



**KOHEZYONSUZ ZEMİNLERE GÖMÜLÜ HÜCRESEL YAPI
ELEMANLARI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YATAY SIĞ PLAKA
ANKAJLARIN ÇEKME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Kaan YÜNKÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2019

Kaan Yünkül tarafından hazırlanan ‘‘KOHEZYONSUZ ZEMİNLERE GÖMÜLÜ HÜCRESEL YAPI ELEMANLARI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YATAY SIĞ PLAKA ANKRAJLARIN ÇEKME DAVRANIŐLARIN İNCELENMESİ’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnaat Mühendisliğı Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

İnaat Mühendisliğı Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Baőkan: Prof. Dr. Nail nsal

İnaat Mühendisliğı Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

ye: Dr. Öğr. Üyesi Onur Pekcan

İnaat Mühendisliğı Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 02/01/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŐYERLİ
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.

Kaan YÜNKÜL

02/01/2019

**KOHEZYONSUZ ZEMİNLERE GÖMÜLÜ HÜCRESEL YAPI ELEMANLARI İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ YATAY SIĞ PLAKA ANKAJLARIN ÇEKME
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Kaan YÜNKÜL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Radyo-TV istasyonları, rüzgar türbinleri, yüksek gerilim hatları, reklam panoları, bayrak direkleri, kıyı yapıları vb. yapılar rüzgar, dalga, deprem veya suyun kaldırma kuvvetinden kaynaklı düşey doğrultuda çekme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu yapıların çekme kuvvetlerini güvenli taşıyabilmeleri için yatay plaka ankraj olarak adlandırılan ankrajlar kullanılmaktadır. Yatay plaka ankrajların çekme kapasitesi; ankrajın gömülme derinliğine, ankrajın boyutuna, gömülü olduğu zeminin sıklığına (zeminin içsel sürtünme ve dilatasyon açısına) ve ankraj plakasının pürüzlülüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Ancak bazı durumlarda bu parametrelerin artışı (ankraj boyunu, gömülme derinliği ve zeminin sıklığı) uygulanabilirlik, işçilik ve maliyet açısından mümkün olmamaktadır. Bu nedenle ankrajların gömülü bulunduğu zeminin güçlendirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda yatay plaka ankrajlar geosentetik malzemeler ile güçlendirilmektedir. Yapılan bu çalışma kapsamında % 65 sıklığa sahip kohezyonsuz zemine gömülü eş değer alana sahip kare ($B=200$ mm) ve dairesel ($D=225$ mm) yatay plaka ankrajların üç boyutlu hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu çekme davranışındaki değişimler incelenmiştir. Üç farklı gömülme derinliğine gömülen ankrajların ($H=200,300,450$ mm) çekme davranışı ilk olarak güçlendirilmemiş durum için daha sonra ise HDPE malzemeden üretilmiş yüksekliği 100,150 mm; genişlikleri sırası ile temel genişliğinin 0.8, 1.6, 2.4 ve 4 katı olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durum için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda hücresel yapı elemanın yüksekliği ve genişliğine bağlı olarak ankrajın çekme kapasitesi 1.05 ile 3.04 kat artış, çekme kapasitesi anındaki pik deplasman değeri ise 1.08 ile 5.03 kat artış göstermiştir. Ankrajın geometrik şeklinin çekme kapasitesinde etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Hücre genişliği temel genişliğinin 2.4 katı olan hücresel yapı elemanlarından daha geniş büyükler için çekme kapasitesindeki artışın marjinal olduğu görülmüştür. Yapılan deney düzeneği minyatür olarak modellenerek yenilme yüzeyleri ve yayılma açıları tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajların çekme kapasitesini belirleyen bir eşitlik önerilmiştir.

Bilim Kodu : 91105
Anahtar Kelimeler : Plaka ankraj, çekme kapasitesi, geosentetik, hücresel yapı elemanı, zemin güçlendirme, kohezyonsuz zemin
Sayfa Adedi : 222
Danışman : Doç. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

INVESTIGATION OF UPLIFT BEHAVIOUR OF HORIZONTAL SHALLOW PLATE
ANCHORS REINFORCED WITH GEOCELLS IN COHESIONLESS SOIL

(M. Sc. Thesis)

Kaan YÜNKÜL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2019

ABSTRACT

Radio-TV stations, wind turbines, high voltage lines, billboards, flag poles, marine platforms etc. expose to uplift force in the vertical direction due to wind, wave, earthquake or uplifting force of water. For these structures to bear the uplift forces safely, horizontal plate anchors are used. The uplift capacity of horizontal plate anchors are depended on the embedment depth of anchors, size of anchors, relative density of soil (internal friction angle and dilatation angle of soil) where it is embedment and roughness of anchors. But in sometimes the increase of these parameters (anchors size, embedment depth, relative density of soil) is not possible in terms of feasibility, labor and cost. So, it is necessary to reinforce the soil where anchors are embedment. In recent years, horizontal plate anchors have been reinforced with geosynthetic materials. Within the scope of this study, change the tensile behaviour of horizontal plate anchors, these are square ($B=200\text{mm}$) and circular ($D=225\text{mm}$) had an equivalent area, reinforced with geocells on the cohesionless soil with 65% relative density were investigated. The tensile behaviour of the anchors embedded in three different depths ($H=200,300,450\text{ mm}$) was firstly investigated for unreinforced condition, then investigated for reinforced condition with geocells made of HDPE, height was 100,150 mm and width was 0.8, 1.6, 2.4 and 4 times of anchors width. According to test results, depending on height and width of the geocell, the uplift capacity of anchors increased by 1.05 to 3.04 times and peak displacement of anchors at the moment of the uplift capacity increased by 1.08 to 5.03. It was seen that the effect of geometrical shape of anchors on the uplift capacity was negligible. It was observed that, improvement of uplift capacity is a marginal, geocell width larger than 2.4 times the width of anchors. The experimental design was modelled as a miniature and failure surfaces and dispersion angles were determined. According to test results, an equation was proposed for determining the uplift capacity of horizontal anchors reinforced with geocells.

Science Code : 91105

Key Words : Plate anchors, uplift capacity, geosynthetic, geocell, soil reinforcement, cohesionless soil

Page Number : 222

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca gerek mühendislik çalışma prensipleri ve disiplini konusunda gerekse akademik bilgi birikimi açısından yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Ayhan GÜRBÜZ'e ve deneysel anlamda yaptığı katkılarından dolayı Prof. Dr. Özgür Anıl'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yapılan çalışma kapsamında desteklerini esirgemeyen Ar. Gör. Adem Işık ve kıymetli dostum Tahsin Ömür Budak'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım her alanında yardımlarını esirgemeyen kıymetli annem Çiğdem Yünkül, babam Gürbüz Yünkül, kardeşlerim Aliye Gökçe Çiçek ve Furkan Yünkül'e teşekkürlerimi sunarım.

Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün belirttiği muhasır medeniyetler seviyesine ulaşma arzusunu taşıyan, tüm imkansızlıklara rağmen ülkemiz adına çalışmalar yapan ve yapacak olan tüm Türk araştırmacılara bu çalışmayı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. ANKRAJLAR	5
2.1. Ankraj Çeşitleri	5
2.1.1. Plaka tipi ankrajlar	5
2.1.2. Doğrudan gömülü ankrajlar	7
2.1.3. Sarmal (helezonlu) ankrajlar	7
2.1.4. Enjeksiyon (grout) ankrajlar	8
2.1.5. Ankraj kazıkları.....	10
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	11
3.1. Yatay Plaka Ankrajların Çekme Kapasitesi ile Yapılmış Çalışmalar.....	12
3.2. Yatay Plaka Ankrajların Yenilme Mekanizması.....	13
3.3. Yanal Toprak Basıncı Katsayıları	14
3.4. Limit Denge, Küresel Kavitasyon ve Amprik Yaklaşımlar ile Ankrajın Çekme Kapasitesinin Hesaplanması	15
3.4.1. Zemin konisi şeklinde yenilme yüzeyi	15

	Sayfa
3.4.2. Sürtünme silindiri şeklinde yenilme yüzeyi	21
3.4.3. Dairesel şekilli yenilme yüzeyi	23
3.4.4. Eğimli şekilli yenilme yüzeyi.....	25
3.4.5. Logaritmik şekilli yenilme yüzeyi	30
3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ve Limit Analiz Yöntemleri Kullanılarak elde Edilen Yaklaşımlar	38
3.6. Deneysel Çalışmalar	43
3.7. Geosentetik Malzemeler Kullanılarak Ankrajların Güçlendirilmesi	49
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
4.1. Giriş	57
4.2. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi	58
4.2.1. Elek analizi deneyi.....	59
4.2.2. Özgül ağırlık tayini	60
4.2.3. Maksimum ve minimum boşluk oranları tayini	60
4.2.4. Kesme kutusu deneyi.....	60
4.3. Deney Düzeneği	61
4.3.1. Yükleme sistemi.....	61
4.3.2. Yük hücresi.....	62
4.3.3. Test tankı	62
4.3.4. Ankrajlar ve bağlama çubukları	63
4.3.5. Deplasman ölçerler (LVDT)	64
4.3.6. Veri aktarma sistemi (data logger).....	64
4.3.7. Gerilim pulu (strain gauge)	65
4.3.8. Hücresel yapı elemanının özellikleri	65

Sayfa

4.3.9. Minyatür olarak modellenen tankın, hücresel elemanların ve ankrajın özellikleri	67
4.4. Deneysel Çalışmalar	68
4.4.1. Sıkılık değerinin ayarlanması	71
4.4.2. Deney programı	72
4.4.3. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş durumdaki ankrajın davranışı	75
4.4.4. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki ankrajın davranışı	79
4.4.5. Ankrajın geometrik şeklinin, gömülme derinliğinin ve hücresel yapı elemanların ankrajın çekme davranışına etkisi	91
4.4.6. Yatay plaka ankrajın normalize yük ve normalize deplasman davranışının incelenmesi	104
4.4.7. Minyatür olarak deney düzeneğinin modellenmesi ve yenilme yüzeyi açılarının tayini	106
5. HÜCRESEL YAPI ELEMANLARI İLE GÜÇLENDİRİLEN ANKRAJIN ÇEKME KAPASİTESİNİN ANALİTİK OLARAK ELDE EDİLMESİ	109
5.1. Yatay Plaka Ankrajların Tepki Kuvvetinin Belirlenmesi	109
5.2. Yatay Plaka Ankrajların Yenilme Yüzeyi İçindeki Zemin Ağırlığının Belirlenmesi	112
5.3. Hücresel Elemanların Hücresel Sınırlandırma Mekanizmasından Kaynaklı İyileşmenin Belirlenmesi	112
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	121
EKLER	126
EK-1. Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen deplasman kayma gerilmesi grafiği ...	127
EK-2. Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen içsel sürtünme açısının belirlenmesi .	130
EK-3. Güçlendirilmemiş ankrajlardan elde edilen çekme kapasitesinin teorik yaklaşımlar ile karşılaştırılması	133

Sayfa

EK-4. Ankrajın yük deplasman grafikleri.....	134
EK-5. Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri	155
EK-6. Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri.....	197
ÖZGEÇMİŞ	222



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çeşitli araştırmacılar tarafından kohezyonsuz zemine gömülü yatay plaka ankrajların teorik olarak incelenmesi	13
Çizelge 3.2. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yanal toprak basıncı katsayıları (Ilamparuthi ve Dickin, 2001)	14
Çizelge 4.1. HDPE malzemeden üretilmiş hücresel yapı elemanının teknik özellikleri	66
Çizelge 4.2. Deney programı (TEST A)	74
Çizelge 4.3. Minyatür olarak modellenen deney programı (TEST B)	75
Çizelge 4.4. Güçlendirilmemiş yatay plaka ankrajların farklı gömülme derinliklerine göre çekme kapasiteleri ve pik deplasman değerleri	76
Çizelge 4.5. Literatürde önerilen çekme kuvveti formülleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması (Dikdörtgen ankraj)	78
Çizelge 4.6. Literatürde önerilen çekme kuvveti formülleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması (Dairesel ankraj)	78
Çizelge 4.7. Hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanlarının merkezinden ölçülen düşey doğrultudaki birim şekil değiştirmeler	80
Çizelge 4.8. Hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanlarının Merkezinden ölçülen düşey doğrultudaki birim şekil değiştirmeler	83
Çizelge 4.9. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler	92
Çizelge 5.1. Ölçülen birim şekil değiştirme, birim çekme kuvveti ve amprlik olarak elde edilen yanal toprak basıncı katsayıları	115
Çizelge 5.2. Çeşitli yanal toprak basınçları ile elde edilen çekme kapasitesinin hata oranları	116

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Plaka tipi ankrajlar	7
Şekil 3.1. Yatay plaka ankrajların gömülme derinliklerine göre gözlemlenen yenilme yüzeyleri.....	12
Şekil 3.2. Mors (1959) tarafından önerilen zemin konisi yenilme yüzeyi.....	15
Şekil 3.3. Dairesel plakalı ankrajlar için Clemence ve Veesaert (1977) tarafından önerilen yenilme yüzeyi.....	16
Şekil 3.4. Desmukh ve diğerleri (2011) tarafından önerilen yenilme yüzeyi ve tepki kuvvetleri	20
Şekil 3.5. Sürtünme silindiri yöntemi	22
Şekil 3.6. Balla (1961) tarafından önerilen sığ dairesel ankrajların sıkı kumdaki yenilme yüzeyi.....	23
Şekil 3.7. Balla (1961) yaklaşımına göre F_1 ve F_1 değerlerinin grafiksel gösterimi.....	24
Şekil 3.8. Vesic (1971) yaklaşımına göre yenilme faktörlerinin içsel sürtünme açısı ve gömülme derinliklerine göre değişimi	25
Şekil 3.9. Mariupol'skii (1965) tarafından önerilen sığ derinlikteki dairesel ankrajların yenilme yüzeyi.....	26
Şekil 3.10. Meyerhof ve Adams (1968) tarafından önerilen sığ derinlikteki şerit ankrajların yenilme yüzeyi.....	27
Şekil 3.11. Meyerhof ve Adams (1968) tarafından önerilen nominal çekme katsayıları	28
Şekil 3.12. m değerinin zeminin içsel sürtünme açısına göre değişimi	29
Şekil 3.13. Dairesel ve dikdörtgen plakalı ankrajlar için içsel sürtünme açısına bağlı kritik gömülme oranları (H/B) değerleri.....	30
Şekil 3.14. Matsou (1967) tarafından önerilen sığ derinlikteki yenilme yüzeyi.....	31
Şekil 3.15. Matsou (1967) tarafından önerilen net çekme kapasitesi katsayıları.....	32
Şekil 3.16. Saeedy (1987) tarafından önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı yenilme faktörü	33

Şekil	Sayfa
Şekil 3.17. Kanakapura ve diğerleri (1994) tarafından önerilen sığ derinliklerdeki ankrajlarda bulunan yenilme yüzeyi	34
Şekil 3.18. Kanakapura ve diğerleri (1994) tarafından önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı çekme kapasitesi faktörleri	35
Şekil 3.19. Ghaly ve Hanna (1994) tarafından önerilen yenilme yüzeyleri.....	36
Şekil 3.20. F_w ve F_v değerlerinin gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı değişim grafiği	37
Şekil 3.21. Rowe ve Davis (1982) tarafından önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı değerler	39
Şekil 3.22. Yenilme faktörü değerinin içsel sürtünme açısı ve gömülme oranına bağlı olarak limit analiz ve deplasman sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilmesi	41
Şekil 3.23. Kumar ve Kouzer (2007) tarafından şerit ankrajlar için önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı yenilme faktörü değişimi	42
Şekil 3.24. Choudhary ve diğerleri (2018) tarafından önerilen içsel sürtünme açısının gömülme oranı ve yenilme faktörü ile olan ilişkisi	43
Şekil 3.25. Ilamparuthi ve diğerleri (2002) tarafından gözlemlenen yenilme yüzeyleri	46
Şekil 3.26. Krishnaswamy ve Parashar (1994) tarafından araştırılan geosentetik malzemelerin konumu.....	50
Şekil 3.27. Ilamparuthi ve Dickin (2001) tarafından gerçekleştirilen geogrid ile güçlendirme çalışmaları	51
Şekil 3.28. Ghost ve Bera (2010) tarafından araştırılan geotekstillerle güçlendirilmiş deney düzeneği.....	52
Şekil 4.1. Dane boyu dağılım grafiği	59
Şekil 4.2. Farklı sıklık değerleri için elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri grafiği.....	61
Şekil 4.3. Çekme deneylerinde kullanılan deney tankının üç boyutlu görseli.....	62
Şekil 4.4. HDPE malzemesinden üretilmiş hücresel yapı elemanına ait çekme deneyi sonuçları.....	66
Şekil 4.5. Yatay ankrajların kohezyonsuz zeminlerde güçlendirilmesinin incelenmesi durumunun araştırıldığı deney düzeneğinin kesit görünüşü	69

