



**GRANÜLER ZEMİNLERDE MODEL ZEMİN ÇİVİLERİNİN SIYRILMA
KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Koray AKÇAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2014

Koray AKÇAY tarafından hazırlanan “GRANÜLER ZEMİNLERDE MODEL ZEMİN ÇİVİLERİNİN SIYRILMA KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yüksel YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan : Prof. Dr. Nail ÜNSAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Yrd. Doç Dr. Tuncay KARAÇAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 14 / 07 / 2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Koray Akçay

14.07.2014

GRANÜLER ZEMİNLERDE MODEL ZEMİN ÇİVİLERİNİN SIYRILMA
KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Koray AKÇAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2014

ÖZET

Bu çalışmada öncelikli olarak, granüler zeminlerde, zemin çivisinin sıyrılma kapasitesinin zeminin aşırı konsolidasyon derecesi ile nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışma amacı doğrultusunda ilk olarak küçük ölçekli bir laboratuvar deney düzeneği imal edilmiştir. Model deney düzeneği ana hatlarıyla, yükleme çerçevesi (110 cm × 60 cm × 200 cm), numune tankı (110 cm × 60 cm × 60 cm), hidrolik kontrollü yükleme ünitesi ve sıyrılma yükü aktarma ünitesi kısımlarından oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan kum birleşik zemin sınıflandırma sistemine göre SW sınıfıdır. Model zemin çivileri farklı uzunluklarda (10 cm ile 45 cm aralığında) nervürlü ϕ 20 mm donatıdan hazırlanmıştır. Sıyrılma yükü, tüm seviyedeki donatılara, numune tankı içerisindeki uzunluğu 30cm olan, halatlar üzerinden aktarılmıştır. Model deney düzeneğine, literatürde önerilen etki alanı mesafeleri göz önünde bulundurularak, 9 adet donatı yerleştirilmiştir. Donatılar tek tek sıyrılma deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre normal konsolide (NC) kumun aşırı konsolide (OC) kum olması, sıyrılma kapasitesini çok az etkilemektedir. Deneylerde, aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerinin 1 den 40'a çıkmasına karşın sıyrılma kapasitesinin en fazla 3,5 kat arttığı belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.050

Anahtar Kelimeler : Zemin çivisi, granüler zemin, kum, aşırı konsolidasyon oranı
sıyrılma kapasitesi, model deney

Sayfa Adedi : 55

Danışman : Doç. Dr. Yüksel YILMAZ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PULL OUT CAPACITY OF MODEL
SOIL NAILS IN GRANULAR SOILS

(M. Sc. Thesis)

Koray AKÇAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2014

ABSTRACT

In this study, first of all, a research was done on how the pull-out capacity of soil nails changed with the effect of the over consolidation ratio of the soil in granular soils. In accordance with the purpose of the study, firstly, a small-scale laboratory testing apparatus was built. The model apparatus mainly consists of a loading frame (110 cm x 60 cm x 200 cm), a sample tank (110cm x 60cm x 60cm), a hydraulically controlled loading unit and a transfer unit for pull-out load. The sand used in the study is class SW according to Unified Soil Classification System (USCS). Model soil nails were prepared at different lengths (ranging from 10 cm to 45 cm) from ribbed reinforcement of $\phi 20$ mm. Pull-out load was transferred to the reinforcement at all levels through the 30 cm - long - ropes that were in the sample tank. 9 pieces of reinforcement were placed in the model apparatus taking the literally suggested distances of area of effect into consideration. Reinforcements were individually subjected to pull-out tests. Results of the experiments showed that pull-out capacity was very little affected by the change of normally consolidated (NC) sand into over consolidated (OC) sand. In the experiments, a maximum 3,5-fold increase was determined in the pull-out capacity despite the fact that the value of over consolidation ratio (OCR) increased from 1 to 40.

Science Code : 911.1.050

Key Words : Soil nail, granular soil, sand, over consolidation ratio, pullout capacity, model experiment

Page Number : 55

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yüksel YILMAZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Yüksel YILMAZ'a ve laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen İnş. Yük. Müh. Aydın GÖKÇE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Varlıklarıyla beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili babam Kemal AKÇAY, sevgili annem Tomris AKÇAY ve sevgili nişanlım Egemen ERSÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Zemin Çivilerinin Metodunun Tarihsel Gelişimi.....	4
2.2. Zemin Çivilemesi Mekanizmasının Davranışının Bileşenleri.....	6
2.2.1. Zemin çivilerinde yük oluşumu	6
2.2.2. Zemin çivilerinin eğilme ve kayma dayanımının etkisi.....	9
2.2.3. Zemin çivisi yüzey kaplamasının etkisi	9
2.3. Zemin Çivilemesi Uygulamasında Zemin Koşullarının Önemi	10
2.4. Zemin Çivilerinin Davranışlarını Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları	12
2.4.1. Büyük ölçekli model testleri ve saha gözlemleri	12
2.4.2. Model deneyler.....	13
3. MODEL DENEY DÜZENEĞİ VE ÇEKME DENEYLERİNİN.....	
TANITILMASI	23
3.1. İmal Edilen Yükleme Çerçevesinin Özellikleri.....	24
3.2. Yükleme Tankı ve Yük İletim Plakaları	25

	Sayfa
3.3. Zemin Numunesinin Özellikleri	27
3.4. Zemin Numunesinin Tank İçerisine Yerleştirilmesi	31
3.5. Zemin Çivileri.....	33
3.6. Zemin Çivilerinin Dizilimi ve Aralıkları	33
3.7. Konsolidasyon Yüklerinin Uygulanması	35
3.8. Çekme Mekanizması ve Sıyırılma Deneylerinin Uygulanması	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	39
4.1. Halat Sıyırılma Kapasitlerinin OCR=1 ve OCR=40 Düzeyleri İçin Karşılaştırılması	39
4.2. Donatıların Sıyırılma Kapasiteleri.....	40
4.3. Farklı OCR Düzeyleri İçin Elde Edilen Sıyırılma Yüklerinin Karşılaştırılması.....	42
4.4. OCR=1 Düzeyinde Gerçekleştirilen Karşılaştırma ve Tekrar Deneyleri	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	49
EKLER.....	53
EK-1. Deneyde kullanılan kumun maksimum boşluk oranı (minimum kuru yoğunluğu) ve minimum boşluk oranı (maksimum kuru yoğunluğu)	54
ÖZGEÇMİŞ	55

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Zemin çivilerinin zemin veya kaya içerisinde öngörülen bağ kuvvetleri	15
Çizelge 2.2. Literatürde rastlanan sıyrılma kapasitesi model testleri özet tablosu	16
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan kumun maksimum boşluk oranı (minimum kuru yoğunluğu) ve minimum boşluk oranı (maksimum kuru yoğunluğu)	28
Çizelge 3.2. Deney süresince tank orta seviyesinde elde edilen düşey efektif gerilmeler ve OCR düzeyleri	36

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Zemin çivili duvarların imalat aşamaları	3
Şekil 2.2. Zemin çivisi bileşenleri	4
Şekil 2.3. Yeraltı kazılarında kullanılan geleneksel yöntem ile Yeni Avusturya Tünel Metodu karşılaştırması.....	5
Şekil 2.4. Versailles Fransa'daki ilk zemin çivili duvar kesiti.....	6
Şekil 2.5. Zemin çivili şev aynasının şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.6. Zemin çivisi boyunca gerilme dağılımı	8
Şekil 2.7. Zemin çivisinin eğilme ve kayma göçmesi.....	9
Şekil 2.8. Zemin çivili duvarlar için karşılaşılan göçme tiplerinin şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.9. Sıyırılma deney düzeneği	17
Şekil 2.10. 300 kPa gerilme altında farklı doygunluk dereceleri (S_r) için elde edilen zemin çivilerinin sıyırılma kayma gerilmesi-deformasyon ilişkisi.....	18
Şekil 2.11. Farklı sürşarj yükleri altında elde edilen zemin çivilerinin sıyırılma kayma gerilmesi-deformasyon ilişkisi	19
Şekil 2.12. Sıyırılma deney düzeneği.....	20
Şekil 2.13. Farklı zemin çivilerinin sıyırılma yükü-deplasman eğrileri.....	20
Şekil 3.1. Zemin çivili şev ve çekme kutusu örneklemeşi	23
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan kumun gradasyon eğrisi.....	27
Şekil 3.3. Kesme kutusu deney düzeneği.....	29
Şekil 3.4. Kesme kutusu deney sonuçları a) kayma gerilmesi – yatay yer değiştirme ilişkisi b) kayma gerilmesi – normal gerilme ilişkisi.....	30
Şekil 3.5. Kullanılan kumun direk kesme kutusu deneyleri ile elde edilen yenilme zarfı	31
Şekil 3.6. Donatı yerleşim şablonu.....	34
Şekil 3.7. Donatı ve halatların tank içerisindeki izometrik olarak görünümü.....	34

Şekil		Sayfa
Şekil 3.8.	Uygulanan konsolidasyon yükleri ve donatı yerleşim seviyeleri.....	35
Şekil 4.1.	Halatlarının A, B ve C seviyelerinde OCR=1 ve OCR=40 düzeylerinde elde edilen sıyırılma yüklerinin karşılaştırılması	39
Şekil 4.2.	OCR=1 düzeyi için halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması	41
Şekil 4.3.	OCR=40 düzeyi için halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması	42
Şekil 4.4.	Farklı OCR düzeyleri için elde edilen sıyırılma yüklerinin donatı uzunluklarına göre karşılaştırılması	43
Şekil 4.5.	OCR=1 düzeyi için A seviyesindeki halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması	44
Şekil 4.6.	OCR=1 düzeyi için C seviyesindeki halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması	45
Şekil 4.7.	OCR=1 düzeyi için B seviyesindeki halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması	45

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Yükleme çerçevesinin genel görünümü	24
Resim 3.2. Yükleme tankının boş olarak görünümü a) yükleme tankının içinin görünümü b) yükleme tankının şablonlu ön cephe kapağının kapatılmış görünümü.....	25
Resim 3.3. Yükleme tankının dolu hali ve sürsarj yükünün uygulanması a) 1 nolu yük iletim plakasının yerleştirilmesi b) 2 nolu yük iletim plakasının yerleştirilmesi c) 3 nolu yük iletim plakasının yerleştirilmesi d) sürsarj yükünün uygulanması	26
Resim 3.4. Donatıların kum içine yerleştirilmesi a) alt sıra donatıların yerleştirilmesi b) orta sıra donatıların yerleştirilmesi c) üst sıra donatıların yerleştirilmesi d) Son tabaka zemin örtüsünün serilmesi.....	32
Resim 3.5. Deneyde kullanılan donatılar (zemin çivileri).....	33
Resim 3.6. Sürsarj yüklerinin uygulanması ve takip edilmesi a) sürsarj yükünün yük iletim plakaları vasıtasıyla iletilmesi b) uygulanan yükün ölçülmesi ve takibi	37
Resim 3.7. Donatıların sıyırılma yüklerinin tayin edilmesi a) 7 nolu donatının sıyırılma yükünün tayin edilmesi b) 8 nolu donatının sıyırılma yükünün tayin edilmesi	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
c	Kohezyon, kPa
D	Çivi çapı, mm
D_{DH}	Enjeksiyon harcı kalınlığı, mm
e	Boşluk oranı
e_{maks}	Maksimum boşluk oranı
e_{min}	Minimum boşluk oranı
f_b	Bağ kuvveti katsayısı
ϕ	İçsel sürtünme açısı ($^{\circ}$)
G_s	Özgül ağırlık
L	Donatı boyu, mm
L_a	Ankraj boyu, mm
μ	Sürtünme katsayısı
q	Konsolidasyon yükü, kPa
σ_r'	Zemin – çivi ara yüzündeki efektif gerilme, kPa
S_r	Doygunluk derecesi
τ	Kayma gerilmesi, kPa
T	Çekme kuvveti, kN
T_0	Çivi başlığındaki çekme kuvveti, kN
T_{maks}	Maksimum çekme kuvveti, kN
W	Ağırlık, kN

Kısaltmalar	Açıklamalar
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
FHWA	Federal Highway Administration

Kısaltmalar

Açıklamalar

NATM

New Austrian Tunnelling Method

OCR

Over Consolidation Ratio

1. GİRİŞ

Zemin çivilemesi metodu, özellikle 1990'lı yıllardan itibaren zeminlerin stabilizasyonu ve güçlendirilmesinde sıklıkla başvurulmuş, kökeni 1960'lı yıllara dayanan bir uygulamadır. Artan kent nüfusu inşaat faaliyetlerinde artışı da tetiklemiştir. Yer, zaman ve ekonomik koşullar önem kazanmıştır. Bu metod, gerek imalat kolaylığı sağlaması gerekse ekonomik ve teknik yönlerden üstünlükleri ile diğer zemin iyileştirme yöntemleri arasında ön plana çıkmakta, derin kazı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Zemin çivisi uygulamasının esası, şev veya kazı yüzeyine sık aralıklarla çivi denilen çelik çubukların enjeksiyonlu veya enjeksiyonsuz olarak yerleştirilerek zeminin güçlendirilebileceği fikridir. Zemin çivileri pasif katkı sağlayan elemanlardır. Pasif terimi şev veya kazı aynasında yatay bir hareket başladığı takdirde çivilerin çekme kuvvetleri karşısında zorlanacağını anlatmaktadır. Ankrajlardaki gibi bir öngerme kuvveti söz konusu değildir. Enjeksiyonlu çivileme yapıldığı takdirde doğal halde çekmeye karşı zayıf olan zemin malzemesi, çiviler ile birlikte hareket etmeye çalışarak tıpkı betonarme bir eleman gibi çekme kuvvetlerine karşı mukavemet gösterecektir.

Zemin çivilemesi metodu verimliliği için ana belirleyici parametreler, uygulandığı bölgedeki zeminin karakteristik özellikleri, mevcut ve gelecekte maruz kalacağı sürşarj yükleri ve donatının fiziksel özellikleridir.

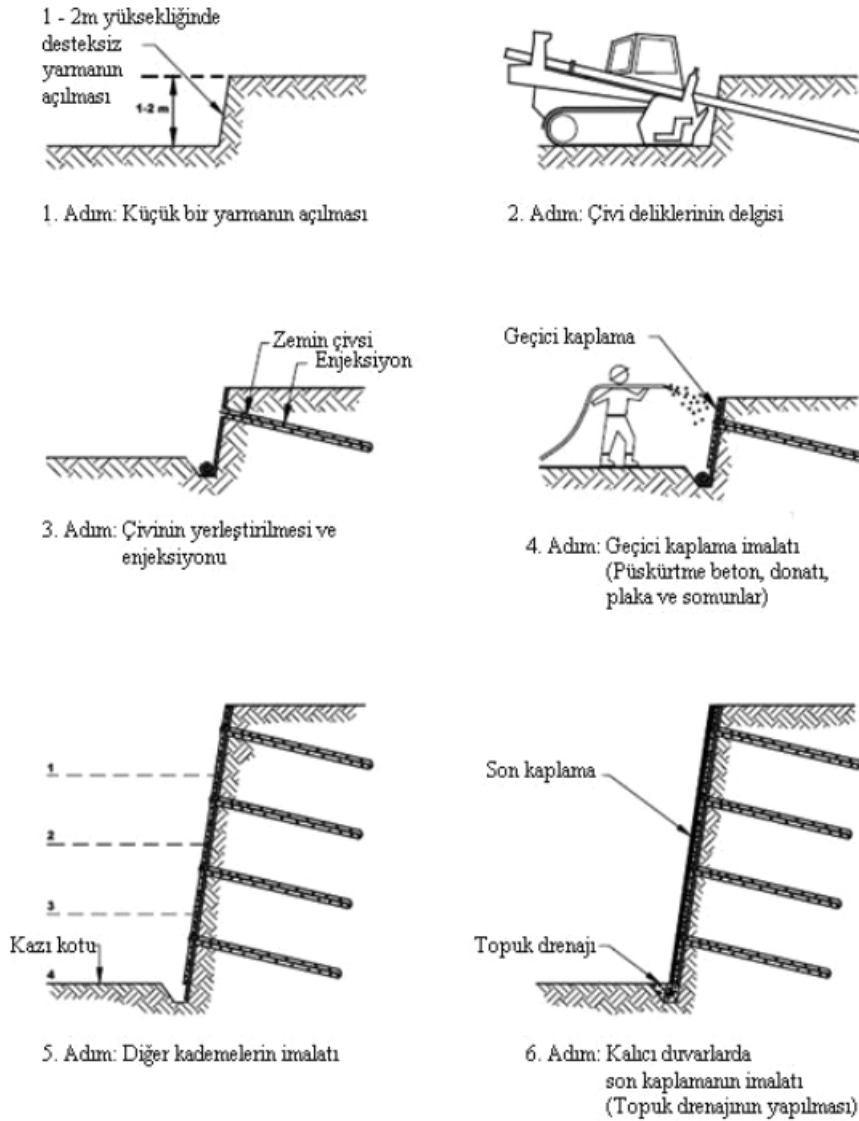
Bu tez çalışması kapsamında, değişken sürşarj yükleri altındaki, farklı boy ve derinliklerdeki, model zemin çivilerinin sıyrılmaya kapasiteleri incelenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında bir model tankı ve yükleme çerçevesi tasarlanarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde aynı anda 9 adet donatı yerleştirilerek ve her donatının sıyrılmaya kapasitesi ayrı ayrı elde edilmiştir. Sürşarj yükü hidrolik bir piston ile kontrol edilirken sıyrılmaya yükleri donatıya uygulanan sabit çekme yükü üzerinde irdelenmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tezin amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde zemin çivilerinin tarihsel gelişimi ve geçmişte uygulanan zemin çivisi model deneylerinden örnekler verilmiştir. Üçüncü

bölümde laboratuvar çalışması için gerekli hazırlıklardan bahsedilmiş ve yapılan laboratuvar çalışmaları detaylandırılarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde laboratuvar çalışmalarının bulguları tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise sonuçlar üzerinde değerlendirmeler yapılarak öneriler sunulmuştur.

