10^{-4}	0.9×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.2×10^{-4}
0.8	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.2×10^{-4}
0.9	1.3×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.1×10^{-4}
1.0	0.8×10^{-4}	1.0×10^{-4}	0.9×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	0.9×10^{-4}

Tablo 4.5. 18 mm lif katkısı için sabit seviyeli permeabilite testi sonuçları

18 mm lif katkı oranı (%)	K_d (m/s)					\bar{K}_d
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	
0.0	1.4×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.5×10^{-4}
0.1	1.4×10^{-4}	1.8×10^{-4}	2.0×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.7×10^{-4}
0.2	1.7×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.9×10^{-4}
0.3	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.6×10^{-4}
0.4	1.4×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.7×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1.7×10^{-4}
0.5	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.6×10^{-4}
0.6	1.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.3×10^{-4}
0.7	1.3×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.4×10^{-4}
0.8	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.3×10^{-4}
0.9	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.2×10^{-4}
1.0	1.2×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}

4.4. Su Tutma Kapasitesi Test Sonuçları

Su tutma kapasitesi testleri iki fiber uzunluğu için (6 mm ve 18 mm) lif katkısı %0.0 (katkısız kum), lif oranı %0.1, %0.2, %0.3, %0.4, %0.5, %0.6, %0.7, %0.8, %0.9 ve %1.0 olan numuneler üzerinde yapılmıştır (toplam 21 test) (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Su tutma testi için 11 adet numunenin (1 adet katkısız + 10 adet 6 mm lif katkılı) hazırlanması ve boşluk suyu basınçlarının tansiyometreler tarafından ölçümü

Elde edilen hacimsel su muhtevası-boşluk suyu basınç veri çiftleri RETC (RETention Curve) bilgisayar modeline girilerek katkısız kum ve %1.0 lif katkılı kum numunelerin yarı-doygun hidrolik parametreleri van Genuchten-Mualem modeline göre belirlenmiştir (van Genuchten, 1980):

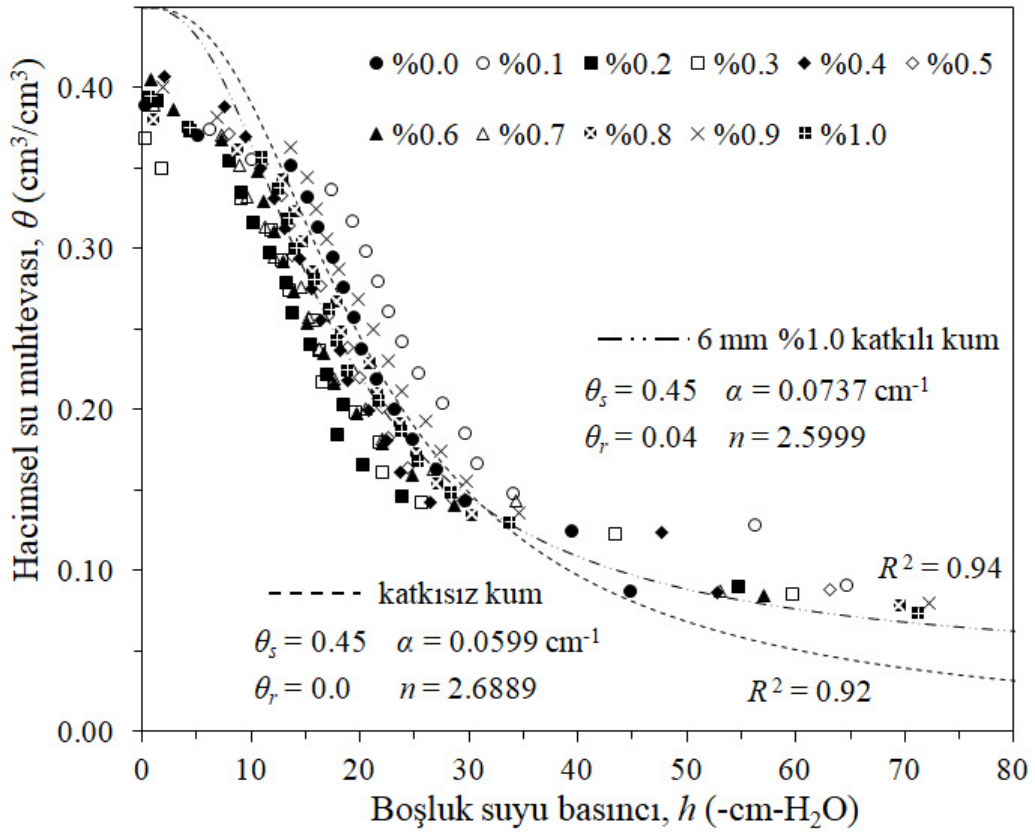
$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases}$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}, n > 1$$

van Genuchten-Mualem modelinde h boşluk suyu basınç yükünü (numuneler doymun olmadığı için negatif değerdedir), θ_s doymun hacimsel su muhtevasını, θ_r artık/kalıcı hacimsel su muhtevasını, α hava giriş (kabarcık) basınç yükünün tersini, n boşluk çapı dağılım indeksini temsil etmektedir.

Katkısız numune veri çiftlerinden geçirilen su tutma eğrisinin regresyon katsayısı, R^2 , 0.92 olmuştur (Şekil 4.4). Yarı-doygun hidrolik karakteristiğini tanımlayan van Genuchten-Mualem modeli parametre değerleri ise sırasıyla: $\theta_s = 0.45$, $\theta_r = 0.0$, $\alpha = 0.06 \text{ cm}^{-1}$ ve $n = 2.69$ olarak bulunmuştur. Katkısız numuneden ve 6 mm lif katkılı numunelerden alınan (toplam 11 numune) veri çiftlerinin (toplam 160 veri çifti) yayılımının görsel incelemesi sonucunda veri çiftlerinin belli bir alanda gruplanmış olduğu ve de PP lif katkısı oranının %0.0'dan %1.0'a artışının katkısız numune model parametreleri üzerinde ciddi bir değişikliğe neden olmadığı söylenebilir (Şekil 4.4). Örneğin, 6 mm uzunluğunda en yüksek lif katkısı oranına sahip (%1.0) numune veri çiftlerinden geçirilen su tutma eğrisinin ($R^2 = 0.94$) van

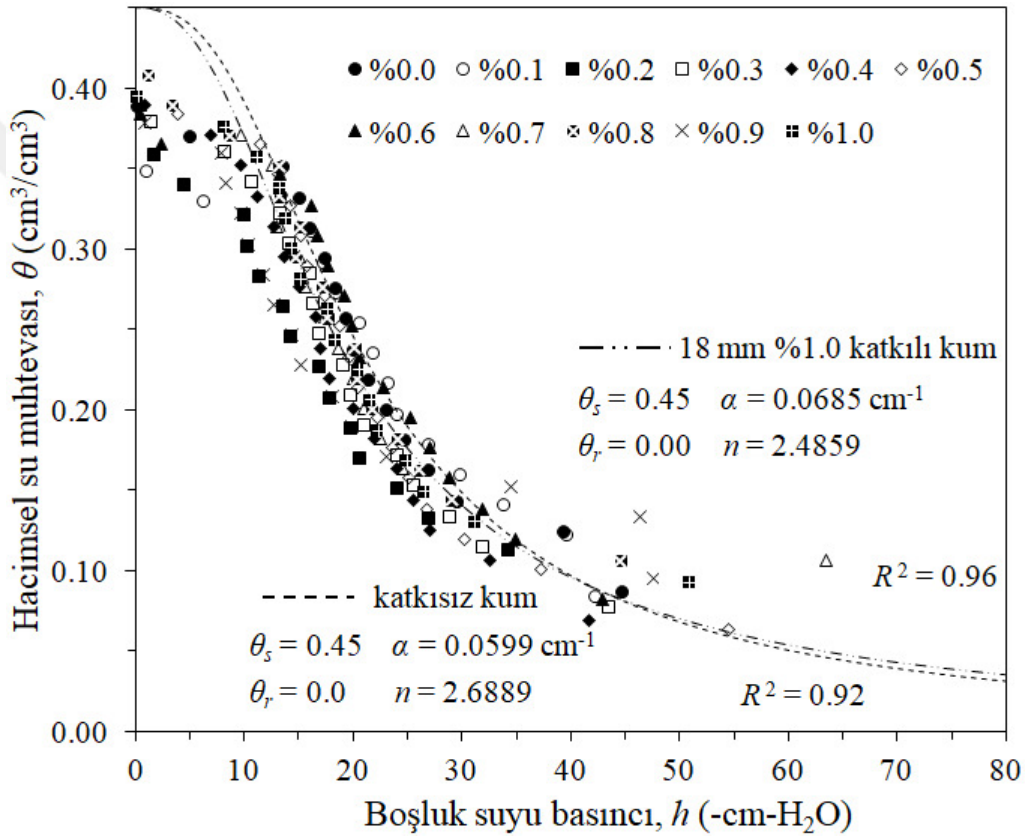
Genuchten-Mualem model parametre değerleri sırasıyla: $\theta_s = 0.45$, $\theta_r = 0.04$, $\alpha = 0.07$ cm^{-1} ve $n = 2.69$ olarak bulunmuştur. En yüksek lif katkısı oranına sahip (%1.0) numunenin artık/kalıcı hacimsel su muhtevasında (θ_r) ihmal edilebilecek bir artış (0.04) bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Katkısız kum ve 6 mm lif katkılı numunelerden elde edilen boşluk suyu basıncı – hacimsel su muhtevası veri çiftleri

Lif katkılı numunelerin van Genuchten-Mualem model parametre değerlerinin katkısız numuneninkine olan benzerliği 18 mm lif uzunluğu için de devam etmiştir (Şekil 4.5). Örneğin, 18 mm uzunluğunda en yüksek lif katkısı oranına sahip (%1.0) numune veri çiftlerinden geçirilen su tutma eğrisinin ($R^2 = 0.96$) van Genuchten-

Mualem model parametre değerleri sırasıyla: $\theta_s = 0.45$, $\theta_r = 0.00$, $\alpha = 0.07 \text{ cm}^{-1}$ ve $n = 2.49$ olarak bulunmuştur. Bu değerler katkısız kum değerleriyle neredeyse aynı olduğundan %1.0 lif katkılı numunenin su tutma eğriyle katkısız numunenin su tutma eğrisi üst üste çakışmaktadır (Şekil 4.5). Sonuçta, lif uzunluğunun ve katkı oranlarının kumun yarı-doygun hidrolik özelliğini değiştirmedeği görülmektedir.



Şekil 4.5. Katkısız kum ve 18 mm lif katkılı numunelerden elde edilen boşluk suyu basıncı – hacimsel su muhtevası veri çiftleri

4.5. Üç Boyutlu (3D) Akarsu Şev Model Deney Sonuçları

Tablo 3.2’de verilen deney programı (toplam 21 deney) kapsamında inşa edilen şev modellerinin (katkısız şev, 6 mm %0.3 lif katkılı şev, 18 mm %0.3 lif katkılı şev, 6

mm %0.5 lif katkılı şev, 18 mm %0.5 lif katkılı şev, 6 mm %1.0 lif katkılı şev, 18 mm %1.0 lif katkılı şev) sırasıyla 25 cm-su, 38 cm-su ve 50 cm-su piyezometrik yük sınır koşulu altındaki sızma erozyonu durumları Ek 2’de sunulmuştur. Ayrıca, bu deneylerde $z = 6.25$ cm seviyesindeki tansiyometreler (T5, T6, T12, T17, T20) tarafından kaydedilen boşluk suyu basınçları ve lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyi yer değiştirmeleri Ek 3’de sunulmuştur.

4.5.1. Katkısız şev

Katkısız şevin 25 cm-su hidrolik yük altında yapılan deneyinde topuk bölgesinden sızma sularının çıkmasıyla (sızma zamanı olan $t = 1988$ s anında) birlikte kumlu şevde erozyon başlamış ve deney başlangıcında 45° ’lik düz bir yüzeye sahip olan şevde deney sonuna kadar oyulma meydana gelmiştir (Şekil Ek 2.1). Deneyin sonlanma zamanı olan $t = 4500$ s anından daha önce $t = 3600$ s’de boşluk suyu basınçları kararlı duruma gelmiştir (Şekil Ek 3.1). Lazer potansiyometrelerden LP3, LP4, LP5 ve LP6 şevde oluşan fiziksel değişimleri pozitif yer değiştirmelerle göstermiştir (Şekil Ek 3.1). LP1 ve LP2 konumlarındaki seviyede şevde herhangi bir fiziksel değişim olmadığı için yer değiştirme sıfır okunmuştur (Şekil Ek 3.1).

Katkısız şevin 38 cm-su hidrolik yük altında yapılan deneyinde topuk bölgesinden sızma sularının çıkmasıyla (sızma zamanı olan $t = 1113$ s anında) birlikte kumlu şevde erozyon başlamış ve deney başlangıcında 45° ’lik düz bir yüzeye sahip olan şevde deney sonunda ($t = 1800$ s) şev kretine ($z = 55$ cm) kadar uzanan göçme meydana gelmiştir (Şekil Ek 2.2). 25 cm-su hidrolik yük sınır koşuluna göre artan boşluk suyu basınçları neticesinde (Şekil Ek 3.2a), sızma erozyonu ile başlayan yer

değiştirmeler deney sonuna doğru şev göçmesiyle oluşan toprak kaybı neticesinde pozitif yer değiştirmeler olarak okunmuştur (şekil Ek 3.2b).

Katkısız şevin 50 cm-su hidrolik yük altında yapılan deneyinde topuk bölgesinden sızma sularının çıkmasıyla (sızma zamanı olan $t = 915$ s anında) birlikte kumlu şevde erozyon başlamış ve deney başlangıcında 45° lik düz bir yüzeye sahip olan şevde deney sonunda ($t = 1380$ s) şev kretine ($z = 55$ cm) kadar uzanan toprak kayması/göçme meydana gelmiştir (şekil Ek 2.3). 25 cm-su ve 38 cm-su hidrolik yük altında yapılan diğer deneylere nazaran artan boşluk suyu basınçları şev göçmesine neden olduğundan deney kararlı akım oluşmadan sonlandırılmıştır (şekil Ek 3.3a). Sızma zamanıyla birlikte başlayan şev yüzeyindeki toprak kaymalarından dolayı, lazer potansiyometreler zarar görmemeleri için yerlerinden kaldırılmıştır. Bu yüzden sızma zamanı sonrası yer değiştirme değerleri alınmamıştır (şekil Ek 3.3b).

4.5.2. Lif katkılı şevler

6 mm %0.3 lif katkılı şev modelin 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında yapılan deneyin sonunda ($t = 5400$ s) topuk kısmında sızma erozyonu oluşmamıştır (şekil Ek 2.4). Üç eksenli testlerde elde edildiği görülen 1.6 kPa değerindeki efektif kohezyon (Tablo 4.2) 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulunun katkısız kumda sebep olduğu erozyonu (şekil Ek 2.1) önlemiştir. Boşluk suyu basınçlarının sızma zamanından ($t = 2290$ s) sonra kararlı hale geldiği durumda sonlanan deneyde (şekil Ek 3.4a), LP1–LP6 herhangi bir yer değiştirme okumamıştır (şekil Ek 3.4b).

6 mm %0.3 lif katkılı şev modelin 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında yapılan deneyin sonunda ($t = 3900$ s) sızma erozyonu oluşmuştur (şekil Ek 2.5). Lif

katkısıyla kazanılan 1.6 kPa değerindeki efektif kohezyonun 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulunun yarattığı sızma kuvvetine karşı koyamadığı anlaşılmaktadır. Boşluk suyu basınçlarının sızma zamanından ($t = 1565$ s, Şekil Ek 3.5a) sonra kararlı hale geldiği durumda sonlanan deneyde meydana gelen oyulma en alt potansiyometre olan LP6'nın seviyesini ($z = 15$ cm) aşmadığından herhangi bir yer değiştirme okunamamıştır (Şekil Ek 3.5b).

6 mm %0.3 lif katkılı şev modelin 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında yapılan deneyin sonunda ($t = 2340$ s) topuk kısmında sızma erozyonu oluşmuştur (Şekil Ek 2.6). Sızma zamanı ($t = 1342$ s) sonrası kararlı akıma erişildiğinde deney sonlanmıştır (Şekil 3.6a). Sızma erozyonu neticesinde LP3–LP6 tarafından ölçülen pozitif yer değiştirmeler Şekil Ek 3.6b'de verilmiştir.

18 mm %0.3 lif katkılı şev modelin 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında yapılan deneyin sonunda ($t = 5400$ s) topuk kısmında herhangi bir sızma erozyonu oluşmamıştır (Şekil Ek 2.7). Üç eksenli testlerde elde edildiği görülen 18.4 kPa değerindeki efektif kohezyon (Tablo 4.3) 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulunun katkısız kumda sebep olduğu erozyonu tamamen önlemiştir. Boşluk suyu basınçları sızma zamanından ($t = 1992$ s) sonra kararlı duruma gelmiştir (Şekil Ek 3.7a). Deneyde erozyon oluşmadığı için lazer potansiyometreler tarafından yer değiştirme kaydedilmemiştir (Şekil Ek 3.7b).

18 mm %0.3 lif katkılı şev modelin 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında yapılan deneyin sonunda ($t = 3600$ s) topuk kısmında ihmal edilebilir sızma erozyonu oluşmuştur (Şekil Ek 2.8). Boşluk suyu basınçlarının sızma zamanından ($t = 968$ s,

Şekil Ek 3.8a) sonra kararlı hale geldiği durumda sonlanan deneyde meydana gelen oyulma en alt potansiyometre olan LP6'nın seviyesini ($z = 15$ cm) aşmadığından herhangi bir yer değiştirme okunamamıştır (Şekil Ek 3.8b).

18 mm %0.3 lif katkılı şev modelin 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında yapılan deneyin sonunda ($t = 3600$ s) topuk kısmında sızma erozyonu oluşmuştur (Şekil Ek 2.9). Boşluk suyu basınçlarının sızma zamanından ($t = 803$ s, Şekil Ek 3.9a) sonra kararlı hale geldiği durumda sonlanan deneyde meydana gelen oyulmanın pozitif yer değiştirmeleri LP5 ve LP6 tarafından ölçülmüştür (Şekil Ek 3.9b).

6 mm–18 mm %0.5 lif katkılı şev modellerin 25 cm-su hidrolik yük altında yapılan deneyleri sonunda herhangi bir sızma erozyonu oluşmamıştır (Şekil Ek 2.10, 2.13). Üç eksenli testlerde elde edildiği görülen 3.0 kPa (6 mm %0.5, Tablo 4.2) ve 23.2 kPa (18 mm %0.5, Tablo 4.3) değerindeki efektif kohezyon 25 cm-su hidrolik yük sınır koşullarının katkısız kumda sebep olduğu erozyonu tamamen önlemiştir. Bundan dolayı şev yüzeylerinde yer değiştirme olmamıştır (Şekil Ek 3.10b, 3.13b). 6 mm–18 mm %0.5 lif katkılı şev modellerin 38 cm-su hidrolik yük altında yapılan deneylerinde ise ihmal edilebilir sızma erozyonu oluşmuştur (Şekil Ek 2.11, 2.14). Meydana gelen oyulmalar en alt potansiyometre olan LP6'nın seviyesini ($z = 15$ cm) aşmadığından herhangi bir yer değiştirme okunamamıştır (Şekil Ek 3.11b, 3.14b). 6 mm–18 mm %0.5 lif katkılı şev modellerin 50 cm-su hidrolik yük altında yapılan deneyleri sonunda da ihmal edilebilir sızma erozyonları oluşmuştur (Şekil Ek 2.12, 2.15). Meydana gelen oyulmalar en alt potansiyometre olan LP6'nın seviyesini ($z =$

15 cm) aşmadığından herhangi bir yer değıştirme okunamamıştır (Şekil Ek 3.12b, 3.15b).

6 mm–18 mm %1.0 lif katkılı şev modellerin 25 cm-su, 38 cm-su ve 50 cm-su hidrolik yük altında yapılan deneyleri sonunda herhangi bir sızma erozyonu oluşmamıştır (Şekiller Ek 2.16–2.21). Üç eksenli testlerde elde edildiği görülen 6.2 kPa (6 mm %1.0, Tablo 4.2) ve 31.1 kPa (18 mm %1.0, Tablo 4.3) değeriindeki efektif kohezyon 25 cm-su, 38 cm-su ve 50 cm-su hidrolik yük sınır koşullarının katkısız kumda sebep olduğu erozyonu tamamen önlemiştir. Bundan dolayı da şev yüzeylerinde yer değıştirme olmamıştır (Şekiller Ek 3.16b–3.21b).

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Taşkın hidrografının yükselme eğrisiyle artmış olan akarsu kıyısı bölgesindeki freatik hat seviyeleri hidrografın alçalma döneminde akarsu kıyı şevine doğru yeraltı suyu akımını yaratmaktadır. Bu akımın kıyı şevinden sızma suyu olarak yüzeye çıkışı esnasında erozyon oluşabilmektedir. Bu çalışma, katkısız ve sentetik lif (polipropilen – PP) katkılı kumun hidrolik ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, akarsu kıyısı fiziksel laboratuvar şev modellerinin sızma suyu altındaki davranışlarını incelemiştir.

6 mm ve 18 mm uzunluğundaki PP lifler doğada bitki köklerinin erozyona karşı kazandırdığı direnci laboratuvar koşullarında taklit edebilmiştir. Çalışmada 6 mm ve 18 mm uzunluğundaki PP liflerin ağırlıkça %0.1 – %1.0 oranında kum içine katılmasıyla kazanılan kohezyonun (6 mm ve 18 mm için değişim aralıkları sırasıyla 0.6 – 6.2 kPa ve 8.3 – 31.1 kPa) bitki köklerinin sağladığı kohezyonla aynı mertebede olduğu bulunmuştur. Hidrolik testler kapsamında yapılan su tutma testleri de lif katkısının katkısız kumun doymun olmayan hidrolik parametreleri üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Bu durum akarsu kıyısı şev model deneyleri sırasında alınan emme basınçlarının deneyler arasında farklılık göstermemesinde de anlaşılmaktadır. Ek olarak, hidrolik testler kapsamında yapılan sabit seviyeli permeabilite testleri sonucunda bulunan doymun hidrolik iletkenlik katsayısının, K_d , lif içeriğinin %0.0 ila %0.5 aralığında olduğu numuneler için neredeyse hiç değişmediği ancak lif katkısının %0.5'den %1.0'a artmasıyla birlikte azaldığı gözlenmiştir.

Fiziksel laboratuvar Şev model deneyleri lif katkısı oranının artmasıyla sızma kaynaklı toprak kayıplarının veya erozyon hacimlerinin düştüğünü göstermiştir. Yeraltı suyu sızma akışından kaynaklanan erozyon hacimlerinin hesaplanmasında üç-boyutlu (3D) lazer tarama tekniğinin yarattığı Şev yüzeyi sayısal topografyasının (nokta bulutunun) kullanılması tekniği başarılı olmuştur. Kohezyondaki artışa bağlı olarak, lifli katkılı kum %1.0 lif içeriğiyle 25, 38 ve 50 cm-H₂O piyezometrik yük sınır koşulu altında katkısız kumda gözlenmiş olan erozyonu önlemiştir. Gelecek çalışmalar kohezyonsuz kum malzemesine ek olarak kohezyona sahip silt veya kil malzemeleri kullanarak da lif katkısının etkisini incelemelidir. Aynı zamanda PP lif yerine doğal liflerin de kullanımı araştırılmalıdır.

VI. KAYNAKLAR

- Abdi, E., Majnounian, B., Genet, M., Rahimi, H. 2010. “Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (*Parrotia persica*) on slope stability; a case study: Hillslope of Hyrcanian forests, northern Iran”, *Ecological Engineering*, 36, 1409–1416.
- Abdul Khalil, H. P. S., Bhat, I. U. H., Jawaid, M., Zaidon, A., Hermawan, D., Hadi, Y.S. 2012. “Bamboo fibre reinforced biocomposites: A review”, *Materials and Design*, 42, 353–368.
- Ahmad, F., Mujah, D., Hazarika, H., Safari, A. 2012. “Assessing the potential reuse of recycled glass fibre in problematic soil applications”, *Journal of Cleaner Production*, 35, 102–107.
- Ahmad, F., Bateni, F., Azmi, M. 2010. “Performance evaluation of silty sand reinforced with fibres”, *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 93–99.
- Akay, O., 2018. “Experimental investigation of sandy loam soil erosion on a 45-degree slope under the effect of groundwater flow”, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences (DOI: 10.5505/pajes.2017.29863)
- Akay, O. 2016. “Slope stabilization using EPS block geofom with internal drainage system”, *Geosynthetics International* 23 (1), 9–22.

Akay, O., Özer, A.T., 2018a. “Laboratory experiments of hillslope erosion induced by groundwater seepage”, European Geosciences Union General Assembly 2018, Geophys. Res. Abstr. 20, EGU2018–3071.

Akay, O., Özer, A.T., 2018b. “Use of polypropylene fiber against hillslope erosion induced by groundwater seepage”, 5th IAHR Europe Congress, 12–14 June 2018, Trento, Italy.

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., Wilson, G.V., 2018a. “Application of fibrous streambank protection against groundwater seepage erosion”, J. Hydrol. 565, 27–38.

Akay, O., Özer, A.T., Fox, G.A., Wilson, G.V., 2018b. “Fiber reinforced sandy slopes under groundwater return flow”, J. Irrig. Drain. Eng. 144 (5). (DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001300).

Akay, O., Özer, A.T., Levent Yüzer, Y., Bilen, M., Bozkır, Ş., 2017. “Sızma erozyonunun laboratuvar ölçeğinde değerlendirilmesinde üç-boyutlu lazer tarama”, 9. Ulusal Hidroloji Kongresi, 04–06 Ekim 2017, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.

Akay, O., Özer, A.T., Fox, G.A., Wilson, G.V., 2016a. “Behavior of fiber-reinforced sandy slopes under seepage”, Pathak, C.S., Reinhart, D. (Eds.), Watershed

Management, Irrigation and Drainage, and Water Resources Planning and Management. ASCE EWRI World Environmental and Water Resources Congress 2016, pp. 397–406.

Akay, O., Özer, A.T., Elbeyli, Y., Pular, M., 2016b. “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, 2–4 June 2016, Near East University, Nicosia, North Cyprus.

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, 21—25 Eylül, Berlin, Almanya.

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”, Proceedings of the 5th European Geosynthetics Congress (EuroGeo5), Volume 4 – Soil Improvement and Reinforcement, Valencia, Spain, 13–17.

- Akil, H. M., Omar, M. F., Mazuki, A. A. M., Safiee, S., Ishak, Z. A. M., Abu Bakar, A. 2011. "Kenaf fiber reinforced composites: A review", *Materials and Design*, 32, 4107–4121.
- Al-Refeai, T., Al-Suhaibani, A. 1998. "Dynamic and static characterization of polypropylene fiber-reinforced dune sand", *Geosynthetics International*, 5 (5), 443–458.
- Anggraini, V., Asadi, A., Huat, B. B. K., Nahazanan, H. 2015. "Effects of coir fibers on tensile and compressive strength of lime treated soft soil", *Measurement*, 59, 372–381.
- ASTM., 2011. Standard test method for consolidated drained triaxial compression test for soils. Standard D7181. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- ASTM, 2009. Standard Test Methods for Particle-size Distribution (Gradation) of Soil Using Sieve Analysis. Standard D6913. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- ASTM., 2006. Standard test method for permeability of granular soils (constant head). Standard D2434. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- Babu, G. L. S., Vasudevan, A. K. 2008a. "Seepage velocity and piping resistance of coir fiber mixed soils", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134 (4), 485-492.

- Babu, G. L. S., Vasudevan, A. K. 2008b. "Strength and stiffness response of coir fiber-reinforced tropical soil", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20 (9), 571–577.
- Babu, G. L. S., Vasudevan, A. K. 2007. "Evaluation of strength and stiffness response of coir-fibre-reinforced soil", *Ground Improvement*, 11 (3), 111–116.
- Boominathan, A., Hari, S. 2002. "Liquefaction strength of fly ash reinforced with randomly distributed fibers", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (9–12), 1027–1033.
- Botero, E., Ossa, A., Sherwell, G., Ovando-Shelley, E. 2015. "Stress-strain behavior of a silty soil reinforced with polyethylene terephthalate (PET)", *Geotextiles and Geomembranes*, 43 (4), 363–369.
- Cancienne, R. M., Fox, G. A., Simon, A. 2008. "Influence of seepage undercutting on the stability of root-reinforced streambanks", *Earth Surface Processes and Landforms*, 33 (11), 1769–1786.
- Casagrande, M. D. T., Coop, M. R., Consoli, N. C. 2006. "Behavior of a fiber-reinforced bentonite at large shear displacements", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132 (11), 1505–1508.
- Chauhan, M. S., Mittal, M., Mohanty, B. 2008. "Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre", *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 429–435.

- Ching-Chuan, H., Yih-Jang, J., Lih-Kang, H., Jin-Long, L. 2009. "Internal soil moisture and piezometric responses to rainfall-induced shallow slope failures", *Journal of Hydrology*, 370, 39–51.
- Chu-Agor, M. L. 2009. "Incorporating seepage process into bank stability analyses" Doktora Tezi, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, USA.
- Chu-Agor, M. L., Fox, G. A., Cancienne, R., Wilson, G. V. 2008. "Seepage caused tension failures and erosion undercutting of hillslopes", *Journal of Hydrology*, 359, 247–259.
- CloudCompare. "3D point cloud and mesh processing software version 2.6.1 user manual", <http://www.danielgm.net/cc/> (Son erişim tarihi: 11 Temmuz 2018).
- Cobos-Roa, D., Bea, R. 2008. "Three-dimensional seepage effects at three New Orleans levee breaches during hurricane Katrina", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13, 1–26.
- Consoli, N. C., Zortéa, F., Souza, M., Festugato, L. 2011. "Studies on the dosage of fiber-reinforced cemented soils", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23 (12), 1624–1632.
- Consoli, N. C., Vendruscolo, M. A., Fonini, A., Rosa, F. D. 2009. "Fiber reinforcement effects on sand considering a wide cementation range", *Geotextiles and Geomembranes*, 27, 196–203.

- Consoli, N. C., Heineck, K. S., Casagrande, M. D. T., Coop, M. R. 2007. “Shear strength behavior of fiber-reinforced sand considering triaxial tests under distinct stress paths”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133 (11), 1466–1469.
- Consoli, N. C., Casagrande, M. D. T., Coop, M. R. 2005. “Effect of fiber reinforcement on the isotropic compression behavior of a sand”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131 (11), 1434–1436.
- Consoli, N. C., Montardo, J. P., Prietto, P. D. M., Pasa, G. S. 2002. “Engineering behavior of a sand reinforced with plastic waste”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128 (6), 462–472.
- Correia, A. A. S., Oliveira, P. J. V., Custodio, D. G. 2015. “Effect of polypropylene fibres on the compressive and tensile strength of a soft soil, artificially stabilised with binders”, *Geotextiles and Geomembranes*, 43, 97–106.
- Cristelo, N., Cunha, V. M. C .F., Dias, M., Gomes, A. T., Miranda, T., Araújo, N. 2015. “Influence of discrete fibre reinforcement on the uniaxial compression response and seismic wave velocity of a cement-stabilised sandy-clay”, *Geotextiles and Geomembranes*, 43, 1–13.
- Das, A., Viswanadham, B. V. S. 2010. “Experiments on the piping behavior of geofiber-reinforced soil”, *Geosynthetics International*, 17 (4), 171–182.

- Das, A., Jayashree, Ch., Viswanadham, B.V.S. 2009. "Effect of randomly distributed geofibers on the piping behaviour of embankments constructed with fly ash as a fill material", *Geotextiles and Geomembranes*, 27, 341–349.
- Day, R. W. 1993. "Surficial slope failure: A case study", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 7 (4), 264–269.
- Diambra, A., Ibraim, E., Muir Wood, D., Russell, A. R. 2010. "Fibre reinforced sands: Experiments and modelling", *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 238–250.
- Diñçsoy, Y. 2013. "Yan derelerde erozyon ve rüsubat kontrolü", Devlet Su İşleri Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Divya, P. V., Viswanadham, B. V. S., Gourc, J. P. 2014. "Evaluation of tensile strength-strain characteristics of fiber-reinforced soil through laboratory tests", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26 (1), 14–23.
- Estabragh, A. R., Namdar, P., Javadi, A. A. 2012. "Behavior of cement-stabilized clay reinforced with nylon fiber", *Geosynthetics International*, 19 (1), 85–92.
- Fatahi, B., Fatahi, B., Le, T. M., Khabbaz, H. 2013. "Small-strain properties of soft clay treated with fibre and cement", *Geosynthetics International*, 20 (4), 286–300.
- Festugato, L., Consoli, N. C., Fourie, A. 2015. "Cyclic shear behaviour of fibre-reinforced mine tailings", *Geosynthetics International*, 22 (2), 196–206.