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Güçlendirilmemiş durumdaki yatay ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre yük deplasman grafikleri	77
Şekil 4.7. Güçlendirilmemiş durumdaki yatay ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyonları grafikleri.....	77
Şekil 4.8. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajlarda hücresel yapı elemanı üzerinde oluşan sürtünme kuvveti.....	79
Şekil 4.9. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajlardaki gerilim yayılma mekanizması	80
Şekil 4.10. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300, 450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği	81
Şekil 4.11. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300, 450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği	81
Şekil 4.12. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 1×1, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri	82
Şekil 4.13. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 1×1, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri	82
Şekil 4.14. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300, 450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği	84
Şekil 4.15. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300, 450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği	84
Şekil 4.16. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 2×2, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri	85
Şekil 4.17. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 2×2, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri	85

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği.....	86
Şekil 4.19. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği.....	87
Şekil 4.20. Hücre sayısı 3×3 ve 5×5, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri.....	87
Şekil 4.21. Hücre sayısı 3×3 ve 5×5, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri	88
Şekil 4.22. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği.....	89
Şekil 4.23. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği.....	89
Şekil 4.24. Hücre sayısı 3×3 ve 5×5, yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri.....	90
Şekil 4.25. Hücre sayısı 3×3 ve 5×5, yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri	90
Şekil 4.26. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesi ve yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	93
Şekil 4.27. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesi ve yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	94

Şekil	Sayfa
Şekil 4.28. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların yenilme faktörü ve yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	94
Şekil 4.29. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların yenilme faktörü ve yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	95
Şekil 4.30. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman değerleri ve yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	95
Şekil 4.31. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman değerleri ve yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	96
Şekil 4.32. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların residual kapasitesinin çekme kapasitesine oranı ile yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	96
Şekil 4.33. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların residual kapasitesinin çekme kapasitesine oranı ile yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	97
Şekil 4.34. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesindeki artış oranı ile yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	98
Şekil 4.35. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesindeki artış oranı ile yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	99
Şekil 4.36. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların deplasmanlarındaki iyileşme oranları ile yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	99
Şekil 4.37. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların deplasmanlarındaki iyileşme oranları ile yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi.....	100
Şekil 4.38. Yatay plaka ankrajların çekme yükündeki iyileşme oranının elde edilmesi ...	101
Şekil 4.39. Gömülme derinliği 200 mm olan farklı sayıda hücreli yapı elemanları ile güçlendirilen kare ve dairesel ankrajın deplasmana bağlı çekme kuvvetlerinde iyileşme oranı.....	101

Şekil	Sayfa
Şekil 4.40. Gömülme derinliği 300 mm olan farklı sayıda hücreli yapı elemanları ile güçlendirilen kare ve dairesel ankrajın deplasmana bağlı çekme kuvvetlerinde iyileşme oranı.....	102
Şekil 4.41. Gömülme derinliği 450 mm olan farklı sayıda hücreli yapı elemanları ile güçlendirilen kare ve dairesel ankrajın deplasmana bağlı çekme kuvvetlerinde iyileşme oranı.....	102
Şekil 4.42. Plaka tipi yatay ankrajların çekme durumunda yük deplasman davranışları.....	103
Şekil 4.43. Normalize yük ve deplasman grafiği.....	104
Şekil 4.44. Lineerleştirilmiş yük deplasman grafiği.....	105
Şekil 4.45. Minyatür olarak tasarlanan modelle yayılma açısının tayini.....	107
Şekil 4.46. Kohezyonsuz zeminler içerisinde gömülme derinliğine bağlı yayılma açısı değişimi	108
Şekil 5.1. Önerilen zemin konisi şeklindeki yenilme yüzeyi.....	110
Şekil 5.2. Farklı yanal toprak basınçları kullanılarak elde edilen analitik olarak elde edilen çekme kapasitelerinin deneysel olarak elde edilen çekme kapasiteleri ile karşılaştırılması.....	115

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Plaka tipi ankrajları ile ilgili bir görsel	6
Resim 2.2. Sarmal ankrajların genel şekli	8
Resim 2.3. Enjeksiyon ankrajlardaki temel bölümler	9
Resim 2.4. Sırasıyla enjeksiyon ankraj çeşitleri	9
Resim 3.1. Sıkı kumlara gömülü sıg ankrajdan görüntülen yüzey kabarmaları	44
Resim 3.2. Bildik ve Laman (2011) tarafından yapılan deneysel çalışma	47
Resim 3.3. Yenilme yüzeyinin belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği	48
Resim 3.4. Niroumand ve Kassim (2014 a-b) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma	49
Resim 3.5. Niroumand ve diğerleri (2013) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda gözlemlenen yenilme yüzeyleri.....	54
Resim 3.6. Keskin (2015) tarafından geogridler ile güçlendirilmiş kare ankraj.....	55
Resim 4.1 Çekme deneylerinde kullanılan deney tankı ve yükleme sistemi	63
Resim 4.2. Deneysel çalışma kapsamında kullanılan kare ankraj, dairesel ankraj ve bağlama çubukları	63
Resim 4.3. Deney kapsamında kullanılan deplasman ölçerler (LVDT).....	64
Resim 4.4. 8 kanallı veri aktarma sistemi	65
Resim 4.5. Deneyde kullanılan HDPE'den üretilmiş delikli hücresel elemanlar	67
Resim 4.6. Minyatür olarak modellenen deney	68
Resim 4.7. Hücresel yapı elemanlarının yerleştirilmesi ve kum malzeme ile doldurulması.....	71
Resim 4.8. Zeminin bütün tabakalarında aynı sıkılık değerinin sahip olması için yapılan çalışmalar	72
Resim 4.9. Minyatür olarak modellenen 3×3 hücre için deney düzeneğinde gözlemlenen yenilme yüzeyleri	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a	Ankrajın kısa kenarın yarısı uzunluğu
B	Ankrajın kısa kenar uzunluğu
b	Ankrajın kısa kenarın olduğu yüzeydeki kabarma
B_g	Hücre sel elemanın genişliği
B_g'	Tek hücre genişliği
C_c	Eğrilik katsayısı
C_u	Üniformluk katsayısı
cm	Santimetre
cot	Kotanjant
D	Ankrajın çapı
d	Ankraj çubuğunun çapı
D_r	Sıklık
D_f	Pik deplasmandaki artış oranı
D_{10}	Malzemenin yüzde onunun geçtiği dane çapı
D_{30}	Malzemenin yüzde otuzunun geçtiği dane çapı
D_{60}	Malzemenin yüzde altmışının geçtiği dane çapı
dak	Dakika
e	Euler sayısı
G_s	Özgöl ağırlık
F	Sürtünme kuvveti
F_q	Yenilme faktörü
$F_{q(cr)}$	Kritik yenilme faktörü
F_q'	Modifiye yenilme faktörü
$F_q^\emptyset$	İçsel sürtünme açısına bağlı yenilme faktörü
F_γ	Rowe ve Davis (1982)'nin belirttiği yenilme faktörü
F_1	Balla (1961) katsayısı

Simgeler**Açıklamalar**

F₃	Balla (1961) katsayısı
g	Gram
H	Ankrajın gömülme derinliği
H_{cr}	Kritik gömülme derinliği
h	Hücresel elemanın yüksekliği
In	e tabanındaki logaritma
I_f	Çekme kapasitesindeki artış oranı
K	Yanal toprak basıncı katsayısı
K_a	Aktif yanal toprak basıncı katsayısı
K_p	Pasif yanal toprak basıncı katsayısı
K_{bşd}	Ölçülen yanal toprak basıncı katsayısı
K_{ph}	Pasif yanal toprak basıncı katsayısının düşey bileşeni
K_u	Nominal çekme katsayısı
K₀	Sükûnetteki yanal toprak basıncı katsayısı
K₁	Matsou (1967) katsayısı
K₂	Matsou (1967) katsayısı
k	Yatak katsayısı
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
kPa	Kilopaskal
L	Ankrajın kısa uzun uzunluğu
log	Logaritma
MPa	Megapaskal
M₁	Piknometre ağırlığı
M₂	Piknometre ve numunenin ağırlığı
M₃	Piknometre, su ve numunenin ağırlığı
M₄	Piknometre ve suyun ağırlığı
mm	Milimetre
m³	Metreküp
N	Toplam hücre duvarı sayısı
n	Ankrajın uzun kenarın olduğu yüzeydeki kabarma

Simgeler**Açıklamalar**

Q	Çekme kuvveti (kN)
Q_r	Geocell ile güçlendirilmiş çekme kuvveti (kN)
Q_{rez}	Residual dayanım
Q_{ur}	Geocell ile güçlendirilmemiş çekme kuvveti (kN)
Q_{ult}	Net çekme kapasitesi (kN)
Q_{ult(g)}	Çekme kapasitesi (kN)
Q_{ult(r)}	Geocell ile güçlendirilmiş çekme kapasitesi (kN)
Q_{ult(ur)}	Geocell ile güçlendirilmemiş çekme kapasitesi (kN)
Pa	Paskal
P_h	Pasif toprak basıncı kuvvetinin düşey bileşeni
p	Ankraj çubuğunun çevresi
p'	Yenilme yüzeyi merkezinde gerçekleşen gerilme
R	Yenilme yüzeyinde oluşan tepki kuvveti
R_K	Sükûnetteki toprak basıncı düzeltme katsayısı
R_R	Pürüzlülük düzeltme katsayısı
R_ψ	Dilatasyon düzeltme katsayısı
s	Tepki kuvveti ile zemin yüzeyi arası mesafe
sin	Sinüs
S_f	Şekil faktörü
tan	Tanjant
ULIR	Çekme yükü iyileşme oranı
W	Yenilme yüzeyi içerisindeki zeminin ağırlığı
W_a	Ankrajın ağırlığı
°	Derece
γ	Birim hacim ağırlık (kN/ m ³)
Δ	Ankraj deplasmanı (mm)
Δ_f	Çekme kapasitesindeki pik deplasman (mm)
δ	Zemin ile geocell arasındaki sürtünme açısı
∅	İçsel sürtünme açısı
∅_{cv}	Hacim değişiminin olmadığı içsel sürtünme açısı
q	Birim uzunlukta çekme kuvveti

Simgeler**Açıklamalar** $\bar{\sigma}$

Geocell üzerine etki eden ortalama efektif gerilme

 ϵ

Birim şekil değıştirme

Kısaltmalar**Açıklamalar****ASTM**

Amerika Deney ve Malzeme Kurumu

USCS

Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi

HDPE

Yüksek Yoğunluklu Polietilen

LVDT

Deplasman Ölçer

NPA

Polimerik Alaşım

SP

Kötü Derecelendirilmiş Kum

TV

Televizyon

1. GİRİŞ

Dünyamızda ve ülkemizde meydana gelen hızlı şehirleşme sonucunda inşaat alanları azalmakta veya inşaat alanı için uygun olmayan yerler inşaat alanı olarak seçilmektedir. Bunun sonucunda, geoteknik mühendisliğinde geleneksel olarak kullandığımız yapıların (temeller, dolgular, ankrajlar, istinat yapıları vb.), çeşitli yöntemlerle güçlendirilmesi gerekmektedir. Mukavemet özellikleri düşük zeminlerin kazılarak mukavemet özellikleri yüksek zeminler ile dolgu yapılması, zeminlerin sıkıştırılması veya derin temel uygulamaları geleneksel zemin güçlendirme yöntemleri olarak sıralanabilir. Çimento veya kimyasal enjeksiyon, taş kolon uygulamaları, yatay ve düşey drenler, dinamik kompaksiyon, zemine bakterilerin yerleştirilmesi vb. yöntemler ile de zeminlerin güçlendirilmesi mümkündür. Son zamanlarda ise tercih edilen zemin güçlendirme yöntemlerinde birisi de geosentetik malzemelerdir.

Polimerik sentetik malzemelerden üretilen geosentetikler, üretim teknolojisinin gelişmesi ile birlikte son yıllarda birçok alanda kullanılmaktadır. Yaklaşık yetmiş yıllık bir geçmişi olan geosentetikler çeşitli inşaat mühendisliği (geoteknik, ulaştırma, hidrolik, çevre vb.) alanlarında kullanılmaktadır. Geosentetik malzemelerin başlıca kullanım alanları; sığ temeller, taş kolon uygulamaları, atık sahaları, köprü yaklaşımları, istinat duvarların, dolgular, kaplamalı ve kaplamasız yollar, tren yolları, şevler, rezarvuarlar, barajlar ve su kanalları olarak sıralabilir. Geosentetik malzemeler; güçlendirme, drenaj, ayırma, filtrasyon, koruma, yalıtım, erozyon kontrolü gibi kullanım fonksiyonları da bulunmaktadır. Bununla birlikte geosentetik uygulamalarda, geosentetik malzemeler birden fazla fonksiyonu da aynı anda gerçekleştirmektedir. Kullanım alanların artması sonucunda geosentetik malzemeleri de çeşitlenmektedir (geogrid, geofoam, geonet, geoboru, geomembran, geosentetik kil kaplamalar, geocell vb.).

Geosentetik malzemelerin tercih edilmesinin en önemli sebebi, diğer güçlendirme yöntemlerine göre arazide uygulanabilmesinin, imalatın, nakliyesinin, bakım ve onarımın kolay olması olarak gösterilebilir. Ayrıca bu güçlendirme yöntemlerinde, fazla iş gücü ve kalifiye işçi gerekmediğinden arazide uygulanması oldukça pratik ve hızlı olmaktadır.

Gelişen teknolojiye bağlı olarak yeni bir geosentetik çeşidi daha ortaya çıkmıştır. Türkçesi hücresel yapı elemanı veya hücresel dolgu olarak adlandırılan geocell; sentetik malzemelerin birbirlerine kaynak veya dikiş yoluyla bağlandığı üç boyutlu arı peteği şeklindeki yapı olarak tanımlanmaktadır. İlk olarak 1975 yılında Amerika Birleşik Devletleri Ordu Mühendisleri tarafından Viksburg, Mississippi yakınlarında yapılan bulunan sahil kumunun taşıma kapasitesini artırmak ve zeminin hareketini sınırlamak amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda geleneksel yöntemlere göre daha verimli olduğu ve ıslak hava koşullarından etkilenmediği görülmüştür (Webster, 1979). Gelişen teknolojik gelişmelerle birlikte HDPE, NPA, geonet, atık lastik, plastik şişe, bambu, hindistan cevizi lifi vb. malzemelerden de hücresel yapı elemanları elde edilmiştir (Yünkül ve Gürbüz, 2018). Üç boyutlu yapısı sayesinde zemini hapsederek; zeminin yanal ve düşey yönlü hareketini sınırlandırmakta, zemin ile kompozit bir yapı oluşturarak zeminin içerisinde ek bir kohezyon artışına neden olmaktadır (Bathurst ve Karpurapu, 1993; Rajagopal ve diğerleri, 1999; Latha ve Murthy, 2007). Hücresel yapı elemanları ile zeminin güçlendirilmesi sonucu oluşan kompozit yapı (zemin ve hücresel yapı elemanı), zeminin elastisite modülü artırarak üzerine gelen yüklerin daha geniş alanlara yayılmasını sağlamaktadır (gerilim yayılma). Zemin ile hücresel yapı elemanları arasında oluşan düşey yönlü sürtünme kuvvetleri de diğer geosentetik malzemelere göre avantajı olarak gösterilebilir(hücresel sınırlandırma). Yapılan plaka yükleme ve üç eksenli basınç testlerinin sonucunda hücresel yapı elemanlarının diğer geosentetik malzemelere göre yük-deplasman performansı açısından daha verimli olduğu elde edilen bir sonuçtur (Dash ve diğerleri, 2004; Latha ve Murthy, 2007; Latha ve Somwanshi, 2009; Tafreshi ve Dawson, 2010). Araştırmacıları elde ettiği sonuçlar doğrultusunda zeminin stabilitesini ve taşıma gücünü artırması açısından en uygun geosentetik çeşidi hücresel yapı elemanlarıdır. Hücresel yapı elemanların kullanım alanları; dolgular, temeller, istinat duvarları, şevler, demiryolları, kaplamalı yollar, peyzaj projeleri ve boru hatlarının korunması olarak gösterilebilir. Fakat hücresel yapı elemanların ankrajların çekme kapasitesini artırmak amacıyla kullanılması durumu hala literatürdeki eksikliğini korumaktadır.