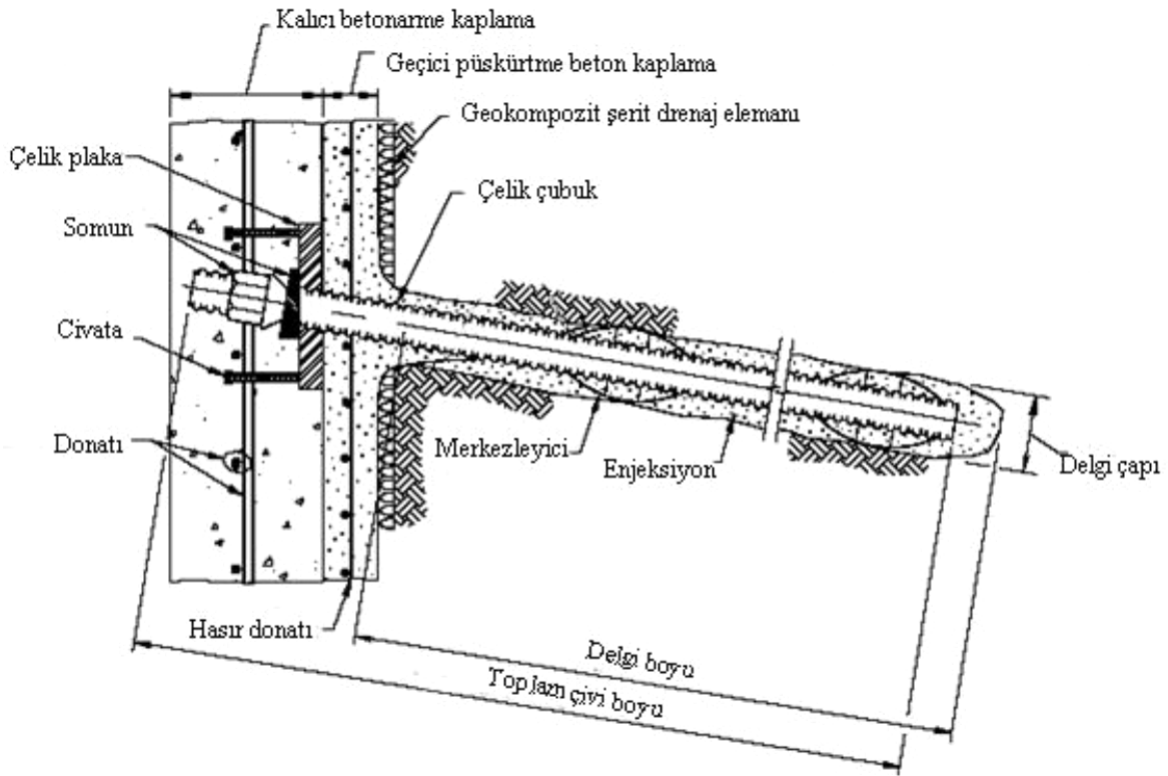
2. LİTERATÜR ÖZETİ

Zemin çivilemesi metodunun esası, mevcut zeminin ya da dolgu malzemesinin çelik çubuklarla güçlendirilmesine dayanır. Yamaçlarda kalıcı veya geçici duraylılığın sağlanmasında, mevcut uygulamaların onarılmasında veya desteklenmesinde, derin kazı uygulamalarında kazı aynalarının stabilitesinin sağlanmasında, kara ve demiryolu yarmalarında ve tünel iksa sistemlerinde geçici ve kalıcı destekler olarak, uygulama kolaylığı, süre ve maliyet açısından tercih edilen zemin iyileştirme ve güçlendirme uygulamalarıdır. Örnek olarak, zemin çivisi kullanılarak inşa edilen bir duvarın imalat aşamaları şekil 2.1’de verilmiştir (FHWA, 2003).



Şekil 2.1. Zemin çivili duvarların imalat aşamaları (FHWA, 2003)

Uygulamada, kazı aynası üzerinde önceden delgiler açılarak donatıların ve peşi sıra enjeksiyon harcının yerleştirilmesi ya da çakma veya sürme şeklinde delme ve enjeksiyonlama aşamalarının bir arada yapılması şeklinde imal edilebilmektedirler. Bir zemin çivisine ait tipik bileşenler şekil 2.2’de gösterilmiştir (Porterfield ve ark., 1994).

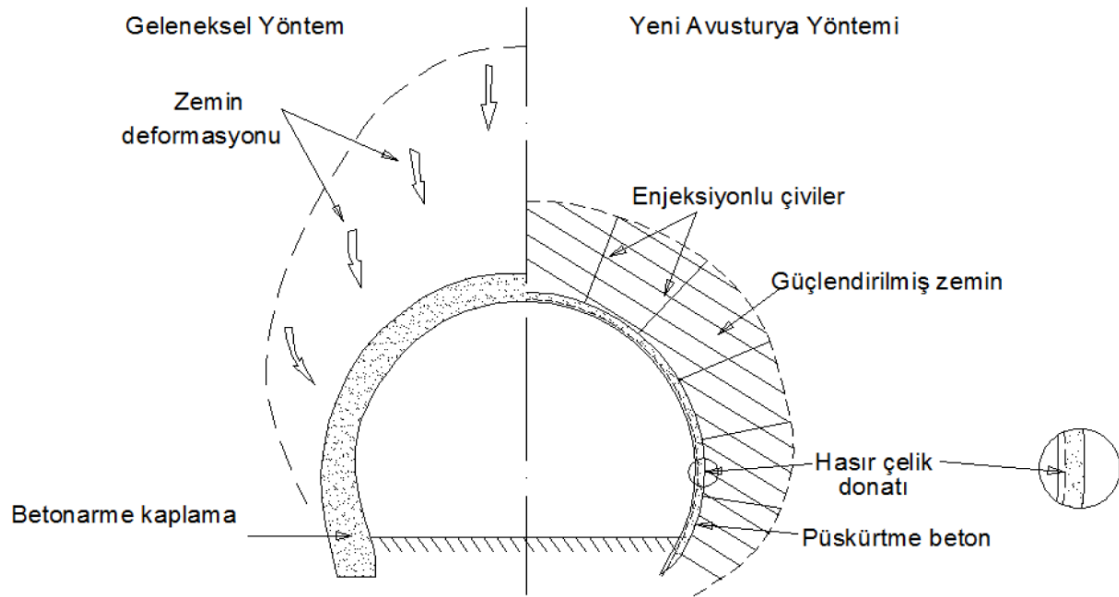


Şekil 2.2. Zemin çivisi bileşenleri (Porterfield ve ark., 1994)

2.1. Zemin Çivilemesi Metodunun Tarihsel Gelişimi

Zemin çivisi yöntemi kaya ankrajları ve çoklu ankraj sistemleri için geliştirilen yöntemler ve donatılandırılmış zemin için geliştirilen yöntemler kullanılarak üretilmiştir. (Clouterre, 1991)

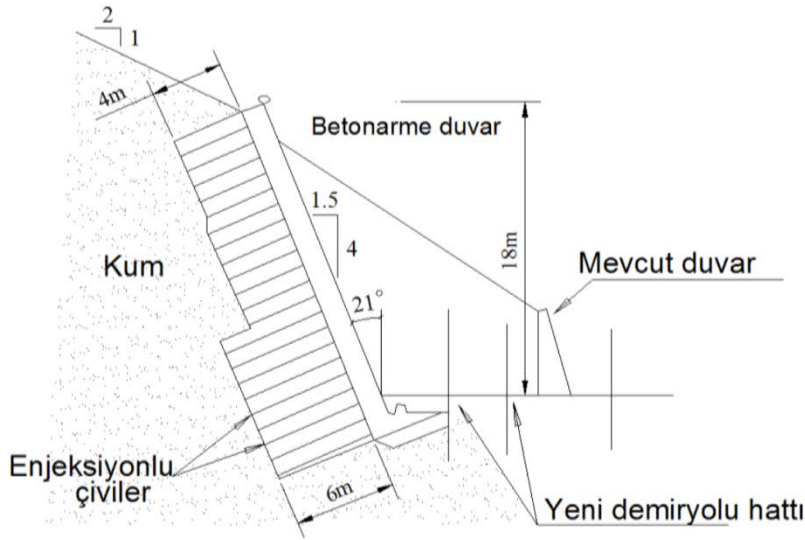
1964 yılında Rabcewicz tünel ve yeraltı galerilerini desteklemek amacıyla Yeni Avusturya Tünel Metod'unu (NATM) geliştirmiştir. Bu yöntem kazı aynasının kazıldıktan sonra pasif ankrajlarla güçlendirilmesinden oluşmaktadır. Rabcewicz boyları 3m-6m arasında değişen çiviler kullanarak son kaplama beton hacmini önemli bir ölçüde azaltmayı başarmıştır. Şekil 2.3 bu 2 metod arasındaki farkı ortaya koymaktadır (Cesur, 2010).



Şekil 2.3. Yeraltı kazılarında kullanılan geleneksel yöntem ile Yeni Avusturya Tünel Metodu karşılaştırması (Bruce ve Jewel, 1986)

Yeni Avusturya Tünel Metodu'nun benzer uygulamalar ile zeminlerin stabilizasyonunda ve güçlendirilmesinde de kullanılabileceği düşünülmüş ve tüm bu deneyimler zemin çivisi uygulamalarına ışık tutmuş ve ileride yapılacak uygulamalara esas oluşturmuştur.

1972 yılında kayıtlara göre ilk zemin çivili duvar 1972 Fransa Versailles'de demiryolu genişletme çalışmalarında karşılaşılan yarım kesitlerde uygulanmıştır (Rabejac ve Toudic, 1974). Şekil 2.4'te şematik bir gösterimi verilen bu uygulamada zemin çivileri düşeyde sık aralıklara iyi derecelenmiş sıkı kum zeminde imal edilmiştir.



Şekil 2.4. Versailles Fransa'daki ilk zemin çivili duvar kesiti (Rabejac ve Toudic, 1974)

1975 – 1981 yılları arasında zemin çivileri ile ilgili ilk ana araştırma programı Almanya Karlsruhe Üniversite'sinde yürütülmeye başlanmıştır (Gassler ve Gudehus,1981; Schlosser ve Unterreiner, 1991). Ardından 1986 yılında Fransa'da Clouterre araştırma programı başlatılmıştır. Akabinde yayınlanan sonuçlar Fransa'da zemin çivili duvar tasarımının temellerini oluşturmuştur ve diğer ülkeler tarafından da benimsenmiştir. Süregelen araştırmaların bir sonucu olarak da günümüzde Federal Highway Administration (FHWA) tarafından elde edilmiş bulgular en yaygın başvuru kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır (Cesur, 2010).

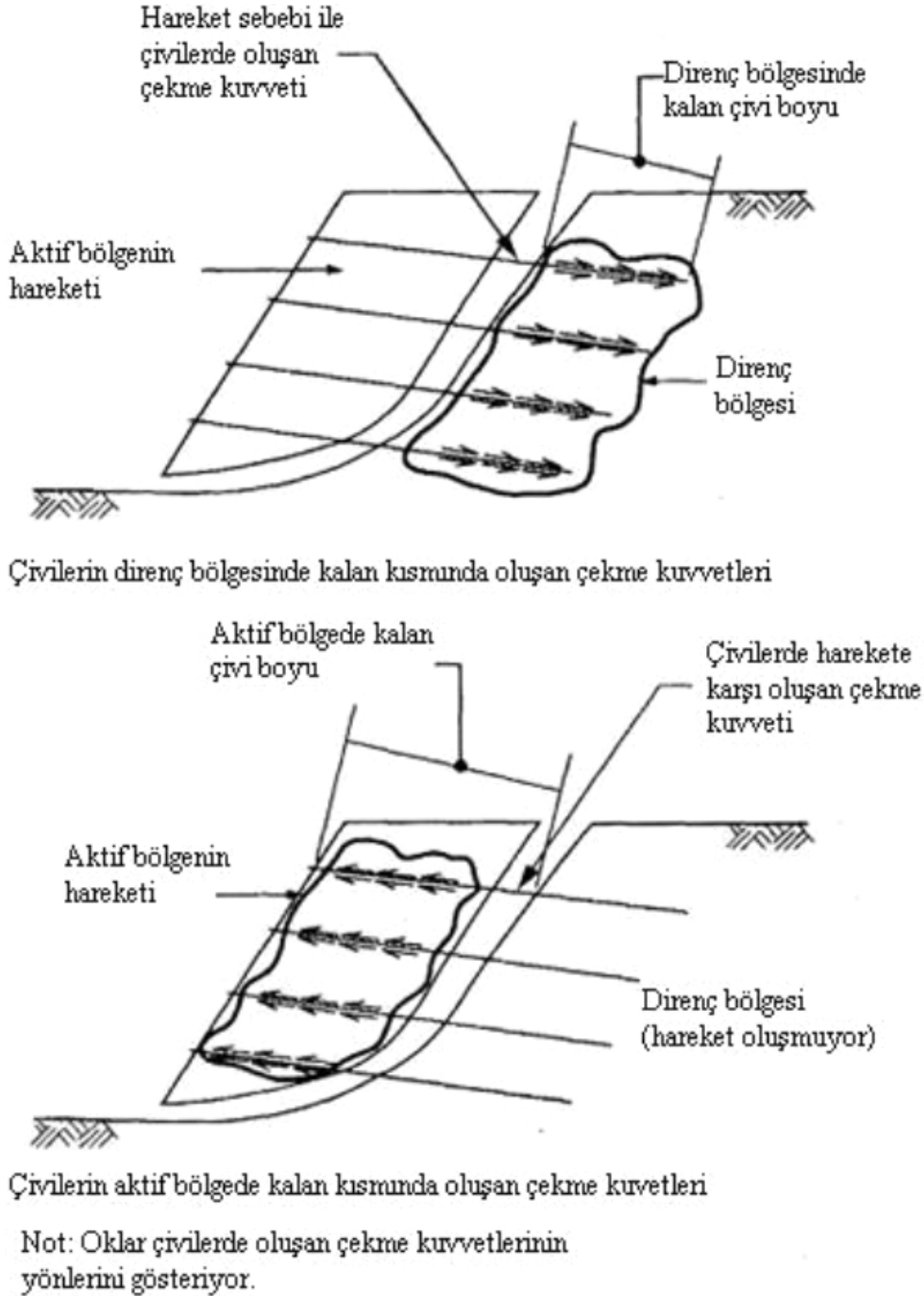
2.2. Zemin Çivilemesi Mekanizmasının Davranışının Bileşenleri

Zemin çivilemesi metodunda, zemin çivileri üzerinde yüklerin gelişimi ve çivilerin eğilme ve kayma dayanımları ve yüzey kaplamaları, zemin çivili şevler için temel bileşenler olarak adlandırılmıştır (Phear ve ark., 2005).

2.2.1. Zemin çivilerinde yük oluşumu

Zemin çivilemesi, zemine sık aralıklara metal ya da polimer elemanların (çoğunlukla donatıların), yerleştirilerek pasif mesnetlenmenin oluşturulmasıdır. Kazı aynasında stabiliteyi bozacak yönde bir hareket oluşması durumunda pasif durumdan aktif duruma

gececek olan donatıların üzerlerinde direnç kuvvetleri oluşmaktadır. Şekil 2.5'te bir şev aynasında zemin çivileri üzerinde yüklerin oluşumu Barley ve ark., (1997) tarafından şematik olarak gösterilmiştir.

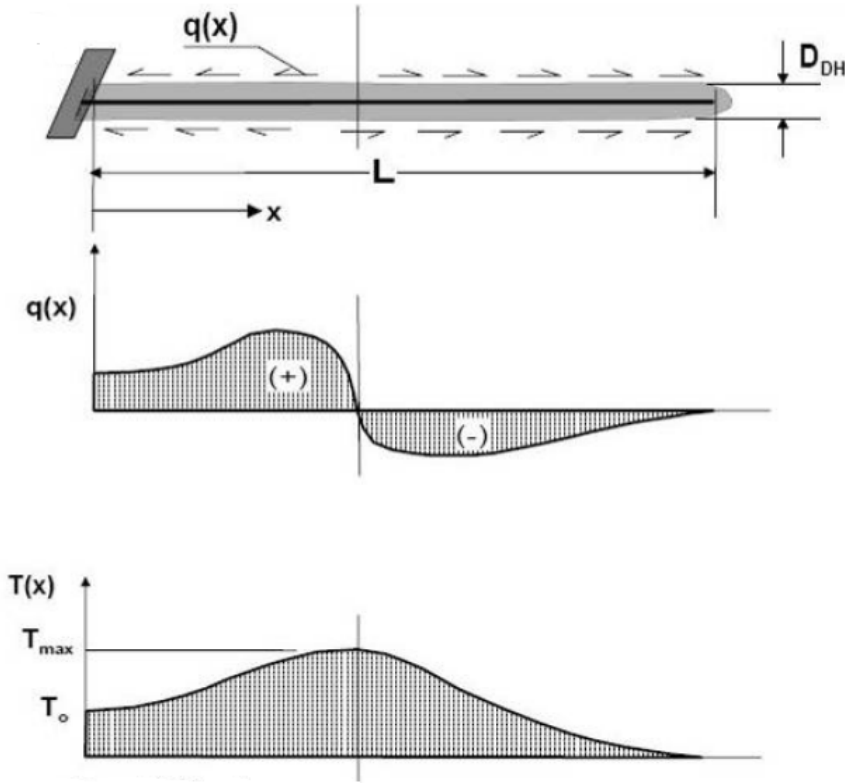


Şekil 2.5. Zemin çivili şev aynasının şematik gösterimi (Barley ve ark., 1997)

Pasif mesnetlenmenin oluşması ile gelişen direnç kuvvetleri, donatıların içinde buldukları zemin ortamı ve kendi fiziksel özelliklerine bağlı olarak donatı ile zeminin

birlikte bir bütün olarak davranması ile gelişmektedir. Bu etkileşimin temelini, donatı ile zemin partikülleri arasındaki bağ kuvvetleri oluşturmaktadır.

Zemin çivilemesi mekanizması aktif ve pasif adı verilen 2 bölge içerisinde çalışmaktadır. Aktif bölgede gerilmeler zemin ile çivi yüzeyi arasında kazı aynasına dik olarak gelişmektedir. Karşı yönde direnç gösteren kuvvetler pasif bölgede oluşmaktadır. Çekme kuvvetleri ise donatının zemin içerisinde gömülü olan ucundan itibaren gelişerek donatı ortasında maksimum değerine ulaşır donatı yüzünde belirli bir değere kadar düşmektedir. Çekme kuvvetinin ve enjeksiyon harcı ile donatı arasında oluşan gerilmelerin değişimi Şekil 2.6'da görülebilmektedir (FHWA, 2003).



Şekil 2.6. Zemin çivisi boyunca gerilme dağılımı (FHWA, 2003)

Şekil 2.6'da kullanılan simgelerin açıklamaları aşağıda ifade edildiği gibidir.