- Fox, G. A., Wilson, G. V., 2010. "The role of subsurface flow in hillslope and stream bank erosion: A review", *Soil Science Society of America*, 74 (3), 717–733.
- Fox, G. A., Wilson, G. V., Simon, A., Langendoen, E., Akay, O., Fuchs, J. W. 2007. "Measuring streambank erosion due to ground water seepage: correlation to bank pore water pressure, precipitation and stream stage", *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 1558–1573.
- Frei, M. 2009. "Validation of a new approach to determine vegetation effects on superficial soil movements", *Doktora Tezi*, ETH ZURIC.
- Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M., Zadhoush, A. 2012. "A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers", *Construction and Building Materials*, 30, 100–116.
- Ibraim, E., Diambra, A., Wood, D. M., Russell, A. R. 2010. "Static liquefaction of fibre reinforced sand under monotonic loading", *Geotextiles and Geomembranes*, 28 (4), 374–385.
- Jamei, M., Villard, P., Guiras, H. 2013. "Shear failure criterion based on experimental and modeling results for fiber-reinforced clay", *International Journal of Geomechanics*, 13 (6), 882–893.
- Ji, J., Kokutse, N., Genet, M., Fourcaud, T., Zhang, Z. 2012. "Effect of spatial variation of tree root characteristics on slope stability. A case study on Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) and Arborvitae (*Platycladus orientalis*) stands on the Loess Plateau, China", *Catena*, 92, 139–154.

- Jia, G. W., Zhan, T. L. T., Chen, Y. M., Fredlund, D. G. 2009. "Performance of a large-scale slope model subjected to rising and lowering water levels", *Engineering Geology*, 106, 92–103.
- 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.
- Kumar, A., Walia, B. S., Mohan, J. 2006. "Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay", *Construction and Building Materials*, 20, 1063–1068.
- Langendoen, E. J., Simon, A. 2008. "Modeling the evolution of incised streams II: Streambank erosion", *Journal of Hydraulic Engineering*, 134 (7), 905–915.
- Li, C., Pan, C. 2018. "The relative importance of different grass components in controlling runoff and erosion on a hillslope under simulated rainfall". *Journal of Hydrology*, 558, 90–103.
- Liang, C., Jaksa, M. B., Ostendorf, B., Kuo, Y. L. 2015. "Influence of river level fluctuations and climate on riverbank stability", *Computers and Geotechnics*, 63, 83–98.
- Liu, J., Wang, G., Kamai, T., Zhang, F., Yang, J., Shi, B. 2011. "Static liquefaction behavior of saturated fiber-reinforced sand in undrained ring-shear tests", *Geotextiles and Geomembranes*, 29, 462–471.

- Lourenço, S. D. N., Sassa, K., Fukuoka, H. 2006. "Failure process and hydrologic response of a two layer physical model: Implications for rainfall-induced landslides", *Geomorphology*, 73, 115–130.
- Lovisa, J., Shukla, S. K., Sivakugan, N. 2010. "Shear strength of randomly distributed moist fibereinforced sand", *Geosynthetics International*, 17 (2), 100–106.
- Midgley, T. L., Fox, G. A., Wilson, G. V., Heeren, D. M., Langendoen, E. J., Simon, A. 2013. "Seepage-induced streambank erosion and instability: in situ constant-head experiments", *Journal of Hydrologic Engineering*, 18 (10), 1200–1210.
- Muntohar, A. S., Widianti, A., Hartono, E., Diana, W. 2013. "Engineering properties of silty soil stabilized with lime and rice husk ash and reinforced with waste plastic fiber", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 125 (9), 1260–1270.
- Musenda, C. 1999. "Investigations on the effects of using discrete randomly distributed fiber reinforcement in expansive foundation soils", *Yüksek Lisans Tezi*, The University of Texas at Arlington, USA.
- Nataraj, M. S., McManis, K. L. 1997. "Strength and deformation properties of soils reinforced with fibrillated fibers", *Geosynthetics International*, 4 (1), 65–79.
- Noorzad, R., Amini, P. F. 2014. "Liquefaction resistance of Babolsar sand reinforced with randomly distributed fibers under cyclic loading", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 281–292.

- Olgun, M. 2013. “Effects of polypropylene fiber inclusion on the strength and volume change characteristics of cement-fly ash stabilized clay soil”, 20 (4), 263–275.
- Osterkamp, W. R., Heilman, P., Lane, L. J. 1998. “Economic consideration of a continental sediment-monitoring program”, *International Journal of Sediment Research*, 13 (4), 12–24.
- Özer, A. T. 2016. “Laboratory study on the use of EPS-block geofoam for embankment widening”, *Geosynthetics International* 23 (2), 71–85.
- Özer, A. T., Akay, O., Fox, G. A., Bartlett, S. F., Arellano, D. 2014. “A new method for remediation of sandy slopes susceptible to seepage flow using EPS-block geofoam”, *Geotextiles and Geomembranes*, 42, 166–180.
- Özer, A. T., Akay, O. 2014. “Use of interlocked EPS block geofoam for sandy slopes subjected to seepage flow”, *Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics*, Berlin, 21—25 Eylül, Berlin, Almanya.
- Özkul, Z. H., Baykal, G. 2007. “Shear behavior of compacted rubber fiber-clay composite in drained and undrained loading”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133 (7), 767–781.
- Park, S. S. 2009. “Effect of fiber reinforcement and distribution on unconfined compressive strength of fiber-reinforced cemented sand”, *Geotextiles and Geomembranes*, 27, 162–166.

- Plé, O., Lê, T.N.H. 2012. “Effect of polypropylene fiber-reinforcement on the mechanical behavior of silty clay”, *Geotextiles and Geomembranes*, 32, 111–116.
- Pollen-Bankhead, N., Simon, A., 2010. “Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: Is mechanical root-reinforcement the whole story?”, *Geomorphology*, 116, 353-362.
- Pollen-Bankhead, N., Simon, A., Jaeger, K., Wohl, E. 2009. “Destabilization of streambanks by removal of invasive species in Canyon de Chelly National Monument, Arizona”, *Geomorphology*, 103, 363–374.
- Prabakar, J., Sridharb, R. S. 2002. “Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil”, *Construction and Building Materials*, 16, 123–131.
- Preti, F., Giadrossich, F., 2009. “Root reinforcement and slope bioengineering stabilization by Spanish Broom (*Spartium junceum* L.)”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1713–1726.
- Punthutaecha, K., Puppala, A. J., Vanapalli, S. K., Inyang, H. 2006. “Volume change behaviors of expansive soils stabilized with recycled ashes and fibers”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18 (2), 295–306.
- Resop, J. P., Hession, W. C. 2010. “Terrestrial laser scanning for monitoring streambank retreat: comparison with traditional surveying techniques”, *Journal of Hydraulic Engineering*, 136 (10), 794–798.

- Sadeghi, M. M., Beigi, F. H. 2014. "Dynamic behavior of reinforced clayey sand under cyclic loading", *Geotextiles and Geomembranes*, 42, 564–572.
- Sadek, S., Najjar, S. S., Freiha, F. 2010. "Shear strength of fiber-reinforced sands", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136 (3), 490–499.
- Schnellmann, R., Busslinger, M., Schneider, H. R., Rahardjo, H. 2010. "Effect of rising water table in an unsaturated slope", *Engineering Geology*, 114, 71–83.
- Simon, A., Collison, A. J. C. 2002. "Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability". *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 527–546.
- Simon, A., Rinaldi, M., 2006. "Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response", *Geomorphology*, 79 (3–4), 361–383.
- Simon, A., Curini, A., Darby, S. E., Langendoen, E. J. 2000. "Bank and near-bank processes in an incised channel", *Geomorphology*, 35, 193–217.
- Tang, C. S., Shi, B., Gao, W., Chen, F., Cai, Y. 2007. "Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil", *Geotextiles and Geomembranes*, 25, 194–202.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. "Erozyonla Mücadele Eylem Planı 2013-2017", <http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/moduller/erozyon/EROZYON%20EYLEM.pdf>, (Son erişim tarihi: 11 Temmuz 2018).

- van Genuchten, M. Th. 1980. "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils", *Soil Science Society of America Journal*, 44 (5), 892–898.
- Viswanadham, B. V. S., Phanikumar, B. R., Mukherjee, R. V. 2009. "Effect of polypropylene tape fibre reinforcement on swelling behaviour of an expansive soil", *Geosynthetics International*, 16 (5), 393–401.
- Waldron, L. J. 1977. "The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil", *Soil Science Society America Journal*, 41, 843–849.
- Wilson, C., Kuhnle, R. A., Bosch, D. D., Steiner, J. L., Starks, P. J., Tomer, M. D., Wilson, G. V. 2008. "Relative source contributions of eroded sediment to the suspended load of CEAP watersheds in Mississippi, Iowa, Georgia, and Oklahoma", *Journal of Soil and Water Conservation*, 63 (6), 523–532.
- Wilson, G. V., Periketi, R. K., Fox, G. A., Dabney, S. M., Shields, F. D., Cullum, R. F. 2007. "Soil properties controlling seepage erosion contributions to streambank failure", *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 447–459.
- Wu, T. H., Randolph, B. W., Huang, C. S. 1993. "Stability of shale embankments", *Journal of Geotechnical Engineering*, 119 (1), 127–146.
- Yan, Z-Y., Wang, J-J., Chai, H-J. 2010. "Influence of water level fluctuation on phreatic line in silty soil model slope", *Engineering Geology*, 113, 90–98.

- Yetimoglu, T., Inanir, M., Inanir, O. E. 2005. "A study on bearing capacity of randomly distributed fiber-reinforced sand fills overlying soft clay", *Geotextiles and Geomembranes*, 23, 174–183.
- Yetimoglu, T., Salbas, O. 2003. "A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers", *Geotextiles and Geomembranes*, 21, 103–110.
- Yilmaz, Y. 2009. "Experimental investigation of the strength properties of sand–clay mixtures reinforced with randomly distributed discrete polypropylene fibers", *Geosynthetics International*, 16 (5), 354–363.
- Zhang, C.-B., Chen, L.-H., Jianga, J. 2014. "Why fine tree roots are stronger than thicker roots: The role of cellulose and lignin in relation to slope stability", *Geomorphology*, 206, 196–202.

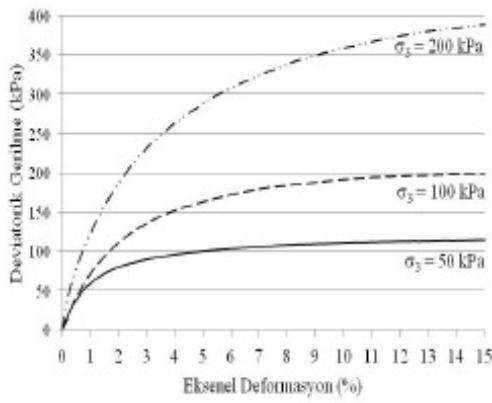
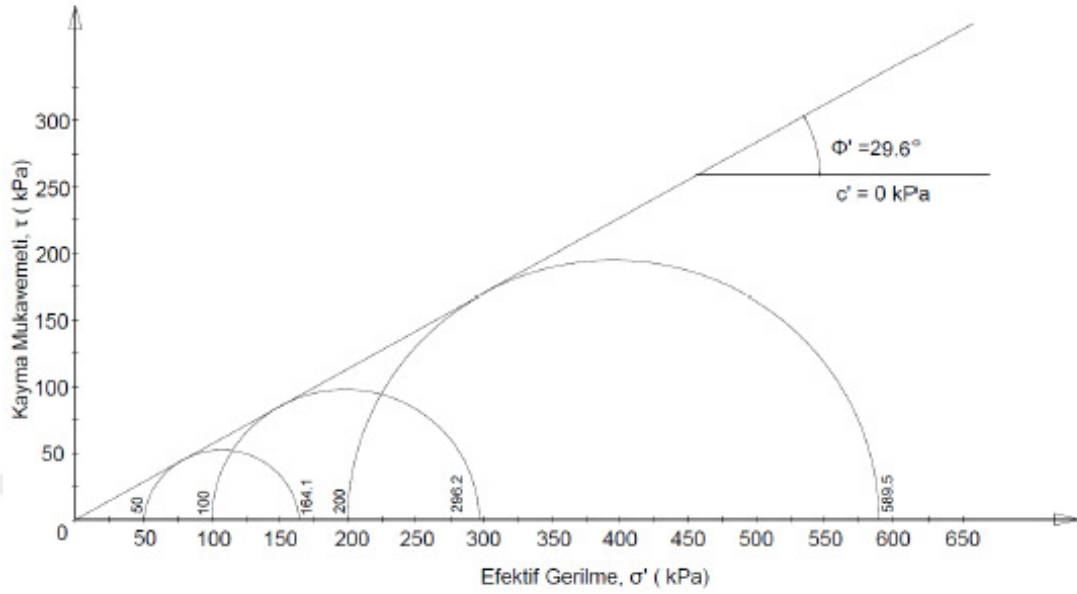
EKLER





Ek 1. Üç Eksenli Basınç Test Raporları

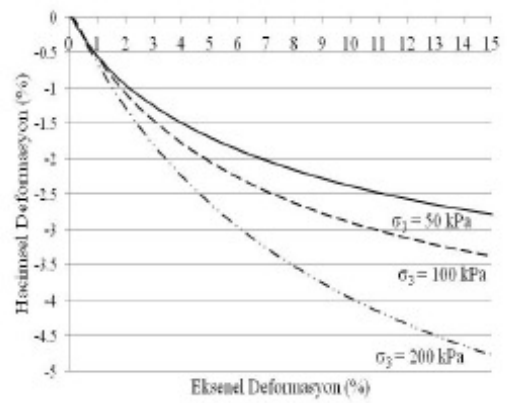
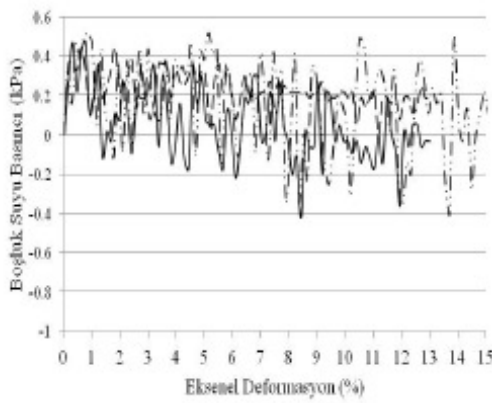
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	114.1	164.1	15.0
100	196.2	296.2	15.0
200	389.5	589.5	15.0

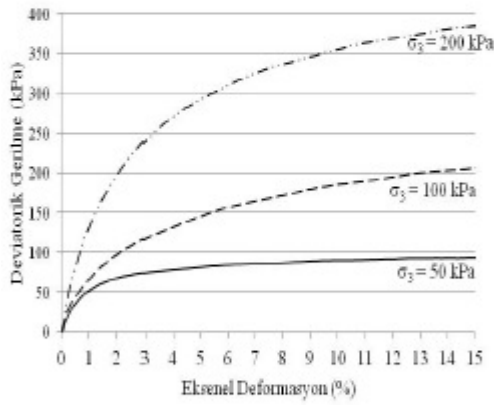
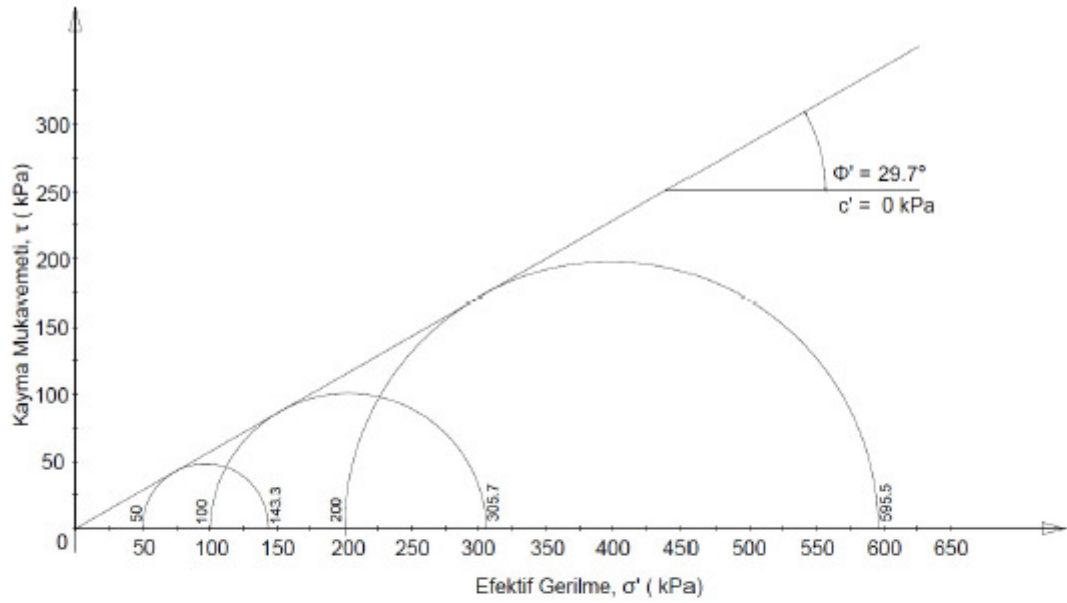
$$c' \text{ (kPa)} = 0$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 29.6$$



Şekil Ek 1.1. Katkısız kum üç eksenli basınç test raporu

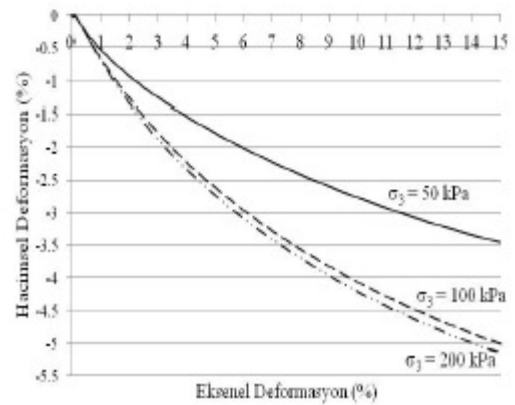
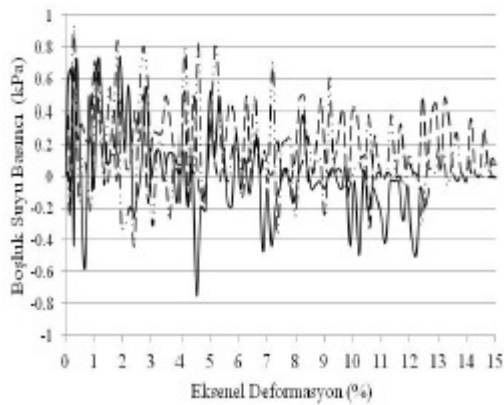
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	93.3	143.3	15.0
100	205.7	305.7	15.0
200	395.5	595.5	15.0

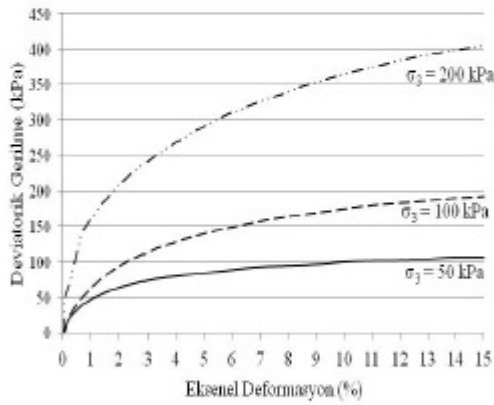
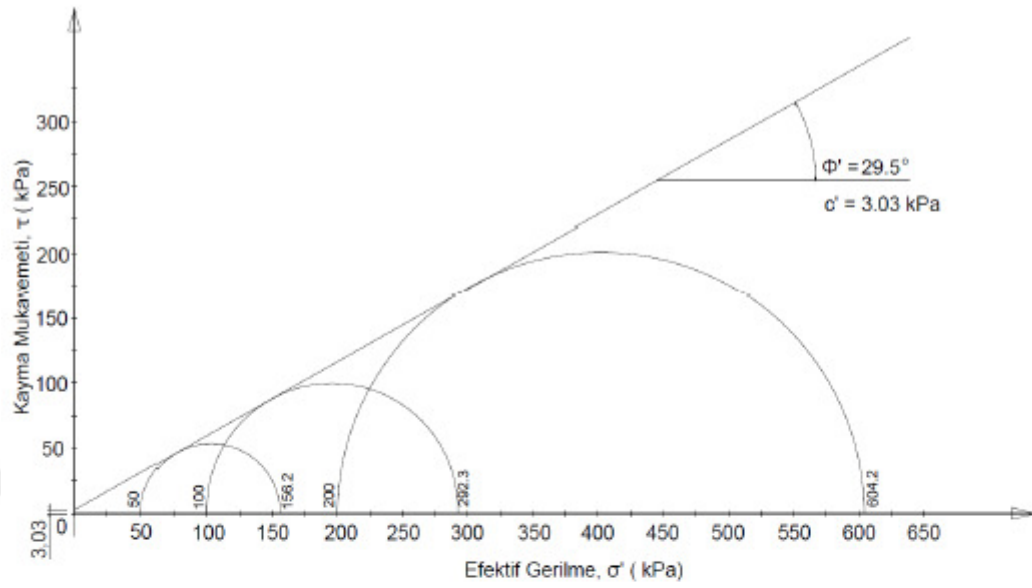
$$c' \text{ (kPa)} = 0$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 29.7$$



Şekil Ek 1.2. 6 mm %0.1 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

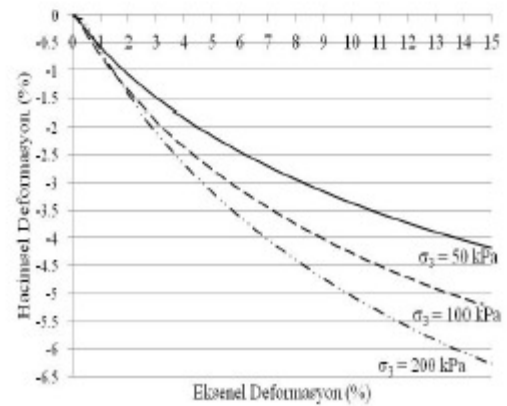
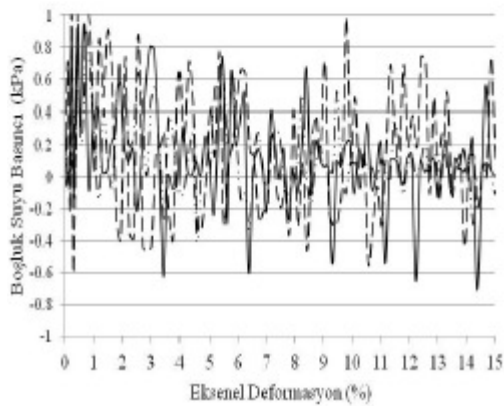
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Aksel Deformasyon (%)
50	106.2	156.2	15.0
100	192.3	292.3	15.0
200	404.2	604.2	15.0

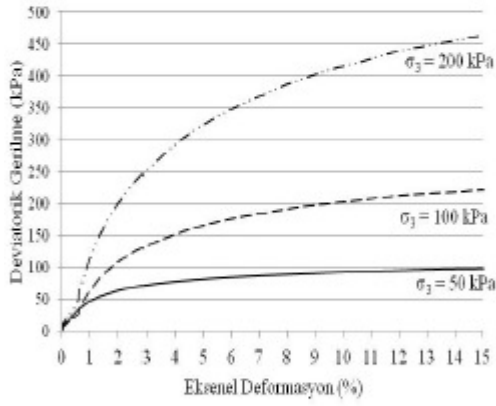
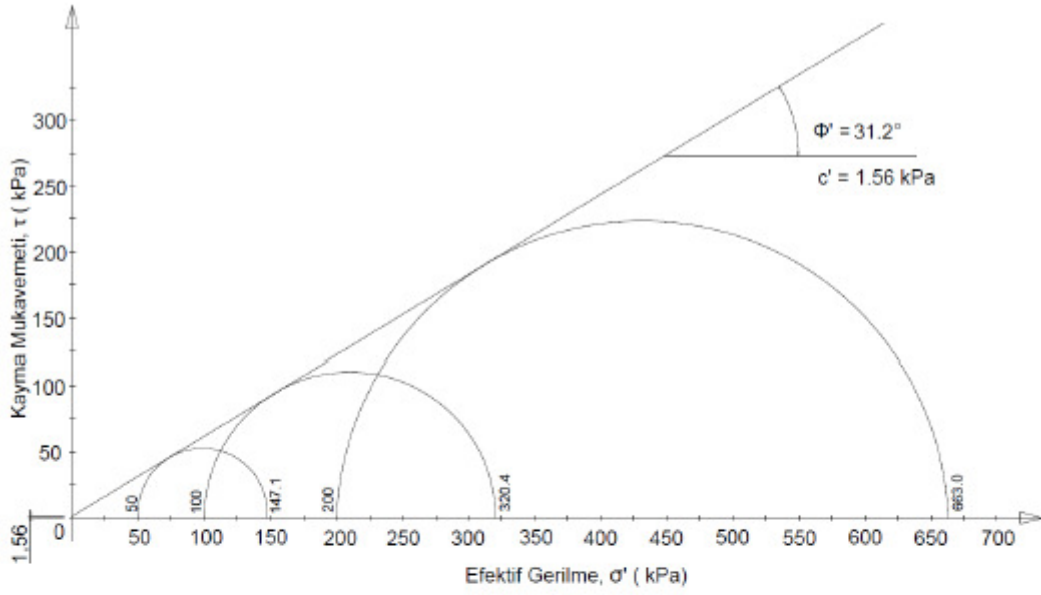
$$c' \text{ (kPa)} = 3.0$$

$$\phi' \text{ (derece)} = 29.5$$



Şekil Ek 1.3. 6 mm %0.2 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

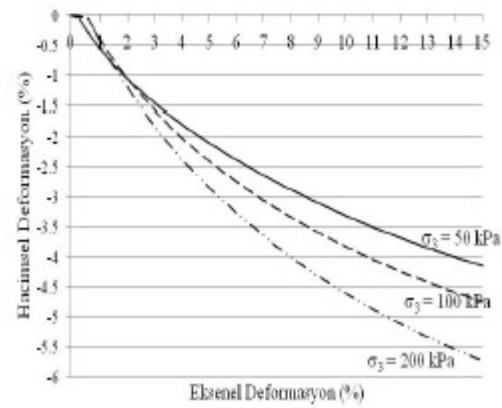
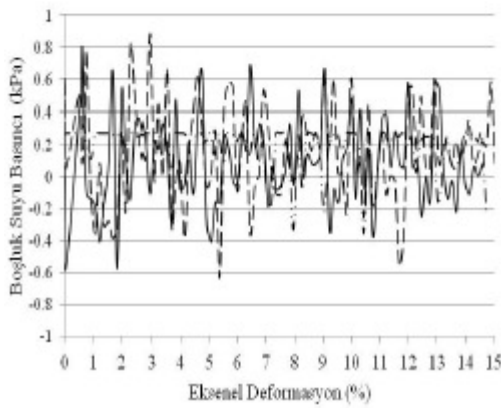
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Ekselil Deformasyon (%)
50	97.1	147.1	15.0
100	220.4	320.4	15.0
200	463.0	663.0	15.0

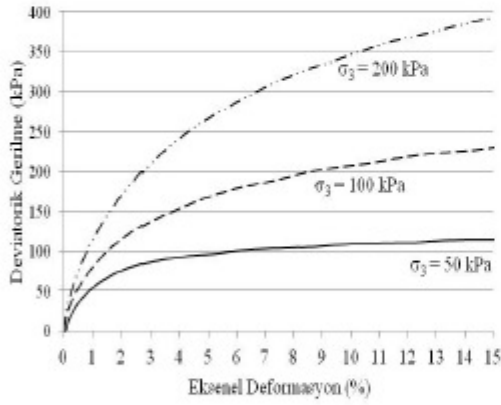
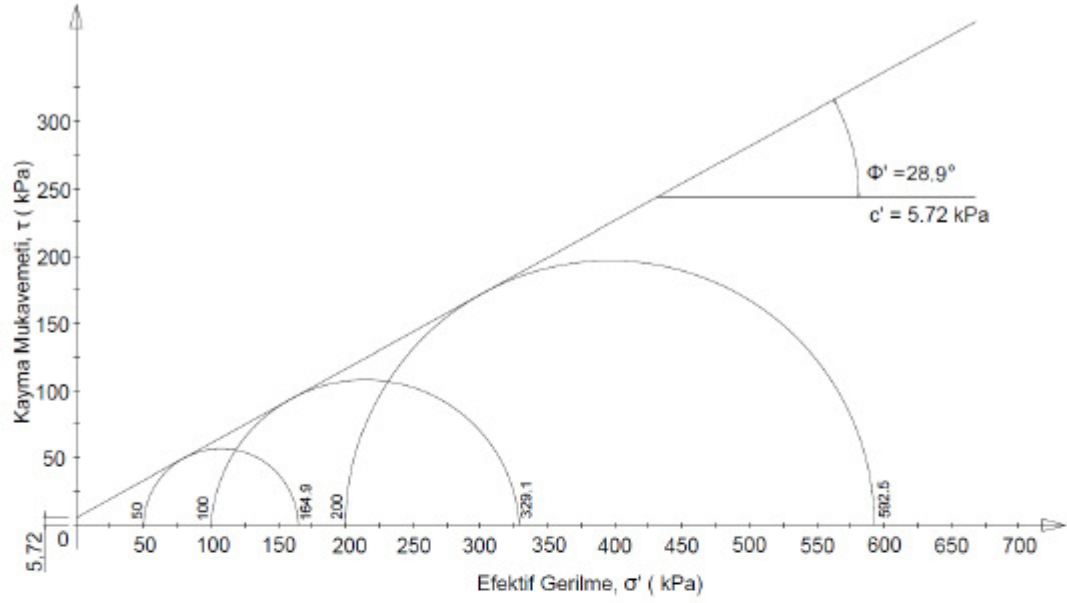
$$c' \text{ (kPa)} = 1.6$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 31.2$$



Şekil Ek 1.4. 6 mm %0.3 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

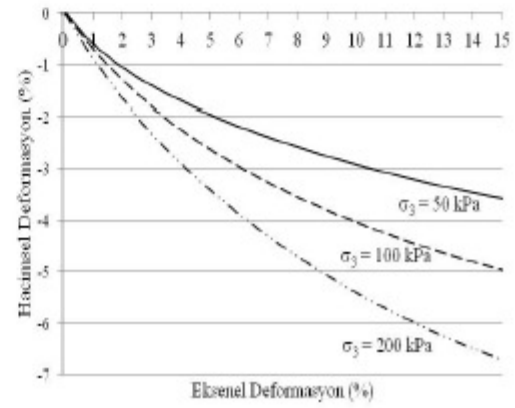
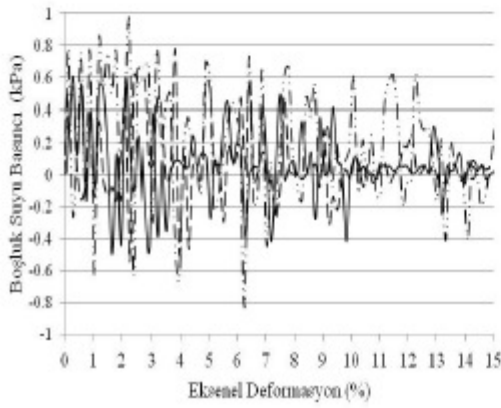
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	114.9	164.9	15.0
100	229.1	329.1	15.0
200	392.5	592.5	15.0