Geoteknik mühendisliğinde kullanılan yapılardan birisi ise ankrajlardır. Ankrajlar düşey, yatay ve eğimli olarak gelen çekme kuvvetlerini karşılayarak; yapının zemin içerisinde dengede durmasını sağlamaktadırlar. Plaka, sarmal (helezon), kazık, enjeksiyon (grout) ankraj, doğrudan gömülü ankraj olarak beş ana ankraj çeşidi bulunmaktadır. Radyo-TV istasyonları, rüzgar türbinleri, yüksek gerilim hatları, deniz platformaları, gökdelenler,

gömülü borular, bayrak direkleri vb. yapıların tasarımıda genellikle rüzgar, deprem, dalga veya suyun kaldırma kuvvetinden kaynaklı düşey çekme kuvvetlerine mağruz kalmaktadırlar. Bu nedenle bu yapılarda zemine aktarılan çekme kuvvetlerini karşılamak amacıyla, yatay plaka ankrajlar kullanılmaktadır. Son yıllarda meydana gelen inşaat teknolojisindeki gelişmeler ile ankrajların taşınması istenilen çekme kuvvetlerinde artışlar meydana gelmektedir. Artan çekme kuvvetlerini karşılamak amacıyla ankrajların sığ derinliklerden daha derinlere gömülmesi veya ankrajın boyutunun artırılması gerekmektedir. Fakat inşaat alanların sınırlı olması, bu sınırlı alanlarda bulunan zeminin mühendislik özelliklerinin istenilen seviyede olmaması, ankrajın daha derinlere gömülmesinin veya boyutlarının artırılmasının maliyet, işçilik ve uygulanabilirlik açısından her zaman mümkün olmamasından dolayı, yatay plaka ankrajların gömülü olduğu zeminlerin güçlendirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Geleneksel olarak yapılan güçlendirme çalışmalarında ankrajın gömüleceği zemin kazılarak mukavemet özellikleri daha yüksek olan başka bir zemin ile dolgu yapılması şeklinde olmaktadır. Fakat son yıllarda bu işleme alternatif olarak geosentetik malzemeler de tercih edilmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından geosentetik malzemeler ile sığ ankrajların çekme kapasitesinin artırılması ile ilgili çalışmalar yapılmış ve bu malzemelerin geomembran hariç diğer geosentetik malzemelerin, ankrajların çekme kapasitesini artırmada oldukça etkili olduğu görülmüştür. Fakat diğer geosentetik malzemelere göre daha verimli olan hücresel yapı elemanları (geocell) ile ankrajların güçlendirme konusu literatürdeki eksikliğini korumaktadır.

Literatürde bu alanda eksikliği bulunan kohezyonsuz zemine gömülü hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş sığ ankrajların çekme davranışları ve hücresel yapı elemanlarının ankrajların çekme kapasitesinin artırmak amacıyla kullanılıp kullanılmayacağı durumu bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu deneysel çalışma kapsamında, gerçek arazi şartlarını yansıtmaması açısından uygulamada kullanılan gerçek boyuttaki hücresel yapı elemanları ve eş değer alana sahip iki farklı geometride (dairesel ve kare) ankrajlar kullanılmıştır. İlk olarak üç farklı derinliğe (200, 300, 450 mm) gömülen ankrajların çekme yükü-deplasman ve zemin yüzeyi deformasyonları incelenmiştir. Sonraki aşamada ise dört farklı genişliğe sahip yüksek yoğunlukta polietilen (HDPE) malzemeden üretilmiş 100 ve 150 mm yüksekliğindeki hücresel yapı elemanları kullanılarak (160, 320, 480, 800 mm) yatay plaka ankrajlar güçlendirilmiştir. Güçlendirme sonucunda; ankrajların çekme kapasitesindeki ve pik deplasman değerindeki artış, çekme yükü-deplasman davranışlarındaki değişimler, zemin yüzeyi deformasyonları ve optimum hücresel yapı

elemanı genişliği araştırılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda hücresele yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajın davranışının belirlenmesi amacıyla kullanılan deney tankının miniyatürü yapılarak, zemin yenilme yüzeyinde meydana gelen değişmeler araştırılmıştır. Yenilme yüzeylerinin elde edilmesi sonucunda kohezyonsuz zemine gömülü hücresele yapı elemanları ile güçlendirilmiş plaka ankrajların çekme kapasitesi ile ilgili bir bağıntı önerilmiştir.



2. ANKRAJLAR

Temel sistemleri yatay ve düşey yönlü yüklere ve yüklerden kaynaklı devrilme momentlerine maruz kalmaktadır. Bu nedenle bu yükler ve momentler karşılayarak yapının stabilizasyonunu sağlayacak elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ankraj inşaat mühendisliği literatüründe temel sistemlerinde istinat yapıları, kazıklı temeller, köprü yaklaşımları, şevler, kıyı yapıları veya diğer mühendislik yapıların yatay ve düşey hareketi engelleyerek stabilizasyonunu sağlayan, zemin veya kayaya sabitlenerek yerleştirilen, çekme kuvvetlerine maruz kalan elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Kısa bir tanımla ise yapılarda çekme ve basınç kuvvetlerinden dolayı oluşabilecek devrilme momentlerini karşılayarak zemine veya kayaya aktaran elemanlar olarak da tanımlanabilmektedir. Ankrajlar, genellikle yapıya sabitlenerek zemin veya kayaya gömülerek kaldırma kuvvetlerini karşılamasının yanı sıra zemin stabilizasyonunda da tercih edilen yöntemlerden biri olmaktadır. Ankrajların kullanılması ile yapılardan gelen yüklerin, daha derinlerde bulunan zeminlere aktarılması sağlanmaktadır. Radyo-TV istasyonları, reklam panoları, yüksek gerilim hatları, temeller, istinat duvarları, şev stabilitesi, tüneller, barajlar, kıyı yapıları, boru hatları vb. yapılar ankrajların kullanım alanlarını oluşturmaktadır.

2.1. Ankraj Çeşitleri

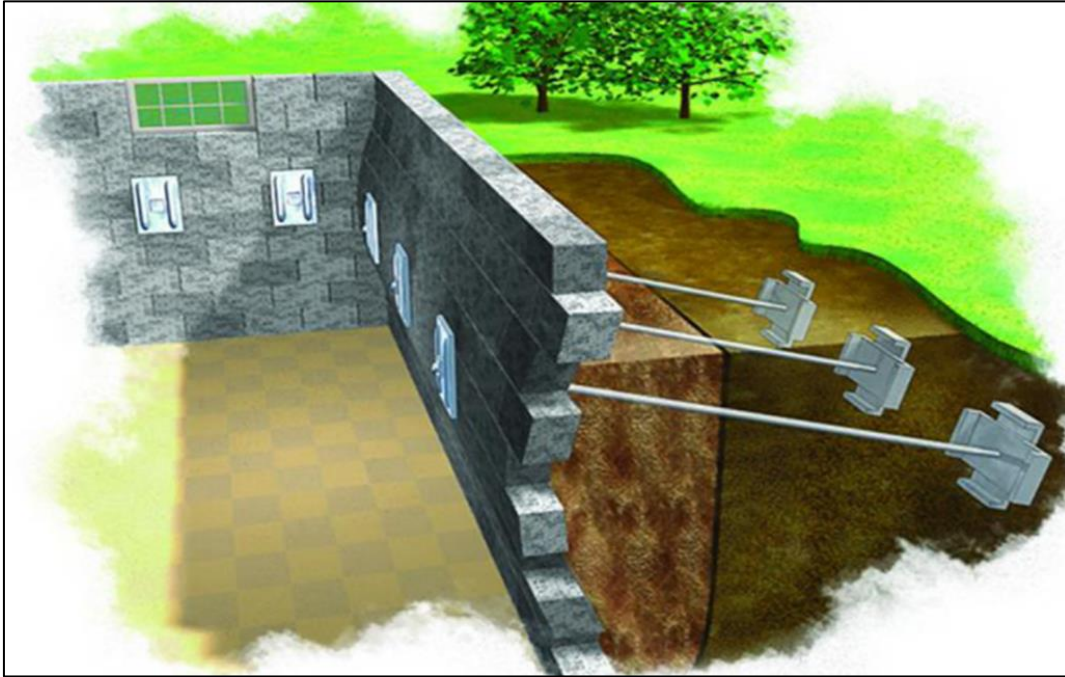
Geleneksel olarak ankrajlar üç farklı kategoride (plaka tipi, sarmal (helezonlu), enjeksiyon (grout)) incelenirken günümüzde ise ankrajlar beş farklı kategoride incelenmektedir. Bunlar sırasıyla plaka ankrajlar, doğrudan gömülü ankrajlar, sarmal (helezonlu) ankrajlar, enjeksiyon (grout) ankrajlar ve ankraj kazıkları olarak tanımlanmaktadır.

2.1.1. Plaka ankrajlar

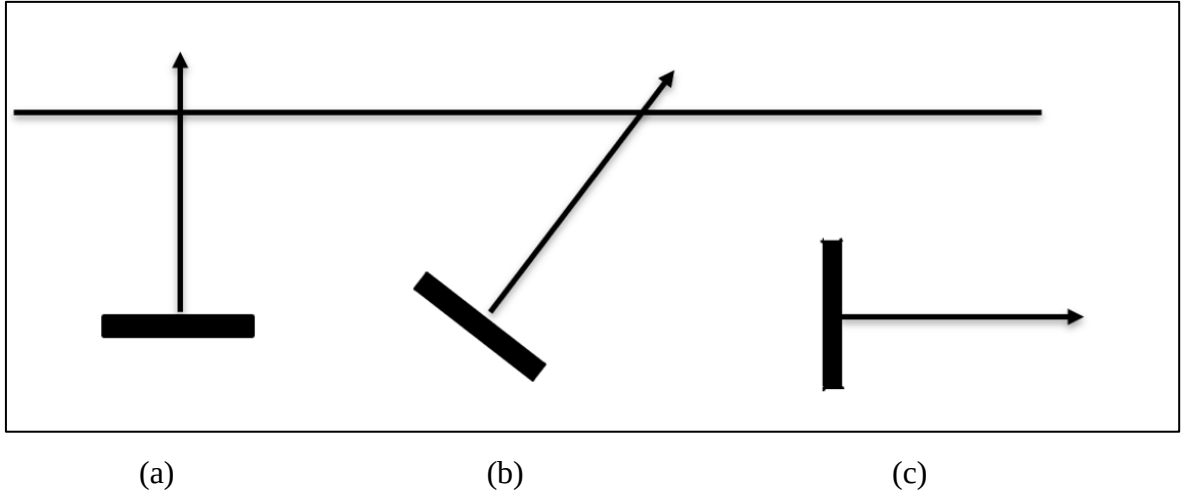
Plaka ankrajların üretiminde çelik, ön üretimli beton, yerinde dökme beton veya ahşap malzemeler kullanılmaktadır (Resim 2.1.). Plaka tipi ankrajların zemin içerisindeki stabilizasyonu çelik kablolar yardımı ile sağlanmaktadır. Bu ankraj türü üç ana kategoride incelenir. Bunlar sırasıyla yatay plaka ankrajlar, düşey plaka ankrajlar ve eğimli plaka ankrajlardır (Şekil 2.1.). Haberleşme kuleleri, rüzgâr türbinleri, yüksek gerilim hatları, reklam panoları, bayrak direkleri, fabrika bacaları, kıyı yapıları, su depoları vb. yapılar

üzerine etki eden rüzgar, deprem, dalga, suyunun kaldırma kuvveti gibi düşey yönlü etki eden çekme kuvvetlerini karşılamak amacıyla, yatay plaka ankrajlar kullanılmaktadır. Düşey ve eğimli plaka ankrajlar ise yanal zemin hareketini azaltarak birlikte çalıştıkları yapıların zemin içerisindeki stabilitesini sağlarlar. Bu kategorideki ankrajlar; istinat duvarları, palplanşlar, köprü yaklaşımlarında tercih edilmektedir.

Plaka ankrajlar; genellikle şerit, kare, dikdörtgen ve daire şeklinde üretilmektedir. Tekil olarak kullanıldığı gibi grup halinde de plaka ankrajlar kullanılmaktadır. Son zamanlarda incelenen bilimsel çalışmalar doğrultusunda, geomembran haricindeki diğer düzlemsel geosentetik malzemeler ile güçlendirilen plaka ankrajların çekme kapasitelerinde önemli miktarda artışlar elde edilmiştir. (Niroumand ve Kassim, 2013).



Resim 2.1. Plaka tipi ankrajları ile ilgili bir görsel (Niroumand ve Kassim, 2016: 29)



Şekil 2.1. Plaka ankrajlar; (a): yatay, (b): eğimli, (c): düşey

2.1.2. Doğrudan gömülü ankrajlar

Bu tip ankrajlar, diğer ankraj türlerinden farklı olarak ankrajın yerleştirilmesinde kazı veya enjeksiyon (grout) işlemi olmayıp, zemine doğrudan çakılarak yerleştirilmektedir. Bu yüzden uçları üçgen biçimli veya zemine penetrasyonu kolaylıkla sağlayabilecek bir geometrik şekilde tasarlanmaktadır.

2.1.3. Sarmal (helezonlu) ankrajlar

Uzun yıllar tercih edilmeyen bu ankraj çeşidi, elektrikli motorların kullanımının yaygınlaşmasında sonra sıklıkla tercih edilir olmuştur. Genellikle temel iyileştirmelerinde tercih edilen bu ankraj türünde bir veya birden fazla sarmal (helezonlu) kısımdan meydana gelmektedir. Sarmal ankraj, dairesel şekilde oluşan kısımların çelik şafta kaynaklanması şeklinde oluşan bir ankraj çeşidi olarak tanımlanabilmektedir (Resim 2.2.). Bu ankrajlar zemin koşullarının bağlı olduğu ölçüde sondaj ekipmanları ile zemin içerisinde döndürülerek yerleştirilmektedir. Bu ankraj türünün diğer ankraj türlerine göre avantajları ise zeminde düşük seviyede örselenme sağlaması, kolay bir biçimde araziye uygulanabilmesi, hızlı bir şekilde ankrajın yerleştirilmesi, yükleme testlerinin kolaylıkla yapılabilmesi olarak açıklanabilir. Diğer bir avantajı olarak ise zeminin hem çekme hem de taşıma kapasitesinde iyileştirme sağlaması olarak gösterilebilir (Wang ve diğerleri, 2013).



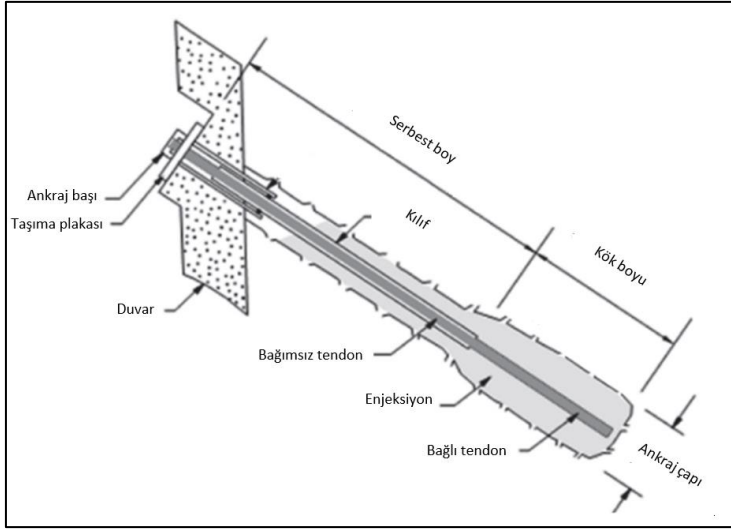
Resim 2.2. Sarmal ankrajların genel şekli (Niroumand ve Kassim, 2016: 8)

2.1.4. Enjeksiyon (grout) ankrajlar

Enjeksiyon (grout) ankrajlar, genellikle çeşitli ekipmanlar yardımı ile zeminde veya kayada delik açılması ile açılan deliğe yerleştirilen kablo veya çelik tendonların çimento enjeksiyonu ile doldurmasıyla elde edilmektedir. Çekme kuvvetine maruz kalan ankrajlarda yük bütün ankraj boyunca karşılanmazken sadece enjeksiyon kısımda karşılanmaktadır ve bu bölgeye kök boyu adı verilmektedir. Bu bölge sayesinde duvarlarda meydana gelen devrilme momentleri, su tankları ve televizyon kulelerinde oluşan kaldırma kuvvetleri, barajlarda meydana gelen dönme momentleri karşılanmış olmaktadır. Serbest boyda bulunan çelik kablolardan oluşan kısım ise bir yay davranışı göstererek ön germe görevi görmektedir (Niroumand ve Kassim, 2016: 3).