D_{DH} : enjeksiyon harcı kalınlığını, mm

L : donatı boyunu, mm

$q(x)$: zemin çivisi ile enjeksiyon arasında gerilme dağılımını, kPa

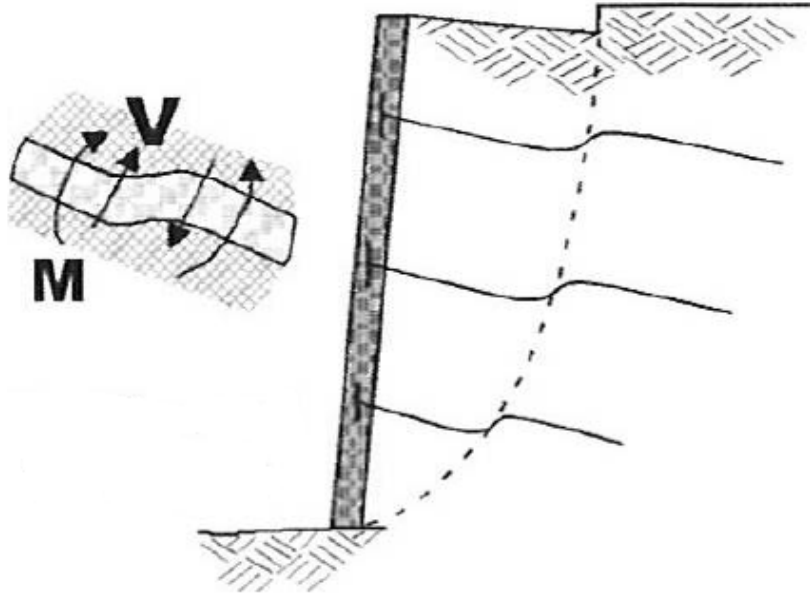
$T(x)$: çekme kuvveti, kN

T_{maks} : maksimum çekme kuvvetini, kN

T_0 : çivi başlığındaki çekme kuvvetini, kN

2.2.2. Zemin çivilerinin eğilme ve kayma dayanımının etkisi

Zemin çivilerinin çalışma prensibi göz önünde bulundurulduğunda çoğunlukla çekme kuvvetlerine maruz kaldıkları görülmektedir. Ancak kazı aynasında oluşan ötelenmeler ve olası göçme yüzeylerinde eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri aynı anda zemin çivilerine etki edebilmektedirler. Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilen bu durum zemin çivilerinin eğilme rijitliğine olan katkısının araştırmalarına konu olmuştur. Pedley ve ark. (1990) ve Jewel ve ark. (1992) yaptıkları araştırmalar bu katkıların ihmal edilebilecek düzeylerde olduklarını göstermiştir (FHWA, 2003).



Şekil 2.7. Zemin çivisinin eğilme ve kayma göçmesi (FHWA, 2003)

2.2.3. Zemin çivisi yüzey kaplamasının etkisi

Zemin çivilemesi metodu yüzey kaplaması veya çivi başlıkları ile uygulanabilmektedir. Clouterre, yüzey kaplamasının, çivilerin ara bölgelerinde de yanal zemin basınçlarına, çivi

başlıklarının olduğu noktalarda çekmeye maruz kalmış bir döşeme gibi davrandığını ifade etmiştir (FHWA, 1993b). Yapılan başka bir araştırma da zemin çivilerinden kaplamaya aktarılan bağ kuvvetlerinin oranı yüzey kaplamasının esnek ya da rijit olmasına göre de değişiklik göstereceğini ifade edilmiştir (Phear ve ark., 2005).

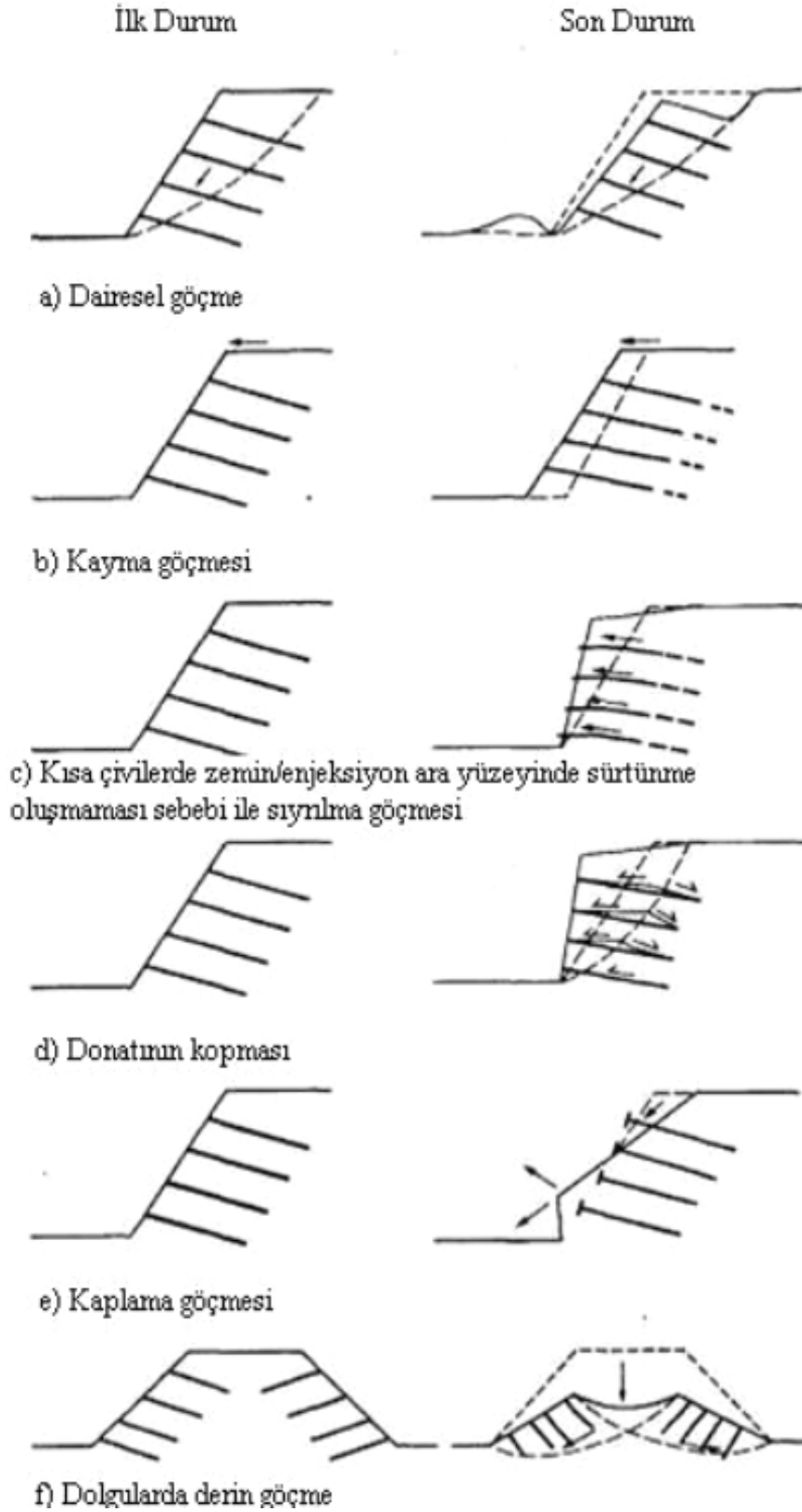
2.3. Zemin Çivilemesi Uygulamasında Zemin Koşullarının Önemi

Her ne kadar zemin çivisi ekonomik ve uygulanması kolay bir metod olsa da her zemin koşulu buna imkan vermemektedir. Bu nedenle inşaat esnasında ya da sonrasında sorun yaşanmaması için uygulanacak bölgelerde zemin koşulları dikkatle incelenmelidir. Zemin çivisi uygulaması yapılacak zeminlerin en azından uygulamanın tamamlanmasına kadar duraylılığını koruması şarttır (Cesur, 2010).

Orta katı – katı, düşük plastisiteli killer zemin çivilemesi metodu için uygun zeminlerken krip deformasyonu oluşumuna yatkın yumuşak kohezyonlu ve organik zeminler bu uygulama için pek uygun değildir. Granüler zeminlerden iri daneler, çakıllar içermeyen iyi derecelenmiş zeminler, ince- orta kumlar, siltli kumlar ve orta sıkı- sıkı kumlar ve çakıllar zemin çivisi uygulamaları için olumlu sonuçlar alınabilen zeminlerdir (Cesur, 2010).

Zemin çivileri ya yeni bir kazı yapılma safhasında ya da mevcut bir zeminin iyileştirilmesi aşamasında uygulanırlar. Zemin çivileri pasif katkılı elemanlar olduğundan dolayı zemin çivilerinin yük alması şev ya da kazı aynasının harekete geçmesiyle mümkün olmaktadır. Bu nedenle zemin çivileri üzerinde uygulama anında yükler gelişmemektedir.

Zemin çivileri ile güçlendirilmiş şevlerin göçme kriterlerini belirleyebilmek için yapılan hesaplamalar, çok sayıda potansiyel kayma ve göçme eğiliminde olan yüzey için tekrarlanmakta, akabinde en kritik kayma ve göçme yüzeyleri elde edilmektedir. Göçme halinin oluşmasına etken bir diğer unsur ise zemin çivisinin kendisinin kopması olmaktadır. Ancak bu durum zemin parametrelerinden bağımsız olarak donatının ya da yerleştirilen elemanın fiziksel özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Literatürde karşılaşılan göçme tiplerinin şematik gösterimleri Şekil 2.8’de verilmiştir (Phear ve ark., 2005).



Şekil 2.8. Zemin çivili duvarlar için karşılaşılan göçme tiplerinin şematik gösterimi (Phear ve ark., 2005)

Zemin çivilerinin sıyırılma kapasiteleri çivilerin arasındaki mesafeye, çaplarına, boylarına

ve zemin ile çivi yüzeyi arasında oluşan nihai sürtünme kuvvetine bağlı olarak değişmektedir. Nihai bağ kuvvetlerinin belirlenmesine dair evrensel olarak kabul edilen bir metod olmamakla beraber, tasarımlar sahada yapılan deneyler ve geçmiş tecrübelerden elde edilmiş verilere dayalı olarak ilerlemektedir. Sıyırılma kapasiteleri üzerinde etkili olan bir diğer önemli husus, çivilerin etrafındaki zemin ile etkileşiminden kaynaklı dolaylı olarak etrafındaki diğer çivilerle olan etkileşimleridir. Bu kriter, kum zeminlerde sıyırılma kapasitelerinin beklenen değerlerden daha düşük elde edilmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle bazı azaltma katsayıları kullanılarak hesaplamaların daha gerçekçi olması sağlanmaktadır (Cesur, 2010)

2.4. Zemin Çivilerinin Davranışlarını Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları

Zemin çivilerinin sıyırılma kapasitelerini yüksek bir hassasiyetle belirleyebilmek, zemin ve çivi arasındaki etkileşimin, donatının sıyırılma anında belirsizlikler taşıdığı için oldukça zordur (Franzen, 1998). Literatürde, zemin çivilerinin davranışlarını araştırma amacıyla saha ve laboratuvar ortamında yapılmış sıyırılma deneylerine rastlanmaktadır.

2.4.1. Büyük ölçekli model testleri ve saha gözlemleri

En iyi ve en güvenilir deney metodu hiç şüphesiz ki tam ölçekli yapılan deneylerdir. Ancak bu gibi deneyler, uzun zaman gerektirmesi, maliyetli oluşu ve uygun koşullarda arazi, yer bulmanın her zaman mümkün olmamasından dolayı sıklıkla yapılamamıştır. Bu sebeple literatürde karşılaşılabildiklerimiz birkaç adet çalışmadan ibarettir. Bunlar arasında Almanya’da “Bodenvernagelung” (1975-1980) ve Fransa’da “Clouterre” (1986-1991) projeleri en önemlileridir (Su Li-Jun, 2006).

Bodenvernagelung projesinde 7 adet zemin çivili duvar tepeden tabana metodu ile imal edilmiştir. Bu duvarların 3 adedi kum zeminde, diğer üç adedi tabakalı kum, kil ve siltli kil zeminlerde ve sonuncusu aşırı konsolide kil zeminde uygulanmıştır (Gassler, 1992). Zemin çivilerin Alman literatüründeki tasarım esasları bu deneylere dayanmaktadır (Su Li-Jun, 2006).

Gassler (1992), zemin çivisi uygulanmış şevin üst yüzeyine yerleştirilmiş beton plaklara sürşarj yükü uygulamak suretiyle 6 adet deney gerçekleştirmiştir. Gözlemlenen yatay

deplasmanlar, düşey deplasmanlardan 5/3 oranında daha yüksek mertebelere ulaşmıştır. Kohezyonlu zeminlerdeki sünme etkilerinin, özellikle oluşan yüksek değerlerdeki yatay deplasman ve yük dağılımları üzerinde etkili olduğunu rapor etmiştir. (Su Li-Jun, 2006). Fransız ulusal projesi “Clouterre’ kapsamında yürütülen tam ölçekli 3 tip göçme tipi incelenmiştir. Bunlar, donatının kopması sonucu göçme, donatının sıyrılması sonucu göçme ve yüksek miktarda önlem alınmadan yapılan kazı sonucu göçme durumlarıdır.

İlk incelenen zemin çivili duvar kum zeminde imal edilmiş 7m yüksekliğinde olup doyumluğa erişmiş bir zemin ortamında göçme gerçekleşinceye kadar yük uygulanmasına devam edilmiştir. Göçme en üst seviyedeki donatıların yüksek eğilme deformasyonlarına dayanamayarak kopmasıyla gerçekleşmiştir. İkinci örnek duvar uygulaması ise donatıların kademeli olarak farklı boylarda kılıflanması ile aderans uzunluğunu kaybetmesi sonucu göçmüştür. Üçüncü örnek duvar uygulaması ise önlem alınmadan kazı yüksekliğinin artırılması sonucu göçmüştür (Plumelle and Schlosser, 1990; Plumelle ve ark., 1990; Schlosser ve ark., 1992; Clouterre 1993).

2.4.2. Model deneyler

Zemin çivilemesi metodundaki en önemli parametre ve belirleyici unsur hiç şüphesiz ki sıyrılma kapasitesidir. Bu konu üzerinde birçok araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalar yapılmış ve hali hazırda yapılmaktadır. Konu ile ilgili ilk çalışma Shen ve ark. (1981) tarafından yapılmıştır. Tezleri, Coulomb yenilme kriterinin maksimum bağ kuvveti üzerinde belirleyici olduğudur. Daha sonra Jewell (1990) çekme kapasitesinin zeminin kayma mukavemeti ve sürşarj basınca bağlı olduğunu aşağıdaki eşitlikle öne sürmüştür (Akış, 2009).

$$T = \pi D L_a \sigma_r' f_b \tan \phi' \quad (2.1)$$

Burada;

T : çekme kuvveti, kN

D : zemin çivisi çapı, cm

L_a : ankraj boyu, cm

σ_r' : zemin – çivi ara yüzündeki efektif gerilme, kPa

f_b : bağ kuvveti katsayısı (tamamen pürüzlü yüzeyler için 1.0 ve pürüzsüz yüzeyler için 0.2 – 0.4)

ϕ' : zemin efektif içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

Bir diğer çalışma Cartier (1983) tarafından sürme zemin çivilerinin granüler zeminlerdeki sıyırılma kapasitesi üzerinde yapılmıştır. Sıyırılma kapasitesinin düşey gerilme ve sürtünme katsayısı ile olan korelasyonunu ortaya koymuşlardır (Akış, 2009).

$$P = \theta c' + 2 D \sigma_v' \mu^* \quad (2.2)$$

Burada;

P : çivinin gömülü olduğu metre boyunca uygulanan çekme kuvveti, kN

θ : zemin çivisinin çevresi, cm

c' : zeminin kohezyon değeri, kPa

D : zemin içerisine yerleştirilen şerit elemanın genişliği, mm

σ_v' : zemin çivisinin orta noktasında oluşan düşey gerilme

μ : sürtünme katsayısı'dır.

Sıyırılma kapasitesi üzerindeki önemli etkilerden birisi de zeminlerin dilatansı, hassasiyetidir. Gassler (1983,1992) kayma direncinin, sürşarj basıncı veya orta-katı veya katı zeminlerin içsel sürtünme açısından ziyade çivi ile zemin arasındaki kayma zonundaki dilatansa bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca çivilerin uygulanacağı zeminlerdeki ilksel gerilmeler, çivilerin yerleştirilmesi sırasındaki sondaj metodlarından da etkilenmektedir. Guilloux ve ark. (1982) ve Cartier ve ark. (1983) tarafından siltli kumlarda yapılmış birçok deneylerden elde edilen verilere göre maksimum kayma gerilmesi de derinlikten etkilenmemektedir. Mobilize olan kayma gerilmesi donatının etrafındaki zeminin dilate olma eğilimi göstermesine, zeminin diğer bölümlerinin de bu duruma direnç göstermesine yol açacaktır. Bunun bir sonucu olarak da donatı üzerindeki normal gerilme artacaktır. Dilativite eğiliminin derinlikle beraber azaldığı fakat sıyırılma kapasitesi üzerinde sürşarj etkisi dilatans etkisini kompanse ettiği için derinliğin etkisi olmadığı görülmüştür (Su Li-Jun, 2006).

Sıyırılma kapasitesi ile ilgili veriler daha önceki test sonuçlarından elde edilebilir. Bunun için zemin tipi ve uygulama metoduna bağlı olarak oluşturulan nihai çekme kapasiteleri Elias ve Juran (1991) tarafından bir veri dizisi olarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada ve FHWA tarafından zemin çivilerinin kaya ve zemin koşullarında elde edilen bağ kuvvetleri Çizelge 2.1’de sunulmuştur (Akış, 2009).

Çizelge 2.1. Zemin çivilerinin zemin veya kaya içerisinde öngörülen bağ kuvvetleri (Phear ve ark., 2005)

İmalat metodu	Zemin tipi	Nihai bağ gerilmesi (kN/m ²)
Burgulu	Lös	25-75
	Yumuşak kil	20-30
	Orta katı kil	40-60
	Killi silt	40-100
	Kalkerli kumlu kil	90-140
	Siltli kum dolgu	15-20
Delgi Yöntemi	Plastik olmayan silt	20-30
	Orta yoğun kum ve siltli kum ve kumlu silt	50-75
	Yoğun siltli kum ve çakıl	80-100
	Çok yoğun siltli kum ve çakıl	120-140
	Katı kil	40-60
	Katı killi silt	40-100
	Katı kumlu kil	50-100
Döner Sondajlı	Marl / kireçtaşı	300-400
	Yumuşak dolomit	400-600
	Ayrışmış kumtaşı	200-300
	Ayrışmış şeyl	100-150
	Ayrışmış şist	100-175
	Bazalt	500-600
	Siltli kum	100-150
	Silt	60-75
Kılıflı sürme	Yoğun kum / çakıl	180-210
	Kumlu kolüyon	70-150
	Killi kolüvyon	40-75
Jet-groutlu	Kum	380
	Kum / çakıl	700

Diğer bir dizi çekme deneyinden (FHWA, 2003) elde edilen bir ampirik eşitlik;

$$\tau_{ult} = 14 P_L (6 - P_L) \quad (2.3)$$

Burada;

P_L : presiyometre testlerinden MPa cinsinden elde edilmiş limit basınç, kPa

τ_{ult} : bağ kuvveti, kPa'dır.