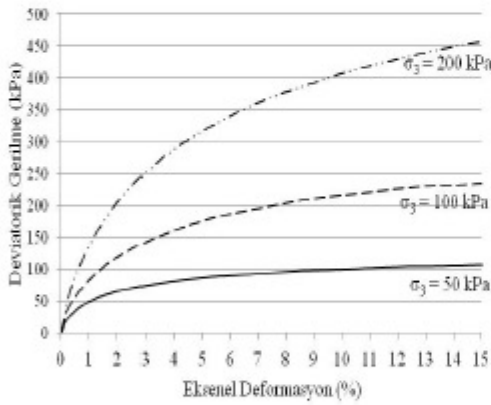
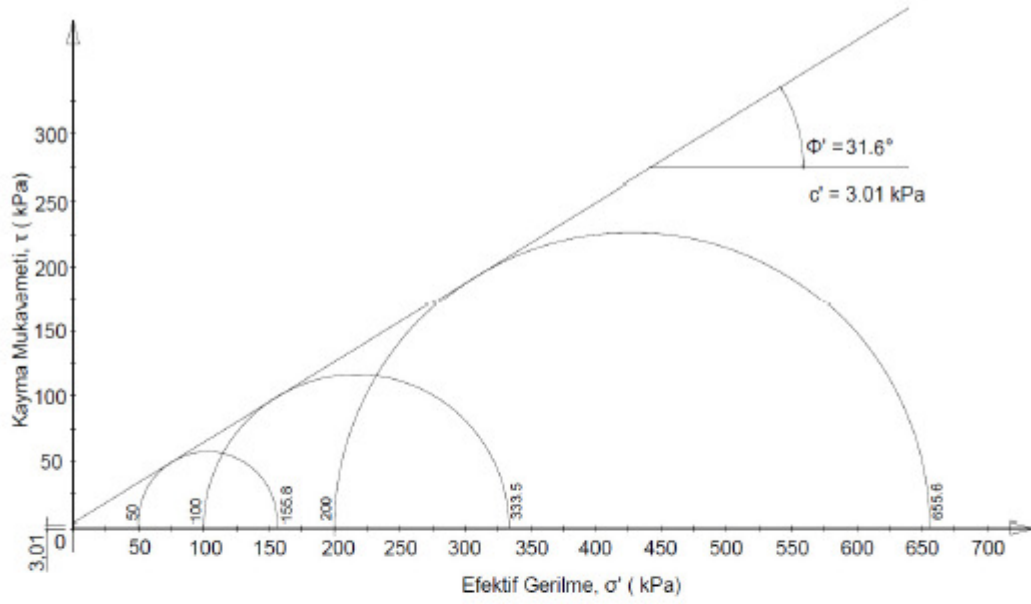
$$c' \text{ (kPa)} = 5.7$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 28.9$$



Şekil Ek 1.5. 6 mm %0.4 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

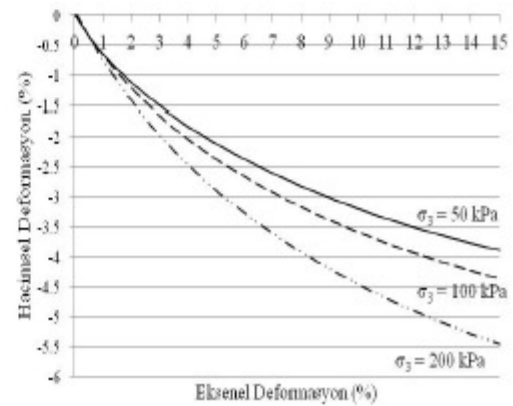
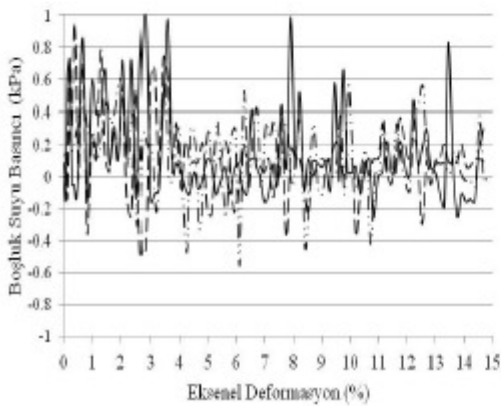
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Aksel Deformasyon (%)
50	105.8	155.8	15.0
100	233.5	333.5	15.0
200	455.6	655.6	15.0

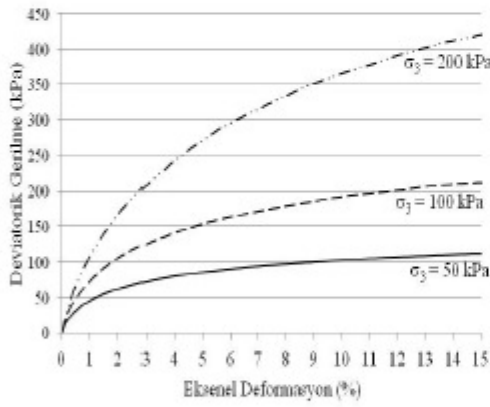
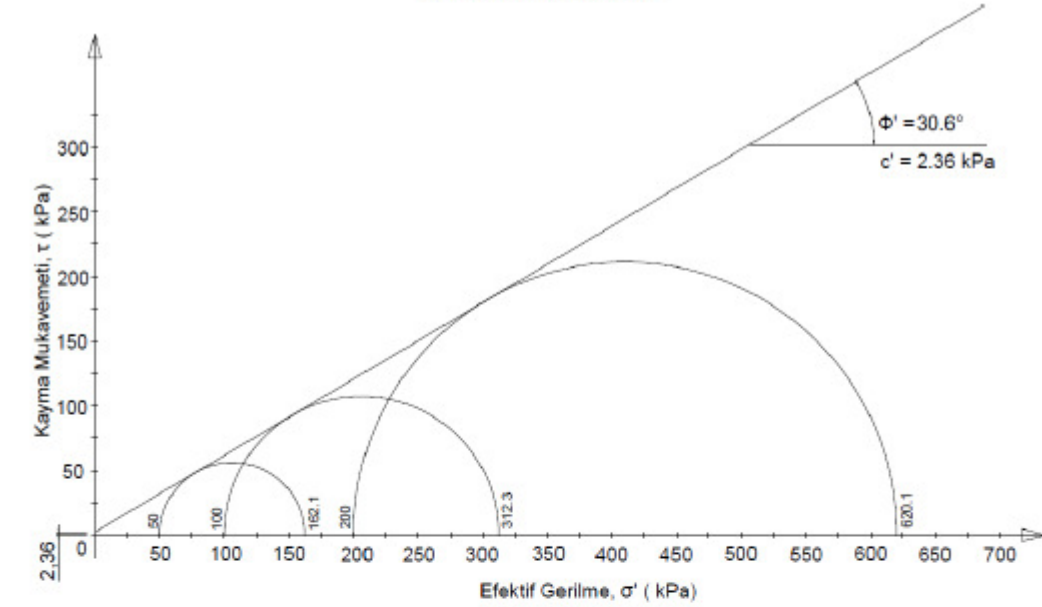
$$c' \text{ (kPa)} = 3.0$$

$$\phi' \text{ (derece)} = 31.6$$



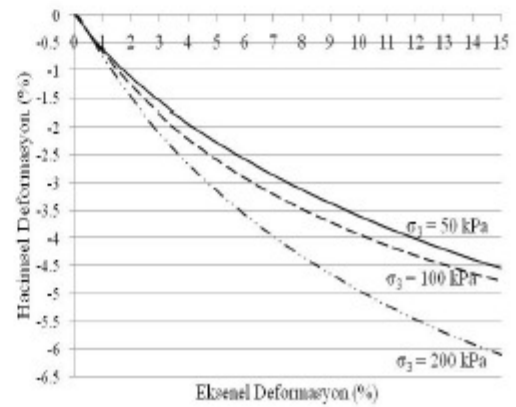
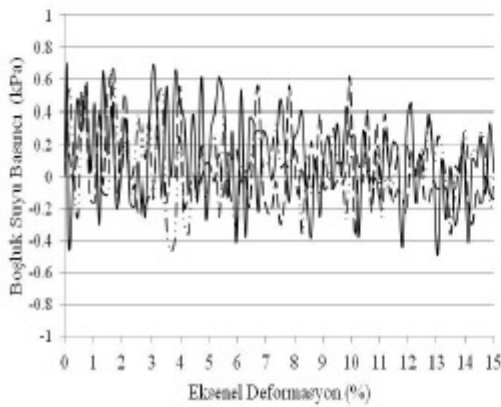
Şekil Ek 1.6. 6 mm %0.5 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

KIRILMA ZARFI



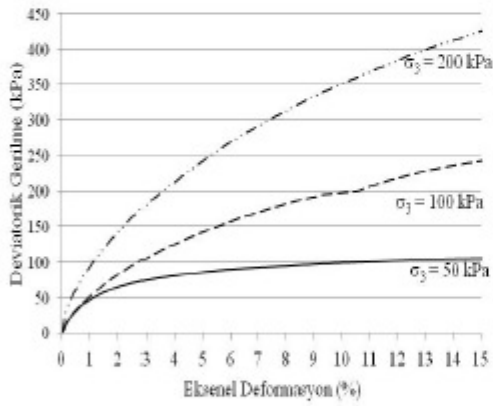
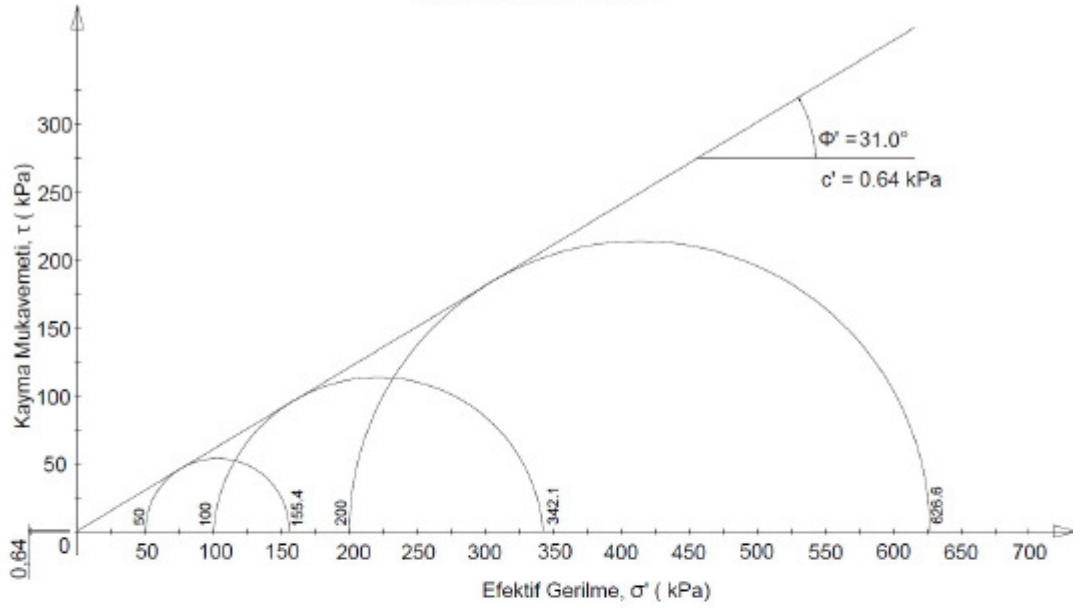
Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Aksel Deformasyon (%)
50	112.1	162.1	15.0
100	212.3	312.3	15.0
200	420.1	620.1	15.0

c' (kPa) 2.4
 ϕ' (derece) 30.6



Şekil Ek 1.7. 6 mm %0.6 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

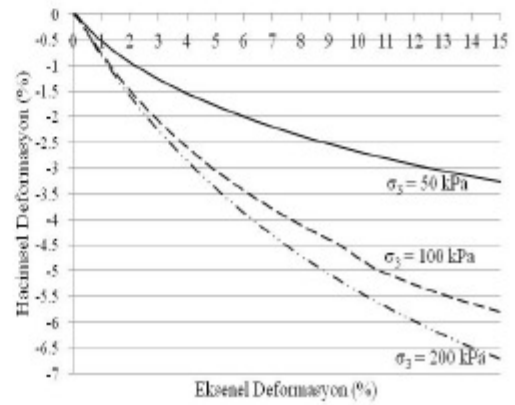
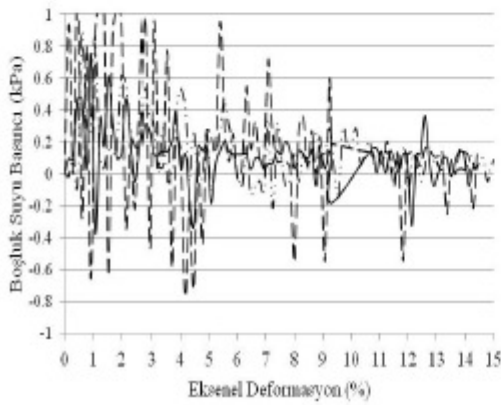
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	105.4	155.4	15.0
100	242.1	342.1	15.0
200	426.6	626.6	15.0

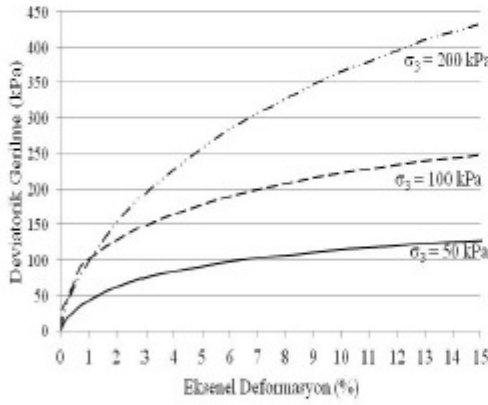
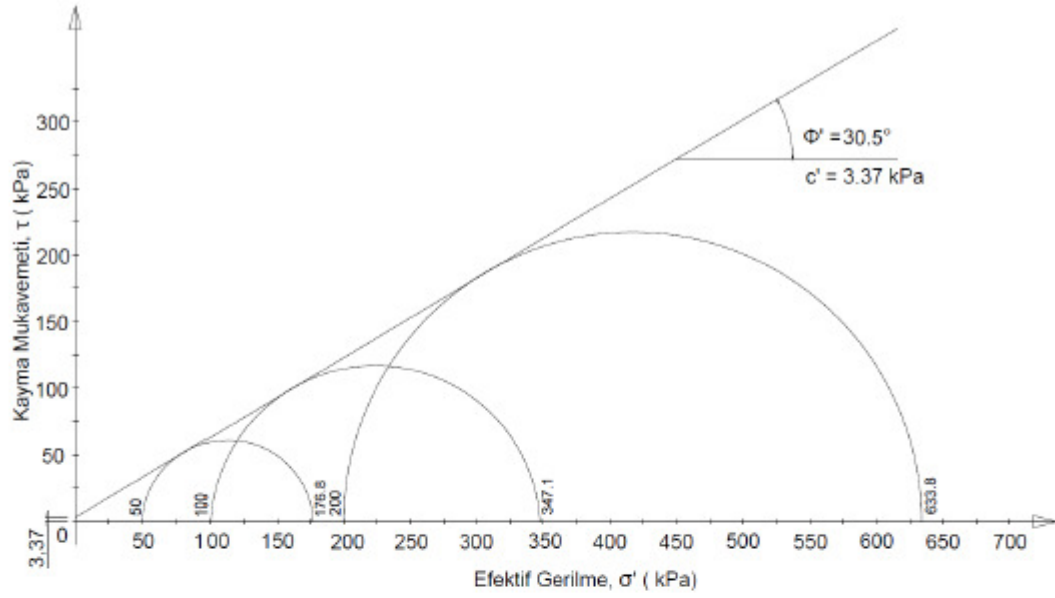
$$c' \text{ (kPa)} = 0.6$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 31.0$$



Şekil Ek 1.8. 6 mm %0.7 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

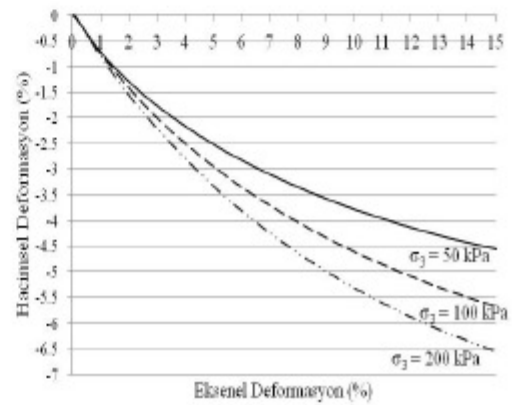
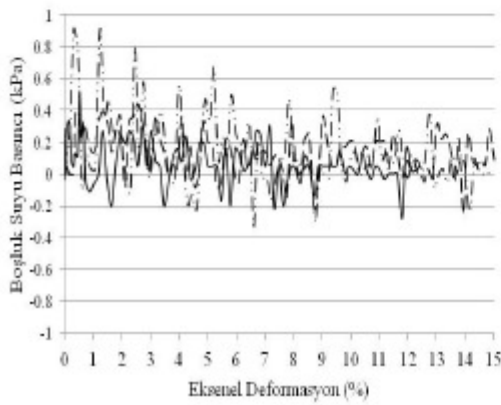
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	126.8	176.8	15.0
100	247.1	347.1	15.0
200	433.8	633.8	15.0

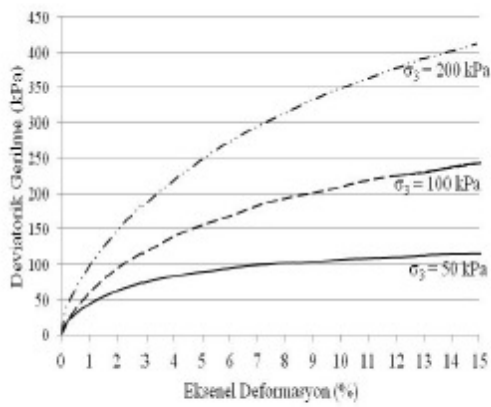
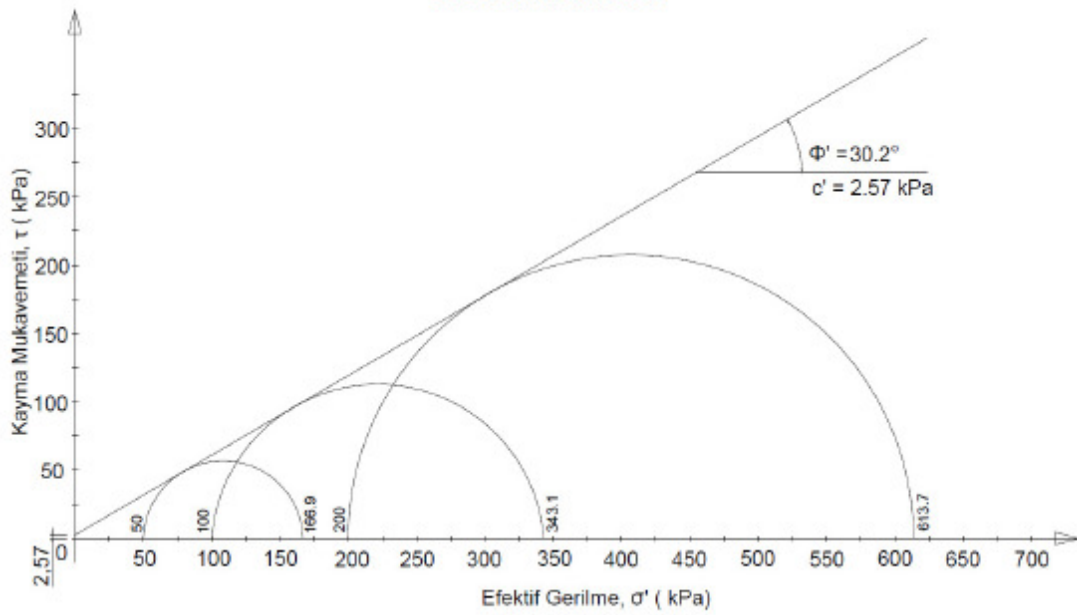
$$c' \text{ (kPa)} \quad 3.4$$

$$\Phi' \text{ (derece)} \quad 30.5$$



Şekil Ek 1.9. 6 mm %0.8 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

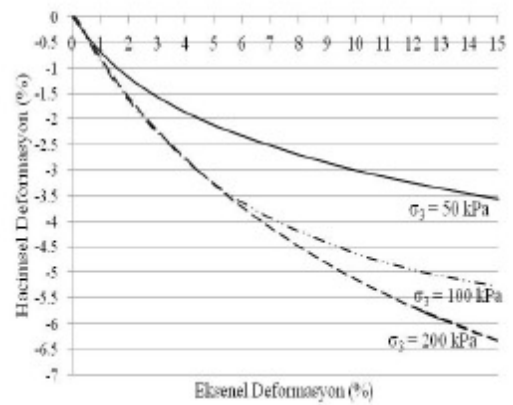
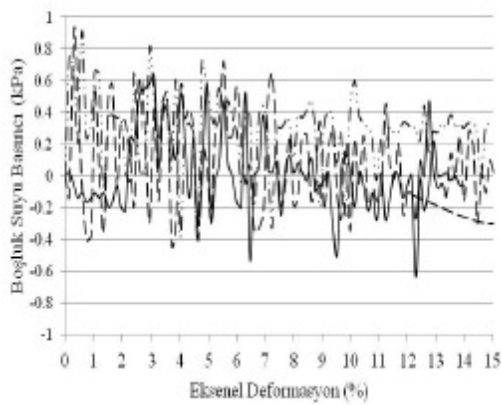
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	116.9	166.9	15.0
100	243.1	343.1	15.0
200	413.7	613.7	15.0

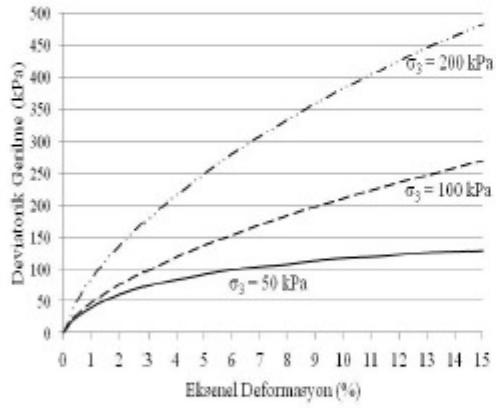
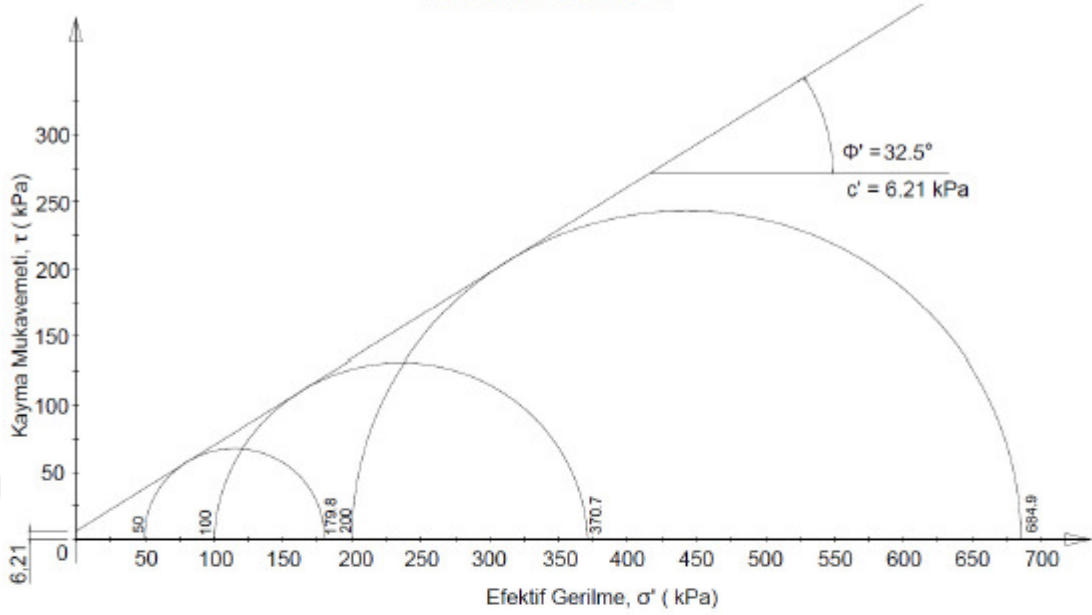
$$c' \text{ (kPa)} = 2.6$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 30.2$$



Şekil Ek 1.10. 6 mm %0.9 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

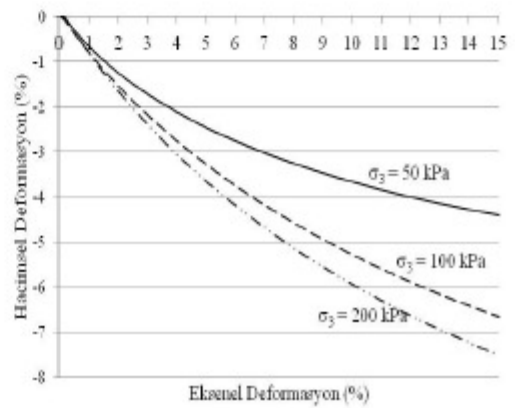
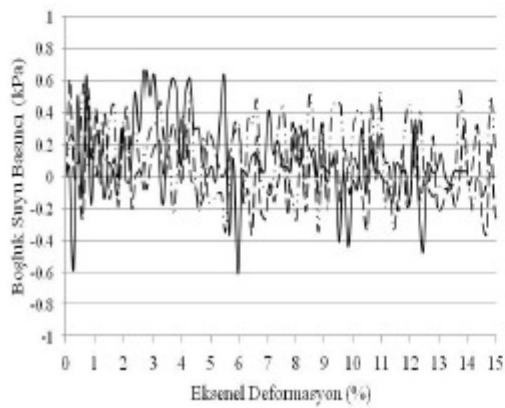
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	129.8	179.8	15.0
100	270.7	370.7	15.0
200	484.9	684.9	15.0

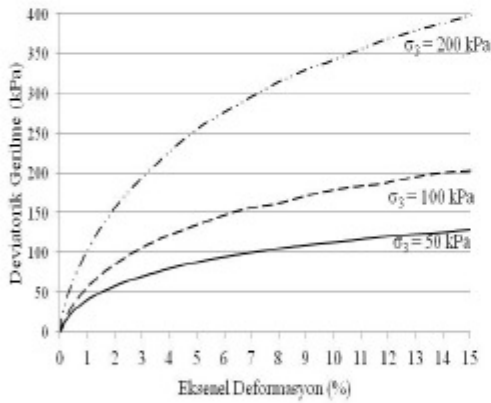
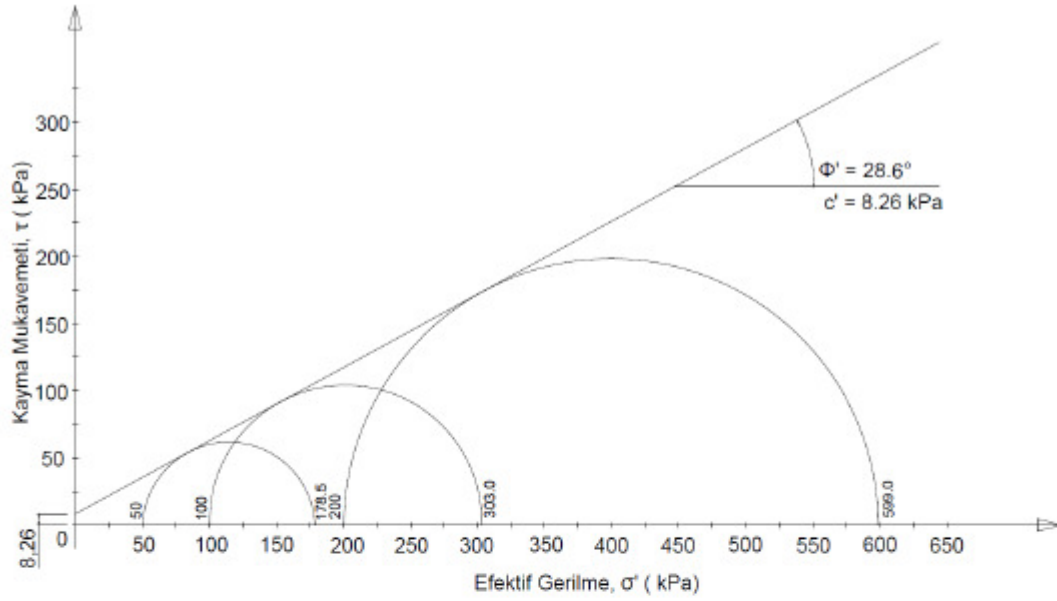
$$c' \text{ (kPa)} = 6.2$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 32.5$$



Şekil Ek 1.11. 6 mm %1.0 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

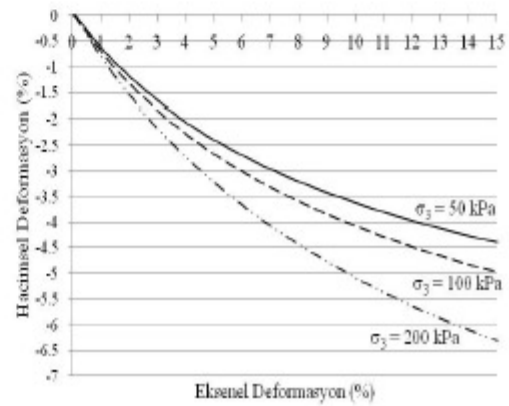
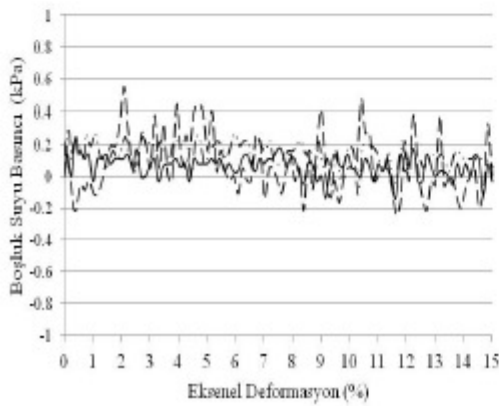
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Aksel Deformasyon (%)
50	128.5	178.5	15.0
100	203.0	303.0	15.0
200	399.0	599.0	15.0

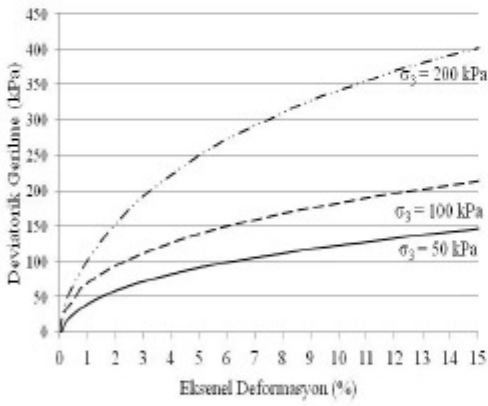
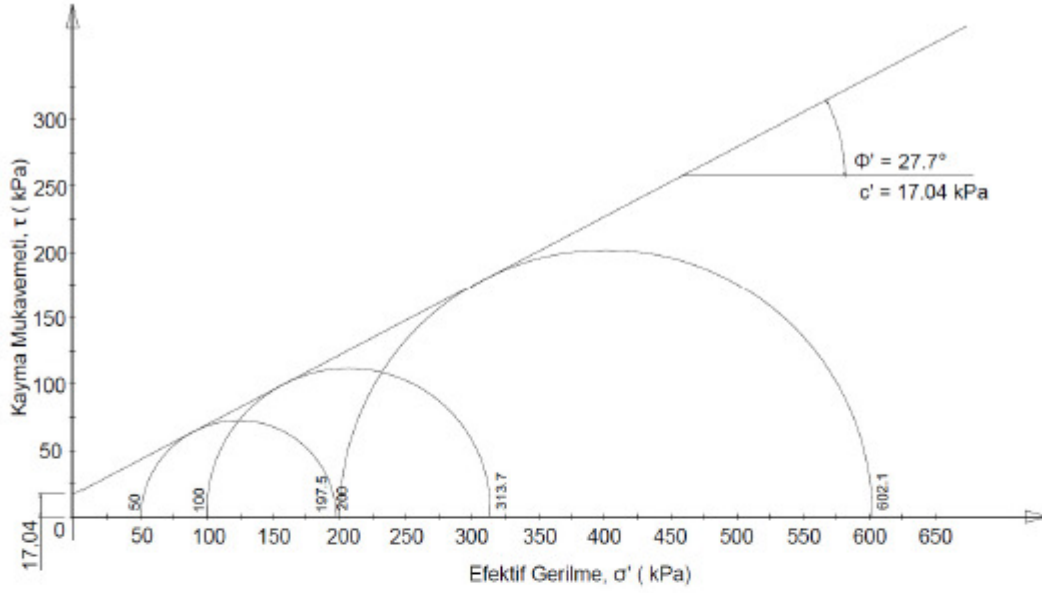
$$c' \text{ (kPa)} = 8.3$$

$$\Phi' \text{ (derece)} = 28.6$$



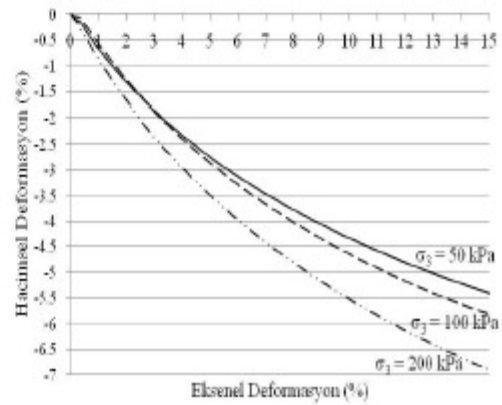
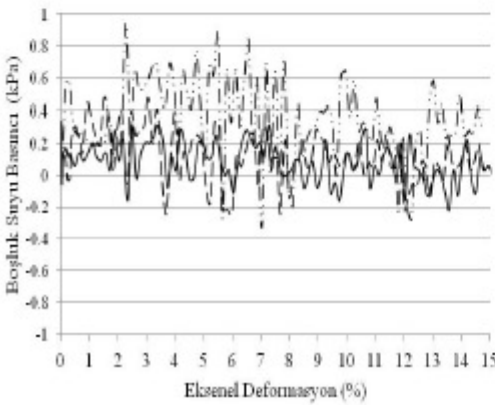
Şekil Ek 1.12. 18 mm %0.1 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