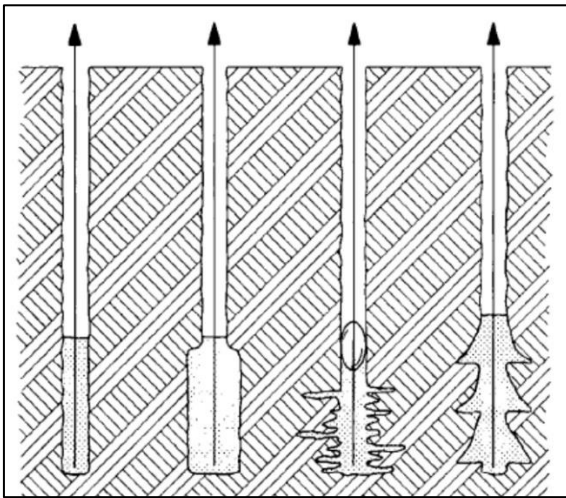
Enjeksiyon ankrajlar üç bölgeden meydana gelmektedir (Resim 2.3.). Bunlar aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

- Ankraj başı
- Serbest boy
- Kök boyu



Resim 2.3. Enjeksiyon ankrajların temel bölümler (Niroumand ve Kassim, 2016: 3)

A tipi ankrajlar kayaçlar veya rijitliği fazla olan yapılarda tercih edilmektedir. Açılan deliğe yerleştirilen çimento şerbeti enjeksiyon basıncına gerek duymadan yerleştirilir. B tipi ankrajlar düşük enjeksiyon basınçlarında (< 1000 kPa) yerleştirilir. Bazı boşluk veya çatlakların bulunduğu bölgelerde ankrajın çapında artışlar meydana gelmektedir. C tipi ankrajlar yüksek basınca sahip (> 2000 kPa) çimento şerbetinin açılan delikleri doldurması sonucu oluşur. Yüksek basıncın etkisiyle, ankrajın efektif çapı artmakta ve ankrajın etrafından bulunan gevşek zeminlerin sıkışması sağlanmış olacaktır. D tipi ankrajlar tekil veya çoklu genişleme bölgeleri bulunmaktadır. Genellikle sert killer için tercih edilmektedir (İnternet).



Resim 2.4. Sırasıyla enjeksiyon (grout) ankraj çeşitleri (A tip, B tip, C tip, D tip) (BS 8081:1989)

2.1.5. Ankraj kazıkları

Ankraj çeşitlerinde olan ankraj kazıkları çekme ve basınç kuvvetlerini karşılamaktadırlar. Bu kazıklar gelen yükü aşağıdaki zemine aktarmak, yanal yüklere karşı direnç göstermek ve kaldırma kuvvetlerini karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle fore ve çakma kazık bu ankraj çeşidini oluşturmaktadır.



3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

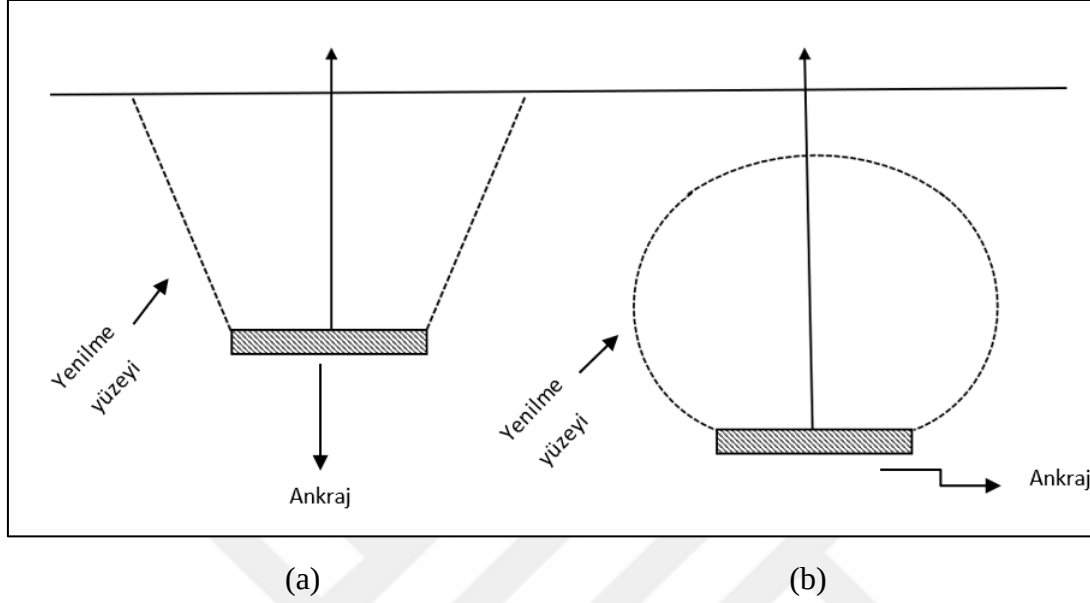
Yapılan çalışma kapsamında kohezyonsuz zemine gömülü yatay sığ plaka ankrajların hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi durumu çalışılmıştır. Bu nedenle literatür çalışmaları kısmında sadece bu ankraj çeşidi ile ilgili bilgiler verilecektir.

Yatay plaka ankrajların çekme dayanımı; zemin türüne, zeminin sıklığına (içsel sürtünme açısı ve dilatasyon açısı), ankrajın gömülme derinliğine, ankraj plakasının geometrik şekline ve ankrajın pürüzlülüğüne bağlı olarak değişmektedir. Ankrajın gömülme derinliği ise ankrajların çekme dayanımının etkileyen en önemli faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Sığ ankraj olarak adlandırılan ankraj derinliklerinde; yenilmenin meydana geldiği zemin kütlesi, yüzeye doğru hareket ederek yüzey kabarmalarına neden olmaktadır. Ankrajın gömülme derinliğinin artmasına bağlı olarak çekme kapasitesi anındaki yüzey kabarmalarında azalmalar meydana gelmektedir. Zemin yüzeyinde hareketinin (kabarmaların) gözlemlenmediği minimum gömülme derinliği ise kritik gömülme derinliği olarak adlandırılmaktadır. Bu derinlikten daha derine gömülü ankrajlar ise derin ankraj olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.1.). Başka bir şekilde ise Balla (1961) tarafından belirtilen yenilme faktörü (F_q), sığ ankrajlarda gömülme derinliğine bağlı olarak artış göstermektedir. Yenilme faktörünün sabit olduğu değer; kritik gömülme derinliği olarak belirtilir. Kritik gömülme derinliğinden, daha derin gömülme derinlikleri derin ankraj olarak adlandırılır ve derin ankrajlardaki yenilme faktörü kritik gömülme derinliğinde yenilme faktörüne eşittir. Kritik gömülme derinliği ankrajın gömülü bulunduğu zeminin sıklığına bağlı olarak artış göstermektedir (Ilamparuthi ve diğerleri, 2002).

Temel prensip olarak yatay sığ plaka ankrajların çekme kapasitesi; ankraj plakasının ağırlığı ile net çekme kapasitesinin toplamından meydana gelmektedir (Eş 3.1). Yatay plaka ankrajların net çekme dayanımlarını elde etmek için çeşitli araştırmacılar amprik, yarı amprik, limit denge, limit analiz, sonlu elemanlar ve boyutsal analiz yöntemleri kullanmışlardır. Araştırılan bu yöntemler diğer bölümlerde açıklanacaktır.

$$Q_{ult(g)} = Q_{ult} + W_a \quad (3.1)$$

Burada $Q_{ult(g)}$ toplam çekme kapasitesini, Q_{ult} net çekme kapasitesini, W_a ise ankrajın ağırlığını belirtmektedir.



Şekil 3.1. Yatay plaka ankrajların gömülme derinliklerine göre gözlemlenen yenilme yüzeyleri; (a):sığ ankraj, (b): derin ankraj

3.1. Yatay Plaka Ankrajların Çekme Kapasitesi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ireland (1963) tarafından büyük ölçekli yüksek gerilim hatlarında meydana gelen çekme kapasitesinin incelenmesi, bu alanda yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Majer (1955), Balla (1961), Mariupol'skii (1965), Sutherland (1965), Downs ve Chieerzzi (1966), Meyerhof ve Adams (1968), Das ve Seeley (1975), Clemence ve Veesaert (1977), Murray ve Geddes (1987), Dickin (1988), Sakai ve Tanaka (1998), Ilamparuthi ve diğerleri (2002), Bildik ve Laman (2011) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar ve arazi deneyleri ile yatay plaka ankrajların çekme davranışları incelenmiştir.

Kohezyonsuz zemine gömülü yatay plaka ankrajların çekme kapasitesi amprik, yarı amprik, limit denge, limit analiz, küresel kavitasyon veya sonlu elemanlar yöntemleri (FEM) ile açıklanmıştır (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Çeşitli araştırmacılar tarafından kohezyonsuz zemine gömülü yatay plaka ankrajların çekme kapasitesinin teorik olarak incelenmesi

Kaynak	Yöntem	Önerilen Ankraj Şekli
Majer (1955)	Limit denge	Dairesel
Mors (1959)	Limit denge	Dairesel
Balla (1961)	Limit denge	Dairesel
Ireland (1963)	Limit denge	Dairesel
Mariupol'skii (1965)	Limit denge	Dairesel
Downs ve Chieurzzi (1966)	Limit denge	Dairesel
Matsou (1967)	Limit denge	Dairesel
Meyerhof ve Adams (1968)	Yarı amprik Limit denge	Dairesel Kare Şerit
Vesic (1971)	Küresel kaviteasyon	Dairesel
Clemence ve Veesaert (1977)	Limit denge	Dairesel
Fadl (1981)	Yarı amprik	Dairesel
Ovesen (1981)	Amprik	Kare
Rowe ve Davis (1982)	FEM	Şerit
Vermeer ve Sutjiadi (1985)	FEM	Şerit
Murray ve Geddes (1987)	Limit denge Limit analiz	Dikdörtgen Şerit
Saeedy (1987)	Limit denge	Dairesel
Frydman ve Shaham (1989)	Yarı amprik	Dikdörtgen ve şerit
Ghaly ve Hanna (1994)	Limit denge	Dairesel
Kanakapura ve diğerleri (1994)	Limit analiz	Şerit
Remeshbabu (1998)	Amprik	Dairesel Kare Şerit
Ilamparuthi ve diğerleri (2002)	Amprik	Dairesel
Merified ve Sloan (2006)	FEM	Şerit
Dickin ve Laman (2007)	FEM	Şerit
Kumar ve Kouzer (2007)	FEM	Şerit
Desmukh ve diğerleri (2010)	Limit denge	Dairesel Kare
Desmukh ve diğerleri (2011)	Limit denge	Şerit
Choudhary ve diğerleri (2018)	FEM	Kare

3.2. Yatay Plaka Ankrajların Yenilme Mekanizması

Kohezyonsuz zemine gömülü sığ yatay plaka ankrajların net çekme kapasiteleri; yenilme yüzeyinin içerisinde kalan zemin ağırlığı ile, yenilme sırasında, yenilme yüzeyinde oluşan yanal toprak basıncından kaynaklı kuvvetlerin düşey bileşenlerinin toplamından meydana gelmektedir. Bu nedenle, birçok araştırmacı yatay plaka ankrajların yenilme yüzeylerini incelemiştir.

Çeşitli araştırmacılar sığ derinlikteki yatay plaka ankrajların yenilme yüzeyi şekilleri farklı geometrik şekillerde açıklamışlardır (zemin konisi, sürtünme silindiri, dairesel, eğimli, logaritmik).

3.3. Yanal Toprak Basıncı Katsayıları

Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yanal toprak basıncı katsayıları Çizelge 3.2.'de özetlenmiştir. Önerilen çeşitli yaklaşımlar sonucunda yanal toprak basıncı katsayısı (K) değerinde çeşitli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni, önerilen yenilme yüzeylerinin geometrik şekillerin ve yatayda yaptıkları açılı değerlerinin farklı olması olarak gösterilebilir.

Çizelge 3.2. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yanal toprak basıncı katsayıları (Ilamparuthi ve Dickin, 2001)

Kaynak	Önerilen Yanal Toprak Basıncı Katsayısı (K)	ϕ (Derece)	K değeri	Açıklama
Meyerhof ve Adams (1968)	$K_u = 0.9$	34.5 39.5 43	1.1-1.8 1.2-2.1 1.3-2.5	K değeri ankrajın gömülme oranına bağlı olarak değişmektedir.
Clemence ve Veesaert (1977)	K_0	34.5 39.5 43	0.43 0.36 0.32	K=1 değerinin kullanılması önerilmektedir.
Sutherland ve diğerleri (1982)	K_0	34.5 39.5 43	0.43 0.36 0.32	-
Kulhawy (1985)	K_a ve K_0 arası K_0 ve 1 arası 1 ve K_p arası	Gevşek Orta-sıkı Sıkı	- - -	Gerilme modifikasyon faktörü kullanılmaktadır.
Chattopadhyay ve Pise (1986)	K_p	34.5 39.5 43	0.43 0.36 0.32	-
Bobbitt ve Clemence (1987)	$S_f K_u$	34.5 39.5 43	0.66-1.1 0.72-1.3 0.78-1.5	Meyerhof ve Adams, 1968 tarafından önerilen değerlerinin %60 oranında küçültülmesi ile elde edilmiştir
Ghaly ve diğerleri (1991)	$K_p = \frac{(1 + \sin \delta)}{(1 - \sin \delta)}$	34.5 39.5 43	2.2 2.5 2.8	$\delta = 0.6 - 0.7\phi$ değeri sığ ankrajlar için önerilmektedir.

Çizelge 3.2.'de K_a aktif toprak basıncı katsayısını, K_0 sükûnetteki toprak basıncı katsayısını, K_p pasif toprak basıncı katsayısını, K_u nominal çekme katsayısını, ϕ zeminin efektif içsel sürtünme açısını, S_f ise şekil faktörünü belirtmektedir.

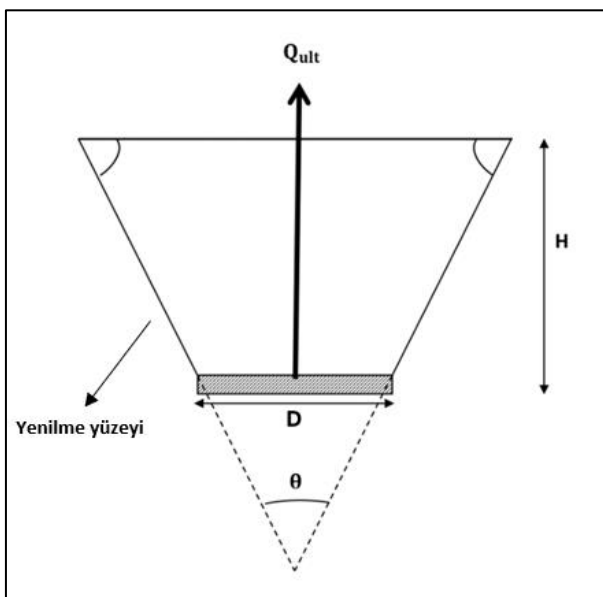
3.4. Limit Denge, Küresel Kaviteasyon ve Amprik Yaklaşımlar ile Ankrajın Çekme Kapasitesinin Hesaplanması

Kohezyonsuz zemine sığ derinliklerde gömülü yatay plaka ankrajlarda meydana gelen yenilme yüzeyinin geometrisi için, çeşitli yaklaşımlarda bulunulmuştur. Yapılan ilk yaklaşımlarda yenilme yüzeyinin silindirik (sürtünme silindiri) bir geometriye sahip olduğu düşünülürken, daha sonra yenilme yüzeyinin geometrisi ile ilgili olarak zemin konisi (trapez), dairesel, eğimli veya logaritmik şekiller de önerilmiştir. Önerilen bu geometrik şekillere bağlı olarak araştırmacılar; limit denge, küresel kaviteasyon ve amprik yöntemler önermişlerdir.

3.4.1. Zemin konisi (trapez) şeklinde yenilme yüzeyi

Mors (1959)

Önerilen bu yöntemde, hesaplanan net çekme dayanımı yenilme yüzeyinin içerisinde bulunan zeminin ağırlığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Sığ dairesel yatay plaka tipi ankrajlar için önerilen yöntemde, yenilme yüzeyi kesik koni şeklinde oluşmaktadır (Şekil 3.2.). Yenilme yüzeyinin merkezinde bulunan açının değerinin (θ) $90 + \phi/2$ olduğunu belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Mors (1959) tarafından önerilen zemin konisi yenilme yüzeyi

Çekme kapasitesi Eş 3.2’de ifade edilmektedir.

$$Q_{ult} = \gamma \frac{\pi}{3} (3D^2 + 4H^2 \cot^2 (45 - \frac{\phi}{4}) + 6HD \cot (45 - \frac{\phi}{4})) \quad (3.2.)$$

Burada Q_{ult} ankrajın net çekme kapasitesini, D dairesel temelin çapını, H ankrajın gömülme derinliğini, γ zeminin birim hacim ağırlığını, ϕ ise kohezyonsuz zeminin efektif içsel sürtünme açısını belirtmektedir.