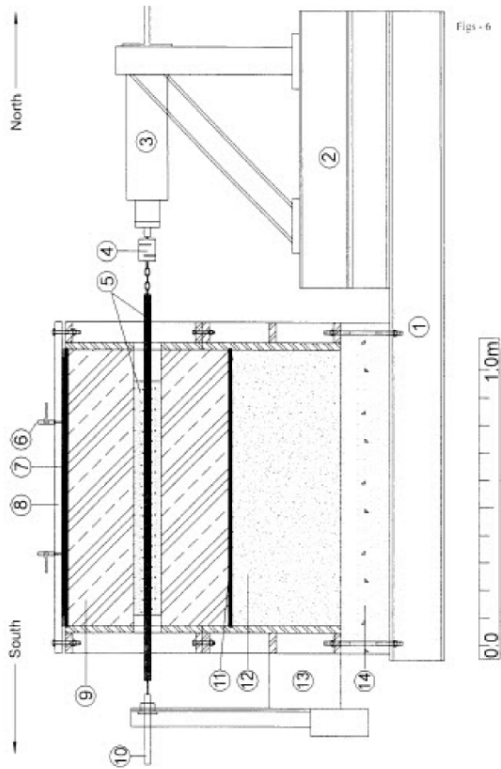
Araştırmalar, çekme testlerinin uygulandıkları zemin tipi, çivi tipi, çivi yüzeyinin pürüzlülüğü ve zemin çivisi yerleştirme esaslarına göre şekillenmektedir. Aşağıdaki çalışmalara esas olan modellemeler ve deneyler üzerinde araştırılan belirleyici unsurlar Çizelge 2.2'de verilmiştir. Ancak sıyırılma kapasitesi ile sürşarj basıncı arasındaki ilişkiye dair bir fikir birliği oluşmamıştır (Akış, 2009).

Çizelge 2.2. Literatürde rastlanan sıyırılma kapasitesi model testleri özet tablosu (Akış, 2009)

Yazar	Yıl	Kutu boyutları	Çivi tipi	Zemin tipi	Araştırılan unsurlar
Morris	1999	428x463x450	Tek, enjeksiyonlu çivi	Katı killi zemin	Sürşarj, çivi tipi, yükleme oranı
Hong ve ark.	2003	600x800x400	Çift, sürme çivi	Kuru kum	Çivilerin pürüzlülüğü, grup etkisi
Junaideen	2004	2000x1600x1400	Tek, sürme çivi	Tamamıyla ayrılmış çakıl	Çivilerin pürüzlülüğü, sürşarj basıncı
Chu ve ark.	2005	700x560x605	Tek, enjeksiyonlu çivi	Tamamıyla ayrılmış çakıl	Doygunluk oranı, sürşarj basıncı
Pradhan ve ark.	2006	2000x1600x1400	Tek, enjeksiyonlu çivi	Tamamıyla ayrılmış çakıl	Sürşarj basıncı
Su ve ark.	2008	1000x600x830	Tek, enjeksiyonlu çivi	Tamamıyla ayrılmış çakıl	Sürşarj basıncı

Morris, (1999) çivi için delgi yapılarak çimento harcı ile katı kil zeminlere yerleştirilen zemin çivilerini incelemiştir. Boyutları 428 mm x 463 mm x 450 mm olan tankı zemin numunesi ile doldurulmuştur. Sonrasında 50 mm çapında bir delgi yaparak 10 mm çapında donatıyı harçla beraber yerleştirilmiştir. Şekil 2.9'da laboratuvar deney düzeneği gösterilmiştir (Akış, 2009).

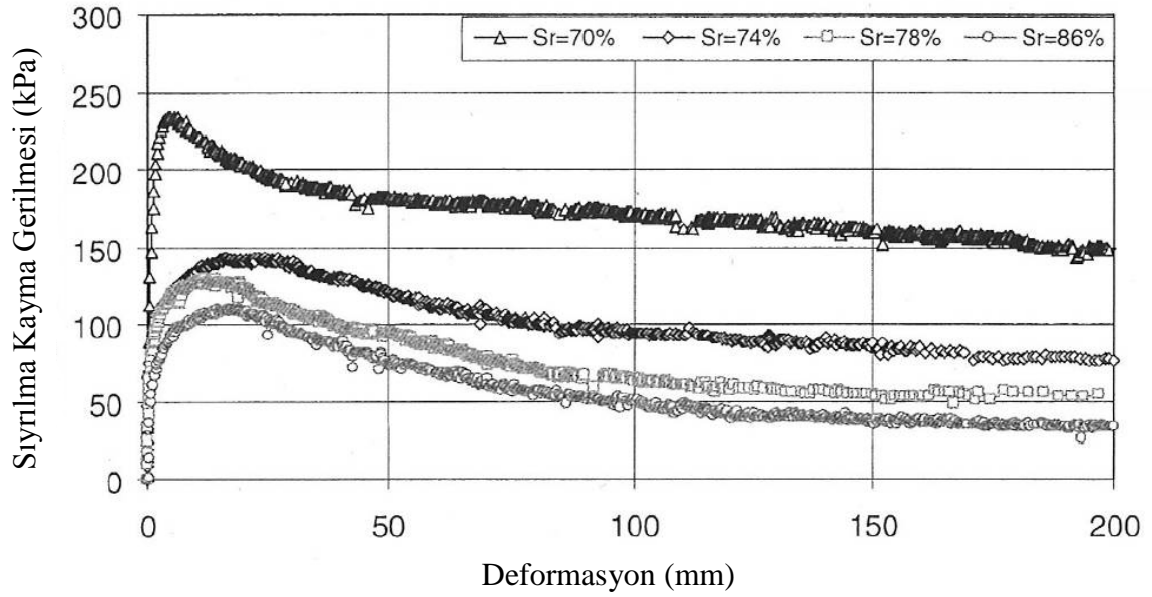
Zemin çivilerine 50 kPa'dan 200 kPa'ya kadar sürşarj basınçları uygulanarak 3.2 mm/dak 60 mm/dak yükleme hızları altında sıyırılma kapasiteleri incelenmiştir. Sıyırılma kapasitesinin yükleme hızının artırılmasıyla paralel artış gösterdiği deneyler sonucunda görülmüştür. Elde edilen bulgura dayanarak, yükleme hızlarının sıyırılma kapasiteleri üzerinde dikkate değer etkisi olduğunu rapor etmişlerdir. Diğer yandan zeminin sıyırılma sonucu oluşturduğu yer değiştirme yerinde yapılan deney sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Sıyırılma kayma gerilmesi - deformasyon eğrilerine baktıklarında yavaş ve orta düzeyde yapılan yükleme hızlarında sonuçların benzer çıktığını ancak yüksek hız değerleri ile çekme yapıldığında sıyırılma kapasitelerinin arttığını gözlemlemişlerdir (Akış, 2009).



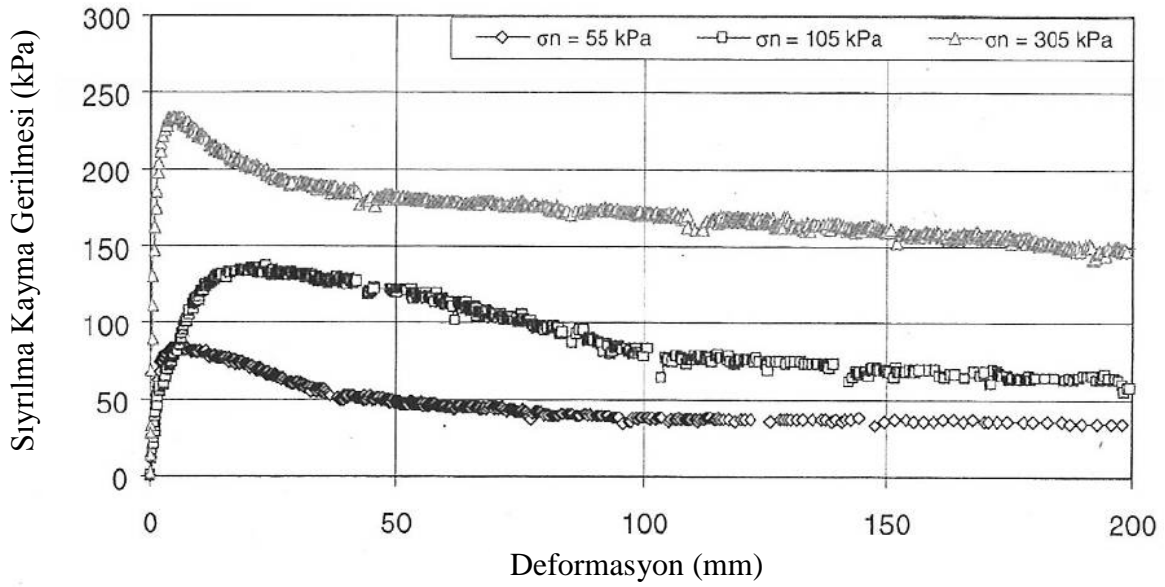
1. Ana taşıyıcı kirişler
2. Yüklemenin çivi aksı seviyesine gelmesini sağlayan yardımcı kiriş
3. 60 t kapasiteli yükleme manglesi
4. 5 t kapasiteli çivi eksenel yük yükleyici
5. Enjeksiyonlu zemin çivisi
6. Düşey gerilme ölçüm valfi
7. Düşey gerilme mebranı
8. Numune tankı üst plakası
9. Zemin numunesi
10. Çivi eksenel deformasyon ölçer
11. Numune tankı alt yüzeyi
12. Sıkı kum ile desteklenen tank alt yüzeyi
13. Yükleme ekipmanları
14. Betonarme ayak

Şekil 2.9. Sıyırılma deneyi düzeneği (Morris,1999)

Chu ve ark. (2005) çimento harçlı zemin çivilerinin granüler malzeme içerisinde olduğu bir dizi deneyler yapmışlardır. 700mm uzunluğunda 560mm genişliğinde ve 605 mm yüksekliğinde bir deney tankı kullanmışlardır. Zemin numunesinin farklı doygunluk derecesi ve farklı sürşarj yüklemeleri altında çimento harçlı zemin çivilerinin sıyırılma kapasiteleri incelenmiştir. Şekil 2.10'da 300 kPa gerilme altında farklı doygunluk dereceleri altında elde edilen, Şekil 2.11'de ise farklı sürşarj yükleri altında ölçülen sıyırılma kayma gerilmesi - deformasyon ilişkileri sunulmuştur (Chu ve ark., 2005).

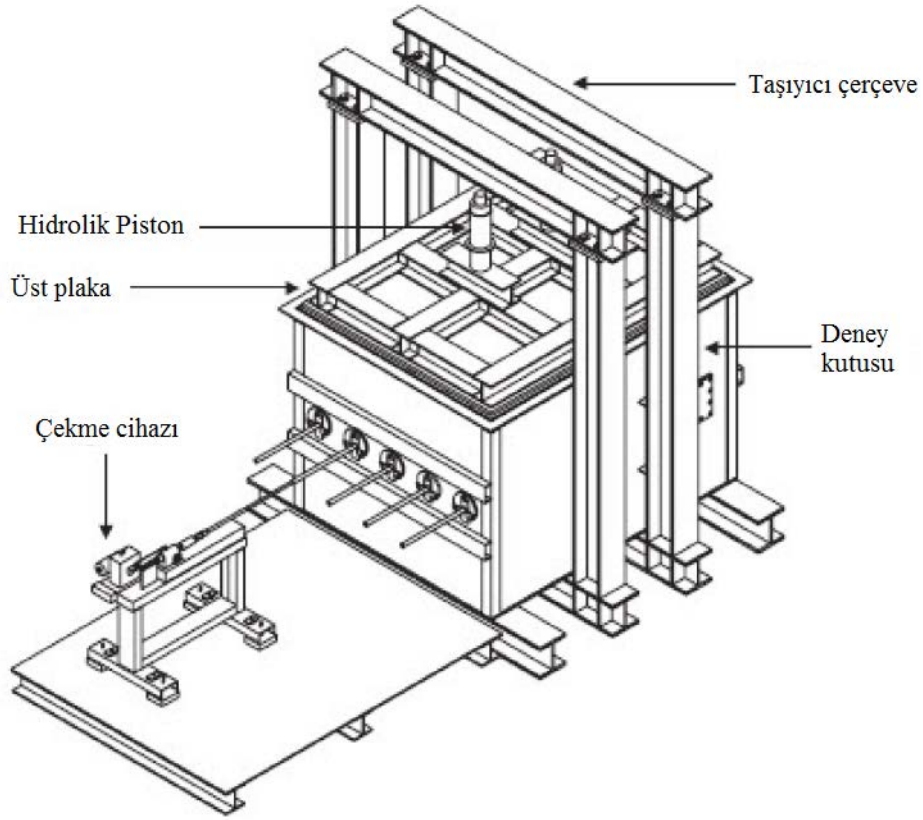


Şekil 2.10. 300 kPa gerilme altında farklı doygunluk dereceleri (S_r) için elde edilen zemin çivilerinin sıyırılma kayma gerilmesi-deformasyon ilişkisi (Chu ve ark., 2005)

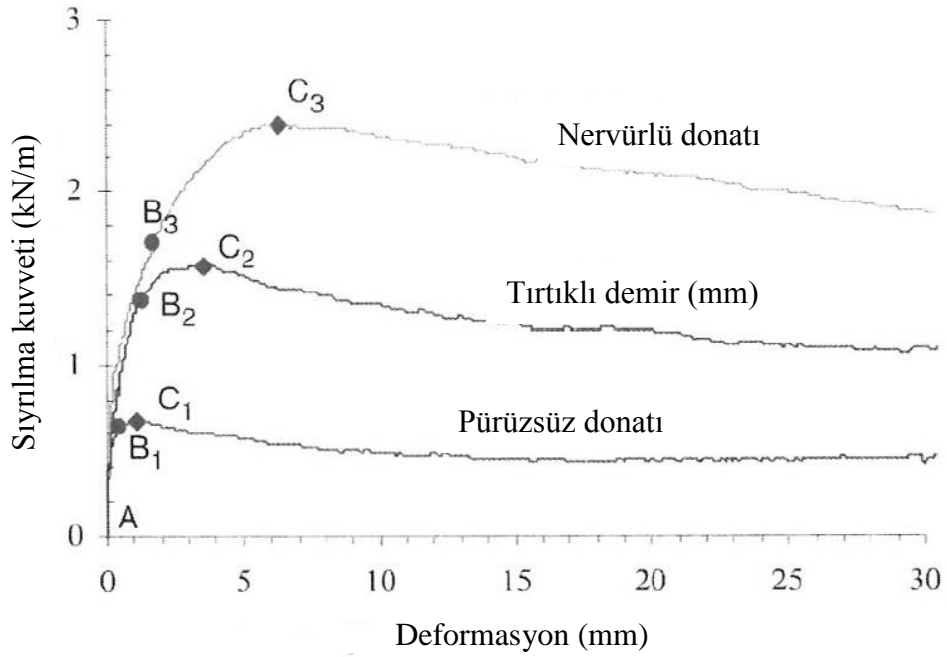


Şekil 2.11. Farklı sürşarj yükleri altında elde edilen zemin çivilerinin sıyırılma kayma gerilmesi-deformasyon ilişkisi (Chu ve ark., 2005)

Junadien ve ark. (2004), yapılmış olan sıyırılma kapasitesini belirleme deneylerinde çekme metodu üzerinde herhangi bir fikir birliği olmadığına dikkat çekmişlerdir. Daha önceki yapılan çalışmaların mümkün olan en doğru ve uygulaması en kolay olan deneyler olduklarını ifade etmişlerdir. Bu nedenler çalışmalarında 2m uzunluğunda 1.6 m genişliğinde ve 1.4 m yüksekliğinde bir model oluşturarak 25 mm çapında 1.8 m uzunluğunda nervürlü, tırtıklı ve düz demirler koyarak zemin içerisine yerleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Deneyler farklı demirler için farklı sürşarj yüklemeleri altında yapılmıştır. Gözlenen sonuçlarda ilk dikkati çeken nervürlerin sıyırılma kapasitesi üzerinde anlamlı bir etkisi olduğudur. Ayrıca sıyırılma yükü – deplasman eğrilerinden elde edilen sonuçlardan (Şekil 2.13) görüldüğü üzere pik sıyırılma kuvvetleri çok küçük deplasmanlarda oluşmakta ve pik değerlerin hemen sonrasında sıyırılma direncinde kademeli bir azalma görülmektedir (Akış, 2009).



Şekil 2.12. Sıyırılma deney düzeneği (Junaideen ve ark., 2004)



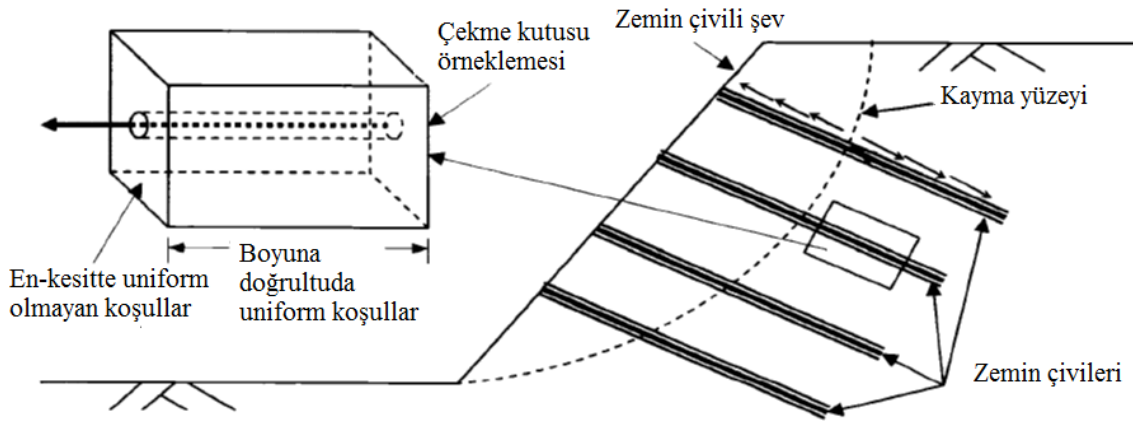
Şekil 2.13. Farklı zemin çivilerinin sıyırılma yükü - deplasman eğrileri (Junaideen ve ark., 2004)

Pradhan ve ark., (2006) gevşek kum dolgu zeminlerde çimento enjeksiyonu ile beraber yerleştirilen zemin çivilerini incelemişlerdir. Junaideen ve ark., (2004) kullandığı deney tankının benzerini kullanmışlardır. Sıyırılma kapasitesinin sürşarj basıncı ile doğrudan bağlantılı olduğunu ifade etmişlerdir. Deneyler gevşek kumlarda yapıldığı için dilatans etkisi kolaylıkla ihmal edilebileceğinden sıyırılma kapasitesi sürşarj yükünün artışı ile birlikte artan bir eğilim göstermiştir.

Su ve arkadaşları, 1000mm x 600mm x 830mm ölçülerinde bir model tank kullanarak bir dizi sıyırılma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Bağ kuvveti üzerinde sürşarj yükünün etkisini çakıl zemin içinde çimento enjeksiyonu ile birlikte uygulanan çivilerde gözlemlemişlerdir. Zemin çivisinin zemin içerisine yerleştirilme işleminin, zemin çivisi etrafındaki zeminin üzerindeki düşey gerilmelerde anlamlı değişiklikler oluşturduğu ve zemin çivisi sıyırılma kapasitesinin sürşarj yüklemesinden bağımsız olarak geliştiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuç Guilox ve ark, (1982) ve Cartier ve ark., (1983) değerlendirmeleri ile örtüşmektedir. Ancak Chue ve ark. (2005), Junaideen ve ark. (2004) ve Pradhan ve ark. (2006) elde ettikleri verilerle uyuşmamaktadır.