KIRILMA ZARFI



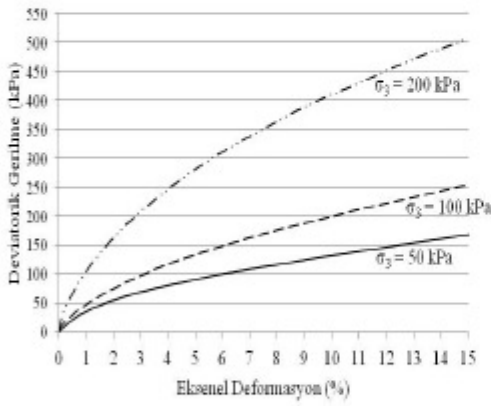
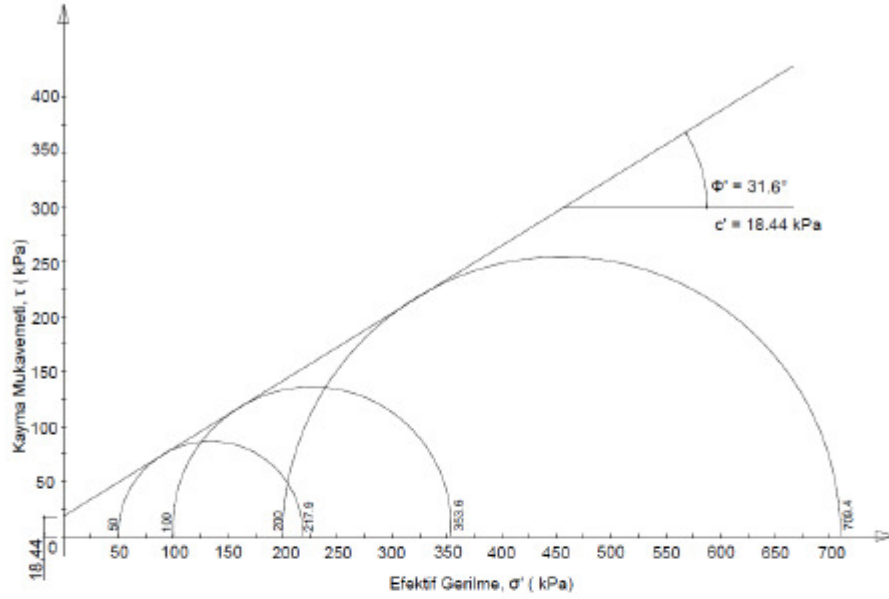
Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	147.5	197.5	15.0
100	213.7	313.7	15.0
200	402.1	602.1	15.0

c' (kPa) 17.0
 ϕ' (derece) 27.7



Şekil Ek 1.13. 18 mm %0.2 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

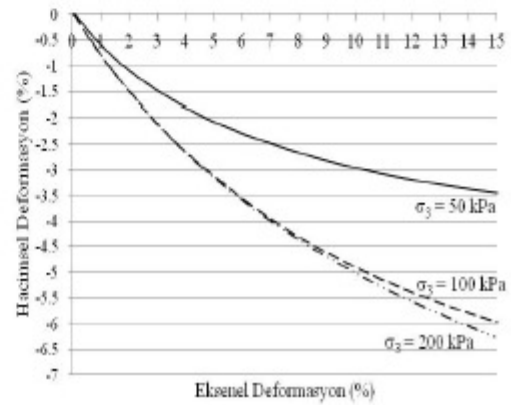
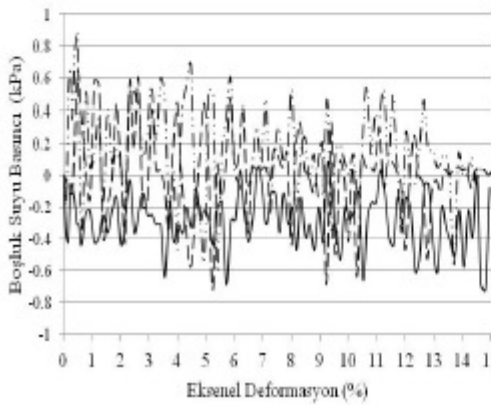
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	167.9	217.9	15.0
100	253.6	353.6	15.0
200	509.4	709.4	15.0

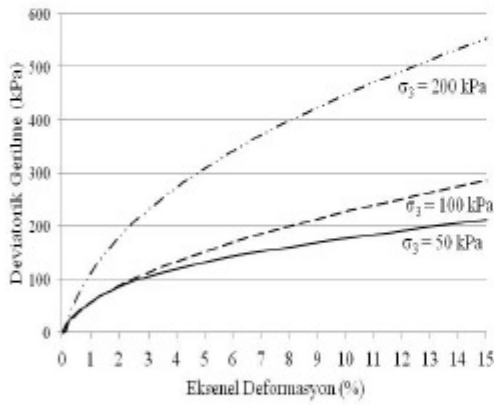
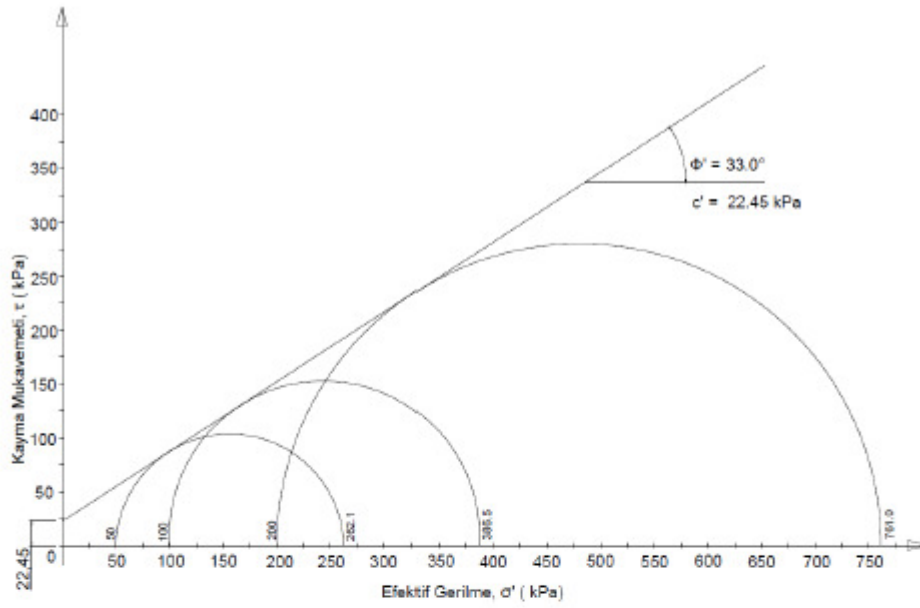
$$c' \text{ (kPa)} \quad 18.4$$

$$\phi' \text{ (derece)} \quad 31.6$$



Şekil Ek 1.14. 18 mm %0.3 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

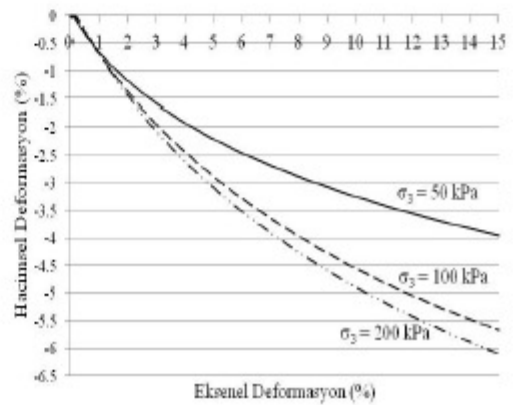
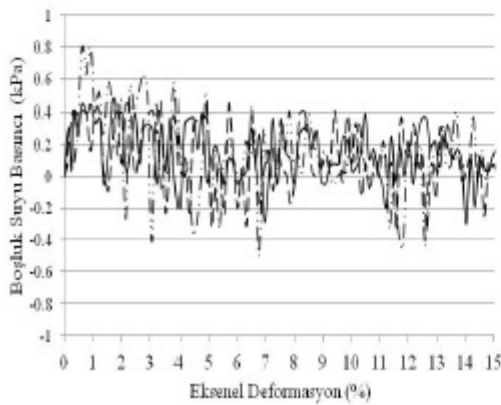
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Aksel Deformasyon (%)
50	212.1	262.1	15.0
100	286.5	386.5	15.0
200	561.0	761.0	15.0

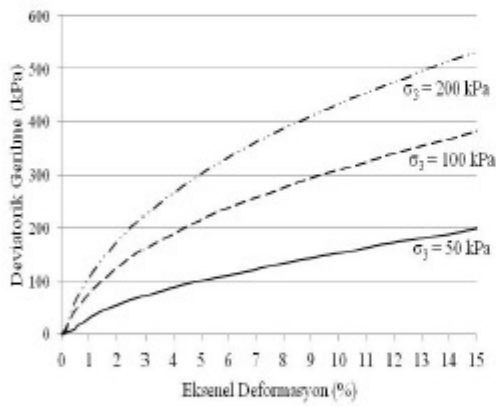
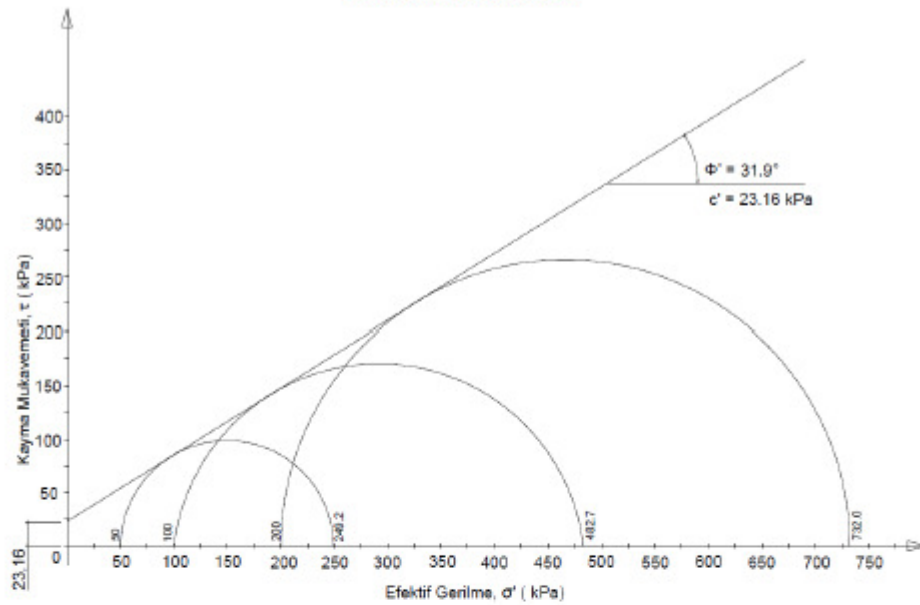
$$c' \text{ (kPa)} = 22.5$$

$$\phi' \text{ (derece)} = 33.0$$



Şekil Ek 1.15. 18 mm %0.4 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

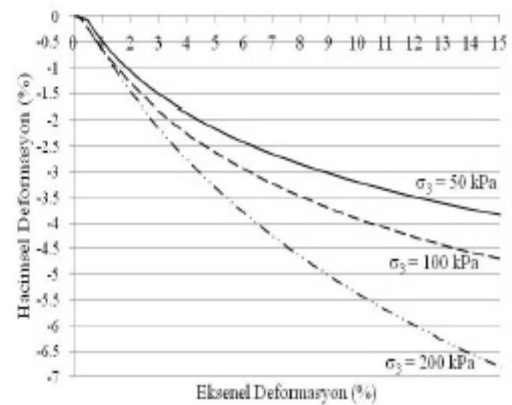
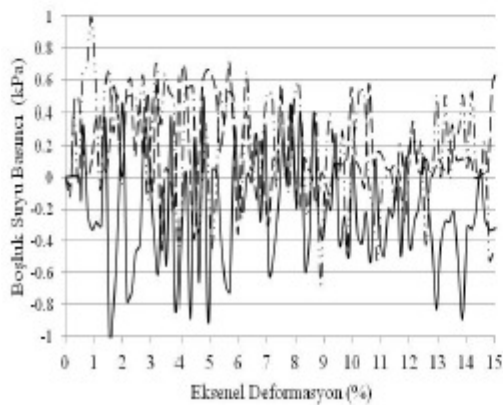
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	199.2	249.2	15.0
100	382.7	482.7	15.0
200	532.0	732.0	15.0

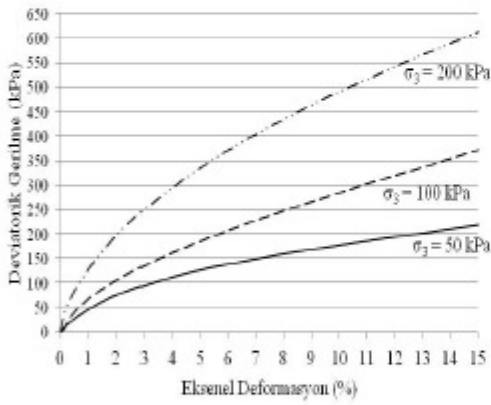
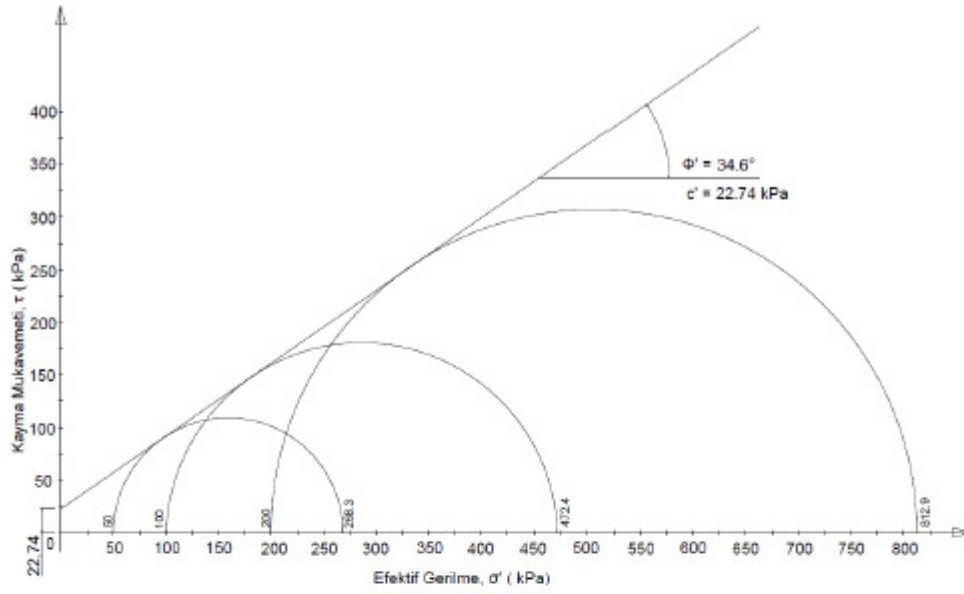
$$c' \text{ (kPa)} = 23.2$$

$$\phi' \text{ (derece)} = 31.9$$



Şekil Ek 1.16. 18 mm %0.5 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

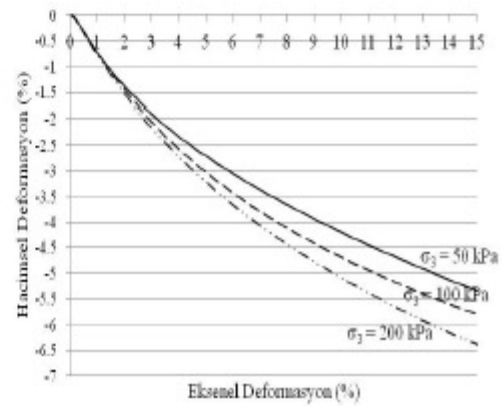
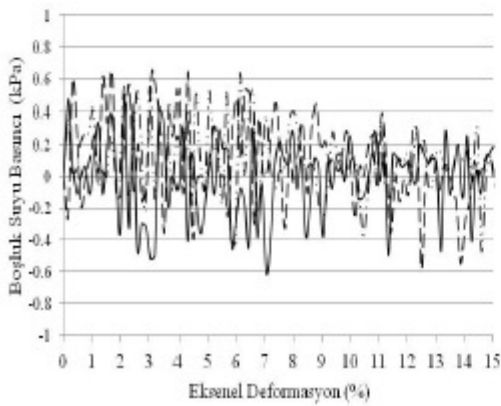
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenal Deformasyon (%)
50	218.3	268.3	15.0
100	372.4	472.4	15.0
200	612.9	812.9	15.0

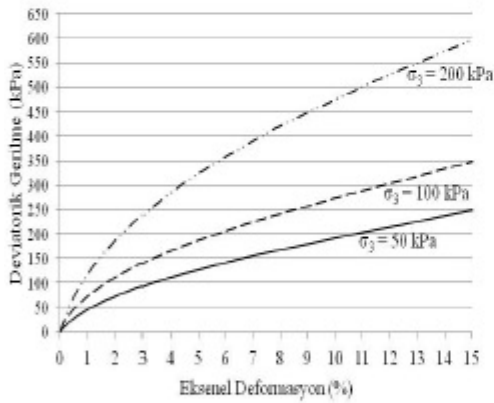
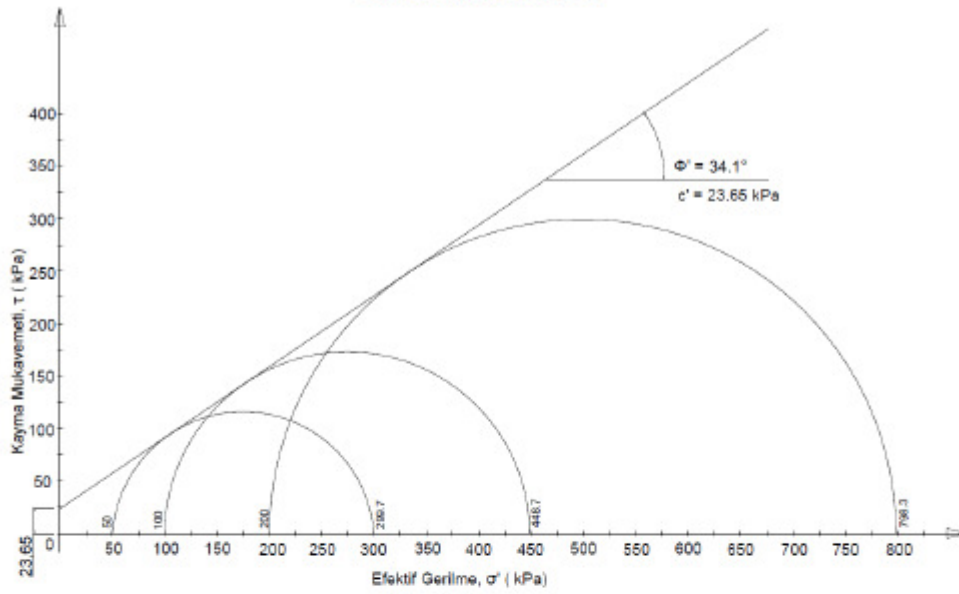
$$c' \text{ (kPa)} \quad 22.7$$

$$\phi' \text{ (derece)} \quad 34.6$$



Şekil Ek 1.17. 18 mm %0.6 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

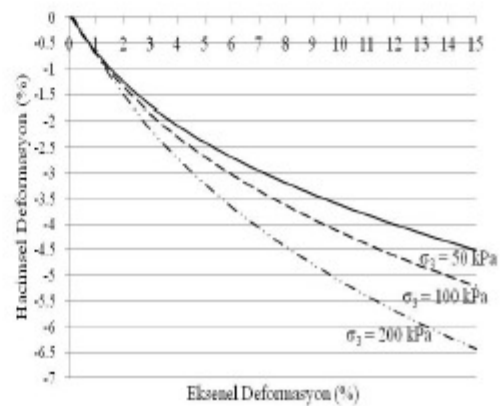
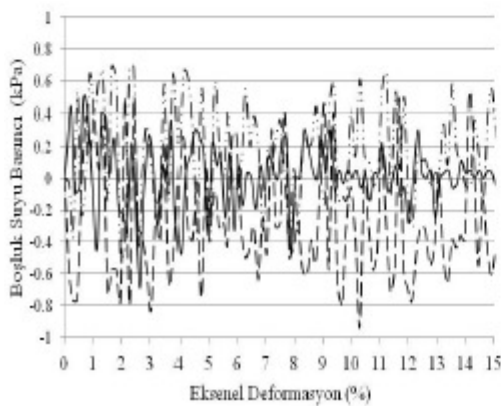
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Aksel Deformasyon (%)
50	249.7	299.7	15.0
100	348.7	448.7	15.0
200	598.3	798.3	15.0

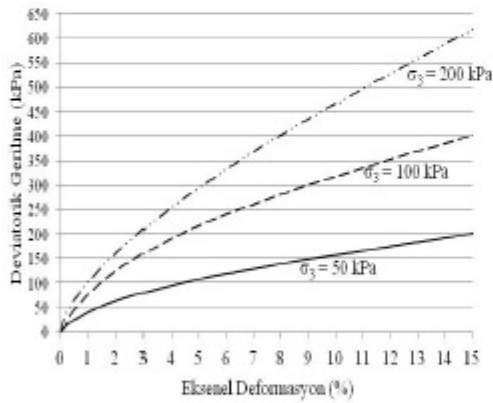
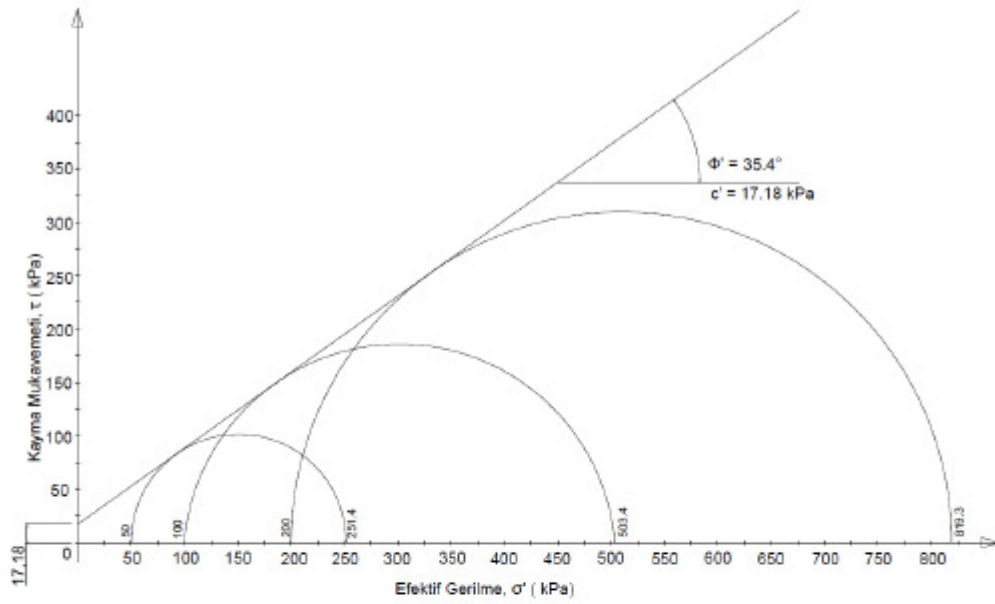
$$c' (kPa) \quad 23.7$$

$$\phi' (derece) \quad 34.1$$



Şekil Ek 1.18. 18 mm %0.7 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

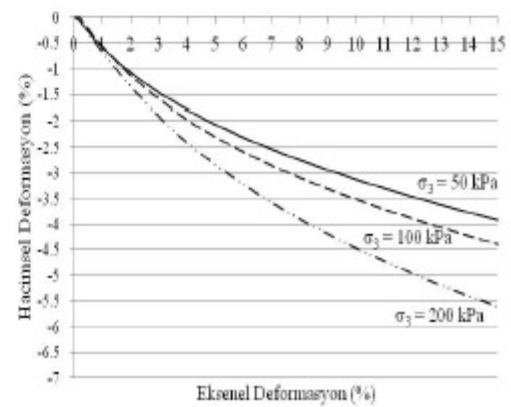
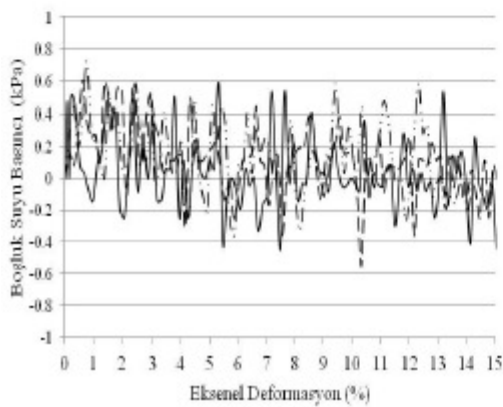
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksenel Deformasyon (%)
50	201.4	251.4	15.0
100	403.4	503.4	15.0
200	619.3	819.3	15.0

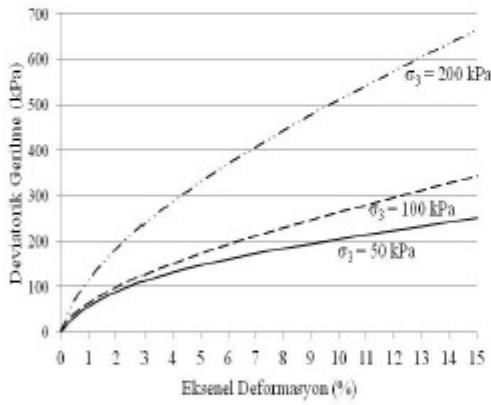
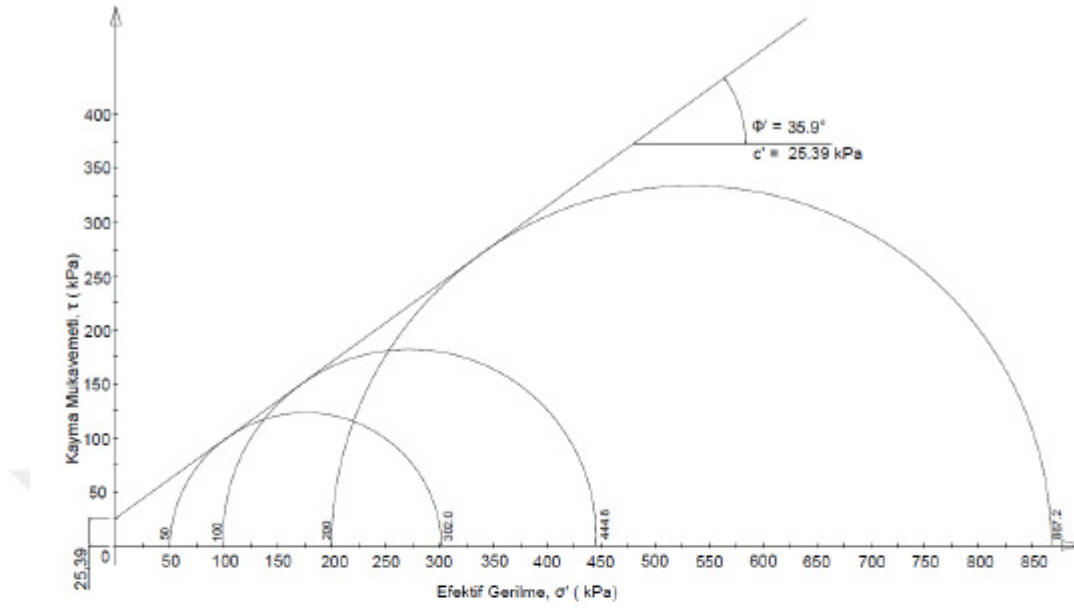
$$c' \text{ (kPa)} \quad 17.2$$

$$\phi' \text{ (derece)} \quad 35.4$$



Şekil Ek 1.19. 18 mm %0.8 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

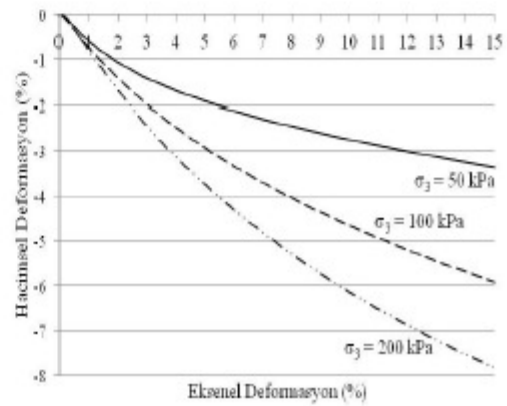
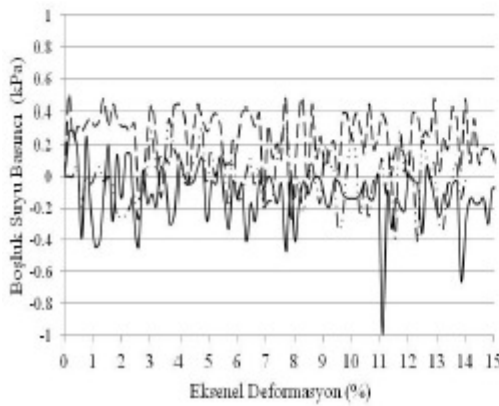
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ'_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Eksel Deformasyon (%)
50	252.0	302.0	15.0
100	344.8	444.8	15.0
200	667.2	867.2	15.0