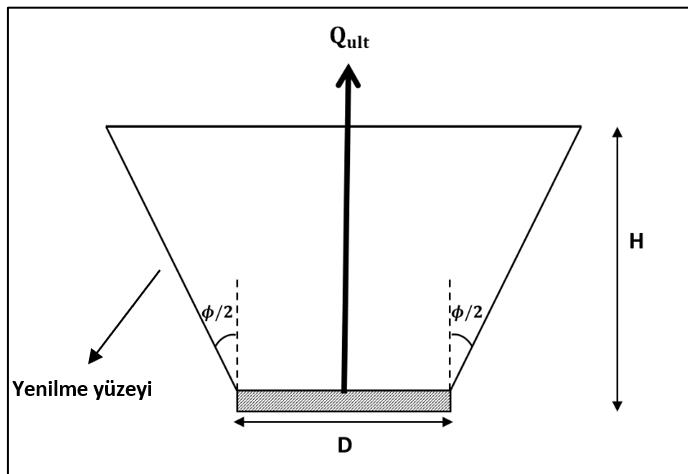
Downs ve Chieurrzzi (1966)

Mors (1959) tarafından belirtilen yenilme konisi şekli olarak kabul ederken yenilme yüzeyinin merkezinde bulunan açıyı değeri (θ) 60° olarak kabul edilmiştir. Önerilen çekme kapasitesi Eş 3.3’de belirtilmiştir.

$$Q_{ult} = \frac{\pi \gamma H^3}{3} (3D^2 + 1.33H^2 + 3.64H) \quad (3.3)$$

Clemence ve Veesaert (1977)

Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda dairesel plakalı ankrajların yenilme yüzeyi şeklinin kesik koniye benzediğini ve yenilme yüzeyi ile ankraj plakasının köşesi arası düşey açının (yayılmaya açısı) $90 - \phi/2$ olduğunu belirtmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Dairesel plakalı ankrajlar için Clemence ve Veesaert (1977) tarafından önerilen yenilme yüzeyi

Net çekme kapasitesi ise yenilme yüzeyinin içerisinde kalan bölgenin ağırlığı ile yüzeyin etrafında oluşan düşey toprak basıncının toplamı olarak Eş 3.4 ile açıklamıştır.

$$Q_{ult} = \frac{\pi\gamma H}{3} \left(3D^2 + 4H^2 \tan^2 \left(\frac{\phi}{2} \right) + 6HD \tan \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) + \pi\gamma K_0 \tan \phi \left(\frac{\cos \phi}{2} \right)^2 \left(\frac{DH^2}{2} + \frac{H^3 \tan \left(\frac{\phi}{2} \right)}{3} \right) \quad (3.4)$$

Fadl (1981)

Araştırmacı, Matsou (1967) tarafından önerilen yöntemi geliştirmiştir. Yenilme yüzeyi ile ankraj arasında kalan açının yatay bileşenini α olarak adlandırmış ve bu açının zeminin içsel sürtünme açısı ve rölatif sıkılığına bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Önerilen sıg ankraj için çekme kapasitesi ve yayılma açısı sırası ile Eş 3.5 ve 3.6'da belirtilmiştir.

$$Q_{ult} = \frac{\pi\gamma H}{12} (8H^2 \tan^2(90 - \alpha) + 12HD \tan(90 - \alpha) + 3D^2) \quad (3.5)$$

$$90 - \alpha = 0.25[D_r(1 + \cos^2 \phi) + (1 + \sin^2 \phi)]\phi \quad (3.6)$$

Ovesen (1981)

Açıkladığı amprik yaklaşım ile kohezyonsuz zeminler kare plaka ankrajların yenilme faktörünü Eş 3.7'deki gibi açıklamaktadır.

$$F_q = \frac{Q_{ult}}{\gamma A H} = 1 + (4.32 \tan \phi - 1.58) \left(\frac{H}{B} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.7)$$

Bu eşitlik $1 \leq \frac{H}{B} \leq 3.5$ ve $29^\circ \leq \phi \leq 42^\circ$ şartları için geçerli olduğu belirtilmiş olup; B değeri kare plakalı ankrajın kenarını, A yatay plaka ankrajın alanı, F_q değeri Balla (1961) tarafından belirtilen yenilme faktörü değeridir.

Murray ve Geddes (1987)

Yaptıkları çalışmalarda, farklı rölatif sıkılık değerlerine sahip kohezyonsuz zeminlere gömülü ankrajların çekme kapasitesine; ankrajın geometrik şekli, ankrajın gömülme

derinliği, ankrajın pürüzlülüğünün etkisini limit denge denklemi ve limit analiz yöntemleri ile incelemiştir. Bu yöntemde ankrajın köşesi ile yenilme düzlemi arasında bulunan düşey açı değeri $\phi/2$ olarak belirtilmiştir. Bu kısımda limit denge denklemleri kullanarak elde ettikleri eşitlikler açıklanacaktır. Limit analiz yöntemi ile elde edilen eşitlikler “3.5.Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ve Limit Analizi Yöntemi” alt başlığında açıklanmıştır. Elde edilen net çekme kapasitesi yenilme yüzeyinin bulunduğu bölgenin ağırlığına ve yenilme yüzeyinde meydana gelen sürtünme direncine bağlı olarak gelişmektedir. Aşağıdaki eşitliklerde (Eş 3.8, Eş 3.9, Eş 3.10.) çeşitli geometrik şekillere sahip plaka ankraj için önerilen yenilme faktörleri bulunmaktadır.

Şerit plakalı ankrajlar için;

$$F_q = \frac{Q_{ult}}{\gamma_{BH}} = 1 + \frac{H}{B} \left(\sin\phi + \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right) \quad (3.8)$$

Dairesel plakalı ankrajlar için;

$$F_q = \frac{Q_{ult}}{\gamma_{AH}} = 1 + \frac{2H}{D} \left(\sin\phi + \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{H}{D} \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) (2 - \sin\phi) \right) \quad (3.9)$$

Dikdörtgen plakalı ankrajlar için;

$$F_q = \frac{Q_{ult}}{\gamma_{AH}} = 1 + \frac{H}{B} \tan\phi \left(1 + \frac{B}{L} + \frac{\pi H}{3 L} \tan\phi \right) \quad (3.10)$$

önerilmektedir. Bu eşitliklerde belirtilen; B değeri dikdörtgen plakalı ankrajın kısa kenarını, L değeri dikdörtgen plakalı ankrajın uzun kenarının değerini belirtmektedir.

Frydman ve Shaham (1989)

Yaptıkları çeşitli laboratuvar deneyleri sonucunda, farklı derinliklere gömülü olan şerit ve dikdörtgen ankrajların çekme davranışı incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan yarı amprik yaklaşımlar Eş 3.11 ve Eş 3.12’de belirtilmiştir.

Sıkı kohezyonsuz zeminler için yenilme faktörü;

$$F_q = \left(1 + \frac{H}{B} \tan \phi\right) \left[1 + \frac{\frac{B}{L} - 0.15}{0.85} \left(0.51 + 2.35 \log \left(\frac{H}{B}\right)\right)\right] \quad (3.11)$$

Gevşek kohezyonsuz zeminler için ($H/B > 2$) yenilme faktörü;

$$F_q = \left(1 + \frac{H}{B} \tan \phi\right) \left(1 + 0.5 \frac{\frac{B}{L} - 0.15}{0.85}\right) \quad (3.12)$$

olarak belirtilmiştir.

Deshmukh ve diğerleri (2010)

Kohezyonsuz zeminler için önerilen bu yöntemde Kötter (1903); eşitliğinden yararlanılmıştır. Net çekme kapasitesinin bileşenleri olarak ise yenilme düzleminin içince kalan bölgedeki zeminin ağırlığı ile yenilme yüzeyi üzerinde oluşan tepki kuvvetinin yatay bileşeni kabul edilmektedir. Araştırmacılar, yenilme yüzeyi ile ankraj arasında bulunan yatay açı değeri için $90-0.22\phi$ değerinin alınmasını önermektedirler. Elde edilen çekme kapasitesi ve bu kapasiteye bağlı katsayı değerleri Eş 3.13, Eş 3.14, Eş 3.15’de belirtilmiştir.

Dikdörtgen plakalı ankrajlar için net çekme kapasitesi aşağıdaki eşitlikler önerilmektedir.

$$Q_{ult} = \frac{\gamma \sin(\alpha + \phi) \sin(\alpha + \phi - 90)}{\cos^2 \alpha} \left[\frac{B^3 + L^3}{6} + \frac{2}{3} (b^3 + n^3) - \frac{(bB^3 + nL^3)}{2} + BLH^2bn \right] \quad (3.13)$$

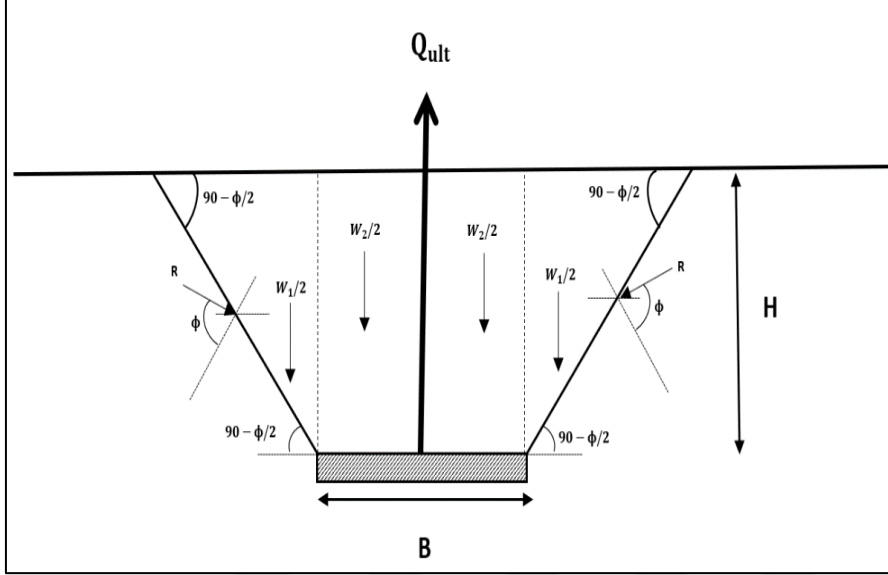
$$b = \left(\frac{B}{2} + \frac{H}{\tan \alpha} \right) \quad (3.14)$$

$$n = \left(\frac{L}{2} + \frac{H}{\tan \alpha} \right) \quad (3.15)$$

Deshmukh ve diğerleri (2011)

Kohezyonsuz zemine gömülü şerit plakalı ankrajlar için önerilen bu yöntemde ankrajın köşesi ile yenilme düzlemi arasında bulunan yatay açı değeri $90-\phi/2$ olarak belirtilmiştir.

Bu yöntemde net çekme kapasitesinin bileşenleri olarak yenilme yüzeyi ile zemin kolonu arasında kalan bölgenin ağırlığı (W_1) zemin kolonun ağırlığı (W_2) ve yenilme yüzeyinin zemine üzerinde oluşan tepki kuvvetinin (R) düşey bileşeninden meydana gelmektedir (Eş 3.16, Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Deshmukh ve diğerleri (2011) tarafından önerilen yenilme yüzeyi ve tepki kuvvetleri

$$Q_{ult} = \left[\frac{\gamma H^2}{\tan\left(90 - \frac{\phi}{2}\right)} + \gamma BH \right] + \left[-\frac{1}{2} \frac{H^2}{\sin\left(90 - \frac{\phi}{2}\right)} \gamma \sin\left(90 + \frac{\phi}{2}\right) \cos\left(90 + \frac{\phi}{2}\right) \right] \quad (3.16)$$

Ilamparuthi ve diğerleri (2002)

Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda gevşek kohezyonsuz zeminlere gömülü ($\phi = 33.5^\circ$) dairesel temellerde $H/D < 12$ için yenilme faktörü (F_q) aşağıdaki ampirik eşitliklerden (Eş 3.17, Eş 3.18, Eş 3.19, Eş 3.20, Eş 3.21, Eş 3.22) elde edilmektedir.

$$F_q = e^{\left(\frac{33.5}{28}\right)\left(\frac{H}{D}\right)} \quad 0 \leq H/D \leq 1 \text{ için} \quad (3.17)$$

$$F_q = \left(\frac{H}{D}\right) F_{q1} \quad 1 \leq H/D \leq 2.4 \text{ için} \quad (3.18)$$

$$F_q = \left(\frac{H}{2D}\right) \left(e^{\tan\phi \ln\left(\frac{H}{D}\right)}\right) F_{q1} \quad 2.4 \leq H/D \leq 4.2 \text{ için} \quad (3.19)$$

$$F_q = \left[\left(\frac{H}{D}\right) + \left(\frac{H}{D}\right) \left(e^{\tan\phi \ln\left(\frac{D}{H}\right)}\right)\right] \quad 4.2 \leq H/D \leq 6 \text{ için} \quad (3.20)$$

$$F_q = \left[\left(\frac{H}{D}\right) + \left(e^{\tan\phi \ln\left(\frac{H}{D}\right)}\right)\right] F_{q1} \quad 6 \leq H/D \leq 10 \text{ için} \quad (3.21)$$

$$F_q = \left[F_{q10} + e^{\tan\phi \ln\left(\frac{H}{D}-10\right)}\right] \quad 10 \leq H/D \leq 12 \text{ için} \quad (3.22)$$

Burada F_{q1} değeri H/D değeri 1'e eşit olduğu durumdaki yenilme faktörünü (3.3 sayısına eşittir), F_{q10} değeri ise H/D değerinin 10'a eşit olduğu durumdaki yenilme faktörünü belirtmektedir. Farklı içsel sürtünme açısı değerleri için ise Eş 3.23'de önerilmektedir.

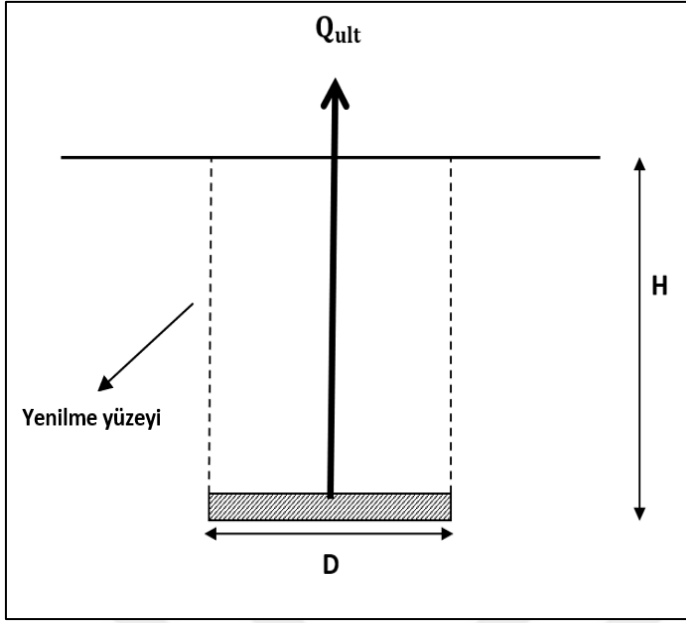
$$F_q^\phi = F_q^{33.5} \left[e^{\frac{\left(\frac{H}{3D}\right)(\phi-33.5)}{33.5}} \right] \quad (3.23)$$

Burada F_q^ϕ değeri istenilen ϕ değerindeki yenilme faktörünü, $F_q^{33.5}$ ise içsel sürtünme açısı 33.5° 'e eşit olan yenilme faktörünü belirtmektedir.

3.4.2. Sürtünme silindiri şeklinde yenilme yüzeyi

Majer (1955)

Bu yöntem sığ derinlikte kullanılan dairesel ankrajlar için önerilmiştir. Yenilme yüzeyinin geometrisi ankraj plakasının köşelerinde düşey doğrultusunda başlamakta ve yatayda 90° açıyla yüzeye ulaşmaktadır (Şekil 3.5.). Bu geometrik şeklinden dolayı yenilme yüzeyi şekli sürtünme silindiri olarak adlandırılmaktadır. Net çekme dayanımı ise, yenilmenin meydana geldiği silindir yüzeyin ağırlığı ile bu yüzeyin kenarlarında meydana gelen sürtünmenin toplamı ile elde edilmektedir.



Şekil 3.5. Sürtünme silindiri yöntemi

Granüler zeminler için net çekme kapasitesi Eş 3.24’de belirtilmiştir.

$$Q_{ult} = \frac{\gamma \pi H D^2}{4} + \int_0^H (\pi D) (\gamma z \tan \phi) dz = \frac{\gamma \pi H D^2}{4} + \left(\frac{\gamma \pi H^2 D}{2} \right) \tan \phi \quad (3.24)$$

Ireland (1963)

Ireland (1963), Majer (1955) tarafından önerilen yöntemi biraz genişleterek yatay toprak basıncının etkisini de hesaba katmıştır (Eş 3.25).