3. MODEL DENEY DÜZENEĞİ VE ÇEKME DENEYLERİNİN TANITILMASI

Daha önce de ifade edildiği üzere zemin çivisi uygulaması, aktif ve pasif bölgeden oluşmaktadır. Donatının tam verim ile çalışabilmesi yeterli bağ kuvvetinin pasif bölge içinde etkimesiyle gerçekleşmektedir. Donatıların sıyrılma kapasiteleri laboratuvar deneylerinde pasif bölge içerisinde oluşan direnç ile incelenebilmektedir.



Şekil 3.1. Zemin çivili şev ve çekme kutusu örnekleme (Su Li-Jun, 2006)

Şekil 3.1'de zemin çivili bir şev uygulaması gösterilmektedir. Bu gösterimdeki gibi bir zemin çivisinin gerçekteki performansını ölçebilmek ancak tam ölçekli fiziksel bir model ile sınır koşulların oluşturulması kaydıyla mümkün olmaktadır. Zemin çivisi sıyrılma kapasitesi üzerinde sürşarj basıncının ve donatı yerleşim aralığının etkileri araştırılması küçük ölçekli bir modelleme ile yapılabilir. Çünkü tam boy çalışılan bir zemin çivisinin yenilme kriteri çekme kuvvetleri üzerinden kontrol edilebilir. Diğer yandan zemin ile çivi arasında oluşan kayma yüzeyinde gerilmeler tüm donatı boyunca uniform olarak dağılmamaktadır. Bu nedenle tam boy çalışılan bir deneyde, uygulama metodları ve sürşarj basınçları gibi etkilerin rafine bir şekilde elde edilmesine imkan yoktur (Su Li-Jun, 2006).

Küçük ölçekli bir modelleme ise, donatı ile zemin ara yüzündeki gerilmelerin uniform olmasından dolayı, sıyrılma kapasitesini etkileyen faktörler üzerinde deneyler yapmaya imkan vermektedir. Elde edilen sonuçlar, tam boy ile yapılan çalışmalar için referans olarak kabul edilebilmektedir (Su Li-Jun, 2006).

Bu bölümde ilk olarak sıyırılma deneyleri için imal edilen deney düzeneği hakkında bilgiler sunulacaktır. Daha sonra deneylerde kullanılan kum, zemin çivileri ve sıyırılma deneylerinin yapıları anlatılacaktır.

3.1. İmal Edilen Yükleme Çerçevesinin Özellikleri

NPI 160 profiller ile oluşturulan yükleme çerçevesi, 110 cm uzunluğunda, 60 cm genişliğinde ve 200 cm yüksekliğindedir (Resim 3.1). Zemin çivilerinin içine yerleştirileceği numune tankı, yükleme çerçevesinin içerisine sığacak şekilde tasarlanmıştır. Yükleme ünitesi olarak manuel krikoyla çalışan bir hidrolik piston çerçeveye monte edilmiştir. Yükleme ünitesinin homojen olabilmesi ve eksantirisiteden kaynaklı kuvvetlerin oluşmaması amacıyla yük, yükleme plakası üzerinden zemine aktarılmıştır.



Resim 3.1. Yükleme çerçevesinin genel görünümü.

Numune tankının çekme deneylerinin uygulanacağı cepheye bakan yüzeyi için değişkenliğe imkan sağlayan bağımsız delikli bir sac levha üretilmiştir. Delikli sac levha önceden belirlenen donatı dizilimlerine göre üretilmiştir (Resim 3.2).



(a)



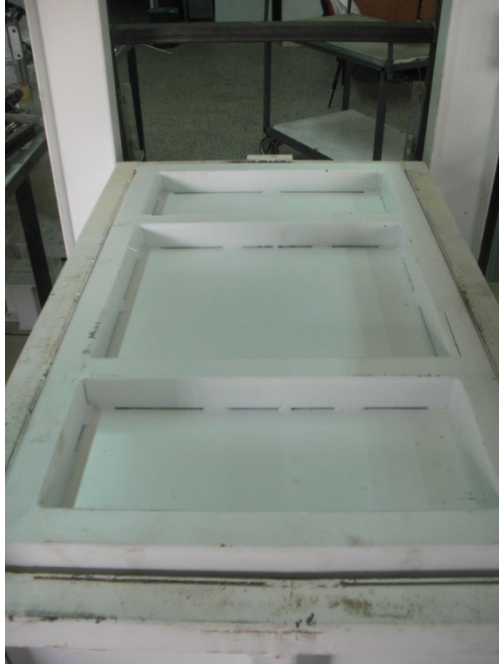
(b)

Resim 3.2. Yükleme tankının boş olarak görünümü

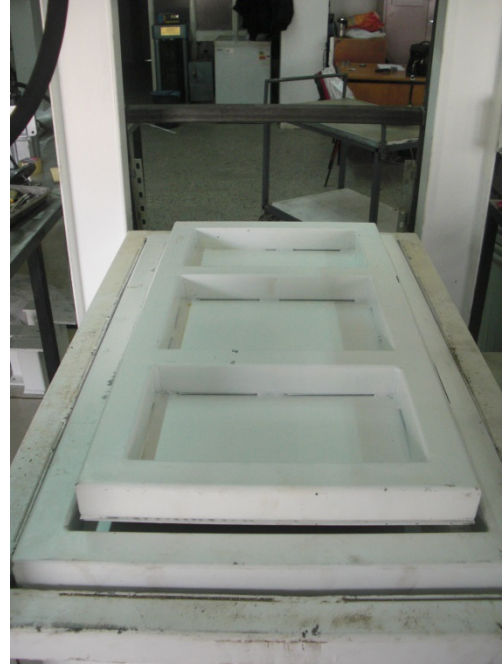
a) yükleme tankının içinin görünümü b) yükleme tankının şablonlu ön cephe kapağının kapatılmış görünümü

3.2. Yükleme Tankı ve Yük İletim Plakaları

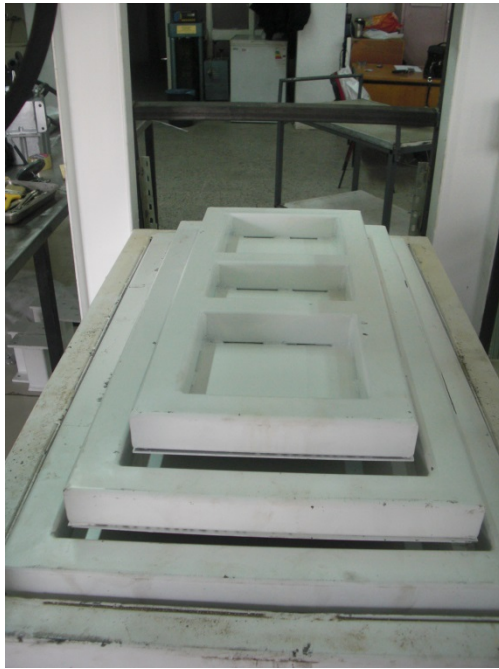
Numune tankı ölçüleri 110 cm x 60 cm x 60 cm olarak belirlenmiştir. 50x50x5 mm kutu profillerden oluşan numune tankı karkas yapısı iç yüzeyleri 5 mm'lik sac levhalar ile kaplanmıştır. Numune tankı içinde bulunan zemin üzerine hidrolik piston yardımı ile uygulanacak konsolidasyon yükünün homojen yayılmasını sağlayabilmek amacıyla 3 adet yük iletim plakası tasarlanmıştır. Üst üste konulduğunda piston yüklerini aktaran plakaları oluşturan kutu profillerin birbiri üzerine gelmeyen şaşırtmalı karkas yapısı ile yükleri homojen olarak iletileceği düşünülmüştür. Ayrıca bahsi geçen yük iletim plakaları üst yüzey için bir çeşit kapak vazifesi de görmüştür (Resim 3.3).



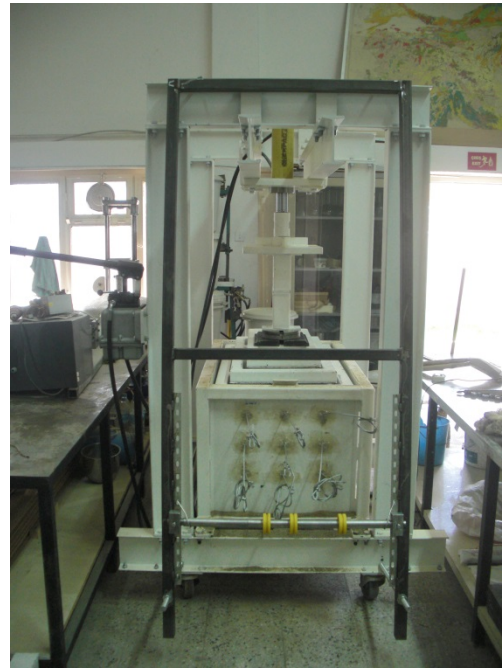
(a)



(b)



(c)



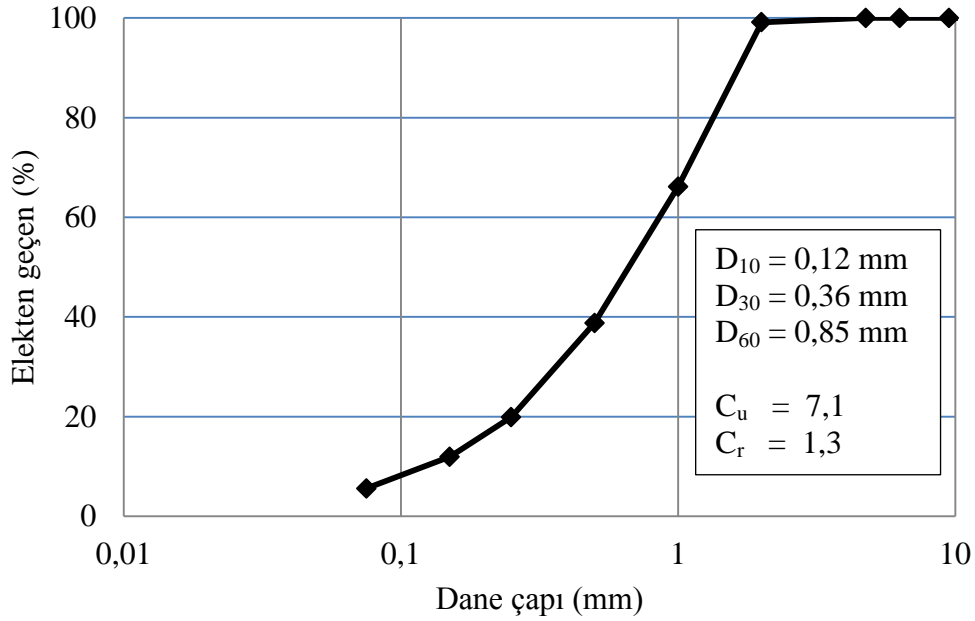
(d)

Resim 3.3. Yükleme tankının dolu hali ve sürşarj yükünün uygulanması

- a) 1 nolu yük iletim plakasının yerleştirilmesi b) 2 nolu yük iletim plakasının yerleştirilmesi c) 3 nolu yük iletim plakasının yerleştirilmesi d) sürşarj yükünün uygulanması

3.3. Zemin Numunesinin Özellikleri

Deneyleerde ASTM No 4 elekten geçen kum kullanılmıştır. Kumun dane boyutu dağılım eğrisi, ASTM D 422 standardına göre elde edilerek Şekil 3.2’de gösterilmiştir (ASTM 422-63, 2002). Kum sınıfı birleşik zemin sınıflandırma sistemine göre SW’dir.



Şekil 3.2. Deneyleerde kullanılan kumun gradasyon eğrisi

ASTM D 854 standardına göre yürütölen özgül ağırlık deneyinde kumun özgül ağırlığı 2,696 olarak elde edilmiştir (ASTM D 854-02, 2002).

Maksimum kuru yoğunluk belirleme deneyi

Granöle malzemelerin maksimum kuru yoğunluğu ya da diğeri bir ifadeyle minimum boşluk oranı, ASTM D 4253 standardına göre düşey vibrasyonlu sarsma tablası kullanılarak elde edilmiştir. Bu standart, muhtemel en yüksek maksimum kuru yoğunluğu vereceğini garanti etmemekle beraber, daha yüksek maksimum kuru yoğunluk verebilecek başka yöntemlerin de olabileceğini kabul etmektedir (ASTM D 4253-00, 2002). Dolayısıyla, elde edilecek maksimum kuru yoğunluk değerlerinin bu standarda göre elde edildiği göz önünde bulundurulmalıdır (Yılmaz, 2006).

Minimum kuru yoğunluk belirleme deneyi

Granüle malzemelerin minimum kuru yoğunluğu diğer bir ifadeyle maksimum boşluk oranı, ASTM D 4254 standardına göre elde edilmiştir. Bu standart muhtemel en düşük minimum kuru yoğunluğu vereceğini garanti etmemekle beraber daha düşük minimum kuru yoğunluğu verebilecek başka yöntemlerin de olabileceğini kabul eder (ASTM D 4254-00, 2002). Dolayısıyla elde edilecek minimum kuru yoğunluk değerleri bu standarda göreler (Yılmaz, 2006).

Deneyde kullanılan kumun maksimum boşluk oranı (minimum kuru yoğunluğu) ve minimum boşluk oranı (maksimum kuru yoğunluğu) Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Çizelge 3.1 için oluşturulan hesap tabloları Ek.1’de verilmiştir.

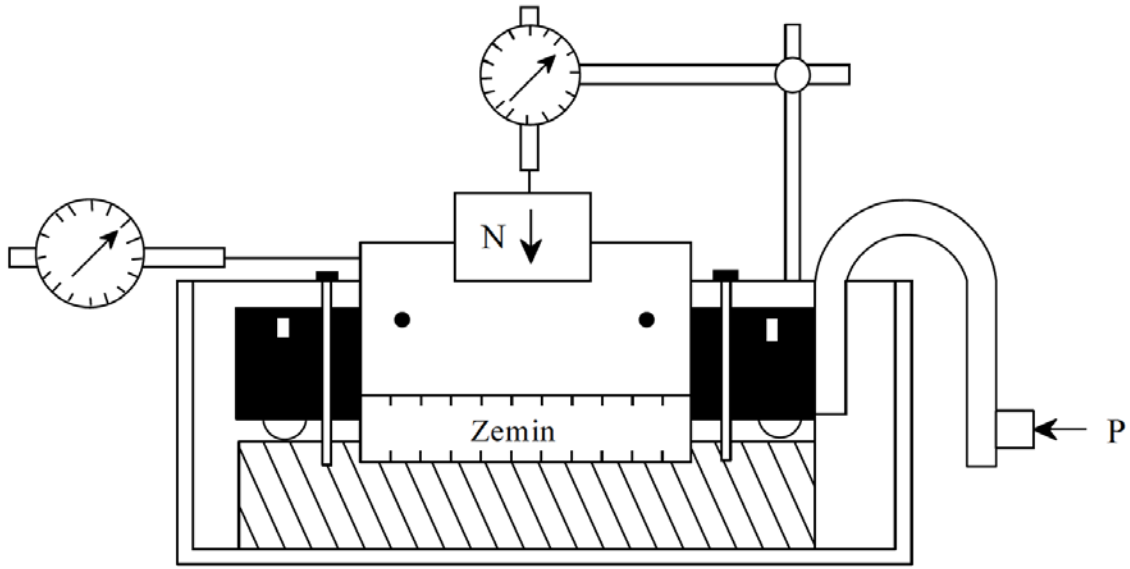
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan kumun maksimum boşluk oranı (minimum kuru yoğunluğu) ve minimum boşluk oranı (maksimum kuru yoğunluğu)

G_s	ρ_{\max} (Mg/m ³)	ρ_{\min} (Mg/m ³)	e_{\max}	e_{\min}
2,696	1,868	1,481	0,785	0,416

Kesme kutusu laboratuvar deneyi

Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun bir parçası sabit tutulurken diğer parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır (Bozbey, 2014).

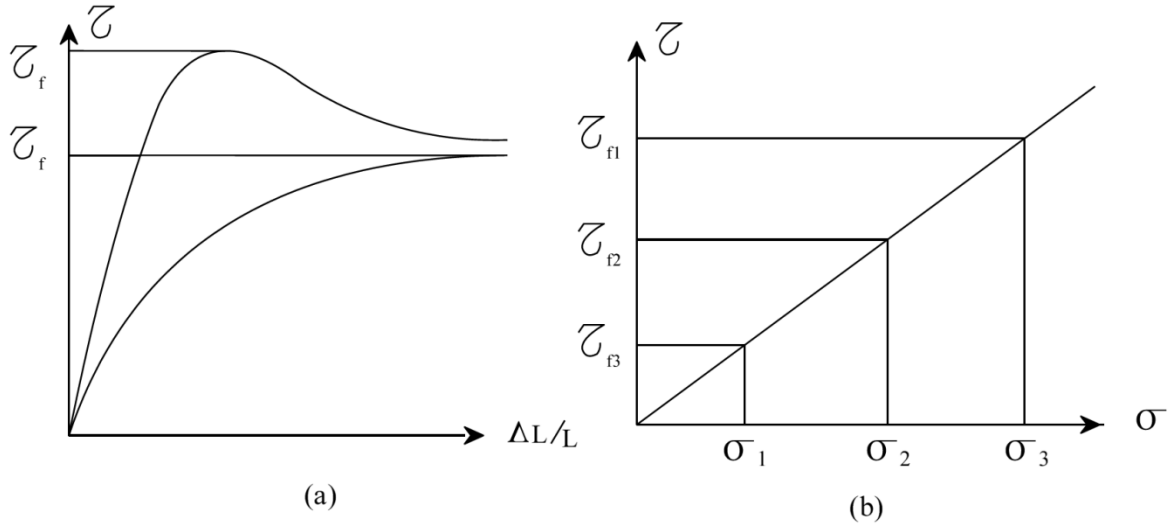
Şekil 3.3’te kesme kutusu deney düzeneği şematik olarak gösterilmiştir. Numune üzerine normal gerilme uygulamak, ve böylece kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır. Bu deneyde, zemin önceden belirlenmiş (numunenin ortasından geçen) yatay bir düzlem boyunca kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır (Bozbey, 2014).



Şekil 3.3. Kesme kutusu deney düzeneği (Bozbey, 2014).