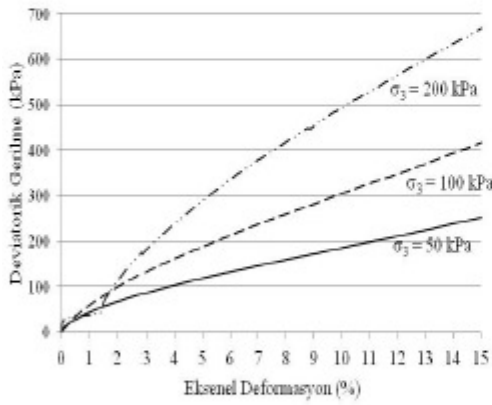
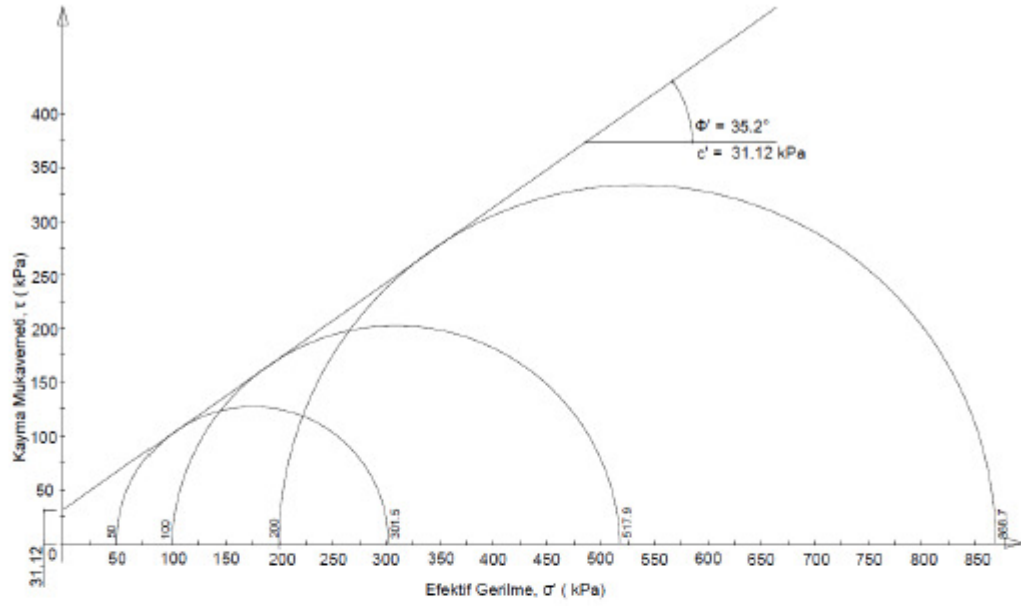
$$c' \text{ (kPa)} = 25.4$$

$$\phi' \text{ (derece)} = 35.9$$



Şekil Ek 1.20. 18 mm %0.9 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

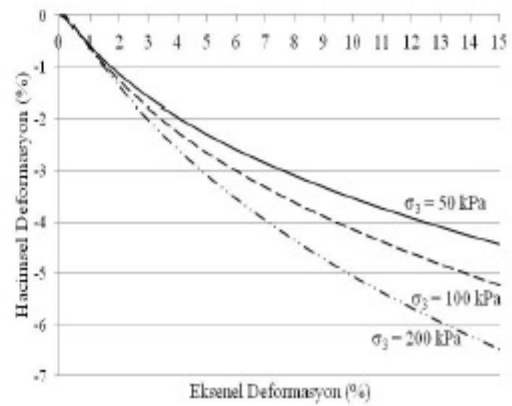
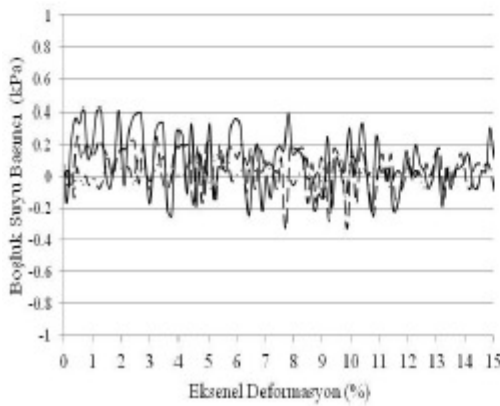
KIRILMA ZARFI



Hücre Basıncı, σ_3 (kPa)	Pik Deviatorik Gerilme, σ'_d (kPa)	Pik asal gerilme σ'_1 (kPa)	Kırılma Anındaki Aksel Deformasyon (%)
50	251.5	301.5	15.0
100	417.9	517.9	15.0
200	668.7	868.7	15.0

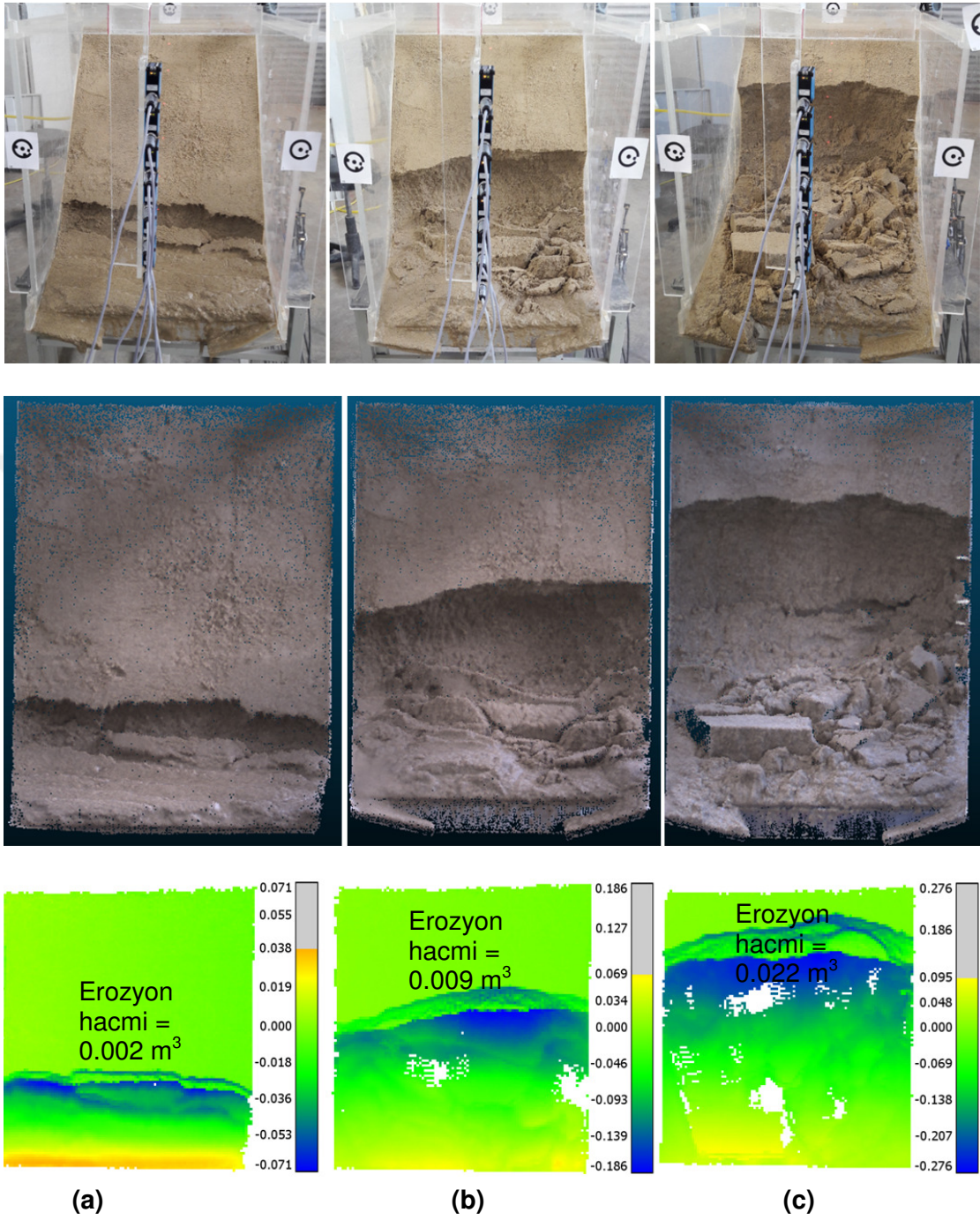
$$c' \text{ (kPa)} = 31.1$$

$$\phi' \text{ (derece)} = 35.2$$

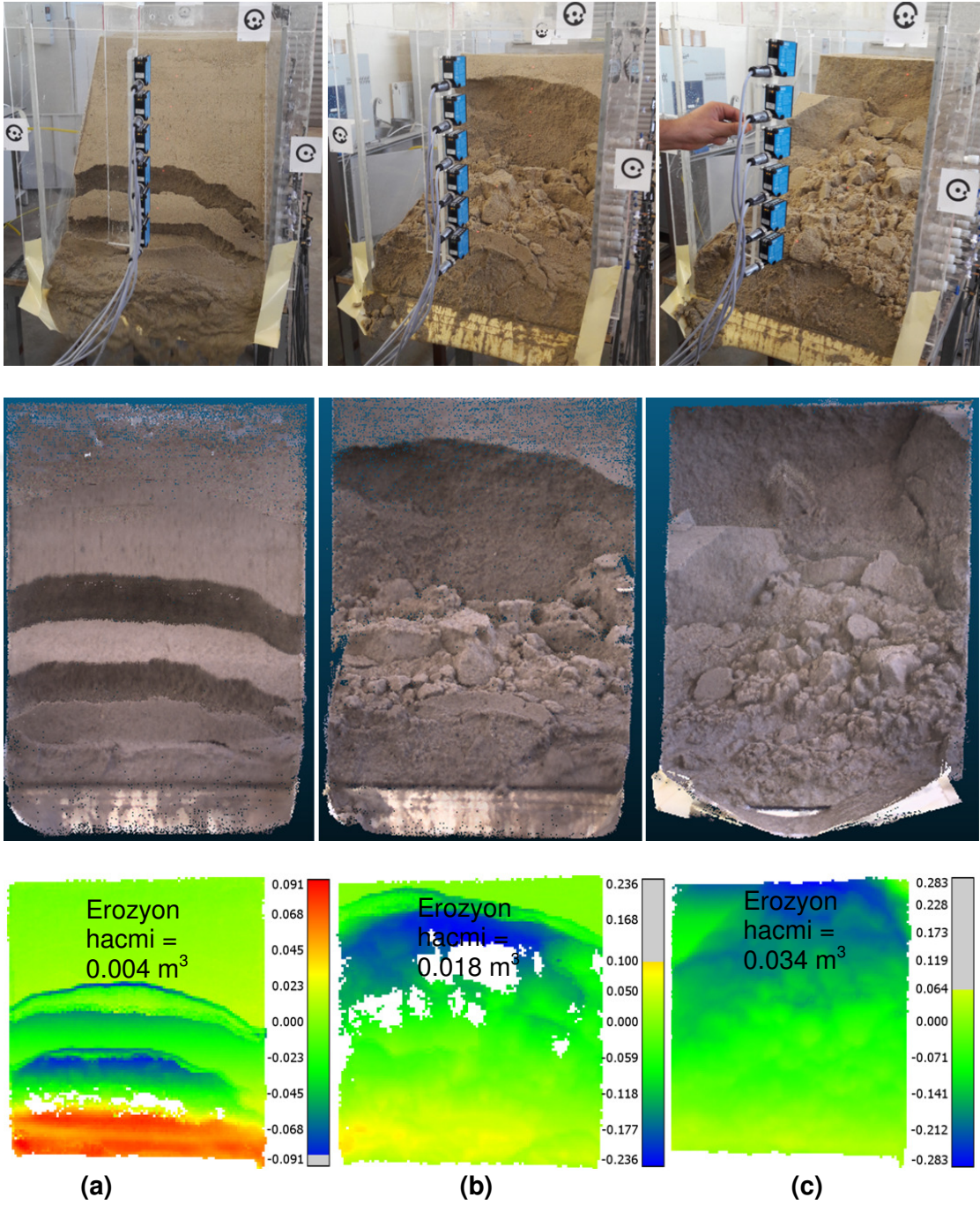


Şekil Ek 1.21. 18 mm %1.0 lif katkılı kum üç eksenli basınç test raporu

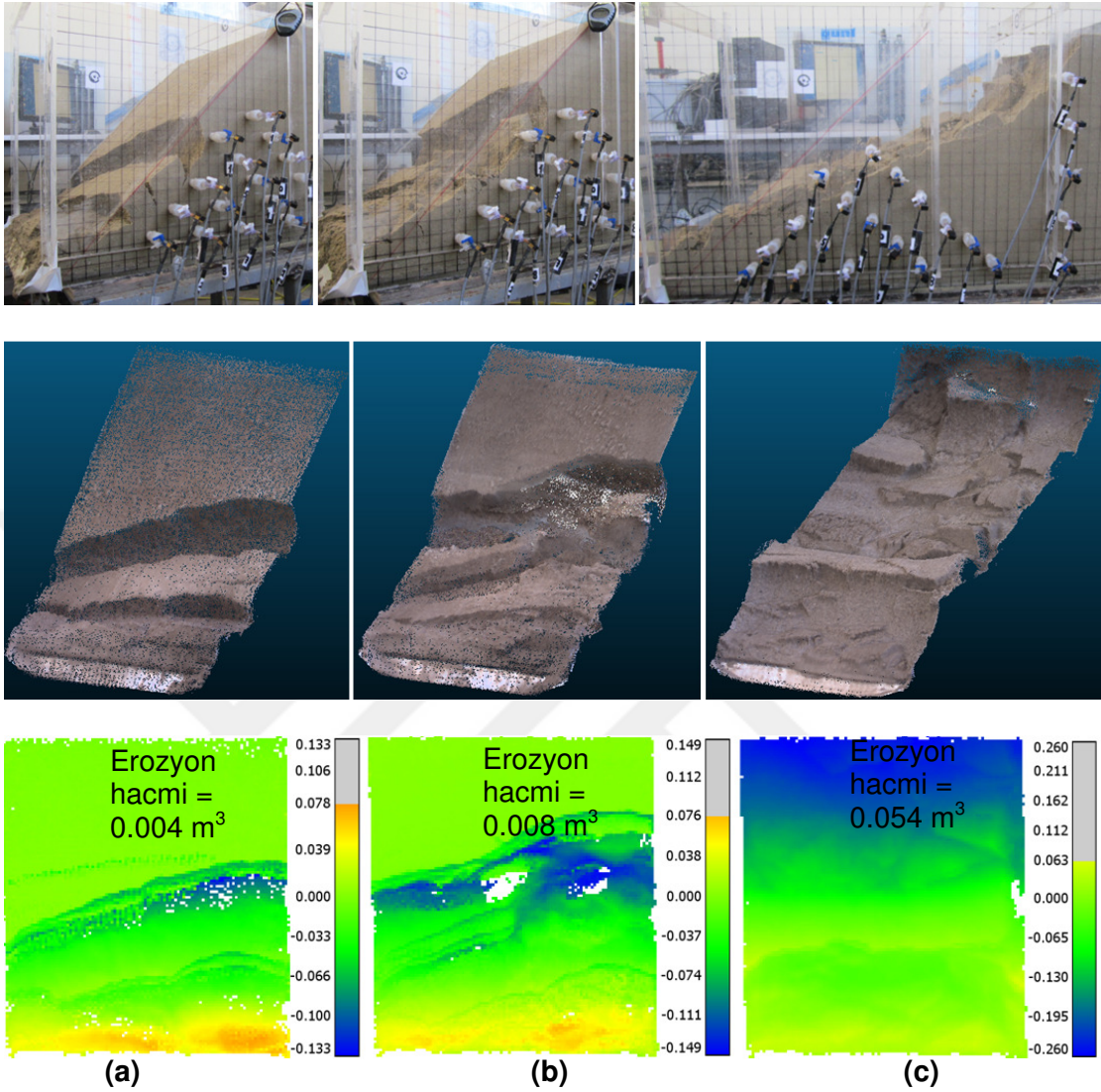
**Ek 2. Üç Boyutlu (3D) Akarsu Şev Model Deney
Fotoğrafları ve Lazer Taramaları**



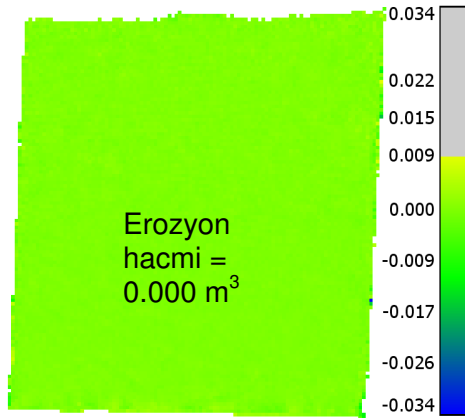
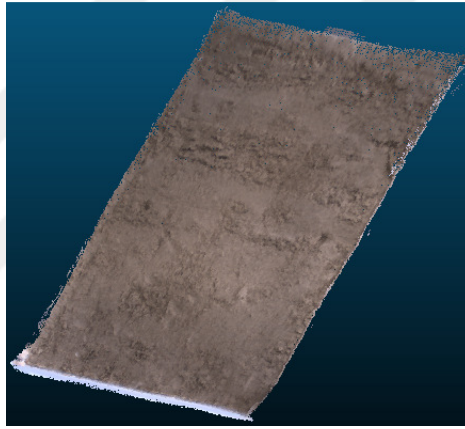
Şekil Ek 2.1. Katkısız kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: (a) $t = 2580$ s; (b) $t = 3240$ s; (c) $t = 4500$ s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 25/08/2017)



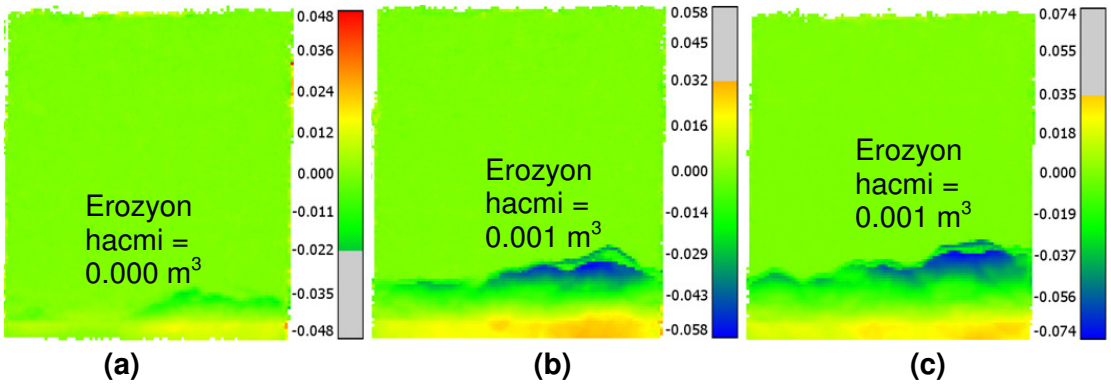
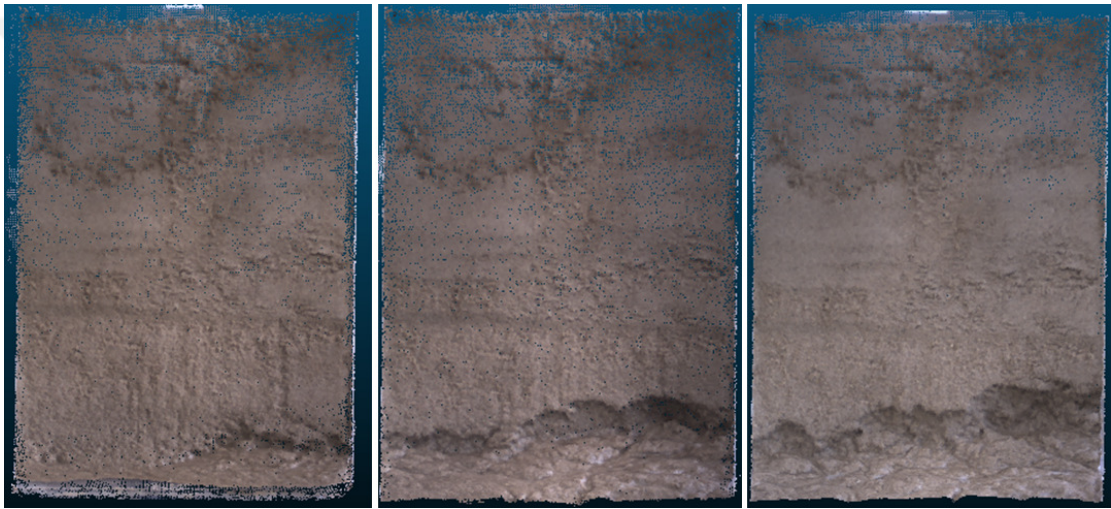
Şekil Ek 2.2. Katkısız kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: (a) $t = 1260 \text{ s}$; (b) $t = 1560 \text{ s}$; (c) $t = 1800 \text{ s}$ (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 25/08/2017)



Şekil Ek 2.3. Katkısız kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: (a) $t = 960$ s; (b) $t = 1020$ s; (c) $t = 1380$ s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 07/09/2017)

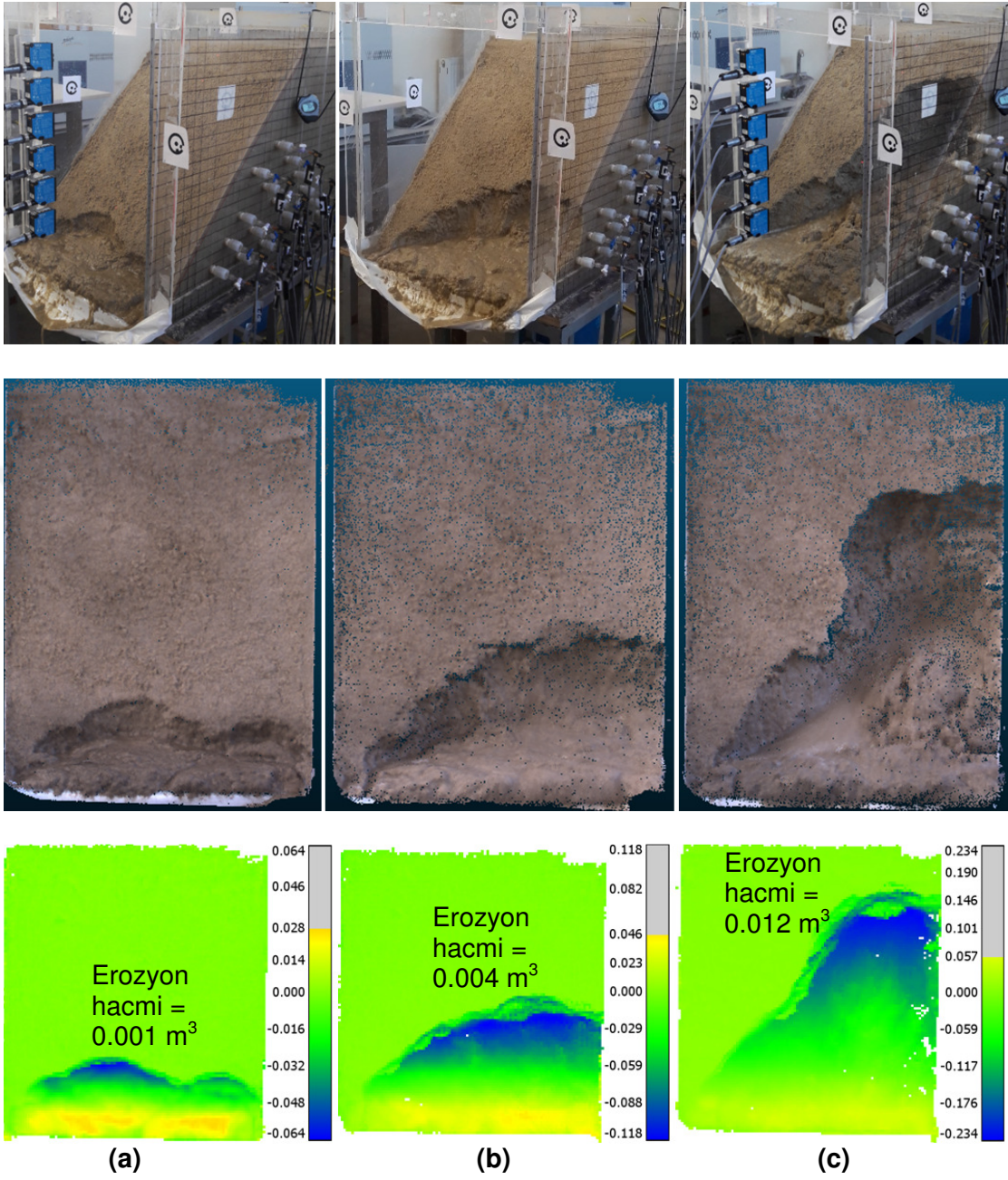


Şekil Ek 2.4. 6 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksenini) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 5400 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 02/10/2017)

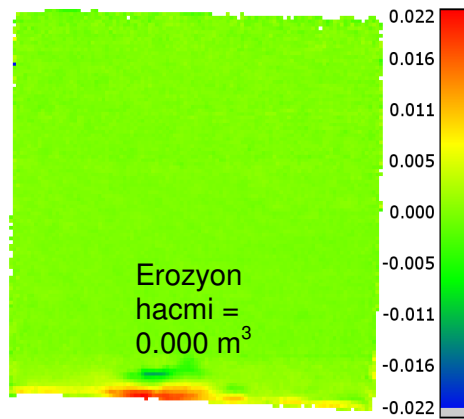
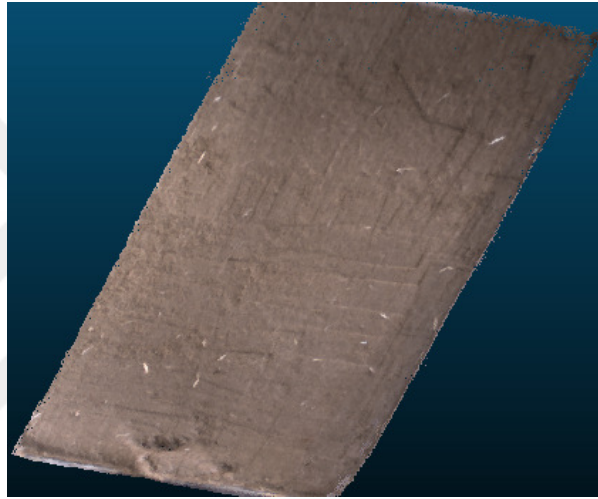
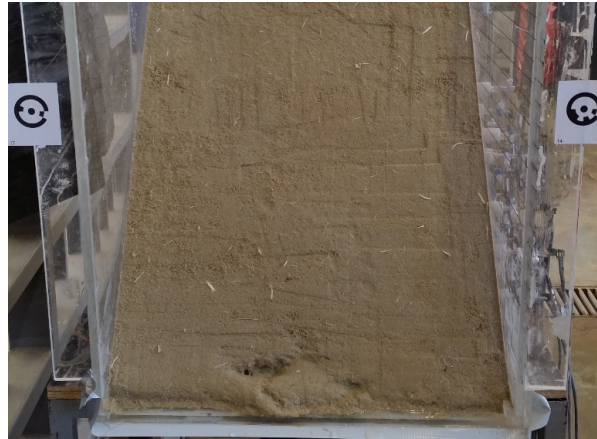


Şekil Ek 2.5. 6 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: (a) t = 2640 s; (b) t = 3120 s; (c) t = 3900 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi:

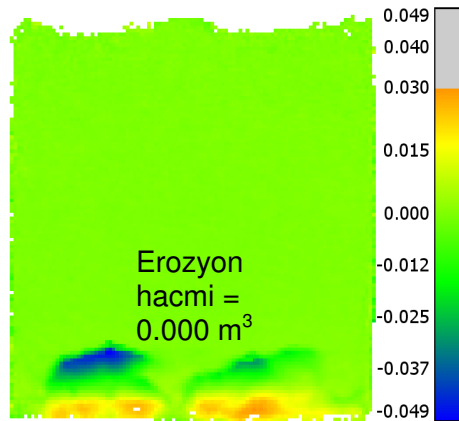
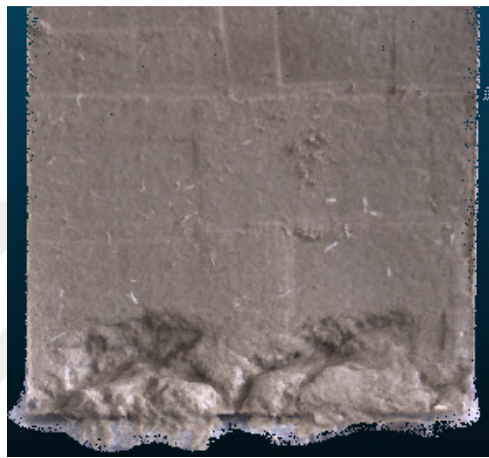
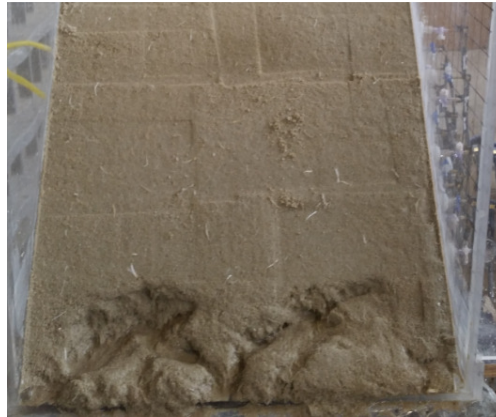
02/10/2017)



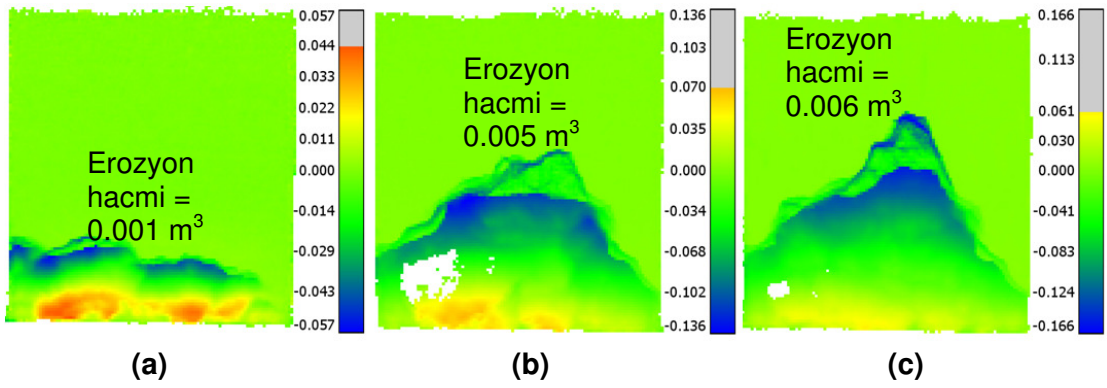
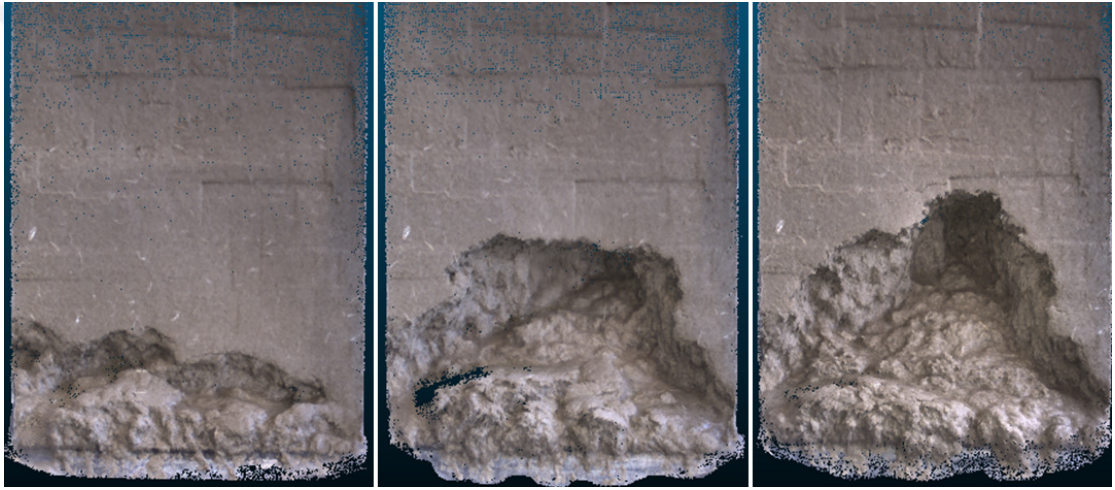
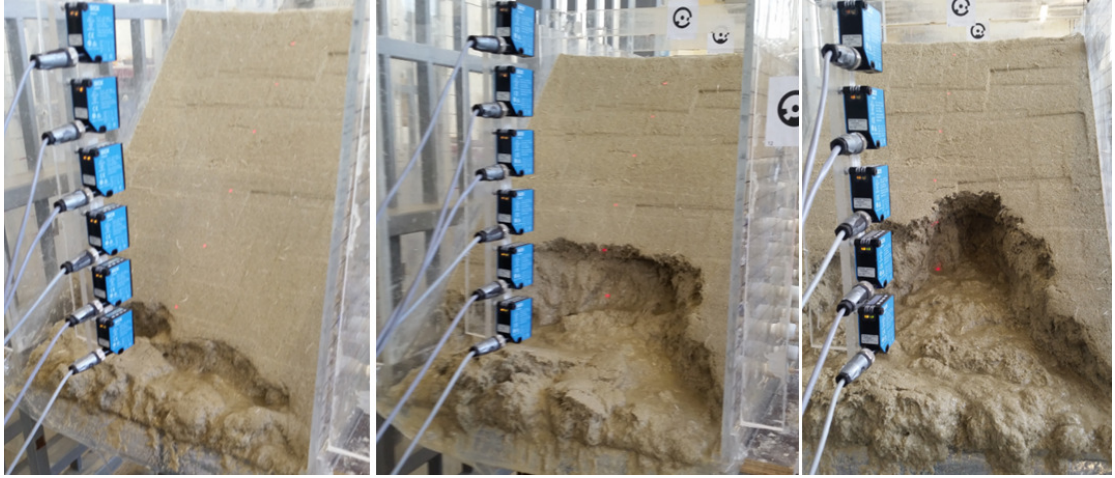
Şekil Ek 2.6. 6 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: (a) $t = 1860 \text{ s}$; (b) $t = 2040 \text{ s}$; (c) $t = 2340 \text{ s}$ (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 03/10/2017)