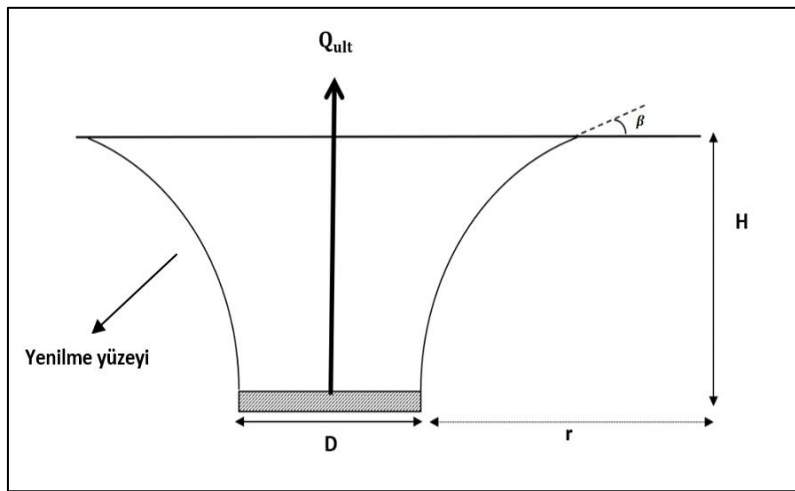
$$Q_{ult} = \frac{\gamma \pi H D^2}{4} + K_0 \left(\frac{\gamma \pi H^2 D}{2} \right) \tan \phi \quad (3.25)$$

K_0 değeri için içsel sürünme açısı 30° olan granüler zeminleri için 0.5 ; 20° olan siltli ve kil zeminler için 0.4 değerinin alınması önermiştir.

3.4.3. Dairesel şekilli yenilme yüzeyi

Balla (1961)

Sıkı kumda yapılan çeşitli arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına göre daireysel sığ plaka tipi ankrajın yenilme yüzeyi şeklini daireysel olarak önermiştir (Şekil 3.6.). Zemin yüzeyi ile yenilme yüzeyi arasında bulunan β açısını elde ettiği sonuçlara göre $45 - \phi/2$ olduğu belirtilmiştir.

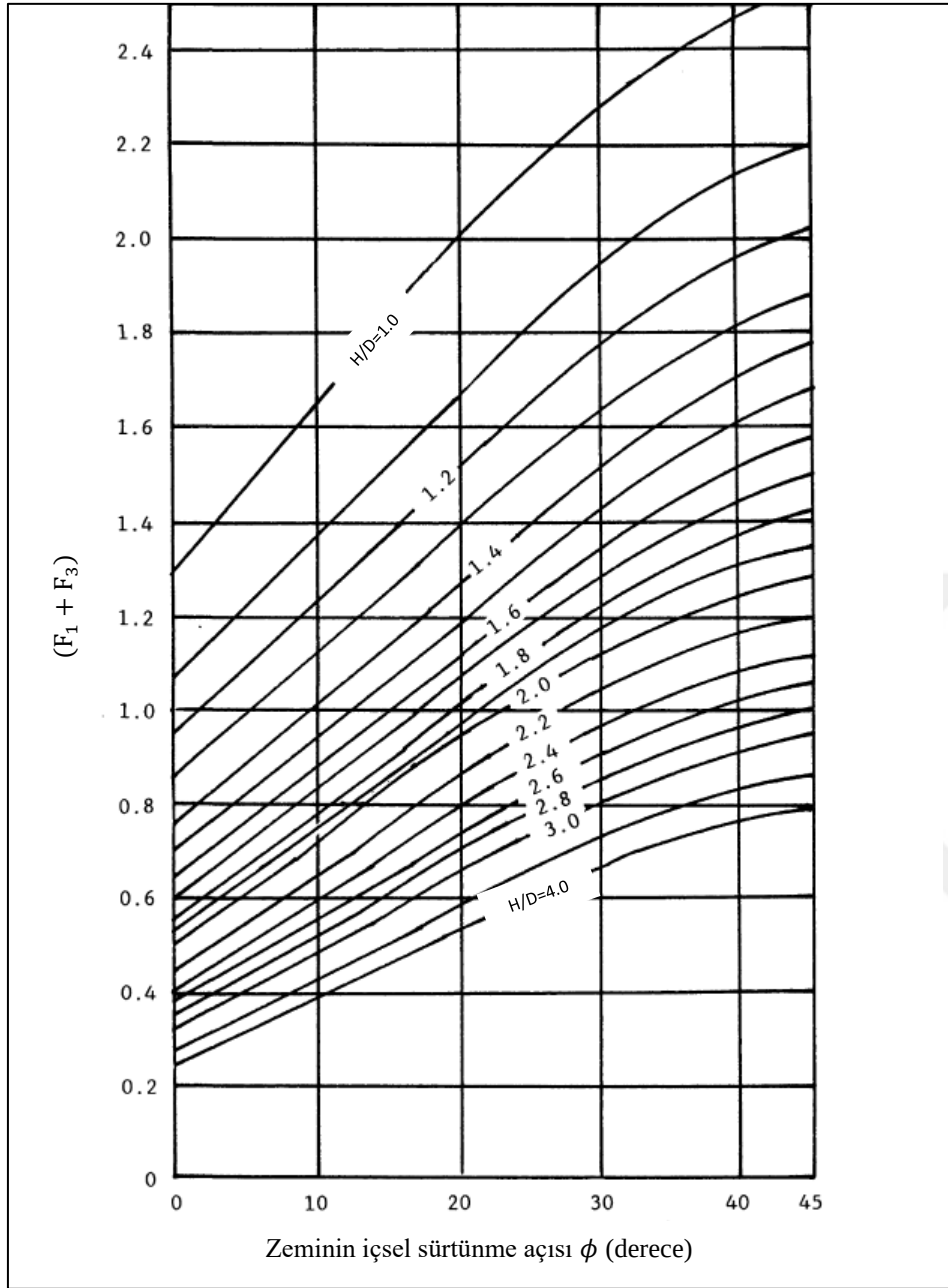


Şekil 3.6. Balla (1961) tarafından önerilen sığ daireysel ankrajların sıkı kumdaki yenilme yüzeyi

Net çekme kapasitesi diğer önceki çalışmalara benzer olarak yenilme yüzeyinin içinde kalan zemin ağırlığı ile yenilme yüzeyinde meydana gelen sürtünme direncinin toplamıdır. Önerilen denklem ile düşey kuvvetler Kötter (1903) eşitliği ve düzlemsel deformasyon durumu varsayılarak elde edilmiştir (Eş 3.26).

$$Q_{ult} = \gamma H^3 [F_1 + F_3] \quad (3.26)$$

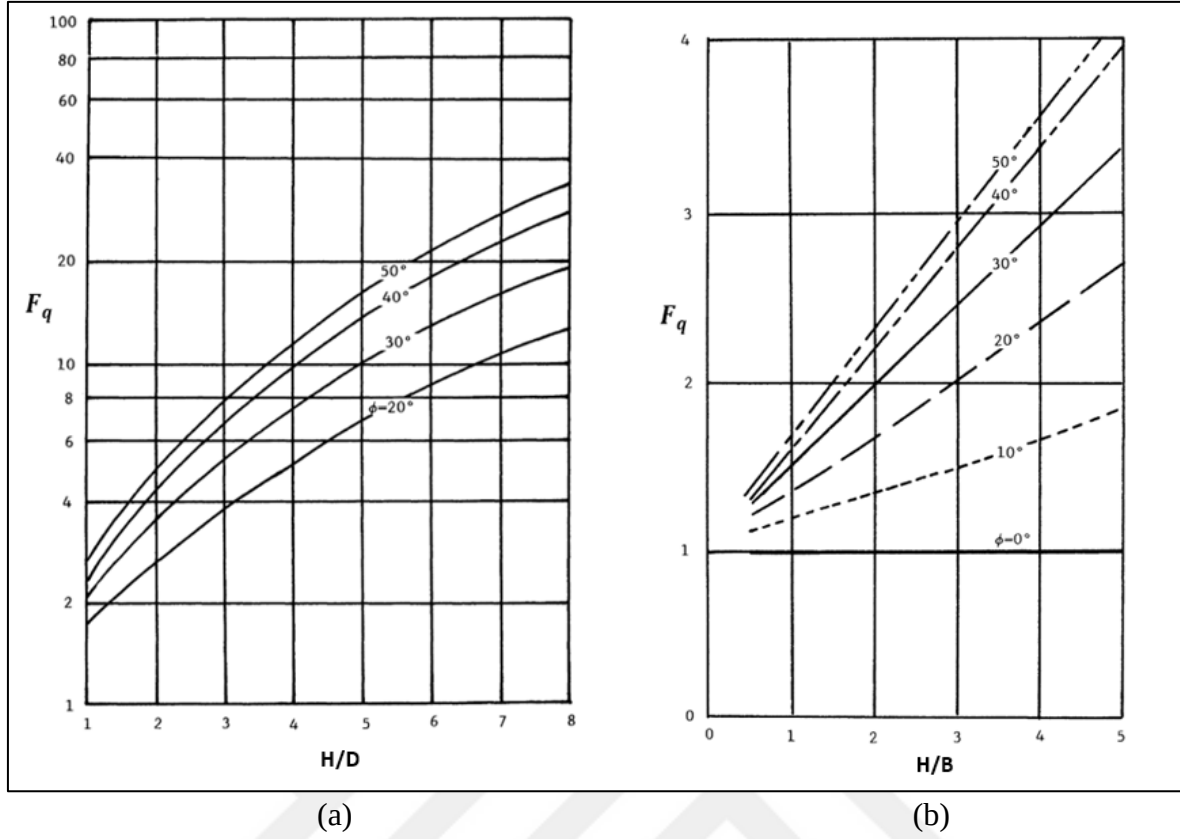
F_1 ve F_3 zeminin içsel sürtünme açısına ve gömülme oranına bağlı olan katsayılar Şekil 3.7’ de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu yaklaşımın sıkı kumlarda ve gömülme derinliğinin temel genişliğine oranının 5’den küçük olduğu durumlar ($H_{cr} = 5$) için önerilmektedir.



Şekil 3.7. Balla (1961) yaklaşımına göre F_1 ve F_3 değerlerinin grafiksel gösterimi (Das, 1990: 21)

Vesic (1971)

Yaptığı çalışmalarda küresel kavitezyon olarak adlandırılan yöntemi kullanmıştır. Bu yöntem sonucu elde edilen yenilme faktörü değerlerini, ankrajın gömülme derinliği ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak grafiksel olarak göstermiştir (Şekil 3.8.).

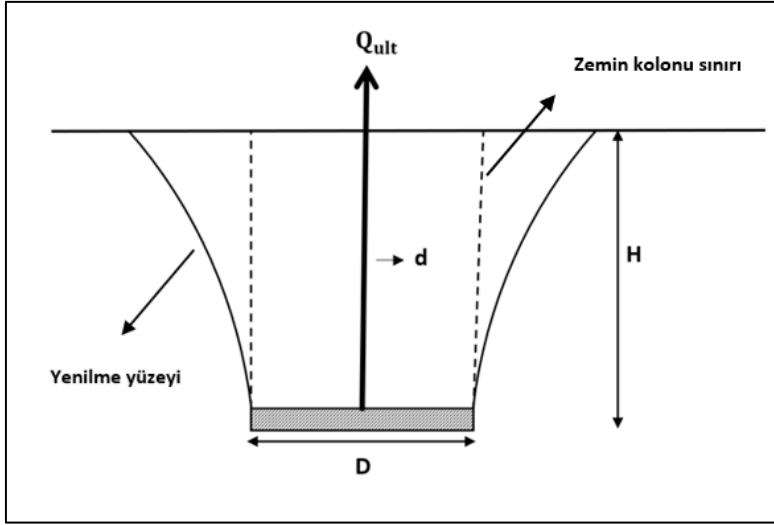


Şekil 3.8. Vesic (1971) yaklaşımına göre yenilme faktörlerinin içsel sürtünme açısı ve gömülme derinliklerine göre değişimi; (a): dairesel plakalı ankrajlar, (b): şerit plakalı ankrajlar (Vesic, 1971)

3.4.4. Eğimli şekilli yenilme yüzeyi

Mariupol'skii (1965)

Yaptığı deneysel çalışmalarda, farklı rölatif sıklık değerlerine sahip kum zemin ve kil numuneleri kullanarak dairesel plakanın çekme davranışını incelemiştir. Elde ettiği verilere göre, yenilme yüzeyinin şeklinin eğimli bir yüzey olduğunu belirtmiştir. Çekme kapasitesinin etkileyen parametreleri ise ankrajın ağırlığı, ankrajın çapı genişliğinde ve gömülme yüksekliği uzunluğunda olan zemin kolonun ağırlığı ve bu zemin kolonunda bulunan sürtünmeden direnci olarak belirtilmektedir (Şekil 3.9.) (Niroumand ve Kassim, 2016: 40). Net çekme kapasitesi aşağıdaki Eş 3.27'de belirtilmektedir.



Şekil 3.9. Mariupol'skii (1965) tarafından önerilen sığ derinlikteki dairesel ankrajların yenilme yüzeyi

$$Q_{ult} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \left[\frac{\gamma H \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 + 2K_0 \left(\frac{H}{D} \right) \tan \phi \right)}{1 - \left(\frac{H}{D} \right)^2 - 2n \left(\frac{H}{D} \right)} \right] \quad (3.27)$$

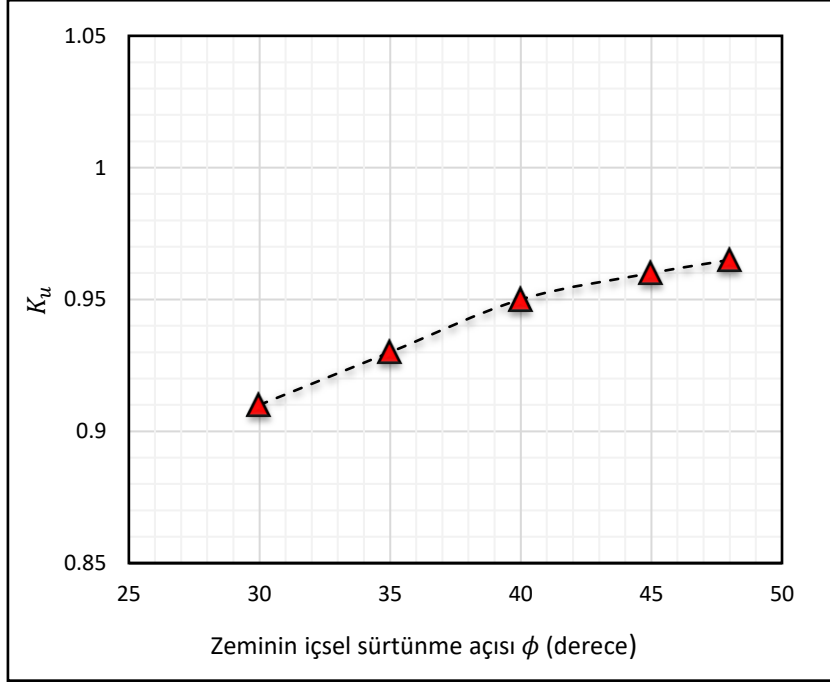
Burada d ankraj çubuğunun çapını, n ise $0,025\phi$ 'e eşit olan amprik bir değerdir.

Meyerhof ve Adams (1968)

Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, limit denge eşitliklerini kullanarak yarı amprik bir eşitlik elde etmişlerdir. Elde edilen çekme kapasitesinde yenilme yüzeyi ile zemin yüzeyi arasında bulunan açı değerinin rölatif sıkılığa ve içsel sürünme açısına bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Bu açı değeri $(90 - \phi/3)$ ile $(90 - 2\phi/3)$ arasında değiştiği açıklanmıştır. Yazarlar bu iki açı değerinin ortalaması olan $(90 - \phi/2)$ değerinin alınmasını önermişlerdir. Net çekme kapasitesine etkiyen parametreler olarak, zemin kolonun (sürtünme silindiri) ağırlığı ile zemin kolonun etrafında bulunan pasif toprak basıncından kaynaklanan düşey kuvvetler olduğu belirtilmiştir (Şekil 3.10).

Eğimli yüzeyde bulunan δ açısı değeri ise $2\phi/3$ değerine eşit olduğu belirtilmekle beraber aşağıdaki verilen düzeltmeler yazarlar tarafından önerilmiştir (Eşitlik 3.32 ve Şekil 3.11.).

$$K_u \tan \phi = K_{ph} \tan \delta \quad (3.32)$$



Şekil 3.11. Meyerhof ve Adams (1968) tarafından önerilen nominal çekme katsayısı (Meyerhof ve Adams, 1968)

Burada K_u değerin nominal çekme katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Çekme kapasitesi denklemi Eş 3.33'deki gibi son şeklini almıştır.

$$Q_{ult} = \gamma HB + K_u \gamma H^2 \tan \phi \quad (3.33)$$

Elde edilen sonuçlara göre zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak K_u değerinin çok fazla değişikliğin olmadığı görülmüş olup bütün sıklık değerlerinde 0.95 alınması önerilmiştir.

Şerit plaka ankrajlar için yenilme faktörü Eş 3.34'de belirtilmiştir.