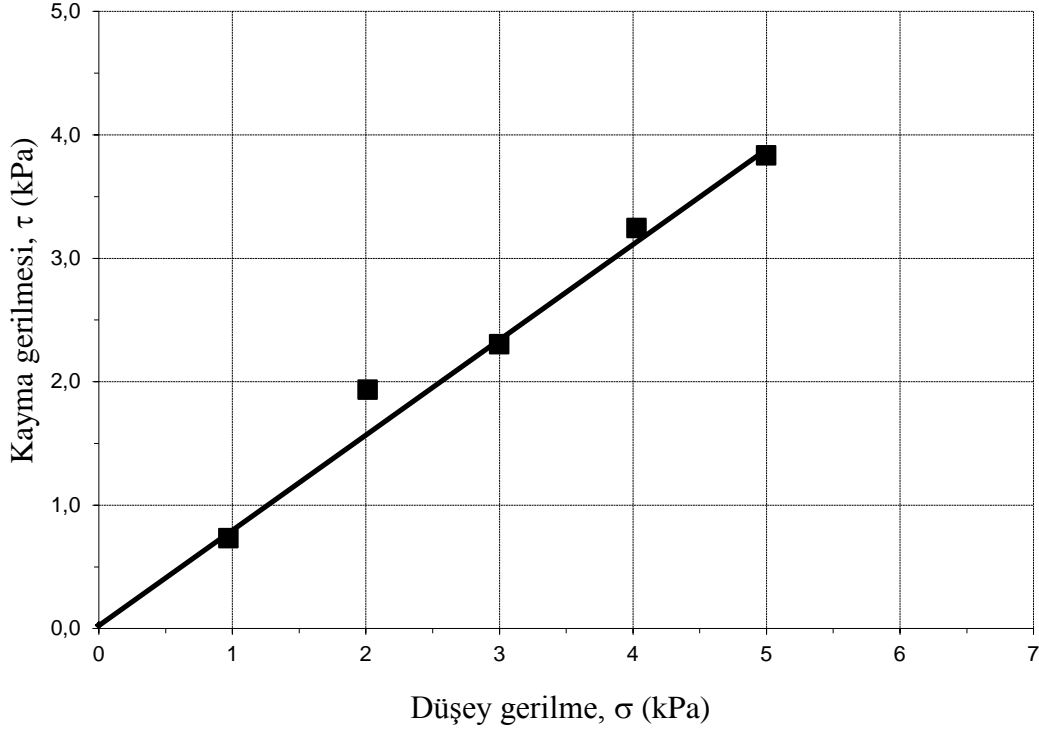
Belirli bir normal gerilme altında, uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmeler ölçülmekte ve Şekil 3.4a'da gösterilene benzer deneysel eğriler elde edilmektedir. Eğrilerin şekli zeminin cinsine ve başlangıç durumuna bağlıdır (Bozbey, 2014).

Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirmelere yol açan kayma gerilmesi zeminin belirli bir normal gerilme altında kayma mukavemetini vermektedir. Deney değişik normal gerilmeler altında tekrarlanarak Şekil 3.4b'de gösterildiği gibi zeminin mukavemet zarfını elde etmek mümkün olmaktadır. Yani farklı normal gerilme değerleri için (1, 2, 3) farklı kayma mukavemeti (1, 2, 3) değerleri bulunur ve bu değerler kullanılarak Şekil 2b'deki gibi bir zarf elde edilir. Bu zarf o zemine ait Mohr-Coulomb kırılma zarfını verir. Bu zarfın altında kalan gerilme değerlerinde göçme olmaz, ancak zarf üzerindeki her nokta limit durumu ifade eder. Zarfın üst tarafındaki bölge ise fiziksel olarak mümkün olmayan bir bölgeyi gösterir (Bozbey, 2014).



Şekil 3.4. Kesme kutusu deney sonuçları
 a) kayma gerilmesi – yatay yer değiştirme ilişkisi b) kayma gerilmesi – normal gerilme ilişkisi (Bozbey, 2014)

Deney kumunun kayma dayanımı ve içsel sürtünme açısını elde etmek için laboratuvar ortamında direkt kesme deneyleri ASTM D3080-90 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen deney kumunun kayma dayanımını gösteren kırılma zarfı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Kullanılan kumun direk kesme kutusu deneyleri ile elde edilen yenilme zarfı

Kesme kutusu deneyi yapılan örnek numunenin mukavemet parametreleri olarak kohezyon değeri 0 kPa'ya yakınsamış ve içsel sürtünme açısı ise 36° olarak elde edilmiştir.

3.4. Zemin Numunesinin Tank İçerisine Yerleştirilmesi

Zemin numunesi tank içerisine yerleştirilmeden önce numune tankı basınçlı hava ile temizlenerek tank içerisinde granüler malzeme haricinde herhangi bir malzeme kalmaması sağlanmıştır. Numune tankı içerisinde donatılar düşey düzlemde 3 farklı seviyede bulunacağı için, deney kumu 15 cm'lik her bir kademe serildikten sonra şişleme metodu ile sıkıştırılmış ve akabinde donatılar yerleştirilmiştir. Tank tamamıyla granüler malzeme ile doldurulduktan sonra yük iletim plakaları aracılığıyla tank kapalı bir hacme dönüştürülmüştür (Resim 3.4).



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 3.4. Donatıların kum içine yerleştirilmesi

a) alt sıra donatıların yerleştirilmesi b) orta sıra donatıların yerleştirilmesi c) üst sıra donatıların yerleştirilmesi d) son tabaka zemin örtüsünün serilmesi

3.5. Zemin Çivileri

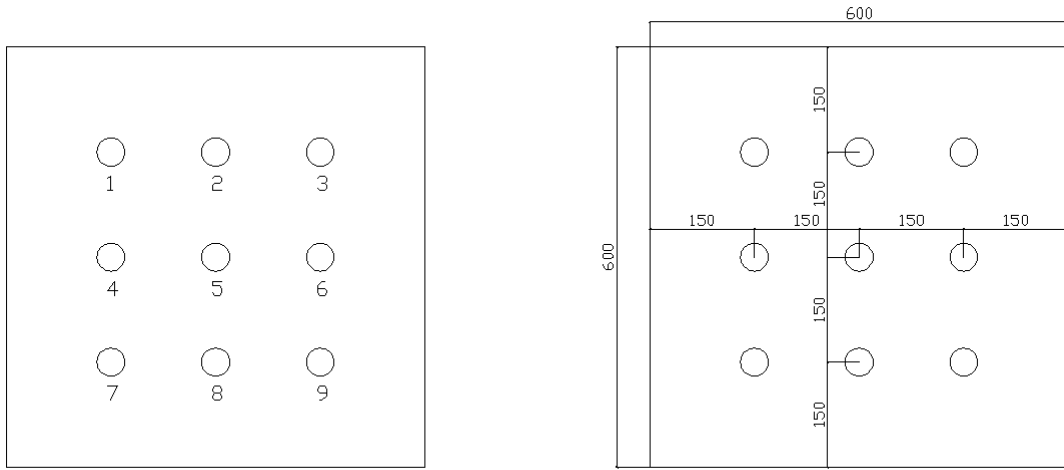
Yürütülen çekme (sıyırılma) deneylerinde kullanılan zemin çivilerinin çapları $\phi=20$ mm olarak sabit tutulmuştur. Zemin çivilerinin uzunlukları ise 10 cm, 15 cm, 18 cm, 22 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm olmak üzere değişmektedir. (Resim 3.5).



Resim 3.5. Denejde kullanılan donatılar (zemin çivileri)

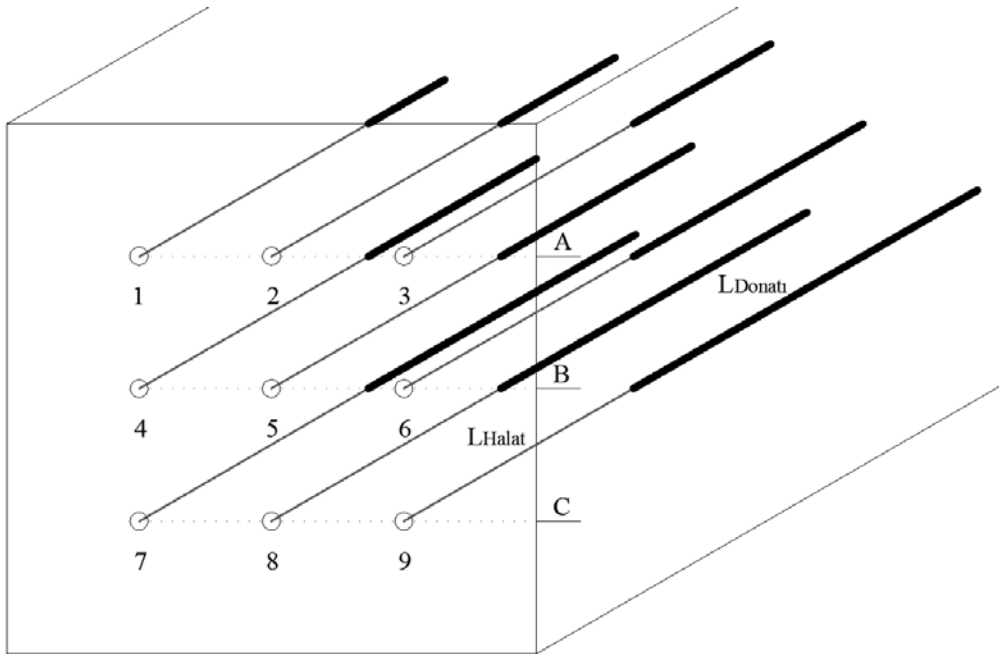
3.6. Zemin Çivilerinin Dizilimi ve Aralıkları

Yapılan deneylerde donatılar Şekil 3.4'teki dizilim şemasına uygun olarak yatayda ve düşeyde 150 mm aralıklar ile yerleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Donatı yerleşim şablonu

Değişken boylardaki donatılar, uç kısımlarında oluşturulan kaynaklı kanca yapısına bağlanacak olan 30 cm uzunluğundaki halatlar yardımı ile çekilmiştir. Değişken boylardaki donatıların, halatlar ile birlikte yatayda ve düşeydeki yerleşimleri Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Böylelikle her bir set içerisinde farklı boylardaki 9 donatı ayrı ayrı deneye tabii tutulmuştur.

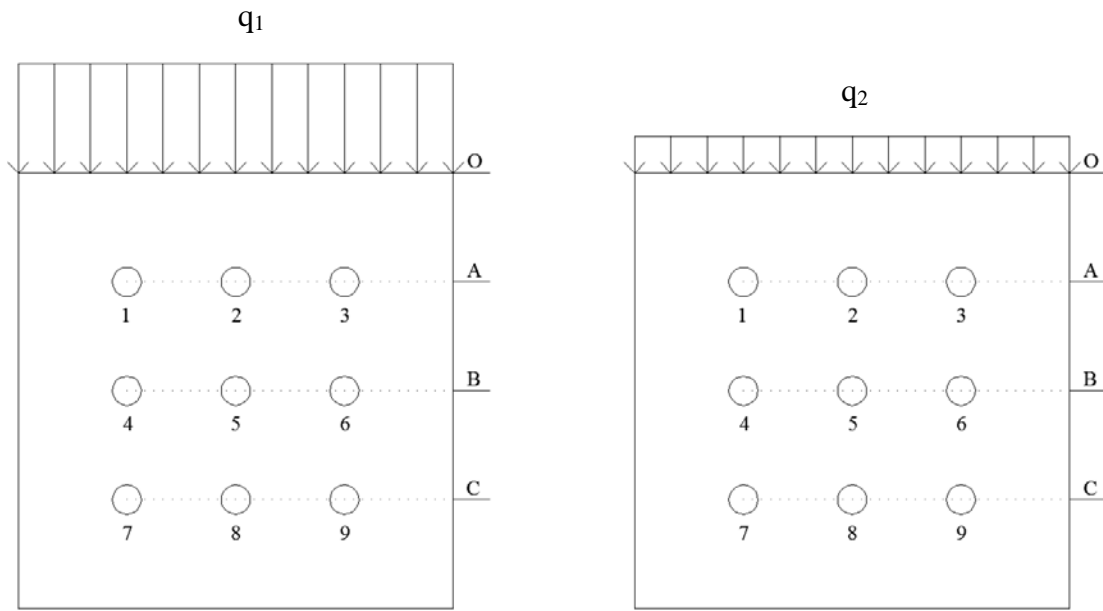


Şekil 3.7. Donatı ve halatların tank içerisindeki izometrik olarak görünümü

Tüm deney setlerinde donatı dizilimi korunmuş olup, tek istinai durum OCR=1 düzeyinde donatıların yerleşim sıralarının değiştirilerek yapıldığı tekrar ve karşılaştırma deneyleridir. Buradaki farklılık donatı uzunluklarının soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artan sırada olmasından ziyade azalan sırada olmasıdır.

3.7. Konsolidasyon Yüklerinin Uygulanması

Yükleme çerçevesi üzerine monte edilen hidrolik piston yardımı ile yüklemeler manuel olarak yapılmıştır. Konsolidasyon yüklerinin uygulanması ve deney süresince sabit kalması sisteme bağlı olan manometre üzerinden kontrol edilmiştir. Yük iletim plakalarının toplam ağırlıkları da (0,8 kN) uygulanan piston yüküne ilave edilerek konsolidasyon yükü hesaplanmıştır.



Şekil 3.8. Uygulanan konsolidasyon yükleri ve donatı yerleşim seviyeleri

Şekil 3.8'de şematik olarak gösterilen konsolidasyon yükleri (q_1, q_2) aşağıda ifade edildiği gibi hesaplanmıştır.

$$q_1 = \frac{W_{plaka} + W_{piston}}{Alan} \quad (3.1)$$

$$q_2 = \frac{W_{plaka}}{Alan} \quad (3.2)$$

Bu iki eşitlik yardımı ile OCR değeri Eş. 3.3 ile hesaplanmaktadır.

$$OCR = \frac{q_1}{q_2} \quad (3.3)$$

Burada;

q_1 : piston ve plaka yüklerinin uygulanması ile oluşan konsolidasyon gerilmesi, kPa

q_2 : plaka yüklerinin uygulanması ile oluşan konsolidasyon gerilmesi, kPa

W_{plaka} : yük iletim plakalarının toplam ağırlıkları, kN

W_{piston} : piston aracılığı ile iletilen toplam ağırlık, kN

Alan : yükün uygulandığı toplam alan, m^2

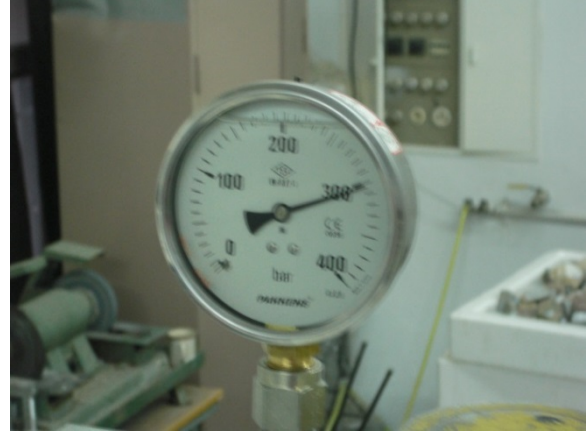
Deneylerde uygulanan konsolidasyon gerilmeleri ve Eş. 3.1, Eş. 3.2 ve Eş. 3.3'e göre hesaplanan OCR değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney süresince tank orta seviyesinde elde edilen düşey efektif gerilmeler ve OCR düzeyleri

Deney setleri	q_1 kPa	q_2 kPa	OCR
1	5	5	1
2	75	5	15
3	150	5	30
4	200	5	40



(a)



(b)

Resim 3.6. Sürşarj yüklerinin uygulanması ve takip edilmesi

a) Sürşarj yükünün yük iletim plakaları vasıtasıyla iletilmesi b) Uygulanan piston yükünün ölçülmesi ve takibi

3.8. Çekme Mekanizması ve Sıyırılma Deneylerinin Uygulanması

Donatılar arasında uygulamadan kaynaklı bir fark oluşmaması için her bir set için aynı donatı çekim sırası ve prosedürü uygulanmıştır.

Çekme deneyleri çelik çerçeve sisteme asılabilen seyyar bir makaralı sistem ile yapılmıştır. Bu makaralı sistemde donatıların uçlarına donatılar zemin içerisinde yerleştirilirken çelik halatlar bağlanmıştır. Bu çelik halatlar diğer ucuna asılan ağırlıklar yardımıyla donatı sıyırılma yüküne ulaşana kadar yüklenmiştir. Donatının zemin içerisinde hareket etmeye başladığı andaki yük sıyırılma yükü olarak belirlenmiştir (Resim 3.7).



(a)



(b)

Resim 3.7. Donatıların sıyırılma yüklerinin tayin edilmesi

- a) 7 nolu donatının sıyırılma yükünün tayin edilmesi b) 8 nolu donatının sıyırılma yükünün tayin edilmesi

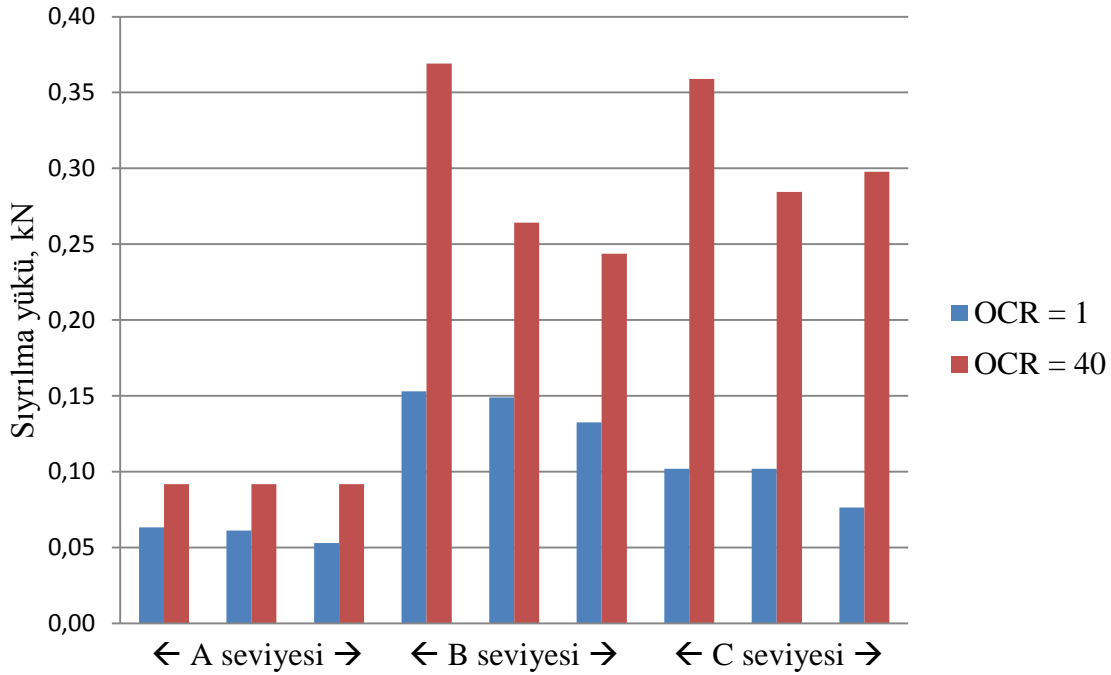
Daha önce Şekil 3.7’de gösterildiği gibi, tank içerisinde donatının konumu kapaktan uzaktan tutularak kapak yüzeyi civarında oluşacağı düşünülen belirsizliklerden (donatı – kapak plakası, donatı – kum, kapak plakası – donatı) ötürü donatı uçlarında 30 cm’lik halatlar kullanılmıştır. Ancak deney düzeneğinin yüklenmesi esnasında ve donatıların çekilmesi sırasında kapak levhasındaki deliklerden kumun bir miktar akması engellenememiştir. Halat kullanılmayan hallerde donatı üzerinde uniform gerilme oluşturması beklenen bölgede kumun akması ve bu nedenle donatı üzerinde sürtünmeden kaynaklı oluşması beklenen direnç kuvvetleri tam anlamıyla gelişmeyecektir. Öte yandan halat kullanılan örneklerde bahsedilen bu kayıplar halat bölgesinde gerçekleşecek, donatı üzerinde uniform bir gerilme ve buna bağlı direnç kuvvetleri oluşacaktır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde ilk olarak halatların tek başına OCR=1 ve OCR=40 düzeylerindeki sıyırma kapasiteleri tartışılmıştır. İkinci olarak donatıların sıyırma kapasiteleri halat etkisinden arındırılmış olarak irdelenmiştir. Üçüncü olarak farklı OCR düzeylerinde toplam sıyırma yükleri irdelenmiştir. Son olarak OCR=1 düzeyinde gerçekleştirilen tekrar ve karşılaştırma deneyleri bulguları tartışılmıştır.