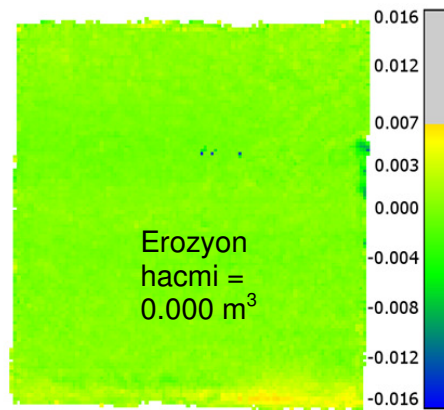
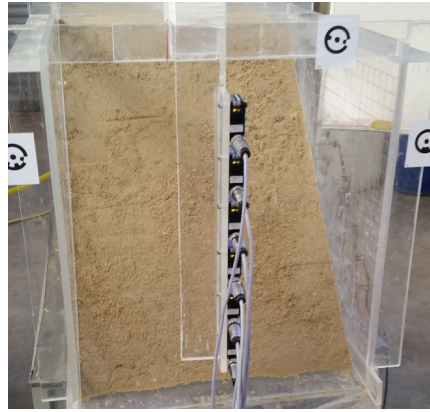
Şekil Ek 2.7. 18 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 5400 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 15/01/2018)



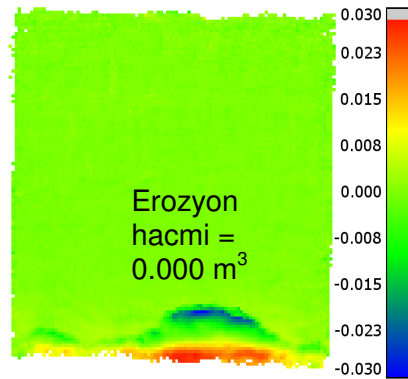
Şekil Ek 2.8. 18 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksenini) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 18/04/2018)



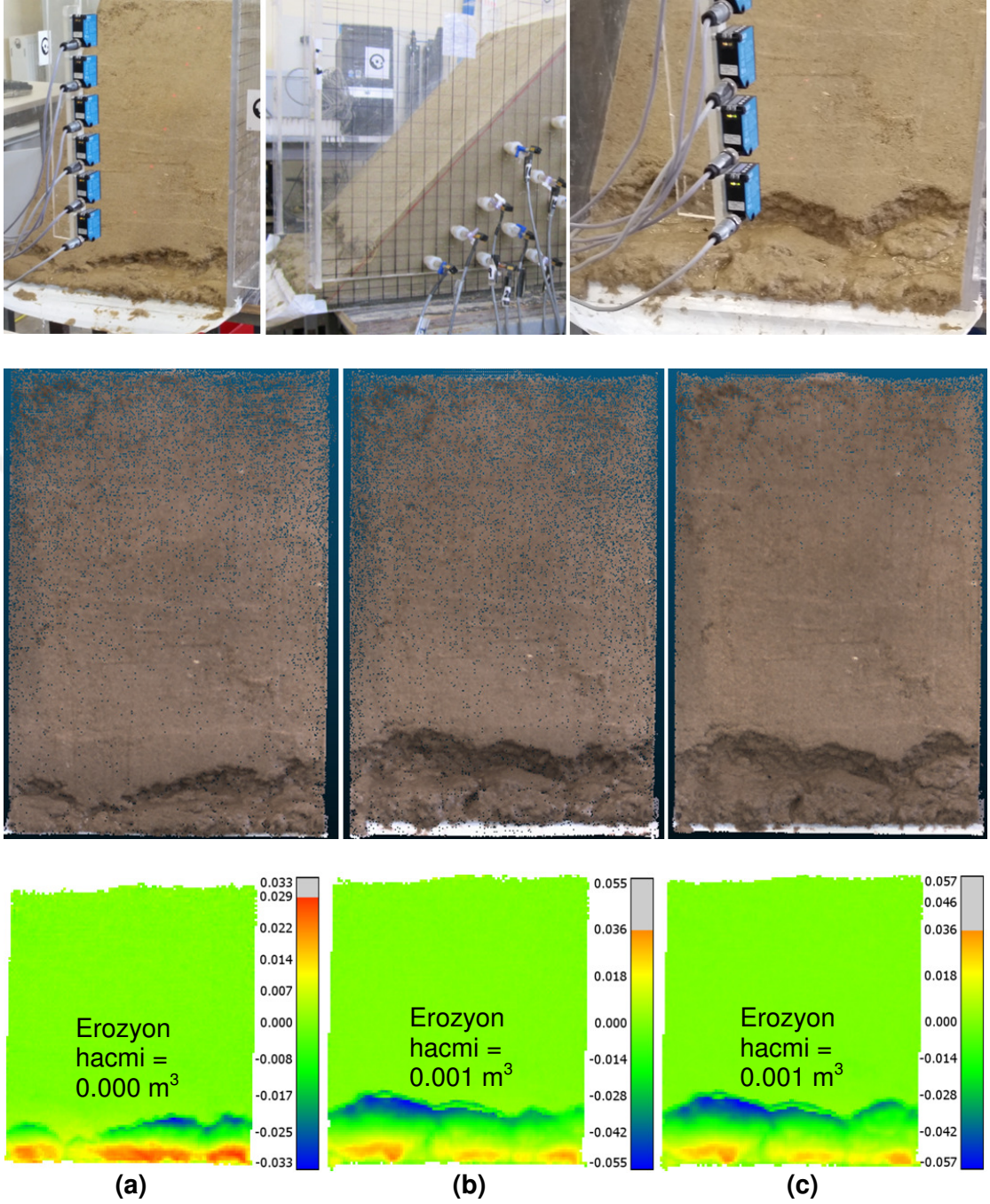
Şekil Ek 2.9. 18 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: (a) t = 1200 s; (b) t = 1500 s; (c) t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 19/04/2018)



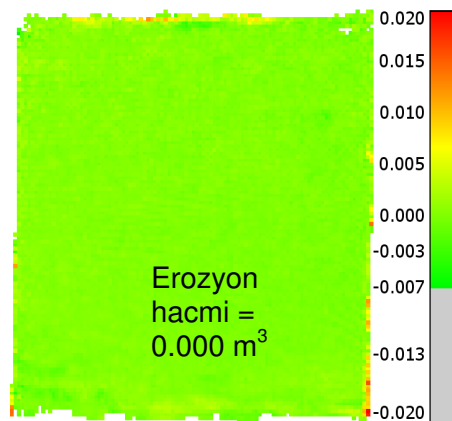
Şekil Ek 2.10. 6 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z ekseni) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 5400 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 03/11/2017)



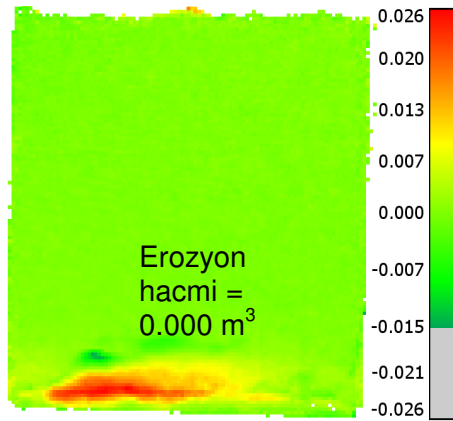
Şekil Ek 2.11. 6 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: $t = 3600$ s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 03/11/2017)



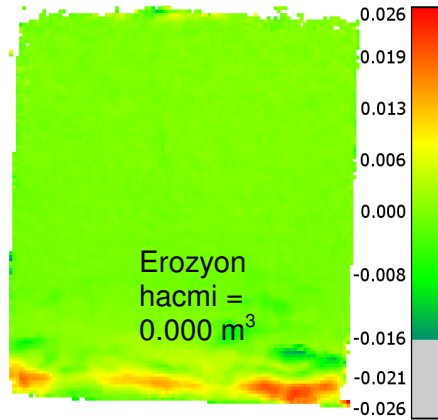
Şekil Ek 2.12. 6 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: (a) t = 1440 s; (b) t = 2280 s; (c) t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 03/11/2017)



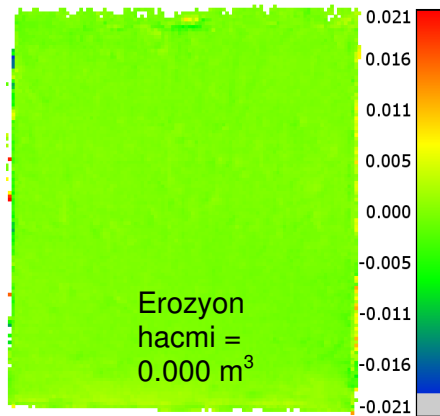
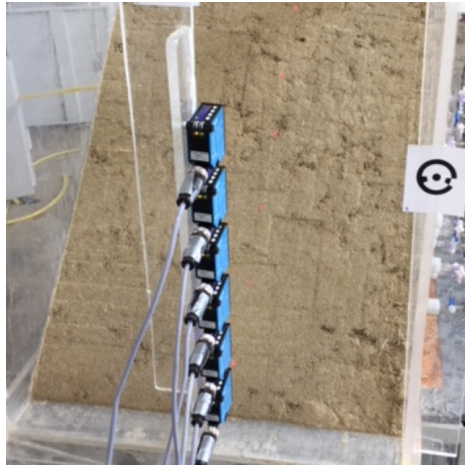
Şekil Ek 2.13. 18 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 5400 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 28/11/2017)



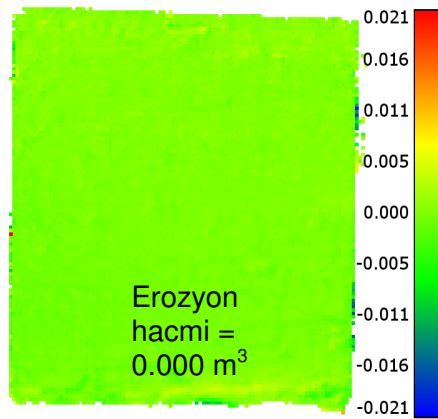
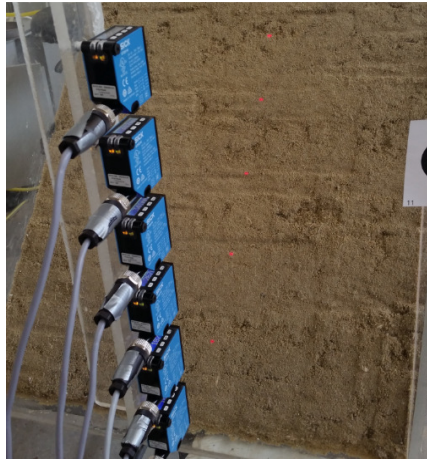
Şekil Ek 2.14. 18 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z ekseni) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 29/11/2017)



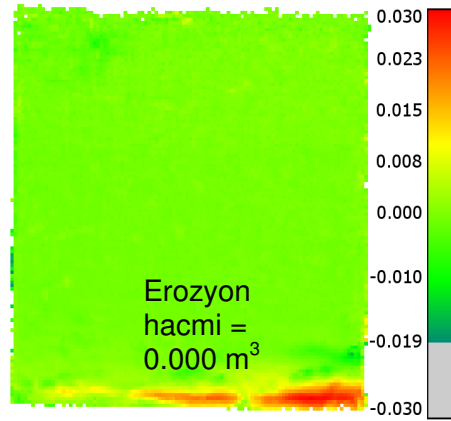
Şekil Ek 2.15. 18 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksenini) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 30/11/2017)



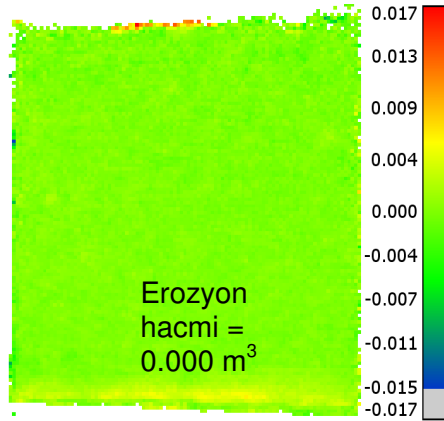
Şekil Ek 2.16. 6 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 5400 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 22/08/2017)



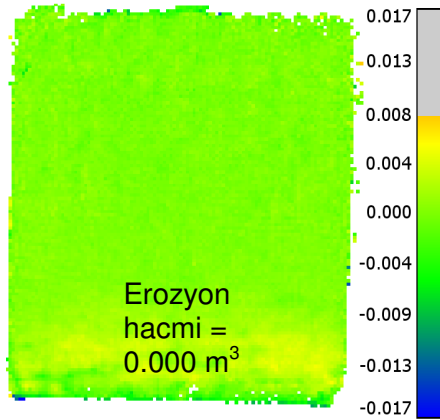
Şekil Ek 2.17. 6 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: $t = 3300$ s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 22/08/2017)



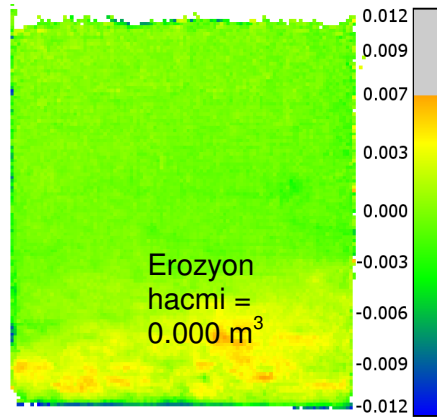
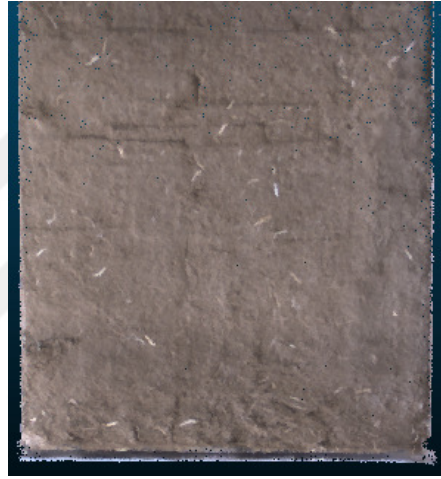
Şekil Ek 2.18. 6 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 23/08/2017)



Şekil Ek 2.19. 18 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksenini) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 5400 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 23/03/2018)

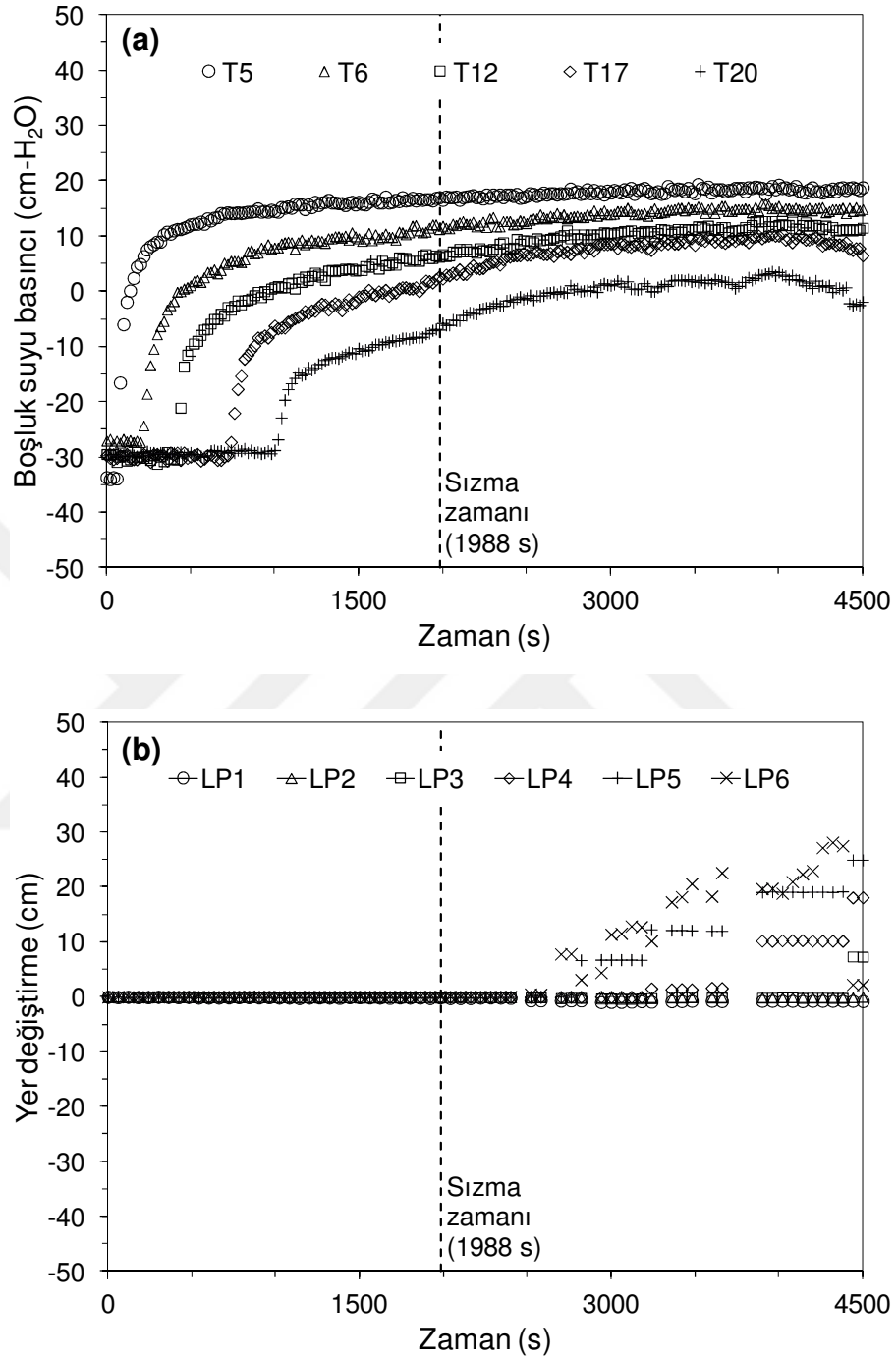


Şekil Ek 2.20. 18 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 20/03/2018)

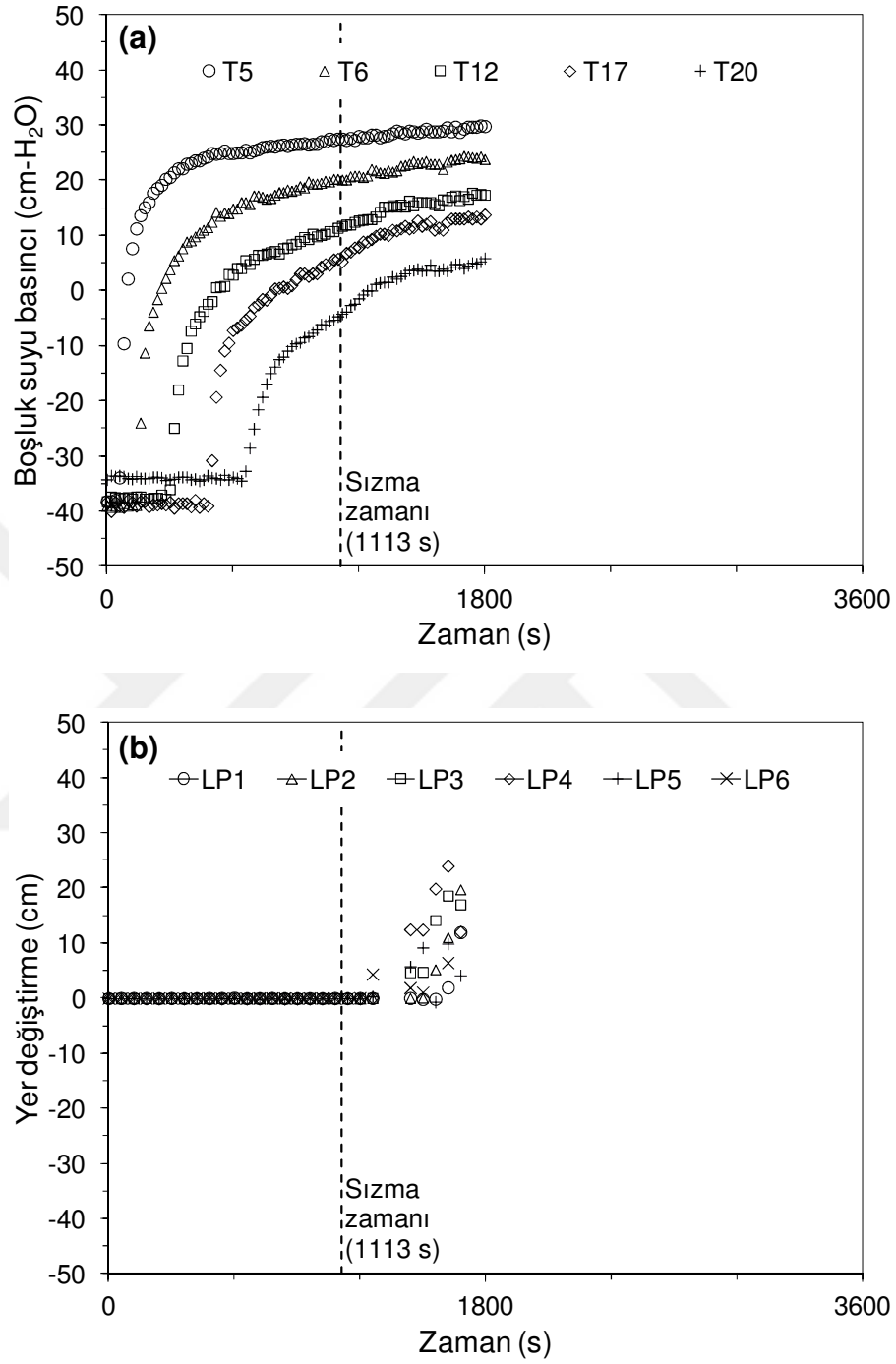


Şekil Ek 2.21. 18 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında gözlemlenen sızma erozyonu fotoğrafı, sayısal nokta bulutu ve sızma erozyonunun düşey (z eksen) yer değiştirmeleri (m) plan görünümü: t = 3600 s (Fotoğraf çekim ve lazer tarama tarihi: 19/03/2018)

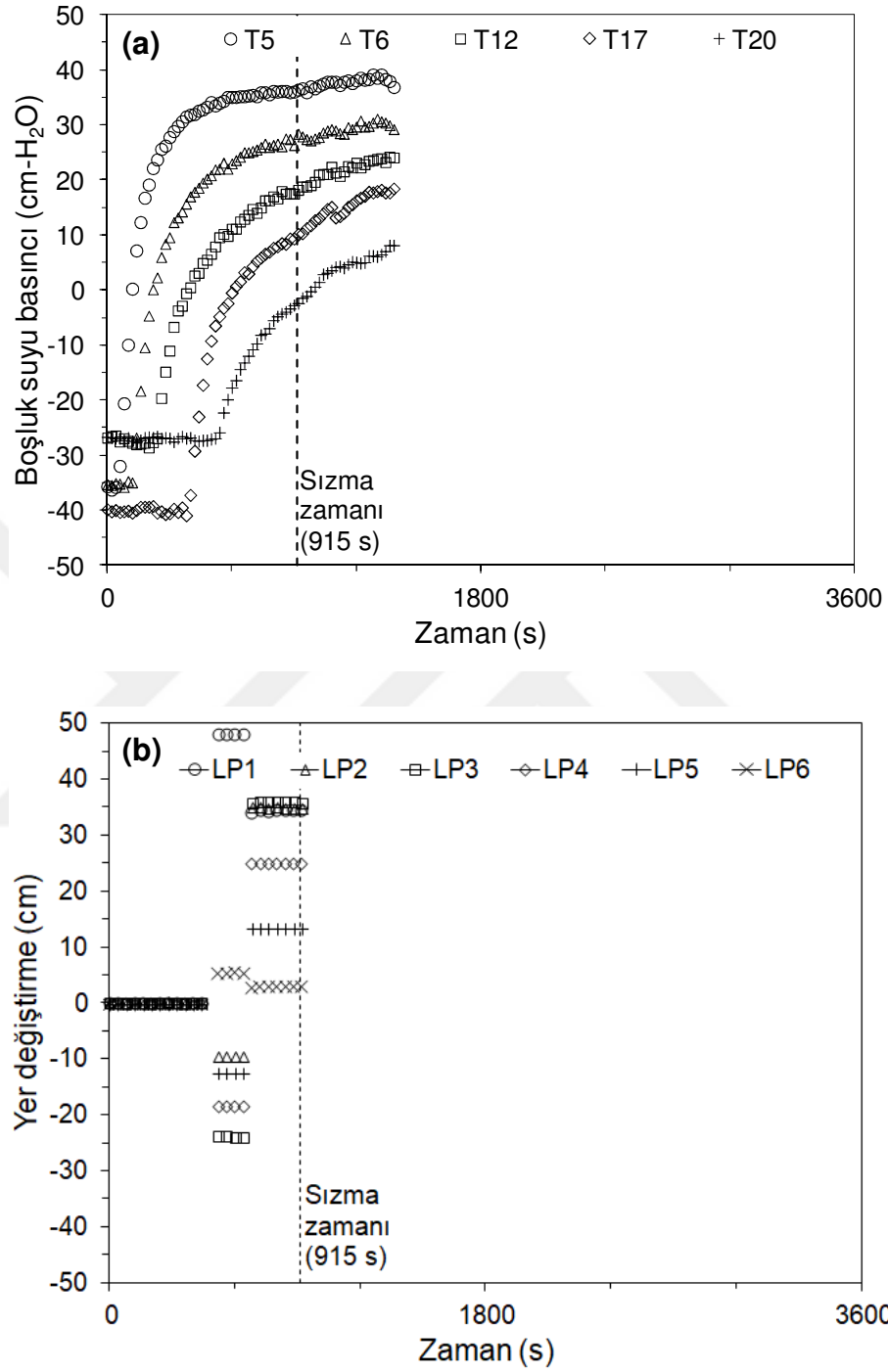
**Ek 3. Üç Boyutlu (3D) Akarsu Şev Model
Deneylerinde Boşluk Suyu Basınç ve Yüzeysel Yer
Değişirme Ölçümleri**



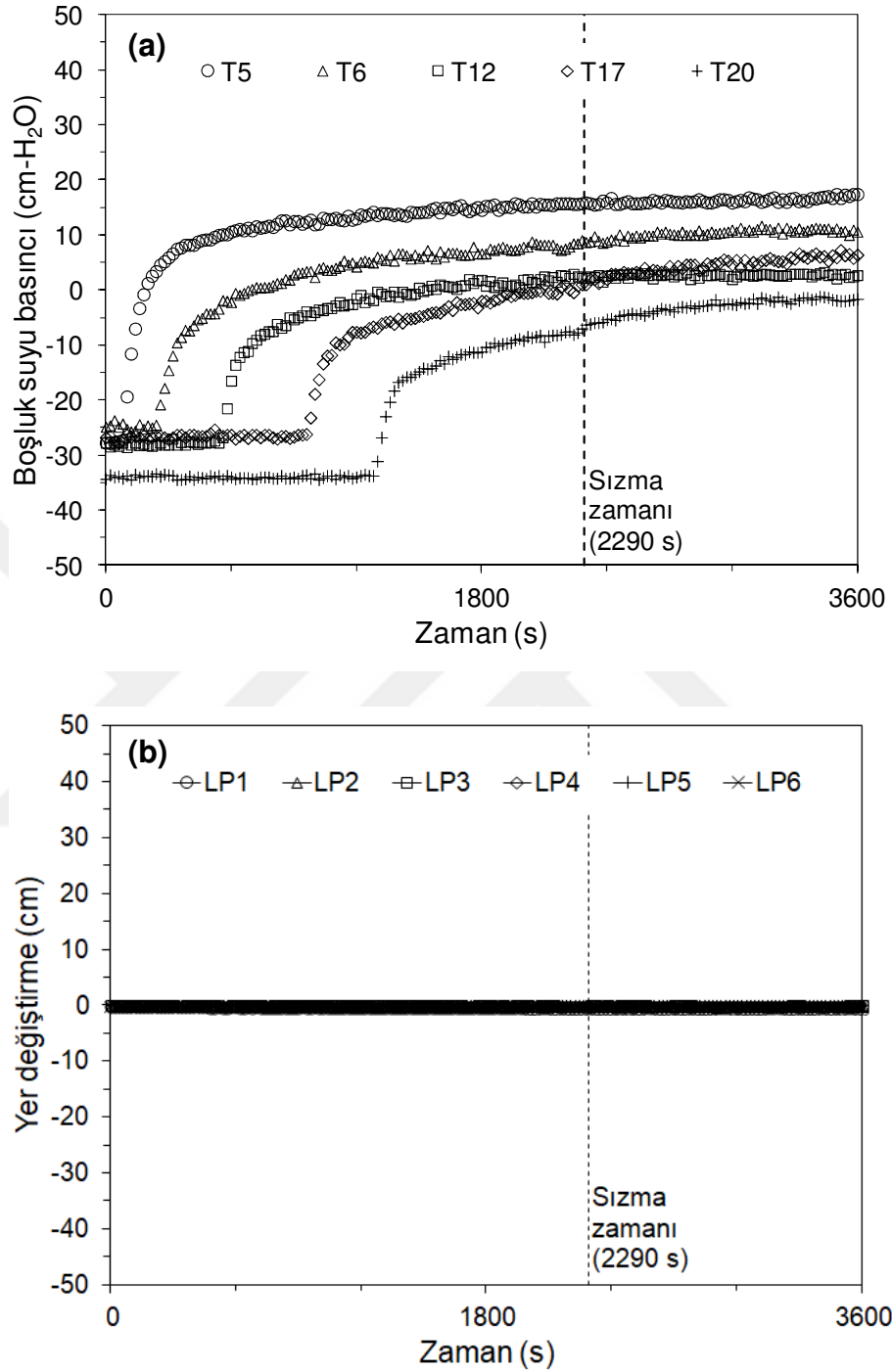
Şekil Ek 3.1. Katkısız kum Şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik ylık sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından olęülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından olęülen Şev yzeyindeki yer değiştirmeler