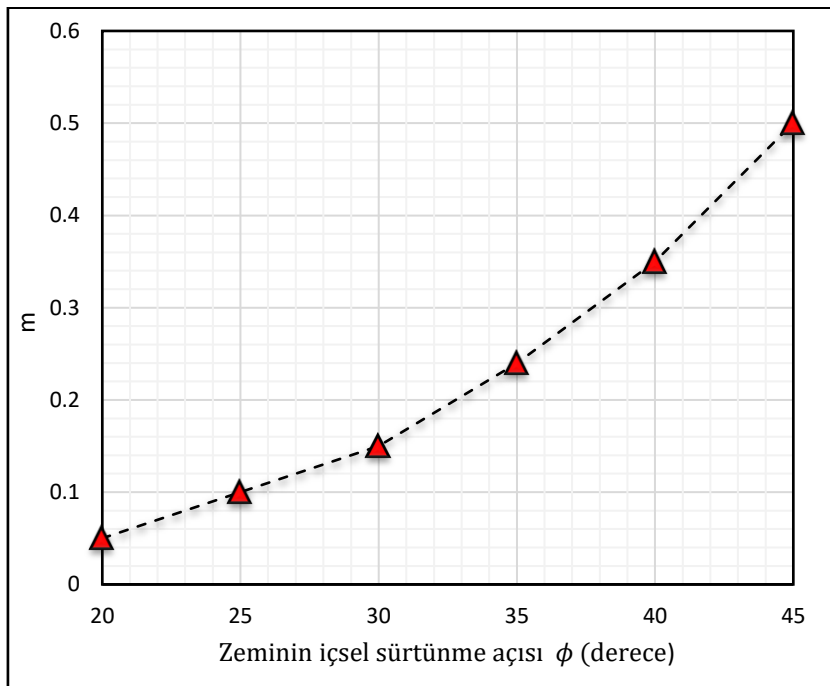
$$F_q = 1 + K_u \left(\frac{H}{B} \right) \tan \phi \quad (3.34)$$

Dairesel plaka ankrajlar için çekme kapasitesi Eş 3.35 ve Eş 3.36 'da belirtilmiştir.

$$Q_{ult} = \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) \gamma H + \frac{\pi}{2} S_f \gamma D H^2 K_u \tan \phi \quad (3.35)$$

$$S_f = 1 + m \left(\frac{H}{D}\right) \quad (3.36)$$

Burada S_f şekil faktörü, m değeri ise zeminin içsel sürtünme açısına bağlı bir katsayıdır. Bu değeri Şekil 3.12'den elde edilebilmektedir.



Şekil 3.12. m değerinin zeminin içsel sürtünme açısına göre değişimi (Meyerhof ve Adams, 1968)

Yenilme faktörü ise dairesel plakalı ankrajlar için Eş 3.37'de belirtilmiştir.

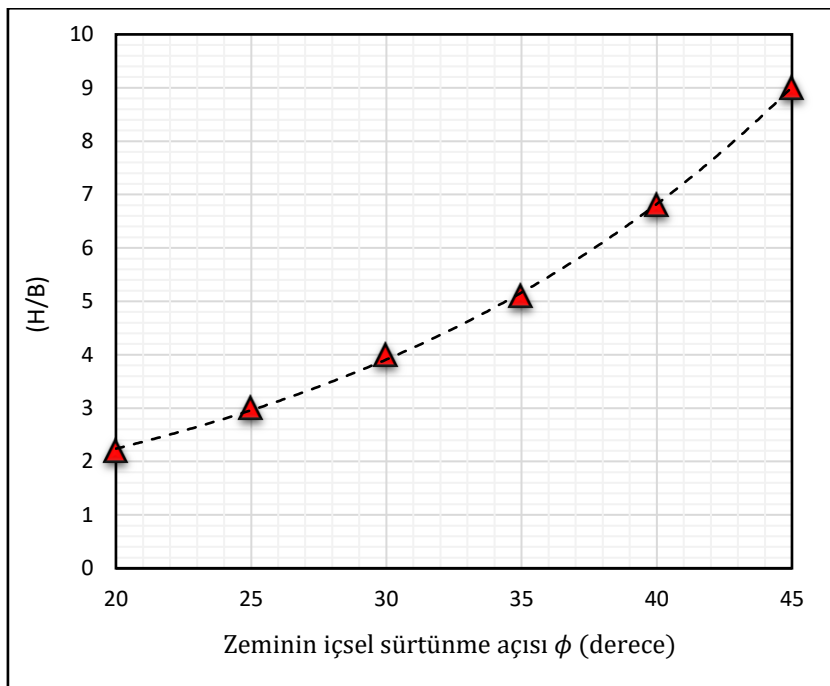
$$F_q = 1 + 2 \left[1 + m \left(\frac{H}{D}\right) \right] \left(\frac{H}{D}\right) K_u \tan \phi \quad (3.37)$$

Dikdörtgen plakalı ankraj ($B \times L$) için ise net çekme kapasitesi ve yenilme faktörü sırasıyla Eş 3.38 ve Eş 3.39'de belirtilmiştir.

$$Q_{ult} = \gamma H B L + \gamma H^2 (2 S_f L + L - B) K_u \tan \phi \quad (3.38)$$

$$F_q = 1 + \left[\left(1 + 2m \left(\frac{H}{B} \right) \right) \left(\frac{B}{L} \right) + 1 \right] \left(\frac{H}{B} \right) K_u \tan \phi \quad (3.39)$$

Kritik derinlikte yenilme faktörü maksimum değerine ulaşmaktadır ve $F_{q(cr)}$ olarak gösterilmektedir. Kritik derinlikten itibaren ankrajın gömülme derinliği artırılrsa bile kritik durumdaki yenilme faktöründe herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Yazarlar dairesel ve dikdörtgen plakalı ankrajlar için kritik gömülme oranının (H/B) zeminin içsel sürtünme açısına bağlı değişimi ise Şekil 3.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dairesel ve dikdörtgen plakalı ankrajlar için içsel sürtünme açısına bağlı kritik gömülme oranları (H/B) değerleri (Das, 1990: 32)

3.4.5. Logaritmik şekilli yenilme yüzeyi

Matsou (1967)

Limit plastik denge denklemleri ile yenilme yüzeyinin geometrisini logaritmik olarak açıklamıştır (Şekil 3.14.). Net çekme kapasitesi değeri diğer önceki çalışmalara benzer olarak yenilme yüzeyinin içinde kalan zemin ağırlığı ile yenilme yüzeyinde meydana gelen sürtünme direncinin toplamıdır. Oluşturulan yenilme yüzeyinde ankraj ile H_1 uzunluğu arasında logaritmik radyan kayma yüzeyi oluşurken, H_1 uzunluğu ile zemin yüzeyin arasında (H_2) pasif toprak basıncı oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre net çekme kapasitesi

aşağıdaki eşitlikler ve grafiklerden yararlanarak elde edilmektedir (Eş 3.40, Eş 3.41, Eş 3.42, Eş 3.43, Eş 3.44 ve Şekil 3.15.).

$$Q_{ult} = \gamma(B_2^3 K_1 - V_s) + cB_2^2 K_2 \quad (3.40)$$

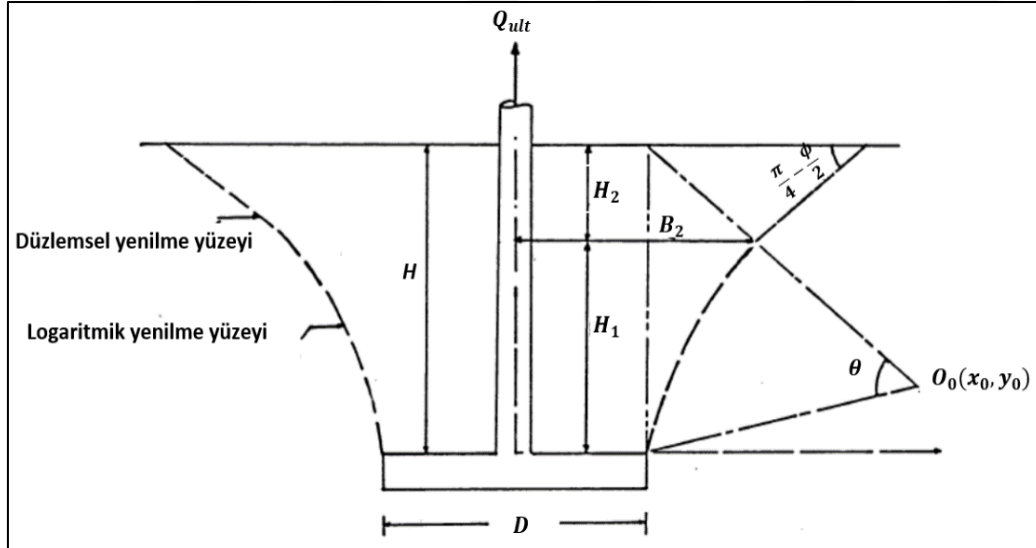
$$K_1 = \pi[(a-1)(a^2 F_1 + aF_2 + abF_3 + bF_4 + F_5) + b] \quad (3.41)$$

$$K_2 = \pi \left[(a-1)(aF_6 + F_7 + b(b \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) + 1) \right] \quad (3.42)$$

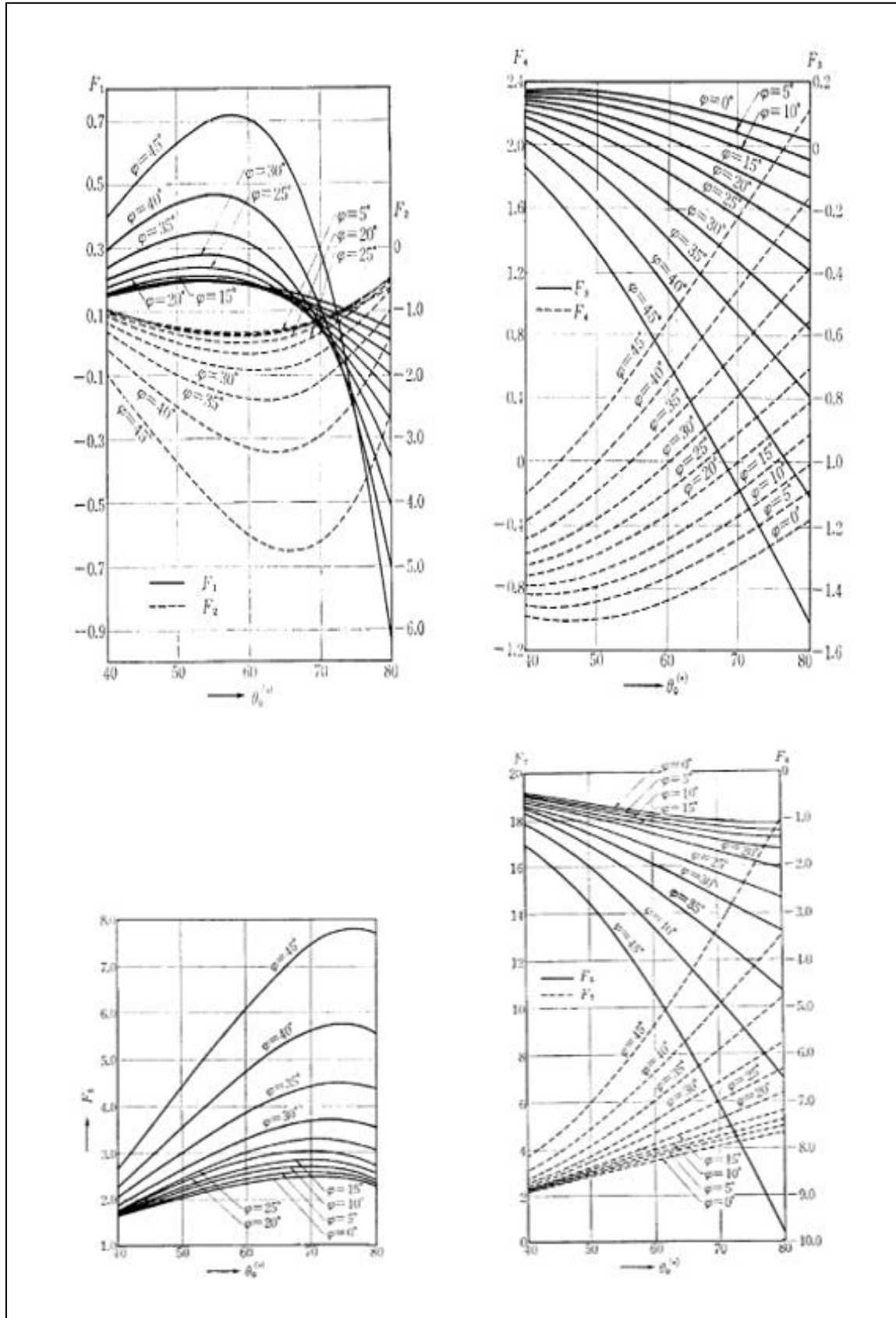
$$a = \frac{x_2}{B_2} \quad (3.43)$$

$$b = \frac{H_2}{B_2} \quad (3.44)$$

Burada $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7$ net çekme kapasitesi katsayıları olarak belirtilmektedir.



Şekil 3.14. Matsou (1967) tarafından önerilen sığ derinliklerdeki yenilme yüzeyi (Matsou, 1967)

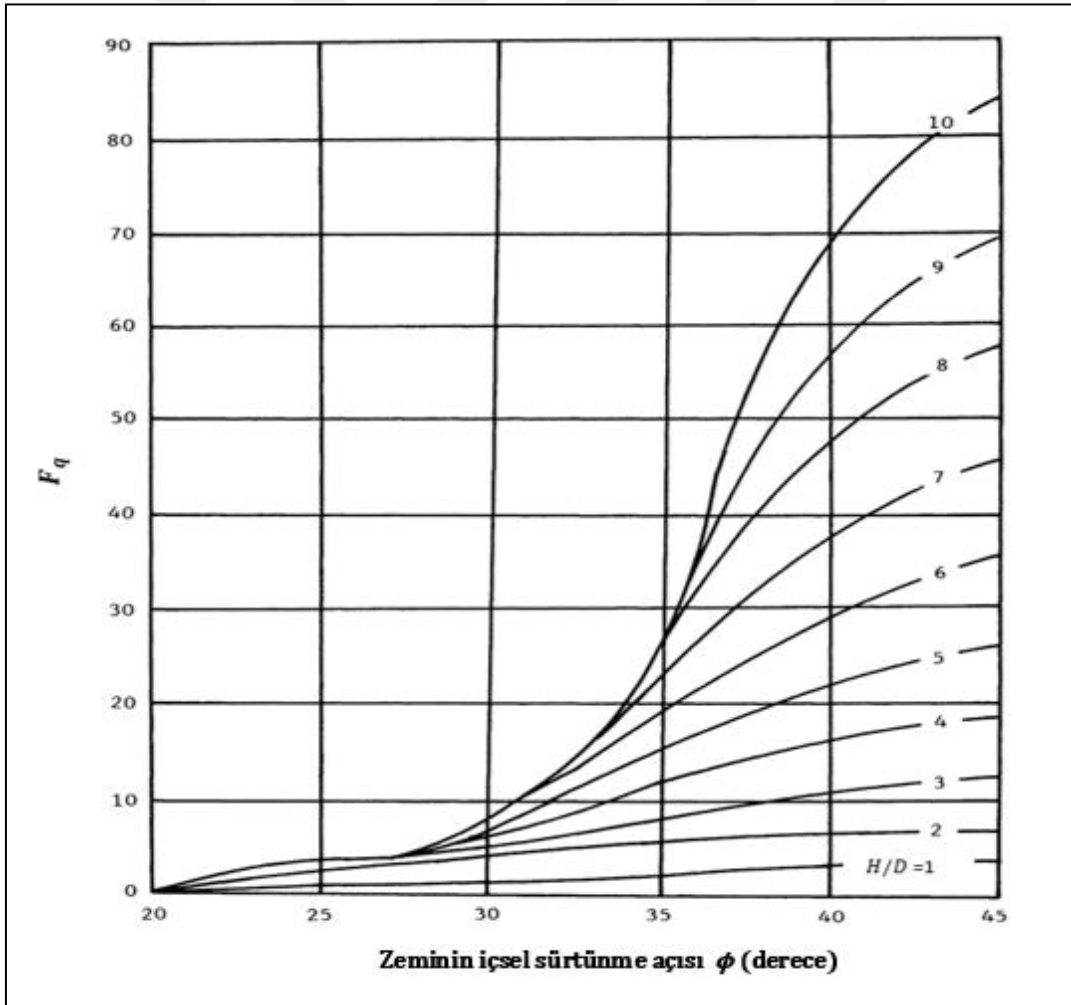


Şekil 3.15. Matsou (1967) tarafından önerilen net çekme kapasitesi katsayıları (Matsou, 1967)

Saeedy (1987)

Dairesel plakalı ankrajlar için önerilen bu yaklaşımda ankraj plakasının çekilmesi esnasında, ankraj üzerinde bulunan zeminin sıkıştığı ve bu sayede rölatif sıkılığının arttığını, bunun sonucunda zeminin kayma dayanımı ile net çekme kapasitesinin artacağını belirtmiştir. Şekil 3.16’da yazarın önerdiği yenilme faktörünün içsel sürtünme açısı ve gömülme oranına bağlı değişimi gözükmemektedir. Zeminin sıkışmasından dolayı elde edilen net çekme kapasitesinin bir düzeltme faktörü ile çarpılması gerektiğini açıklamıştır. Önerilen gerçek net çekme kapasitesi ve düzeltme faktörü sırasıyla Eş 3.45’de belirtilmiştir.