4.1. Halat Sıyırma Kapasitelerinin OCR=1 ve OCR=40 Düzeyleri İçin Karşılaştırılması

OCR =1 ve OCR=40 düzeylerinde elde edilen halat sıyırma kapasiteleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Halatların A, B ve C seviyelerinde OCR=1 ve OCR=40 düzeylerinde elde edilen sıyırma yüklerinin karşılaştırılması

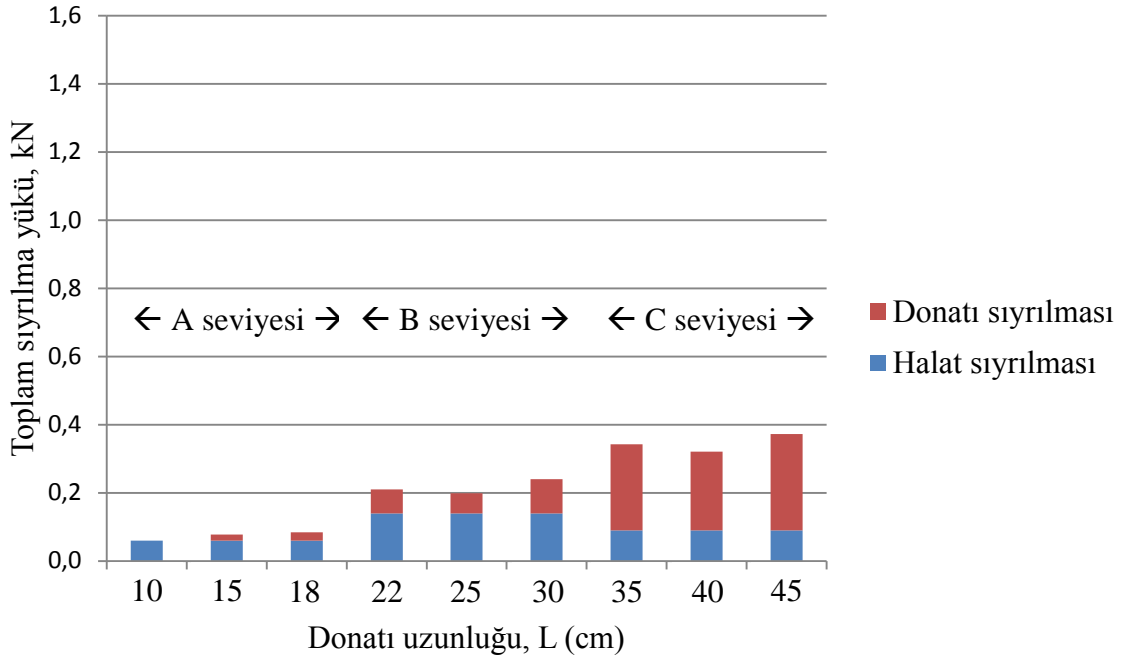
A seviyesinde, 3 kPa düşey efektif gerilme altında OCR=1 durumu için ortalama sıyırma kuvvetleri 0,06 kN ve OCR=40 durumu için ise 0,09 kN’dur. Hem OCR=1 hem de OCR=40 düzeyinde her 3 halatın sıyırma kuvveti birbirine yakın elde edilmiştir. OCR’ın 1’den 40’a çıkması ile ortalama sıyırma kuvvetleri yaklaşık %50 artmıştır (Şekil 4.1).

Şekil 4.1'e göre, 5 kPa (B seviyesi) ve 8 kPa (C seviyesi) düşey efektif gerilme altında çekilen halatların OCR = 1 durumundaki ortalama sıyırılma kuvvetleri sırasıyla 0,14 kN ve 0,09 kN'dur. Benzer şekilde OCR = 40 durumu için halatların ortalama sıyırılma kuvvetleri 0,29 kN ve 0,31 kN'dur. B ve C seviyelerinde, OCR'ın 40 kat artmasına karşın ortalama sıyırılma kuvvetleri yaklaşık 2 ile 3.5 kat arasında artmıştır (Şekil 4.1). Dolayısıyla kum zeminde OCR artışının sıyırılma yükü üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu görülmektedir.

B ve C seviyesindeki donatılar çekilme sırasına göre sıyırılma yükleri azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 4.1). Bunun nedeninin, sıyırılma eylemine tabii tutulan halatın tank içerisindeki kum danelerinin yeniden yönelimine neden olmasıdır. Ayrıca sıyırılma deneyine tabii tutulan halatın içinden geçtiği delikten kum boşalması engellenemediğinden diğer halatların çevresinde gevşemeye neden olduğu düşünülmektedir.

4.2. Donatıların Sıyırılma Kapasiteleri

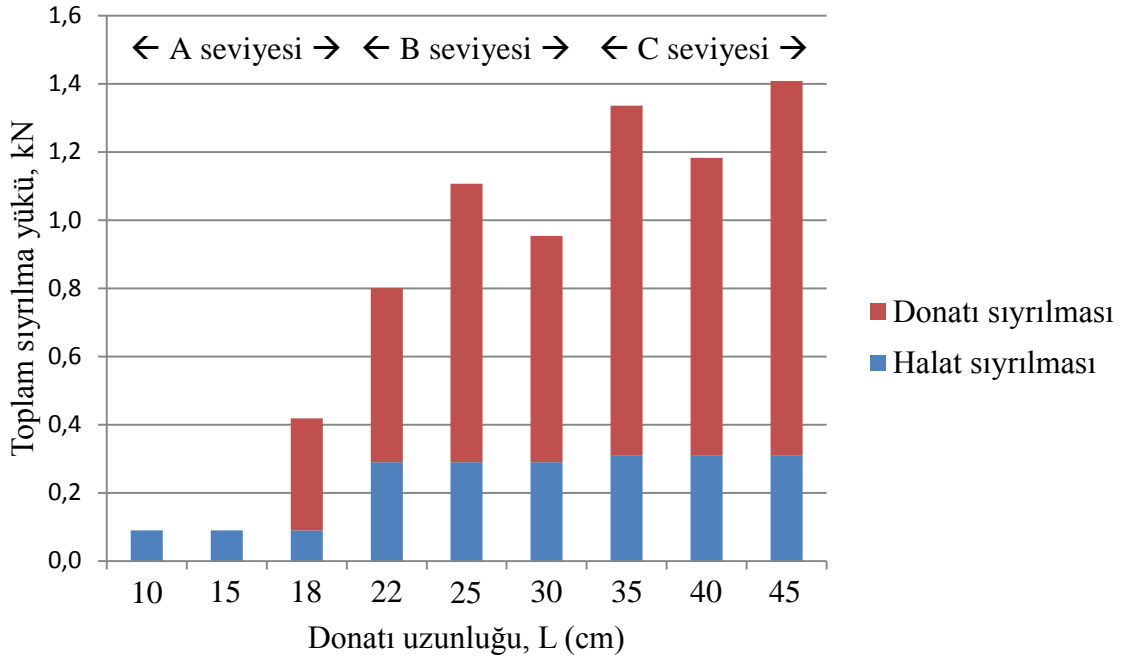
OCR=1 düzeylerinde elde edilen toplam sıyırılma yükleri Şekil 4.2'de, OCR=40 düzeylerinde elde edilen toplam sıyırılma yükleri ise Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3'te toplam sıyırılma kapasitesinin bileşenleri (halat kapasitesi ve donatı kapasitesi) ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bölüm 4.1'de elde edilen halat sıyırılma kapasiteleri, halat-donatı sisteminden elde edilen toplam sıyırılma yükünden çıkartılarak, donatı sıyırılma kapasitesi hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. OCR=1 düzeyi için halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması

A (3 kPa düşey efektif gerilme altında) ve B (5 kPa düşey efektif gerilme altında) seviyesinde, OCR=1 durumunda halatların sıyırılma kapasiteleri donatıların sıyırılma kapasitelerinin yaklaşık 2 katıdır. A seviyesindeki 10 cm uzunluğundaki donatının sıyırılma deneyi yapılmadığından şekil 4.2 üzerinde gösterilmemiştir. Diğer yandan, C seviyesinde (8 kPa düşey efektif gerilme altında) ise, donatıların sıyırılma kapasitesi, halatların sıyırılma kapasitesinin yaklaşık 3 katı elde edilmiştir (Şekil 4.2).

OCR=40 durumundaki sıyırılma yüklerini gösteren Şekil 4.3'e göre, A seviyesindeki donatıların sıyırılma kapasiteleri halatların sıyırılma kapasitelerinin yaklaşık 3 katıdır. A seviyesinde sadece 18 cm uzunluğundaki donatı sıyırılma deneyine tabi tutulduğundan 10 ve 15 cm uzunluğundaki donatılar için donatı sıyırılma kapasitesi Şekil 4.3'te gösterilmemiştir. Benzer biçimde, B ve C seviyesinde, donatıların sıyırılma kapasitesi, halatların sıyırılma kapasitesinin yaklaşık 1.5 katı ile 3.5 katı arasında değişmektedir. Donatı seviyeleri arasındaki artış oranları birbirine yakın olsa da B ve C seviyelerinde hem halat hem de donatı sıyırılma kapasitelerinde A seviyesindeki donatı sıyırılma kapasitelerine göre anlamlı bir artış gözlenmiştir.

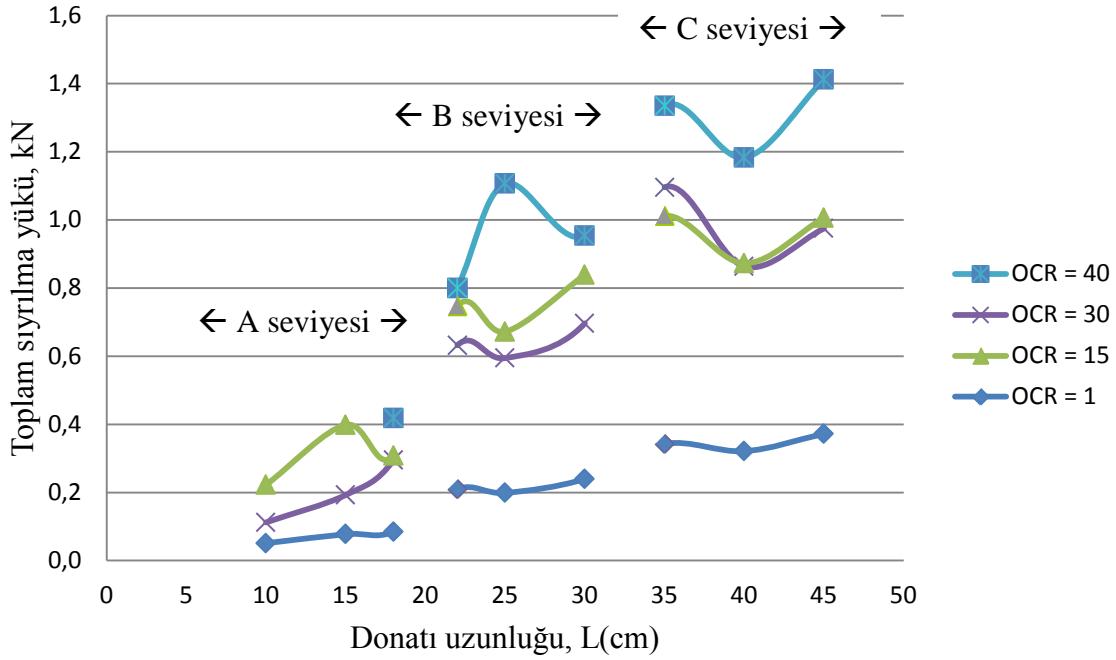


Şekil 4.3. OCR=40 düzeyi için halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması

4.3. Farklı OCR Düzeyleri İçin Elde Edilen Sıyırılma Yüklerinin Karşılaştırılması

Farklı konsolidasyon yükleri altında oluşturulan 4 ayrı OCR derecesi (OCR=1, 15, 30, ve 40) için, sıyırılma deneyine tabi tutulan halatlı donatıların toplam sıyırılma yükleri Şekil 4.4'te karşılaştırılmıştır.

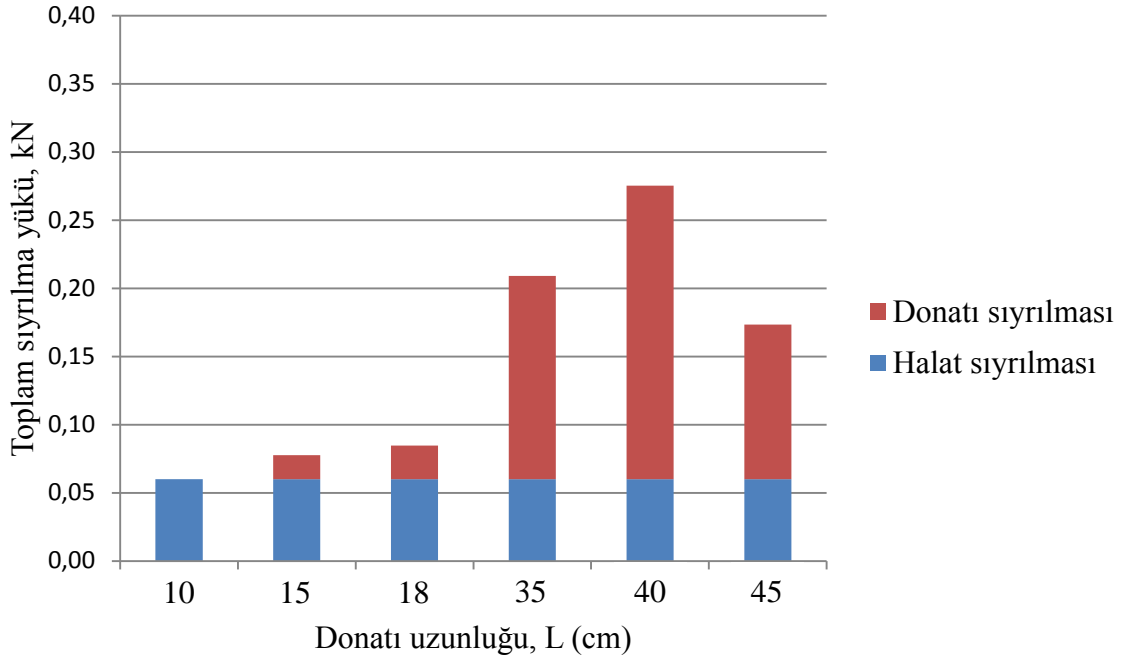
Şekil 4.4'e göre OCR=1 durumu için, düşey efektif gerilme ve donatı uzunluğuna paralel olarak, sıyırılma kapasiteleri A, B ve C seviyelerinde kademeli olarak yükselmiştir. Diğer yandan, OCR düzeyinin etkisi OCR=1 durumu ile A, B ve C seviyelerinde ayrı ayrı karşılaştırıldığında, OCR derecesi arttıkça sıyırılma kapasitesi de artmaktadır. OCR derecesinin 1 den 15'e çıkması ile donatıların sıyırılma kapasiteleri yaklaşık 3 kat artmıştır. OCR değerinin 15'in üzerine çıkması (OCR=30 ve OCR=40) sıyırılma kapasitesindeki artış eğilimi azalmaktadır. OCR=40 durumunda 10 cm ve 15 cm uzunluğundaki donatılar üzerinde sıyırılma deneyi yürütülmediğinden ilgili sıyırılma yükleri sunulmamıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Farklı OCR düzeyleri için elde edilen sıyrılma yüklerinin donatı uzunluklarına göre karşılaştırılması

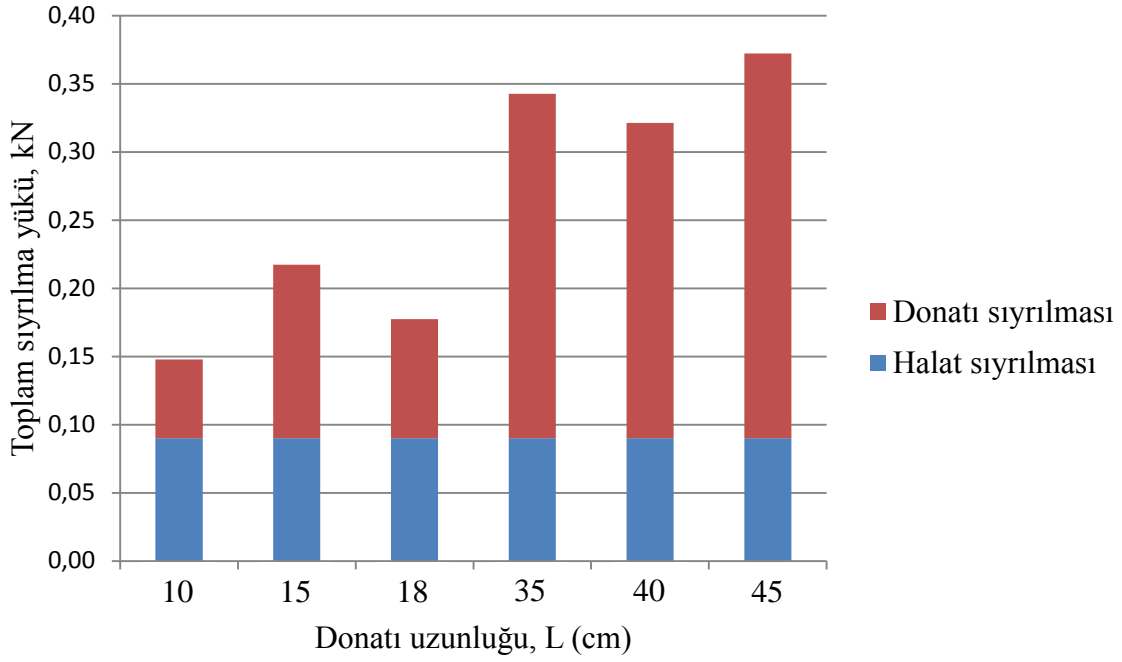
4.4. OCR=1 Düzeyinde Gerçekleştirilen Karşılaştırma ve Tekrar Deneyleri

Tüm deneylerde donatı uzunlukları soldan sağa ve A seviyesinden C seviyesine artacak şekilde yerleştirilmiştir. Tam tersi bir dizilimle (sağdan sola ve C seviyesinden A seviyesine artan) yerleştirilen donatılar üzerinde ise OCR=1 durumu için karşılaştırma deneyleri yürütülmüştür (A ve C seviyelerinde). Böylelikle donatı uzunluğunun etkisi aynı düşey efektif gerilme ve OCR=1 düzeyinde irdelenmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Tekrar deneyleri 22 cm, 25 cm ve 30 cm uzunluğundaki donatılar üzerinde B seviyesinde yürütülmüştür (Şekil 4.7).