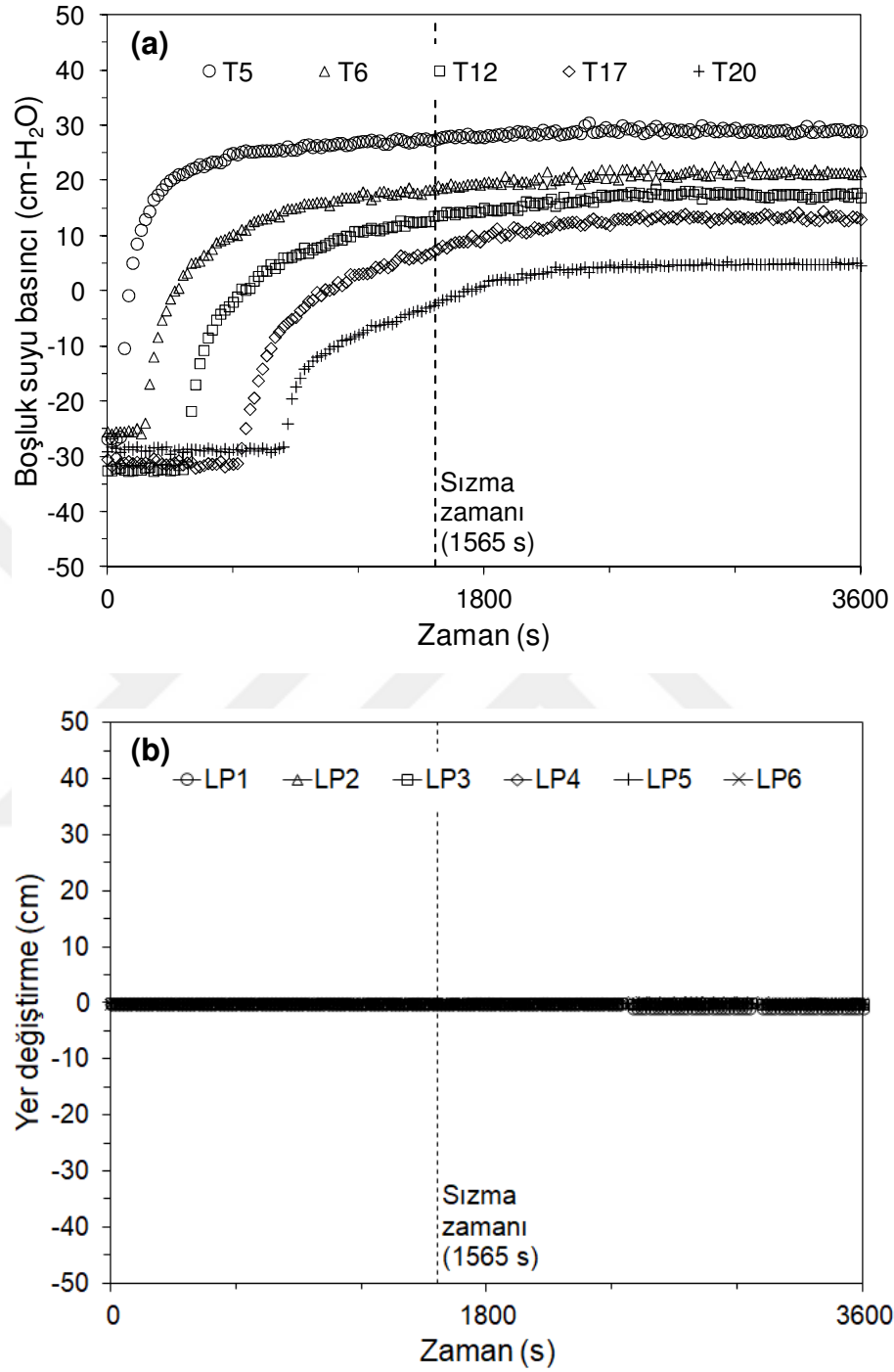
Şekil Ek 3.2. Katkısız kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



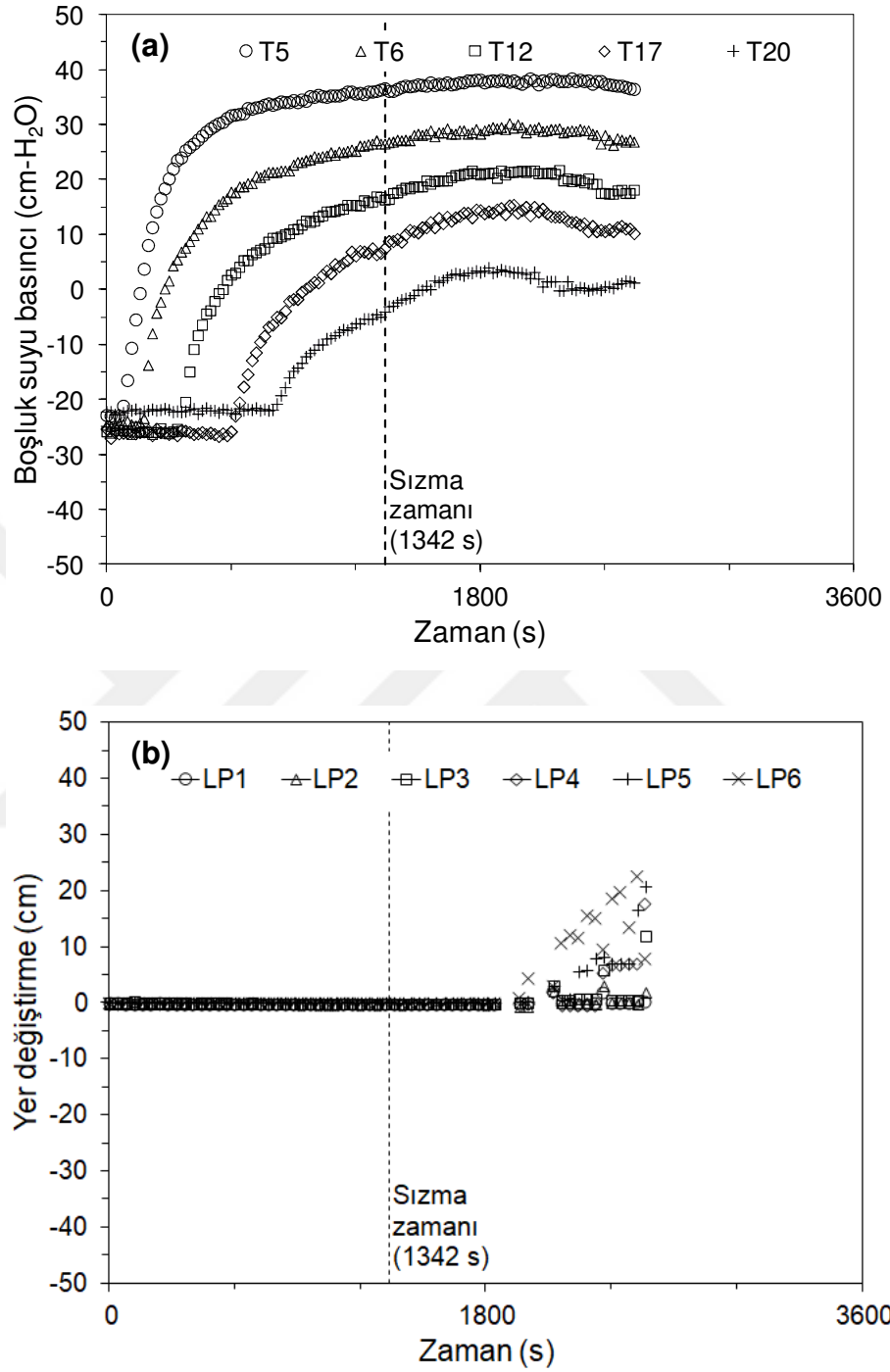
Şekil Ek 3.3. Katkısız kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



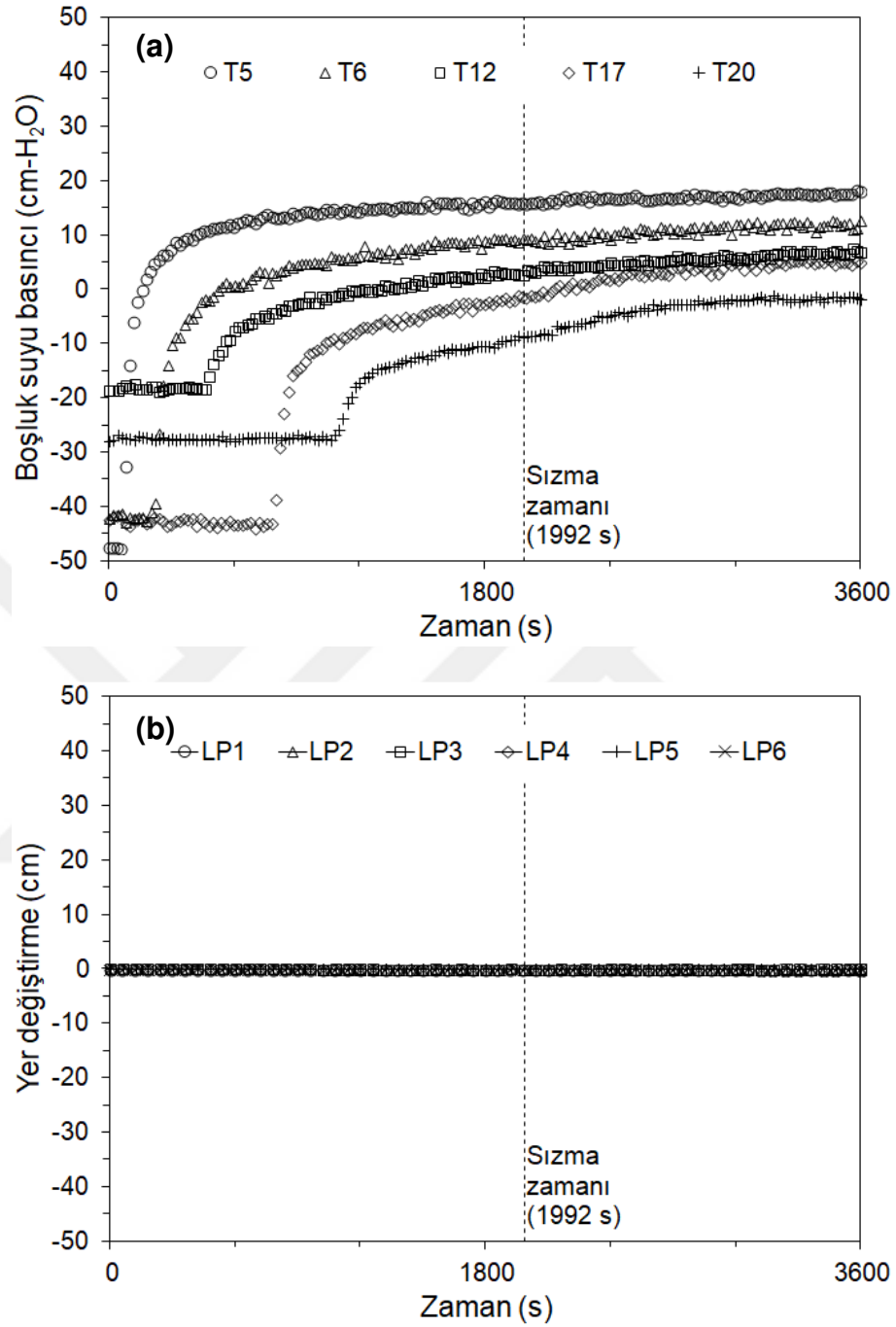
Şekil Ek 3.4. 6 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



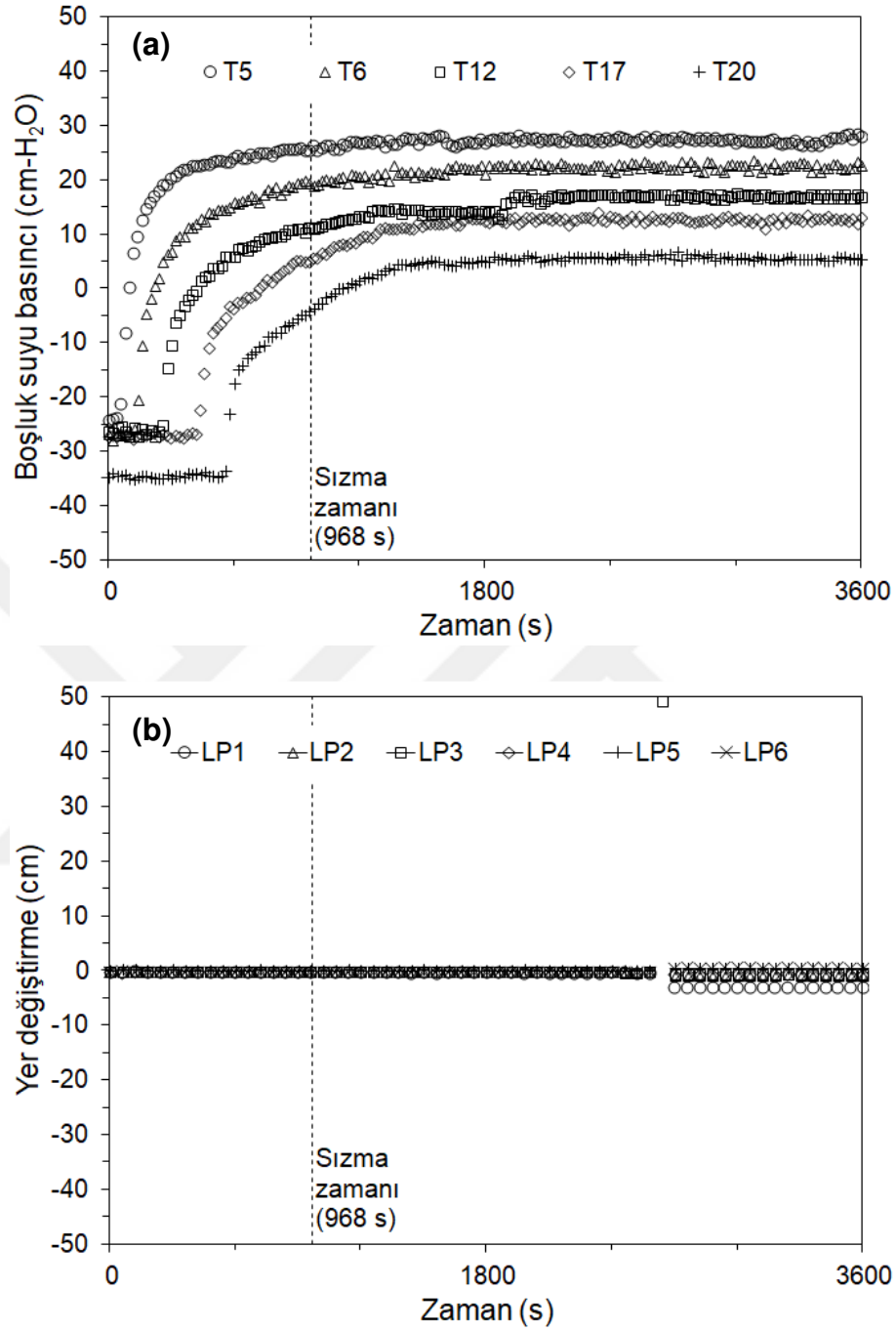
Şekil Ek 3.5. 6 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



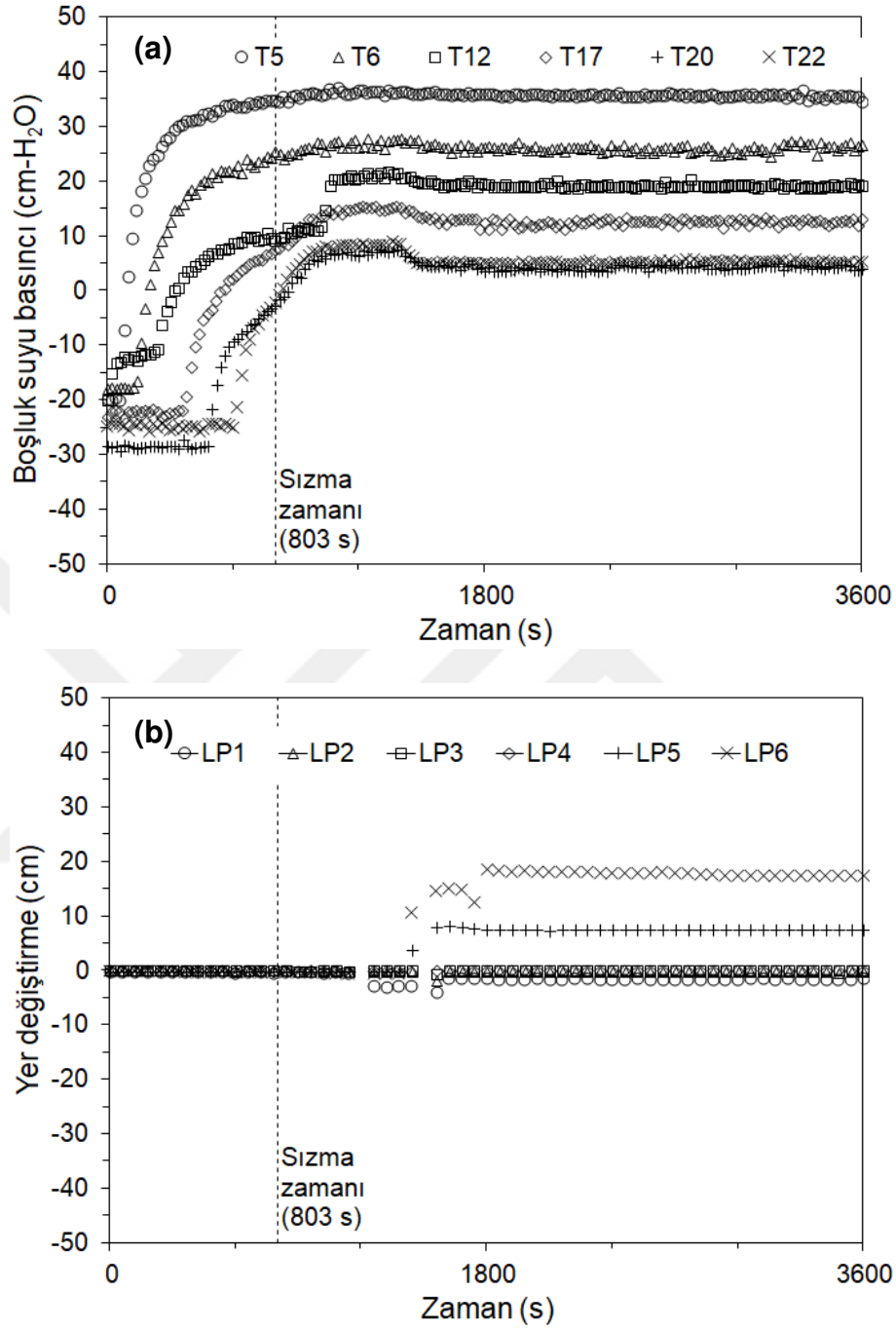
Şekil Ek 3.6. 6 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değıştirmeler



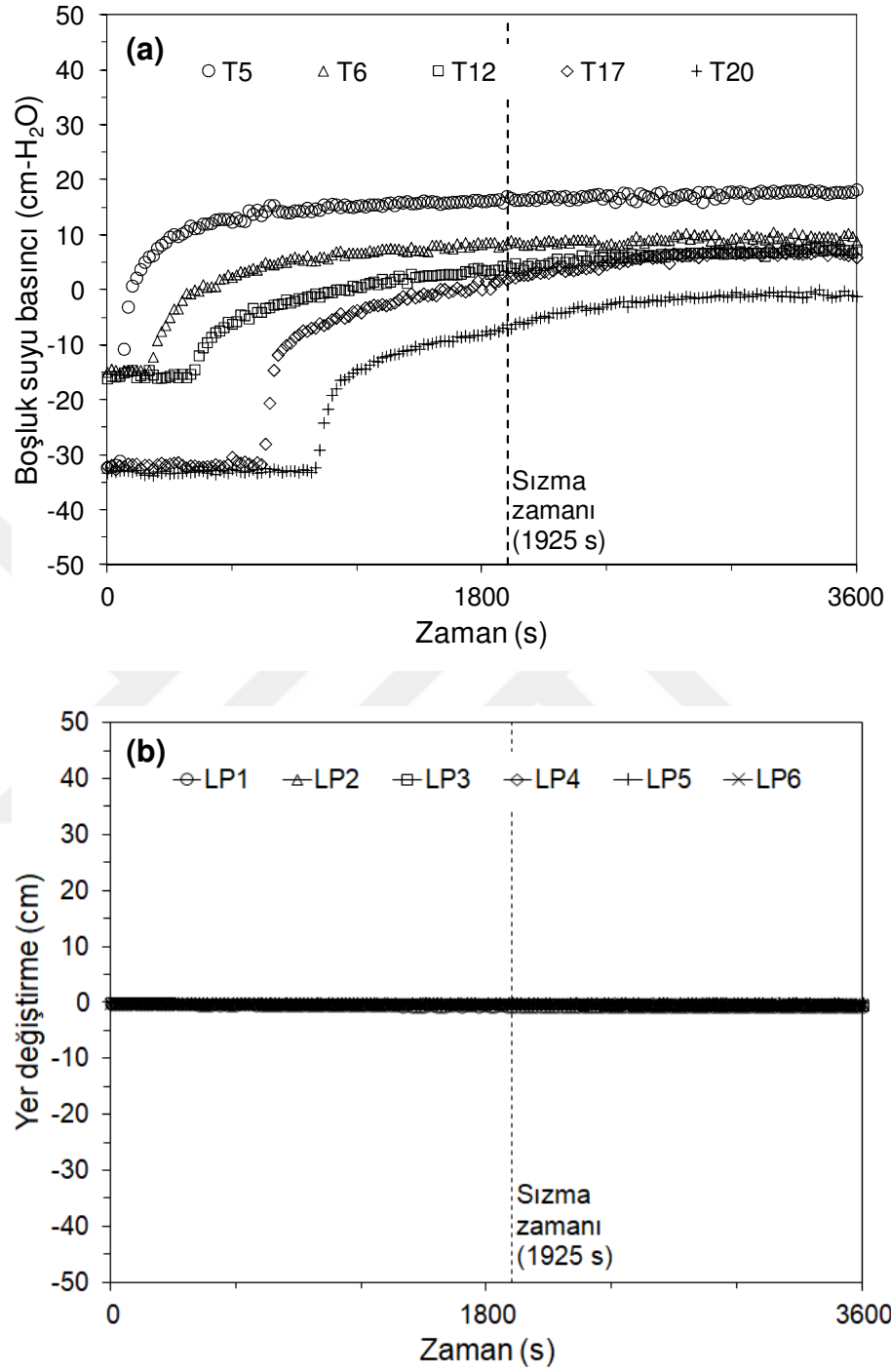
Şekil Ek 3.7. 18 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



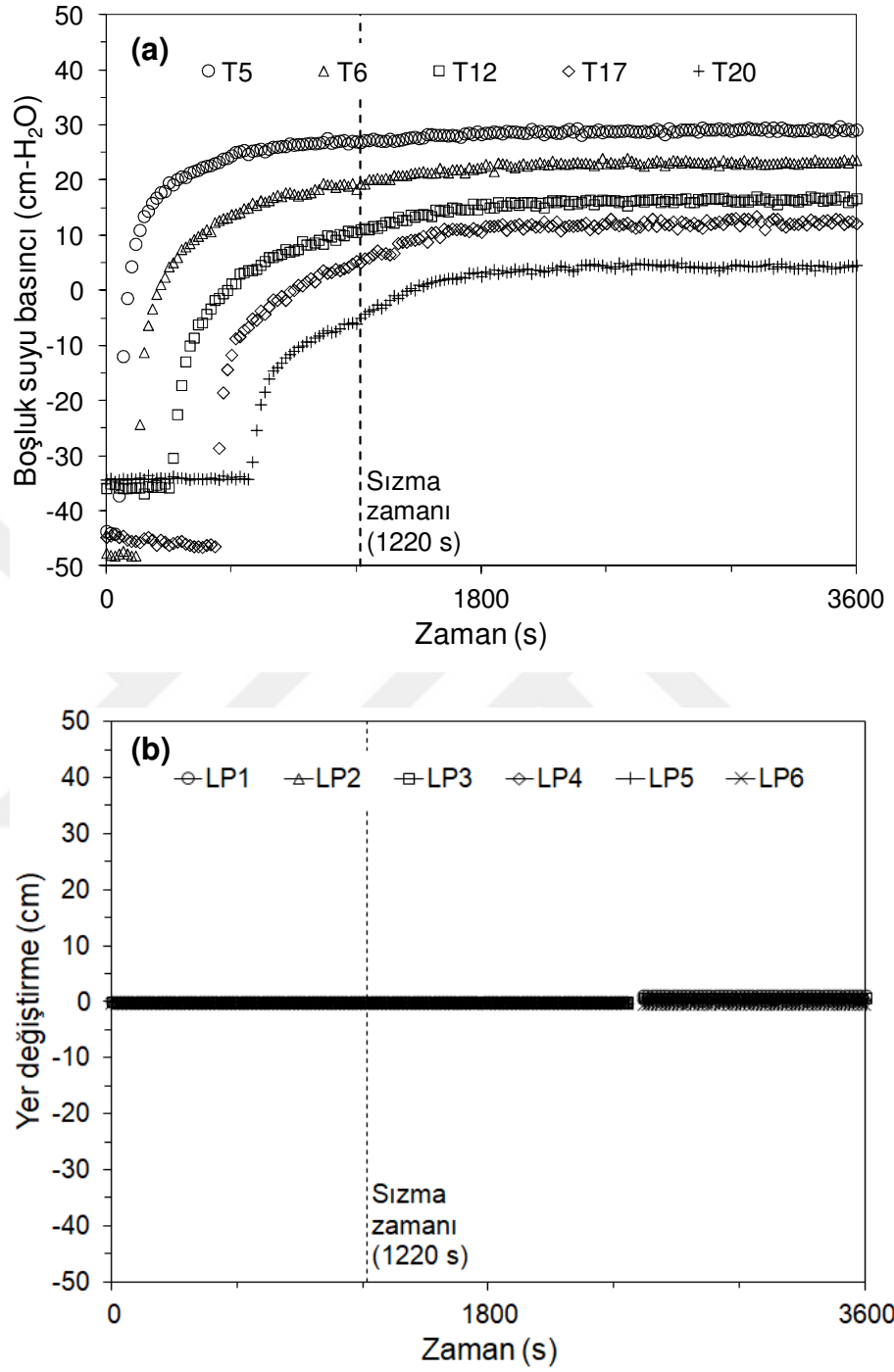
Şekil Ek 3.8. 18 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



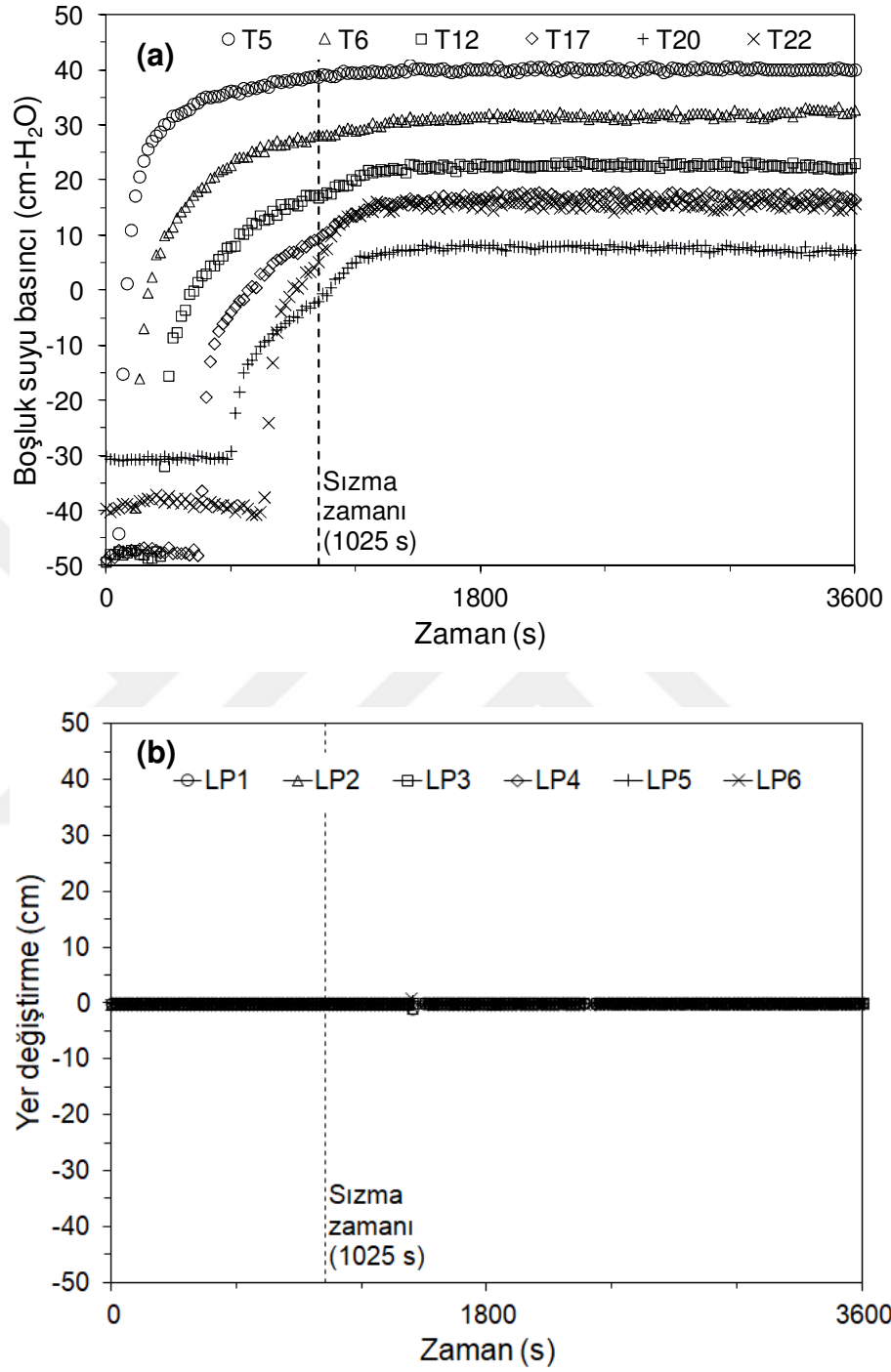
Şekil Ek 3.9. 18 mm %0.3 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değıştirmeler



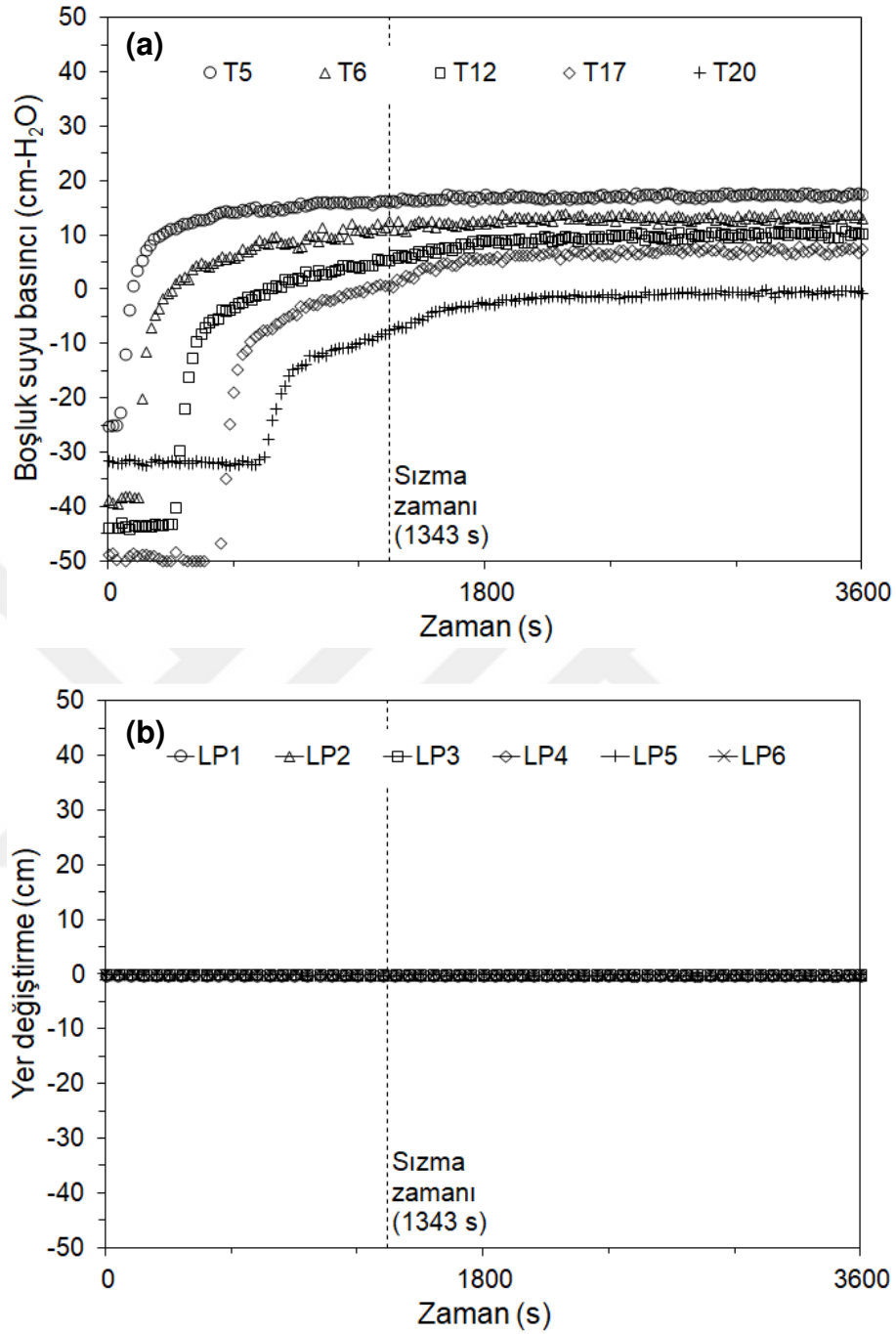
Şekil Ek 3.10. 6 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değıştirmeler



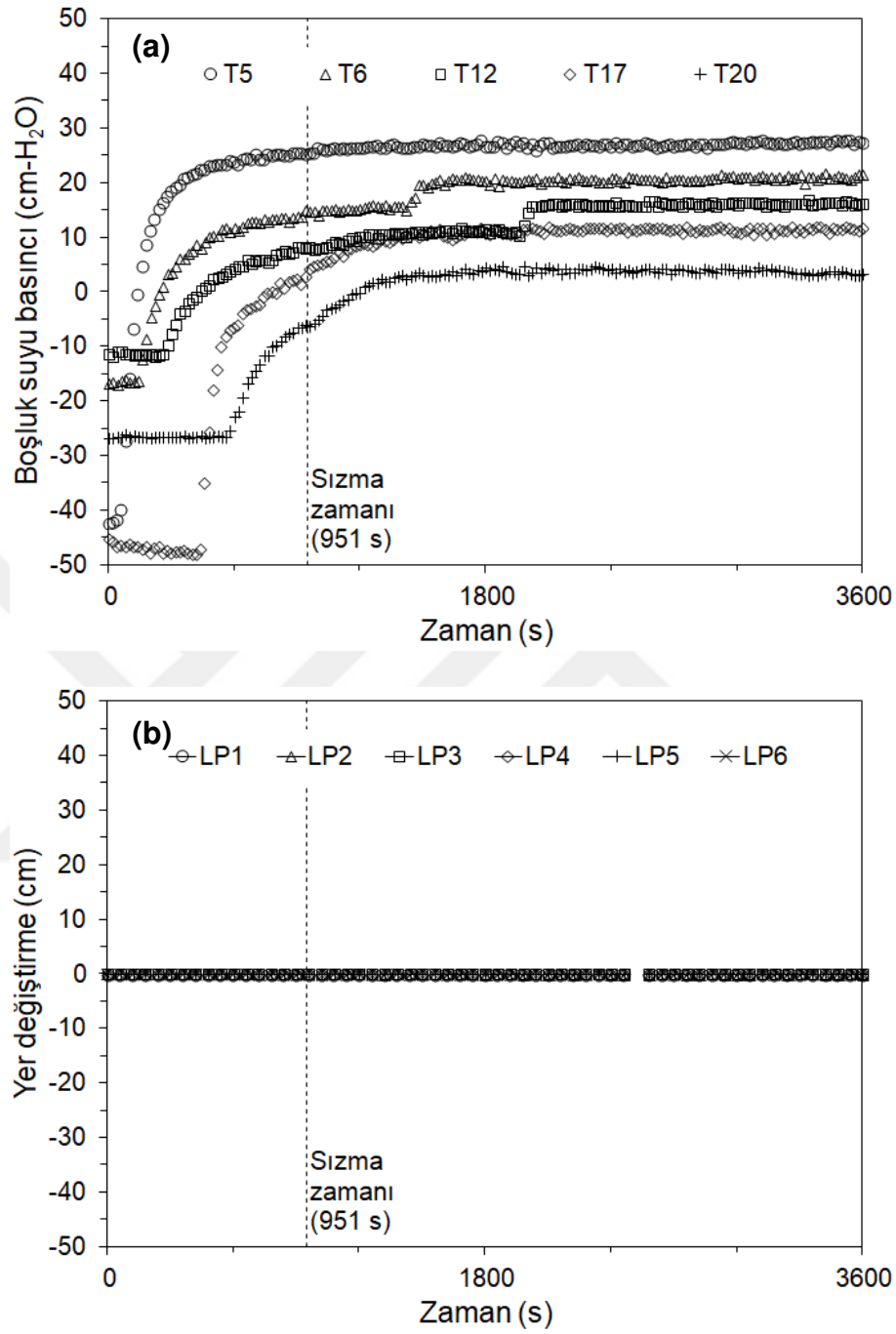
Şekil Ek 3.11. 6 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değıştirmeler



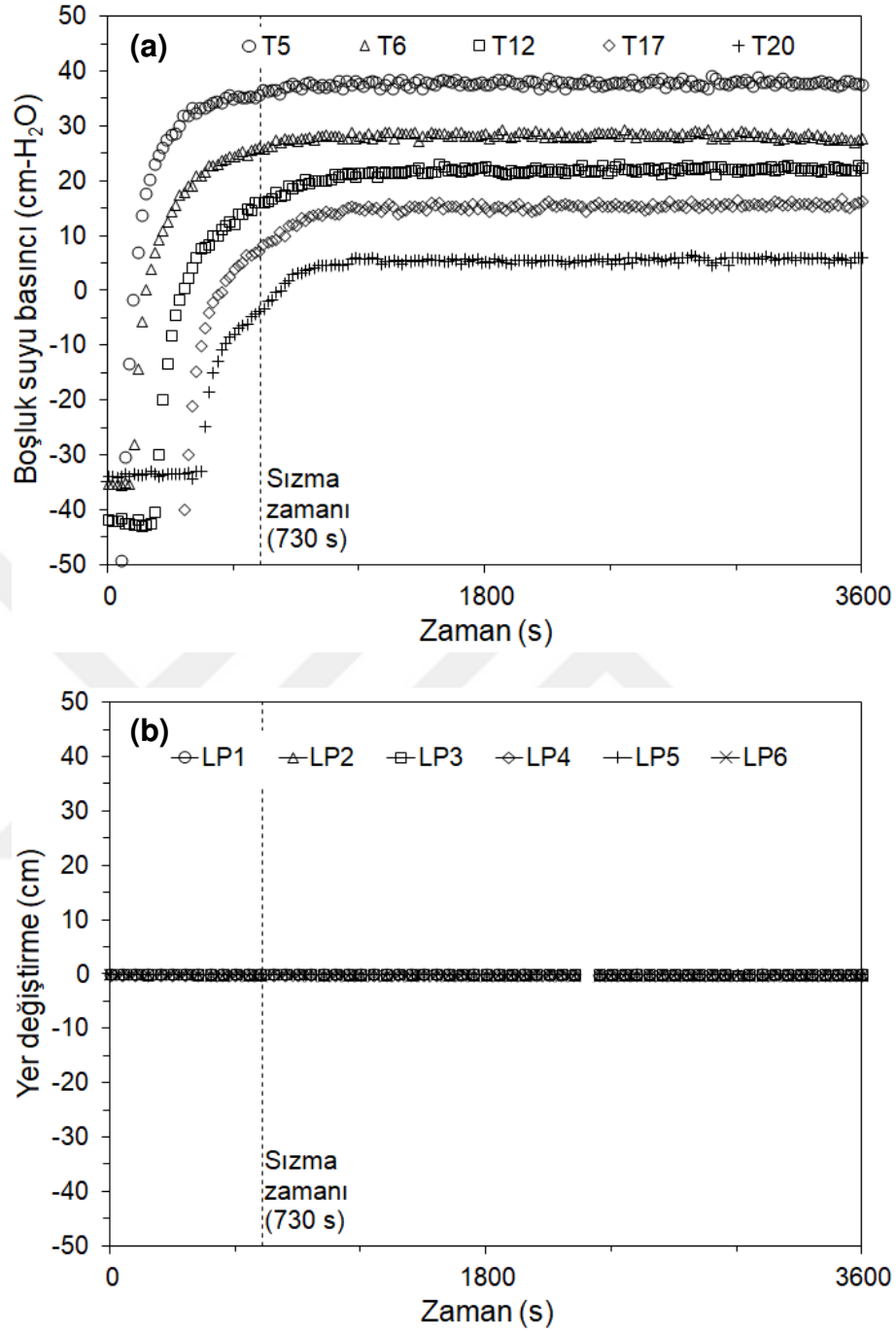
Şekil Ek 3.12. 6 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



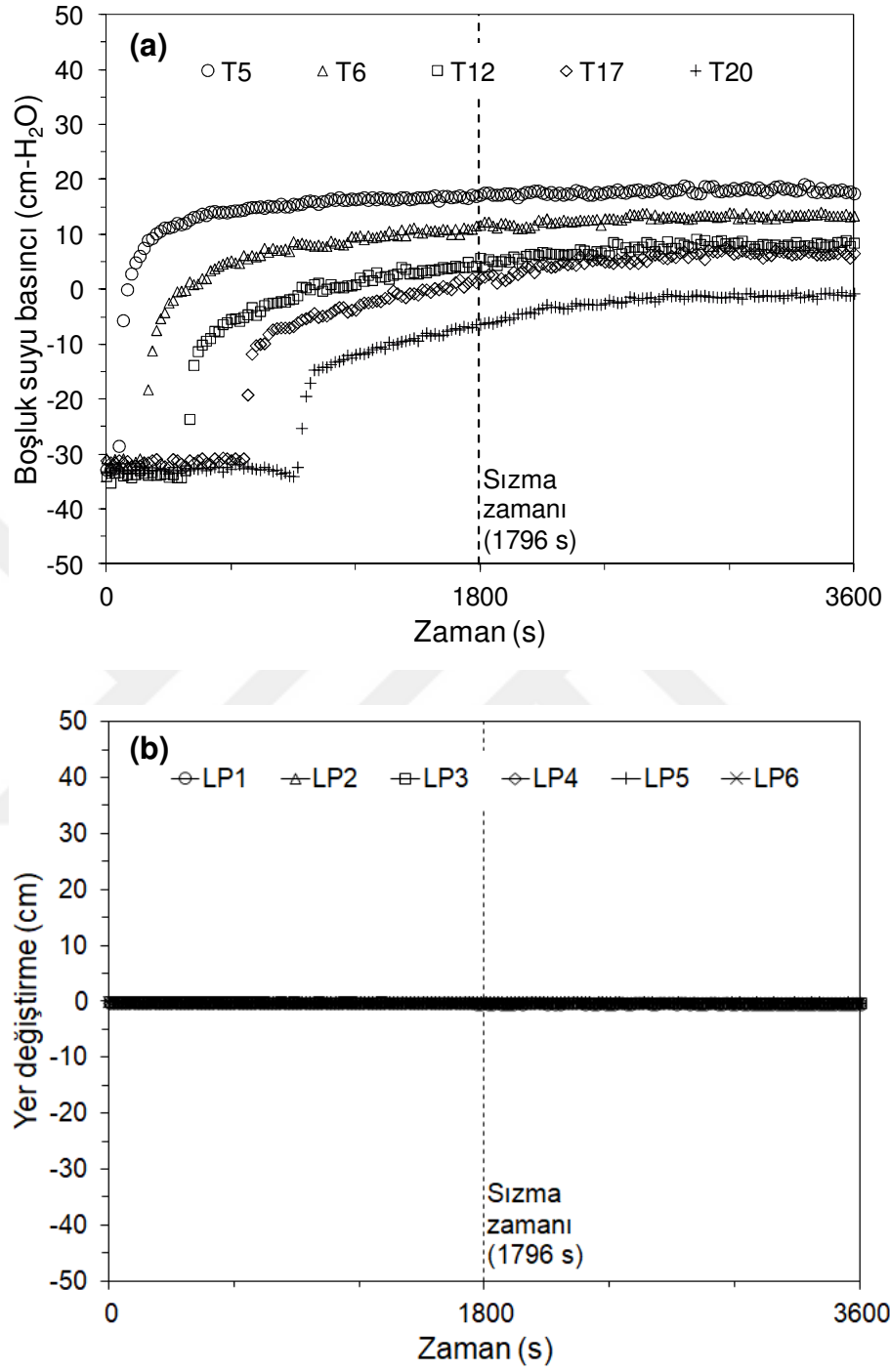
Şekil Ek 3.13. 18 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



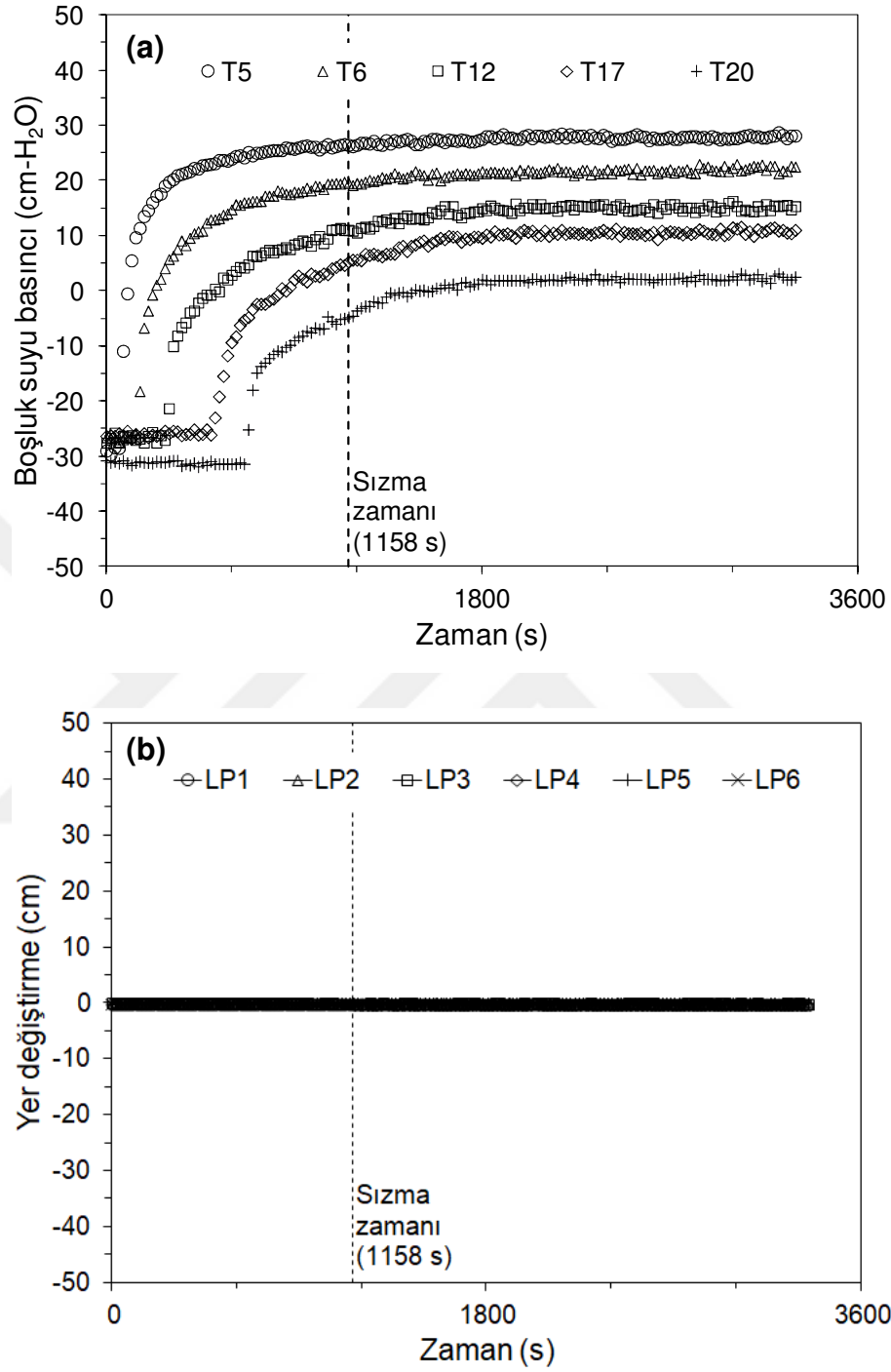
Şekil Ek 3.14. 18 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



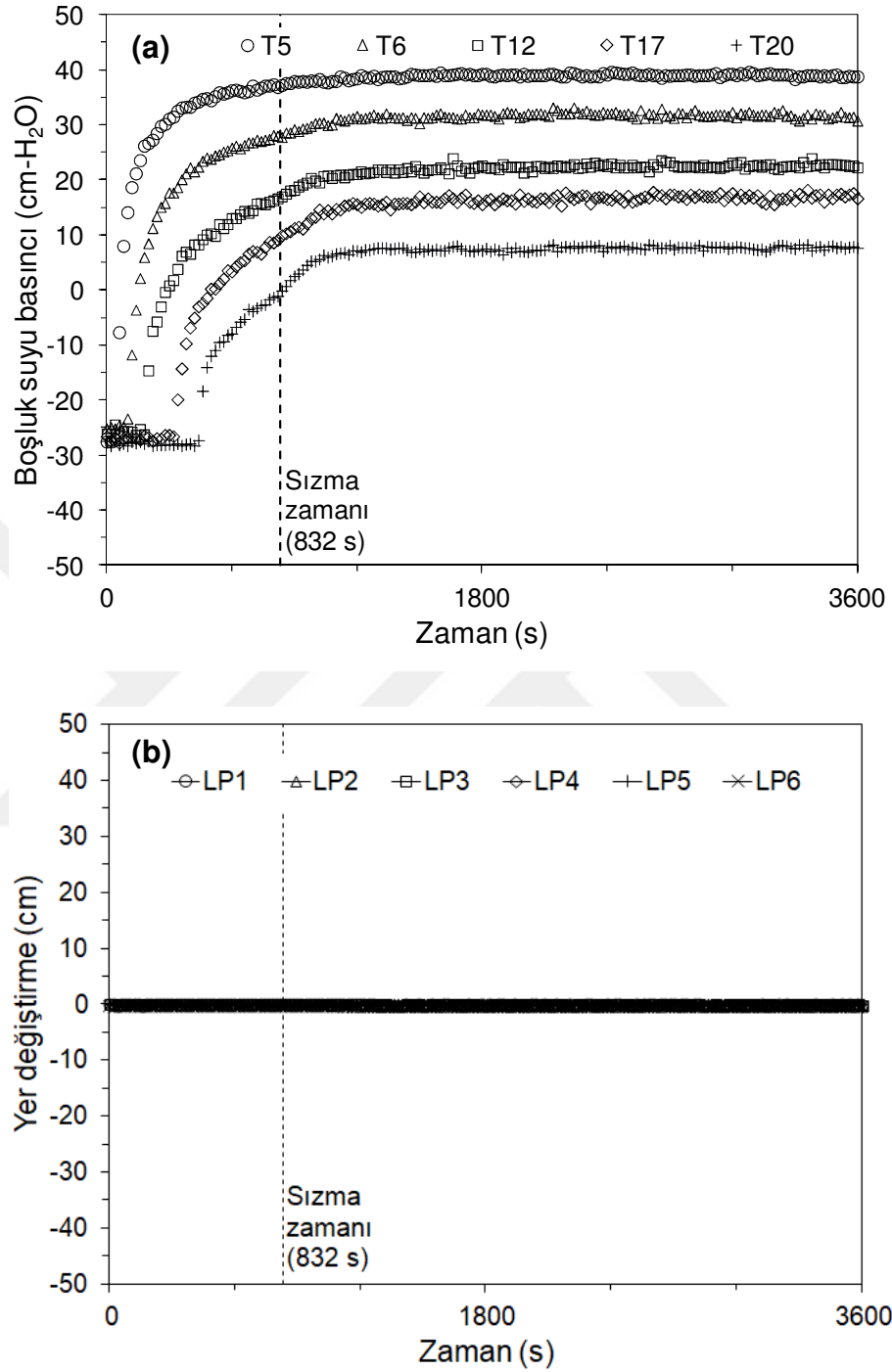
Şekil Ek 3.15. 18 mm %0.5 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



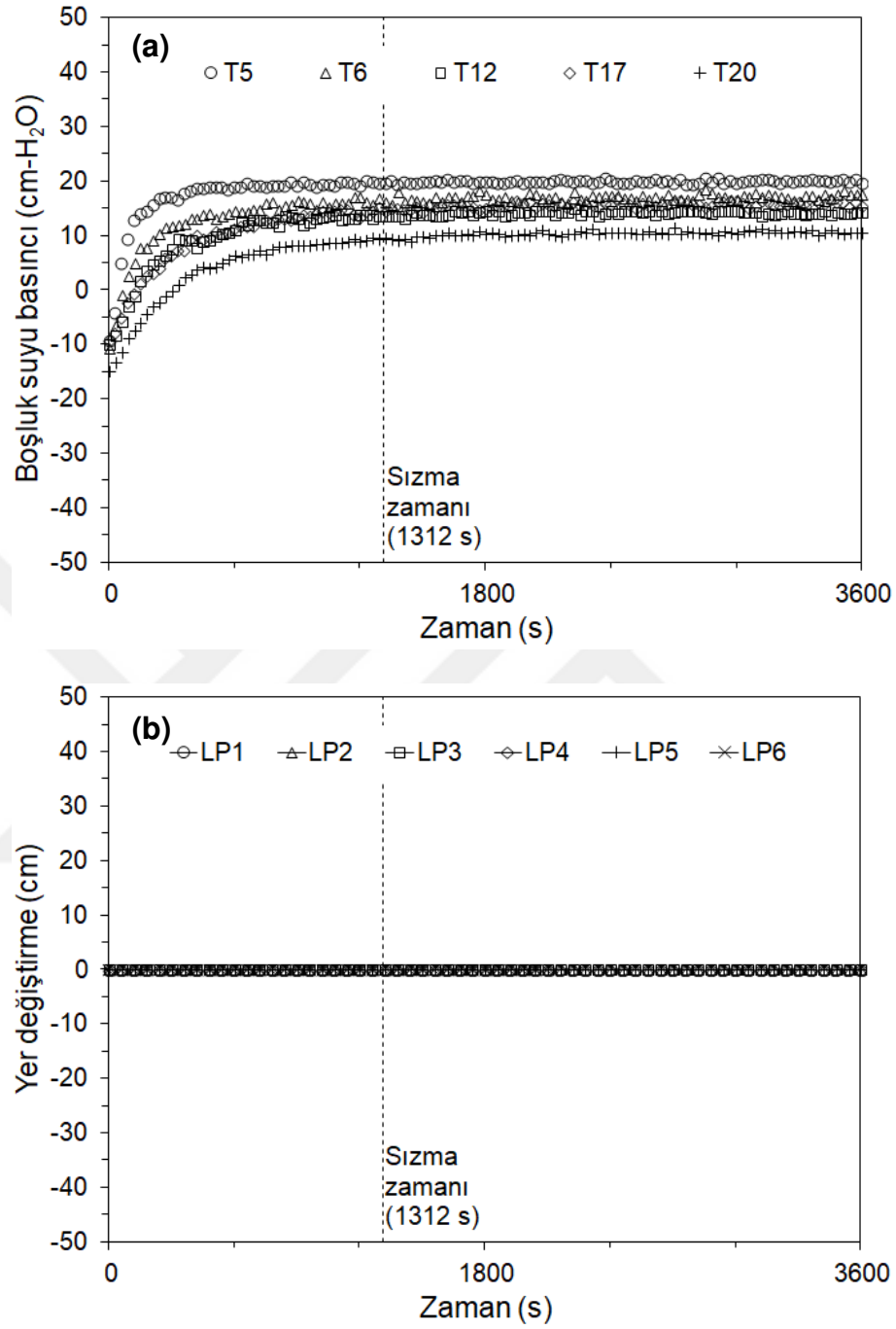
Şekil Ek 3.16. 6 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



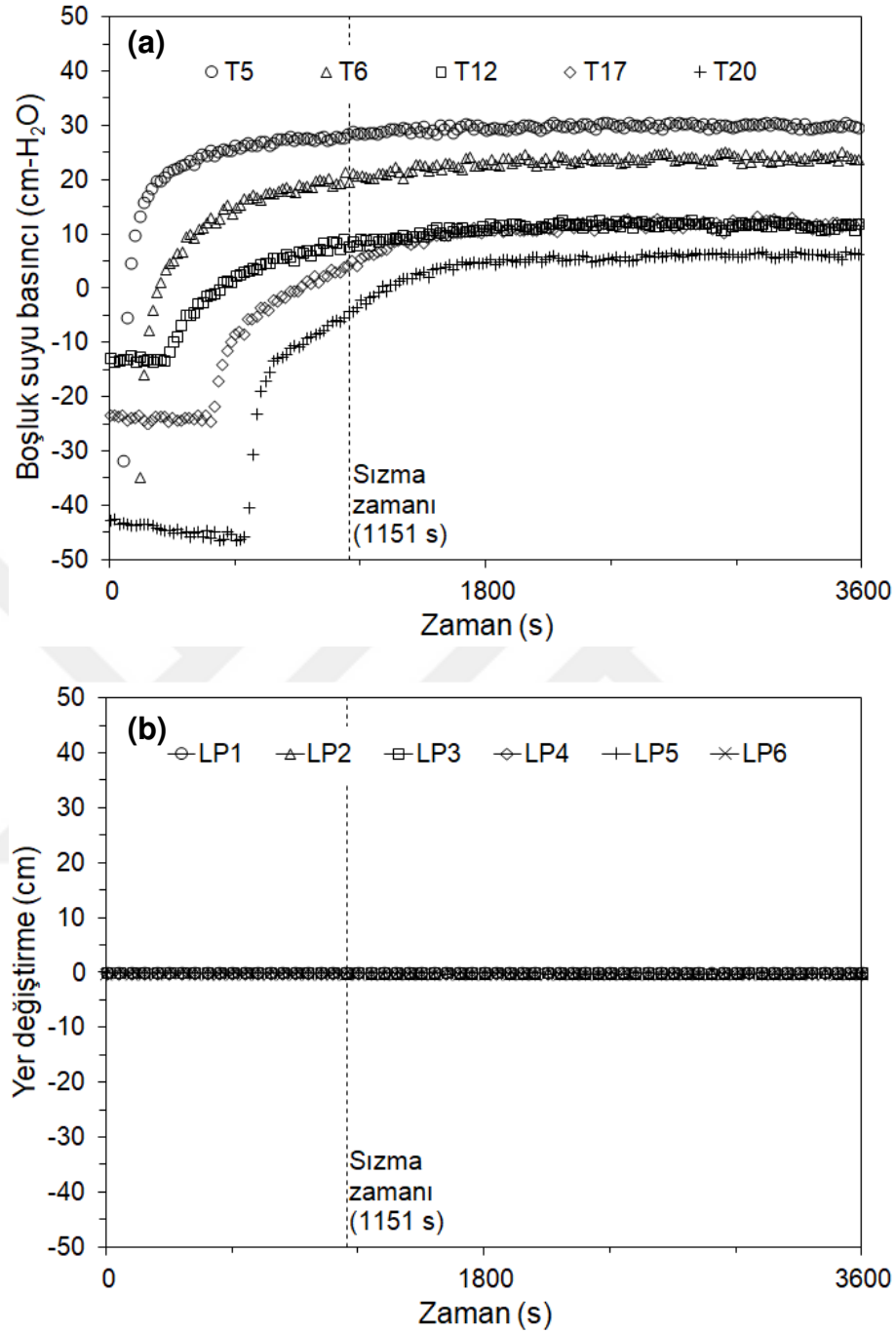
Şekil Ek 3.17. 6 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



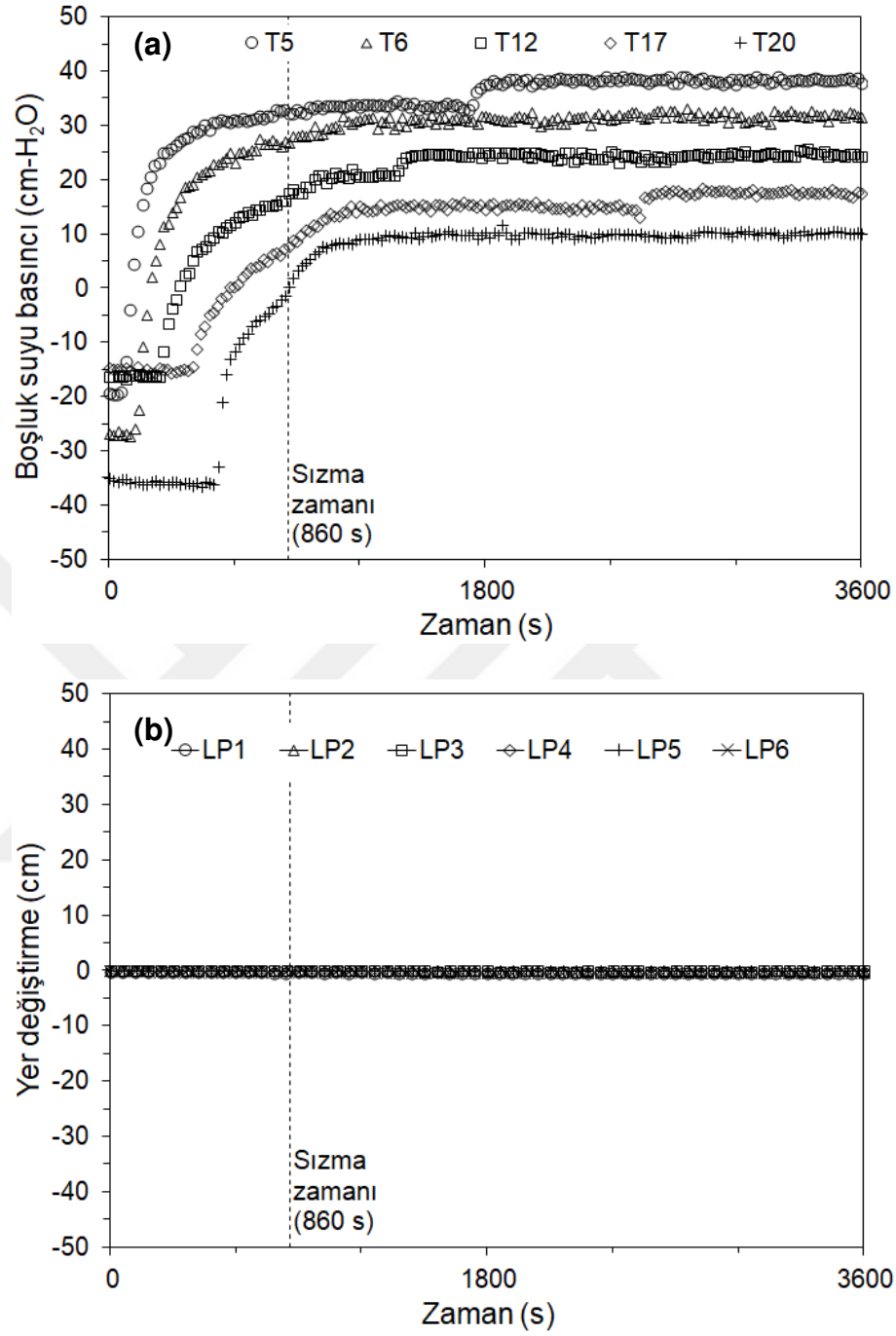
Şekil Ek 3.18. 6 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değıştirmeler



Şekil Ek 3.19. 18 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 25 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



Şekil Ek 3.20. 18 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 38 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler



Şekil Ek 3.21. 18 mm %1.0 lif katkılı kum şev modeli deneyinde 50 cm-su hidrolik yük sınır koşulu altında (a) tansiyometreler tarafından ölçülen boşluk suyu basınçları; (b) lazer potansiyometreler tarafından ölçülen şev yüzeyindeki yer değiştirmeler

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: YELDA LEVENT YÜZER

Doğum Yeri: İSTANBUL

Doğum Tarihi: 14.02.1982

EĞİTİM DURUMU

Lisans: Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2013 - 2016

Önlisans: Anadolu Üniversitesi Bilecik M.Y.O İnşaat, 2001 – 2003

Lise: Erenköy İntaş Lisesi, İstanbul, 2003-2006

İŞ DENEYİMİ

Ada Şehircilik Mimarlık İnş.Tic. Ltd. Şti. – Plan Proje Departmanı Mimari Proje Tasarımı/İnşaat Teknikeri, 10/2007 –08/2014

Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. – Proje Geliştirme Departmanı/İnşaat Teknikeri, 01/2006 – 09/2007

Hedef İnşaat Malzeme Laboratuvarı Tic.Ltd.Şti. – Laboratuvar Teknisyenliği, 07/2004 – 12/2005

İLETİŞİM

yelda.bartu@gmail.com