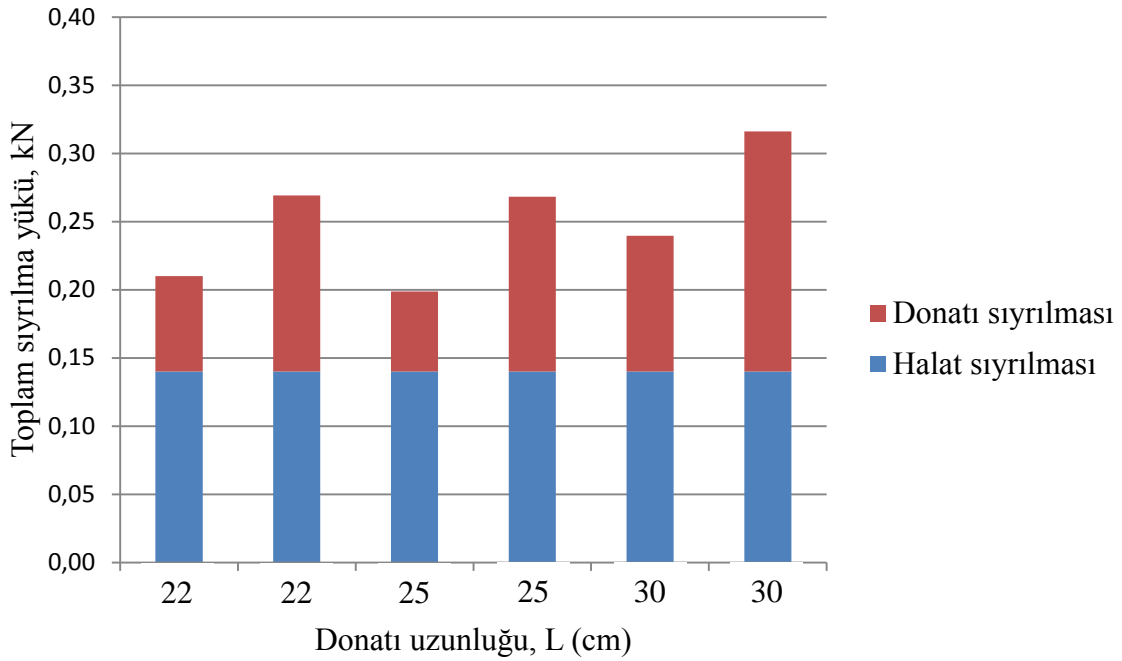
Şekil 4.5. OCR=1 düzeyi için A seviyesindeki halatlar ile donatıların sıyırılma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'ya göre donatı uzunluğu arttıkça sıyırılma kapasitesi de armaktadır. Fakat, beklendiği üzere donatı uzunluğu artışı ile sıyırılma yükü arasında doğrusal bir ilişki görülmemiştir. 10 cm ile 18 cm ve 35 cm ile 45 cm uzunluğundaki donatılar için ayrı ayrı ortalama sıyırılma kapasitesileri kullanılabilir. Diğer yandan donatı uzunluğunun 18 cm'den 35 cm'ye çıkması (yaklaşık 2 kat) ile donatı sıyırılma kapasitesi yaklaşık 3 ile 5 kat arasında artış göstermiştir. Beklenildiği üzere aynı uzunluktaki donatılar için C seviyesinde elde edilen sıyırılma kapasitesi A seviyesinde elde edilenden daha yüksek gözlenmiştir.



Şekil 4.6. OCR=1 düzeyi için C seviyesindeki halatlar ile donatıların sıyırma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması

Donatı uzunluğu, OCR, vs tüm şartların aynı olduğu kabulü ile yapılan tekrar deneylerinde sıyırma yüklerinin tekrarlanabilirliği $\pm\%20$ aralığında değişmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. OCR=1 düzeyi için B seviyesindeki halatlar ile donatıların sıyırma kapasitelerinin uzunluklarına göre karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen sıyırılma deneylerine göre aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerinin artışıyla sıyırılma kapasitesi artmaktadır. OCR değerinin 1'den 15'e çıkması ile sıyırılma kapasitesi yaklaşık 3 kat artmaktadır. OCR değerinin 1'den 40'a çıkması durumunda ise donatı sıyırılma kapasitesi yaklaşık 5 kat artmıştır.
2. Beklenildiği üzere düşey efektif gerilme artışıyla donatıların sıyırılma kapasitesi artma eğilimi göstermektedir.
3. Yürütülen deneylerde donatı uzunluğu artışı ile sıyırılma kapasitesinin artışı arasında doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. Deney verilerine göre 10 cm ile 18 cm uzunluğundaki donatılar ve 35 cm ile 45 cm uzunluğundaki donatılar için ayrı ayrı ortalama sıyırılma kapasitesi kullanılabilir. Donatı uzunluğunun 18 cm'den 35 cm'ye çıkması durumunda ise sıyırılma kapasitesi yaklaşık 3 ila 5 kat arasında artmaktadır.
4. Yürütülen tekrar deneylerine göre sıyırılma yüklerinin tekrarlanabilirliği $\pm\%20$ aralığında değişmektedir.

Sonraki araştırmacılar için bazı öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. Daha küçük çaplı halat ve ucu konikleştirilmiş donatı kullanılarak ilave deneyler yürütülebilir.
2. Sıyırılma deneyi esnasında gözlemlenen kum akması, kapak levhası üzerindeki halatın geçtiği deliklerin daha küçük çapta imal edilmesi ile engellenebilir.
3. Farklı çaplarda ve boylarda donatılar üzerinde sıyırılma deneyleri yürütülebilir.

4. Tank içerindeki normal gerilme düzeyleri yükleme öncesinde ve sonrasında moniterize edilerek sıyrılma deneyleri yürütülebilir.

5. İlave deney düzeneği tasarlanarak deformasyon kontrollü sıyrılma deneyleri yürütülebilir.

KAYNAKLAR

1. Akış, E. (2009). *The Effect of Group Behaviour on the Pull-Out Capacity of Soil Nails in High Plastic Clay*, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10-36.
2. American Society for Testing and Materials. (2002). *ASTM D 422-63, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. West Conshohocken, PA: Annual Book of ASTM Standarts, 1-8.
3. American Society for Testing and Materials. (2002). *ASTM D 4253-00, Standard Test Method for Maximum Index Density and Unit Weights of Soils Using a Vibratory Table*. West Conshohocken, PA: Annual Book of ASTM Standarts, 1-14.
4. American Society for Testing and Materials. (2002). *ASTM D 4254-00, Standart Test Method for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density*. West Conshohocken, PA: Annual Book of ASTM Standarts, 1-14.
5. American Society for Testing and Materials. (2002). *ASTM D 854-02, Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. West Conshohocken, PA: Annual Book of ASTM Standarts, 1-7.
6. Barley, A. D. and Graham, M. (1997). *Trial Soil Nails for Tunnel Face Support in London Clay and the Detected Influence of Tendon Stiffness and Bond Length on Load Transfer*. Proc. 3rd Int. Conf. on Ground Improvement Geosystems, London, 432-444.
7. Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1986). *Soil nailing: Application and Practice-Part 1*. Ground Engineering, 19(8), 10-15
8. Cartier, G., Gigan, J.P., (1983). *Experiments and Observations on Soil Nailing Structures*. In Improvement of Ground: Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, Finland, 473-476
9. Cesur, A. S. (2010). *Zemin Çivili Duvar Performanslarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-56.
10. Chu, L.M., Yin, J.H., (2005). *A Laboratory Device to Test The Pull-out Behavior of Soil Nails*, Geotechnical Testing Journal, 28, 499-513.
11. Chu, L.M., Yin, J.H., (2005). *Comparison of Interface Shear Strength of Soil Nails Measured by Both Direct Shear Box Tests and Pull-out Tests*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.131, 1097-1107.
12. Clouterre. (1993). *Recommendations Clouterre 1991*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration (English translation).

13. Demir, A. (2006). *Temel Mühendisliğinde Çekme Dayanımının İrdelenmesi ve Kazıklı Temellerin Çekme Dayanımının Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 33-35.
14. Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Orhan, F., Alp, A., (2003). *Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı*. Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü.
15. Elias, V. Juran, I., (1991). *Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations*. Federal Highway Administration Report Ref FHWA-RD-89-198, Washington DC, USA.
16. Franzen, G., (1998). A Laboratory and Field Study of Pullout Capacity. PhD Thesis, Chalmers Univ. of Technology, Göteborg, Sweden.
17. FHWA-SA-96-072, 1993a. *FHWA International Scanning Tour for Geotechnology*, September-October 1992 - Soil Nailing Summary Report. US. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C.
18. FHWA-SA-93-026, 1993b. (1991). *French National Research Project Clouterre*, Recommendations Clouterre 1991. US. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C.
19. FHWA-0-IF-03-017, (2003). *Geotechnical Engineering Circular No.7, Soil Nail Walls*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
20. Gassler, G. & Gudehus, G., (1981). *Soil Nailing - Some Aspects of A New Technique*. Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden, Vol. 3, 665-670.
21. Gassler, G., (1983). *Discussion on Ground Movement Analysis of Earth Support System*. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 109.
22. Gassler, G. (1992). *Discussion Leader's Report: Slopes and Excavations*. In Earth Reinforcement Practice: Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice, Fukuoka, Kyushu, Japan, 955-960.
23. Guilloux, A., Schlosser, F., (1982). *Soil Nailing: Practical Applications in Recent Development in Ground Improvement Techniques*. Proceedings of the International Symp., Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 389-397
24. Ingold, T.S., (1982). *Reinforced Earth*. Thomas Telford Ltd. London.
25. FHWA-0-IF-03-017, (2003). *Geotechnical Engineering Circular No.7, Soil Nail Walls*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
26. Jewell, R.A., (1990). *Review of Theoretical Models for Soil Nailing*. In Performance of Reinforced Soil Structures Proceedings of the International Reinforced Soil Conference, Glasgow, UK, 265-275.

27. Jewell, R.A., Pedley, M.J. (1992). *Analysis for Soil Reinforcement with Bending Stiffness*. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol 118, 1505-1528.
28. Junaideen, L.G., Tham L.G., Law, K.T., Lee, C.F., Yue, Z.Q. (2004). *Laboratory Study of Soil-Nail Interaction in Loose, Completely Decomposed Granite*. Canadian Geotechnique. J. 41, 274-286.
29. Morris, J.D., (1999). *Physical and Numerical Modeling of Grouted Nails in Clay*. PhD Thesis, University of Oxford, UK.
30. Lambe, T.W., Withman, R.V., (1979). *Series in Soil Engineering*, John Wiley and Sons, New York.
31. Önalp, A. (2004). *Geoteknik Bilgisi II - Yamaç ve Şev'lerin Mühendisliği*.(1). İstanbul/Türkiye: Birsen, 296-302.
32. Pedley, M.J., Jewell, R.A., Milligan, G.W.E., (1990). *A Large Scale Experimental Study of Soil Reinforcement Interaction*. Ground Engineering. Part 1, 44-48, Part 2, 45-49.
33. Phear, A., Dew, C., Ozsoy, B., Wharmby N.J., Judge, J., Barley A.D., (2005). *Soil Nailing –Best Practice*, CIRIA.
34. Plumelle, C. and Schlosser, F. (1990). *A French National Research Project on Soil Nailing: Clouterre* . Proc. Int. Reinforced Soil Conf, Glasgow, Scotland, 219-223
35. Plumelle, B. C., Schlosser, F., Delage, P. and Knochenmus, G. (1990). *French National Research Project on Soil Nailing Clouterre*. Proc. of a Conf. on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publication No.25,Ithaca, USA, 660-675.
36. Porterfield, J.A., D.M., Cotton, ve R.J. Byrne, (1994). *Soil Nailing Field Inspectors Manual*, Federal Highway Administration, Washington, D.C., USA.
37. Pradhan, B., Tham, L.G., Yue Z.Q., Junaideen S.M., Lee, C.F., (2006). *Soil-Nail Pull-Out Interaction In Loose Fill Materials*. International Journal of Geomechanics, 238-247.
38. Rabcewicz L., (1964). *The New Austrian Tunnelling Method. Part 1*, Water Power, pp. 453-457, Part 2, Water Power, 511-515.
39. Schlosser, F. (1982). *Behaviour and Design of Soil Nailing*. Proc. Symp. on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Bangkok, Thailand, 399-413.
40. Schlosser, F., Unterreiner, P., Plum elle, C. and Benoit, J. (1992). *Failure of a Full Scale Experimental Soil Nailed Wall by Reducing the Nails Lengths (French research project Clouterre)*. Proc. Int. Symp. on Earth Reinforcement Practice, Fukuoka, Kyushu, Japan, Vol.1, 531-535.

41. Shen, C.K., Bang, S., and Herrman, L.R., (1981). *Ground Movement Analysis of Earth Support System*. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107(GT12), 1609-1624.
42. Su, L.J., (2006). *Laboratory Pull-Out Testing Study on Soil Nails in Compacted Completely Decomposed Granite Fill*. PhD Thesis, Hong Kong Polytechnic University.
43. Su, L.J., Chan, T.C.F., Yin, J.H., Shiu, Y.K., Chiu, S.L., (2008). *Influence of Overburden Pressure on Soil Nail Pull-Out Resistance in A Compacted Fill*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1339-1347.
44. TS 1900-2, 2006. *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
45. Wang, Z., Richwien, W., (2002). *A Study of Soil-Reinforcement Interface Friction*. Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering. 92-94.
46. Yılmaz, Y., (2006). *Değişik Gradasyonlu Kumların Dinamik Üç Eksenli Deneyi ile Tespit Edilen Sıvılaşma Dirençleri ile Geleneksel Direkt Kesme ve Hidrolik İletkenlik Deney Bulgularının İlişkilendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-268 (2006).
47. İnternet: Bozbey, İ (2014). *Zemin Mukavemeti: Laboratuvar Deney Yöntemleri*. URL: http://www.istanbul.edu.tr/muh/insaat/yonetim/uploads/kesme_kutusu.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.08.2014.

EKLER

EK-1. Deneyde kullanılan kumun maksimum boşluk oranı (minimum kuru yoğunluğu) ve minimum boşluk oranı (maksimum kuru yoğunluğu)

Çizelge 1.1. ASTM D 4253 granüler zeminlerin maksimum birim hacim ağırlığının (minimum boşluk oranının) bulunması.

Metod = 1A				Numune Hazırlama Eleği		2 mm		
Sürşarj için Kullanılan Kütle		9396 gr		Sürşarj		14,26 kPA		
Kullanılan Kalıbın				Numune G_s	Kalıp ve Numune Kütle	Sıkıştırılmış Numune Kütle	γ_{d-max} kN/m^3	e_{min}
Çapı	Yüksekliği	Kütlesi	Hacmi					
cm	cm	g	cm^3					
9,07	10,54	4179	681	2,696	5476	1297	18,68	0,416

Çizelge 1.2. ASTM D 4253 granüler zeminlerin minimum birim hacim ağırlığının (maksimum boşluk oranının) bulunması.

Metod = A				Numune Hazırlama Eleği		2 mm		
Sürşarj için Kullanılan Kütle		0 gr		Sürşarj		0 kPA		
Kullanılan Kalıbın				Numune G_s	Kalıp ve Numune Kütle	Sıkıştırılmış Numune Kütle	γ_{d-min} kN/m^3	e_{maks}
Çapı	Yüksekliği	Kütlesi	Hacmi					
cm	cm	g	(cm^3)					
9,07	10,54	4179	681	2,696	5207,3	1028,33	14,81	0,785

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKÇAY, Koray
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 17.11.1981, Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 285 82 69
 Faks : -
 e-mail : korayakcay@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnş. Müh.	2014
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi / İnş. Müh.	2006
Lise	M.E.V. Özel Ankara Fen Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-Halen	Prota Mühendislik	Proje Mühendisi
2009-2009	Dorçe Prefabrik	Proje Mühendisi
2008-2009	Artes İnşaat / Libya	Saha Mühendisi
2007-2007	Mega Mühendislik	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

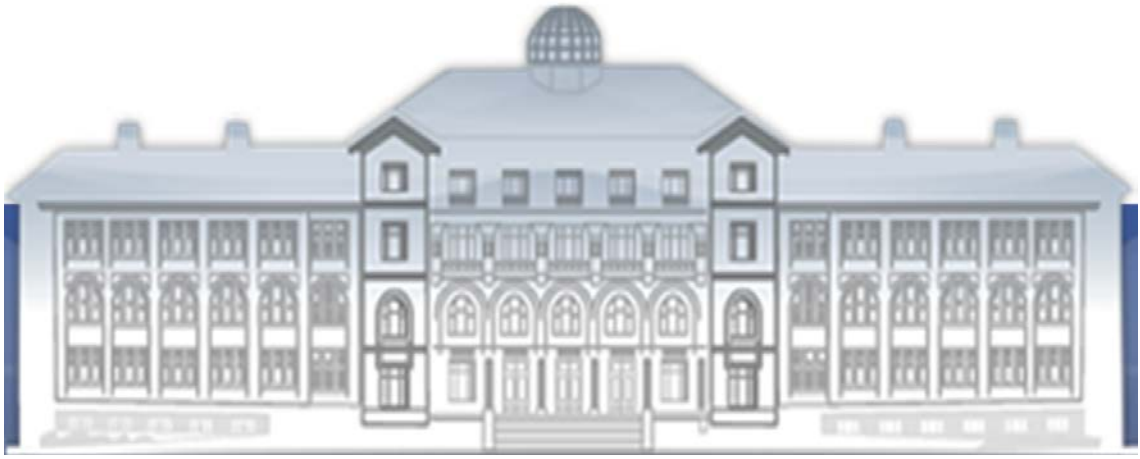
İngilizce

Yayımlar

-

Hobiler

Yüzme, Tenis



GAZİ GELECEKTİR..