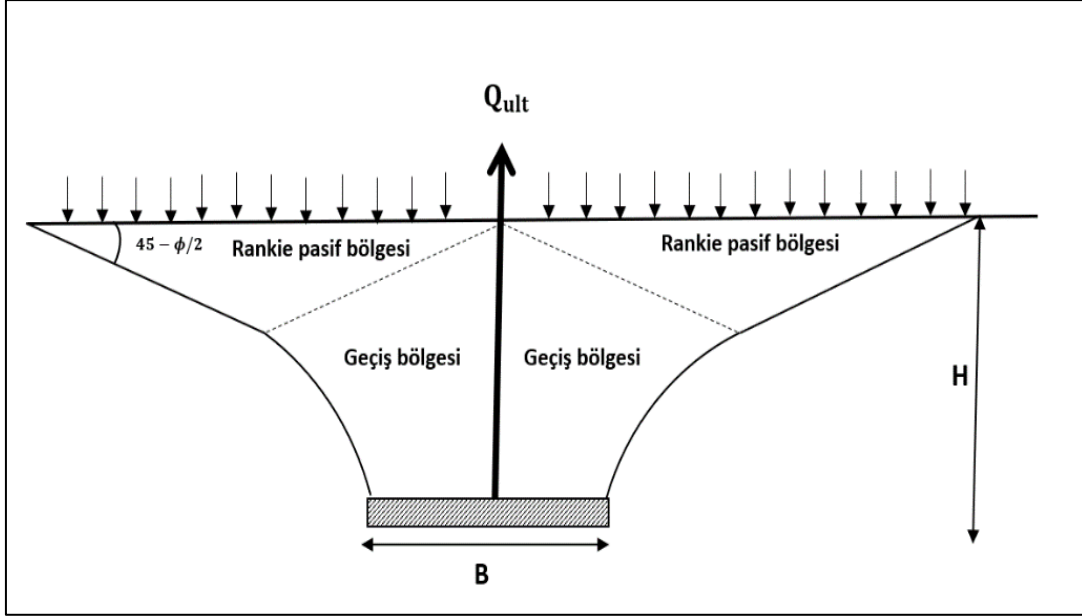
$$Q_{ult}(gerçek) = \mu Q_{ult} = (1.044D_r + 0.44)Q_{ult} \quad (3.45)$$



Şekil 3.16. Saeedy (1987) tarafından önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı yenilme faktörü (Das, 1990: 44)

Kanakapura ve diğerleri (1994)

Yaptıkları çalışmada sığ derinlikteki şerit temeller için log-spiral bir yenilme yüzeyi oluşacağını belirtmişlerdir. Ankrajın net çekme kapasitesini karakteristik yöntem adı verilen bir metotla elde etmişlerdir (Şekil 3.17.).

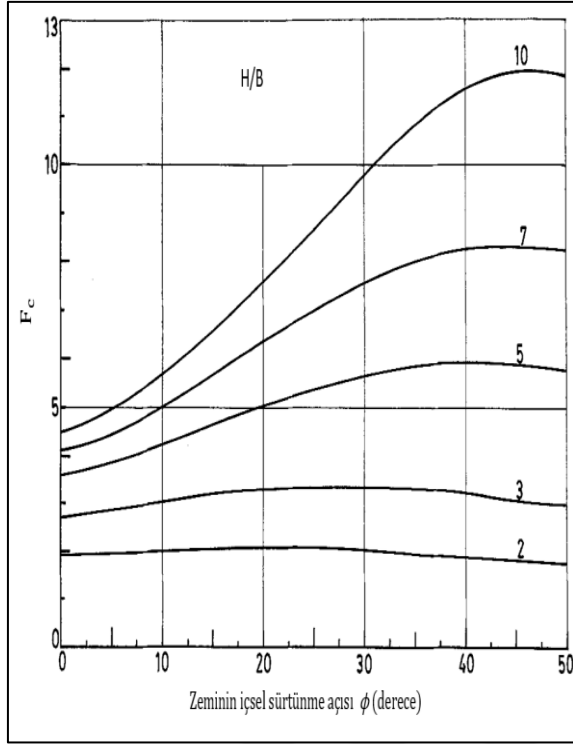


Şekil 3.17. Kanakapura ve diğerleri (1994) tarafından önerilen sığ derinliklerdeki ankrajlarda bulunan yenilme yüzeyi (Kanakapura ve diğerleri, 1994)

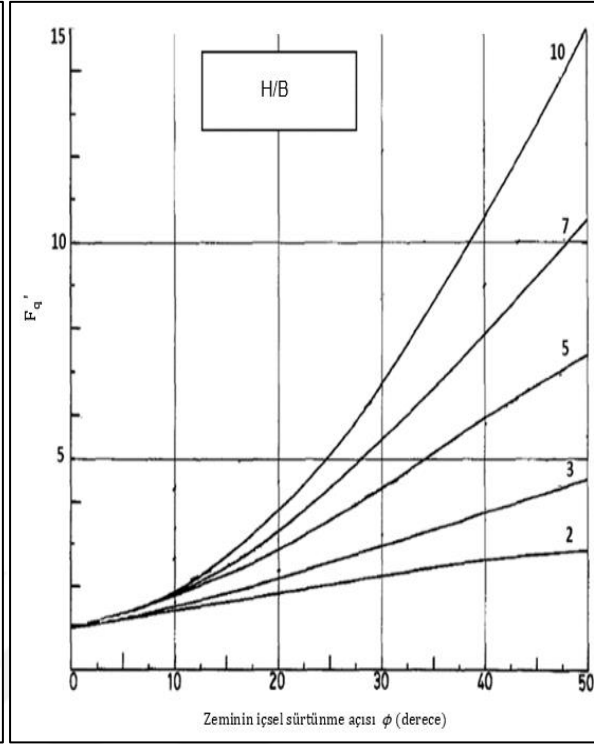
Elde edilen sonuçlara göre net çekme kapasitesi Eş 3.46'da belirtilmiştir.

$$Q_{ult} = cF_c B + qF_q' B + 0.5\gamma B^2 F_\gamma \quad (3.46)$$

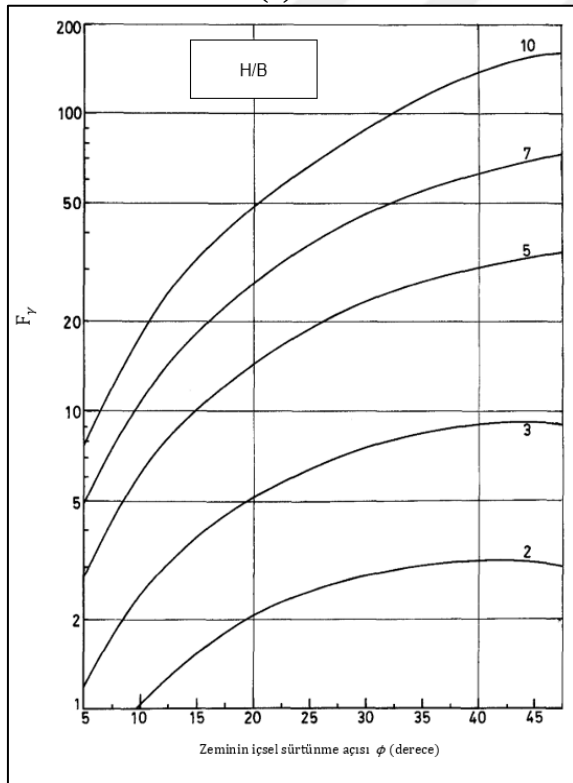
Burada F_c, F_q', F_γ değerleri kohezyon, sürşarj ve ağırlıktan kaynaklanan çekme kapasitesi faktörleri olarak belirtilmiştir (Şekil 3.18.).



(a)



(b)

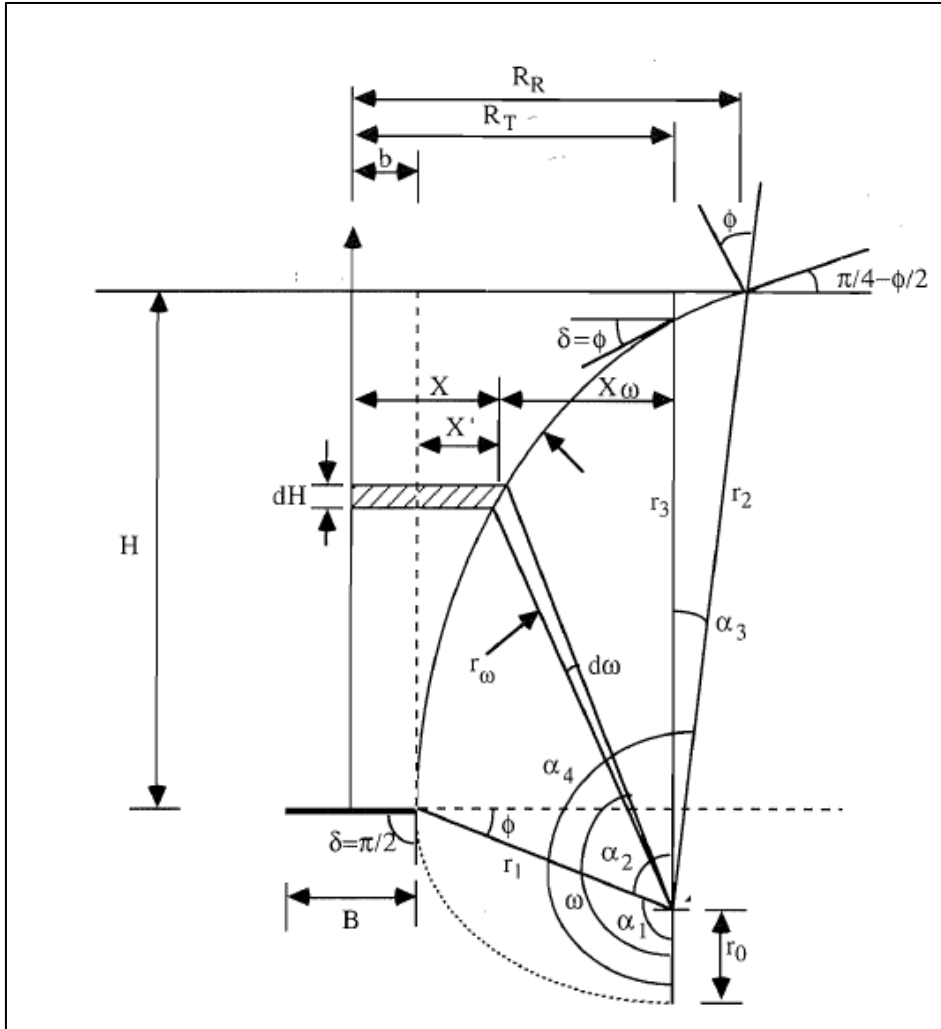


(c)

Şekil 3.18. Kanakapura ve diğerleri (1994) tarafından önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı çekme kapasitesi faktörleri: (a) kohezyona bağlı çekme kapasitesi faktörü; (b):sürşarj yüküne bağlı çekme kapasitesi faktörü; (c): Birim hacim ağırlığa bağlı çekme kapasitesi faktörü (Kanakapura ve diğerleri, 1994)

Ghaly ve Hanna (1994)

Yaptıkları çalışmalar kapsamında, kohezyonsuz zeminler içerisine gömülen dairesel ankrajların çekme kapasitesini, limit denge denklemleri ile etmiştir. Elde edilen yaklaşımda Kötter (1903) eşitliklerinden faydalanarak yenilme yüzeyi üzerinde meydana gelen kayma dayanımları elde edilmektedir. Geleneksel olarak gömülme derinliklerine göre ankrajları derin ve sığ ankraj olarak adlandırmak yerine; sığ, geçiş ve derin ankraj olarak adlandırmışlardır. Bu kısımda sadece sığ ankrajlar ile ilgili şekiller ve eşitlikler anlatılmıştır. Sığ ankrajlar için önerilen yenilme yüzeyi aşağıdaki gibidir (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Ghaly ve Hanna (1994) tarafından önerilen sığ ankrajların yenilme yüzeyi (Ghaly ve Hanna, 1994)

Araştırmacıların önerilerine göre sığ ankrajlarda logaritmik yenilmesi yüzeyi içinde kalan zeminin ağırlığı ve yenilme yüzeyine etki eden düşey kayma kuvvetleri net çekme kapasitesi

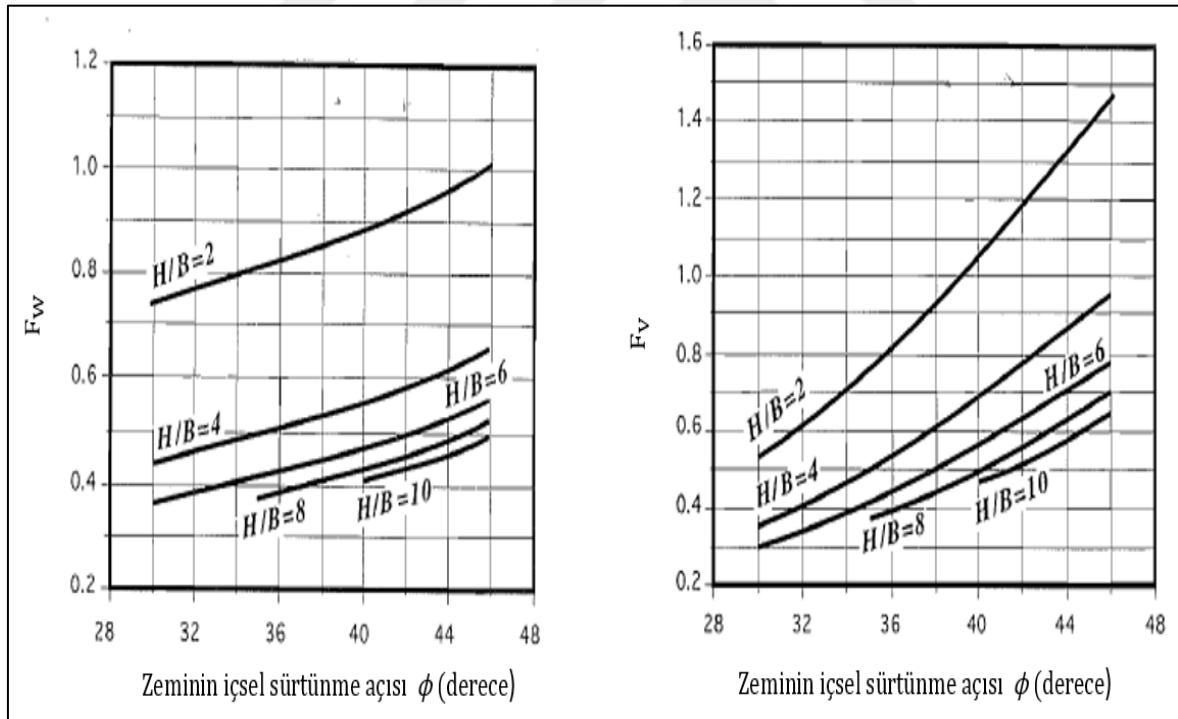
oluşturan unsurlar olarak belirtilmiştir. Yapılan diferansiyel eşitlik denklemi sonucu bu iki parametre Eş 3.47 ve Eş 3.48 ile basitleştirilmiştir. Çekme kapasitesi denklemi ise Eş 3.49'da gösterilmiştir.

$$W_s = \gamma H^3 F_w \quad (3.47)$$

$$R_{vs} = \gamma H^3 F_v \quad (3.48)$$

$$Q_{ult} = W_s + R_{vs} \quad (3.49)$$

Burada W_s sığ ankrajlar için yenilme yüzeyi içerisinde kalan zeminin ağırlığını, F_w ağırlık faktörü katsayısını, R_{vs} kayma kuvvetinin düşey elemanı, F_v ise kayma faktörü katsayısı belirtmektedir. Bilgisayar programları vasıtasıyla elde edilen grafikler yardımıyla net çekme kapasitesi elde edilebilmektedir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. F_w ve F_v değerlerinin gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı değişim grafiği (Ghaly ve Hanna, 1994)

3.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ve Limit Analiz Yöntemleri Kullanılarak Elde Edilen Yaklaşımlar

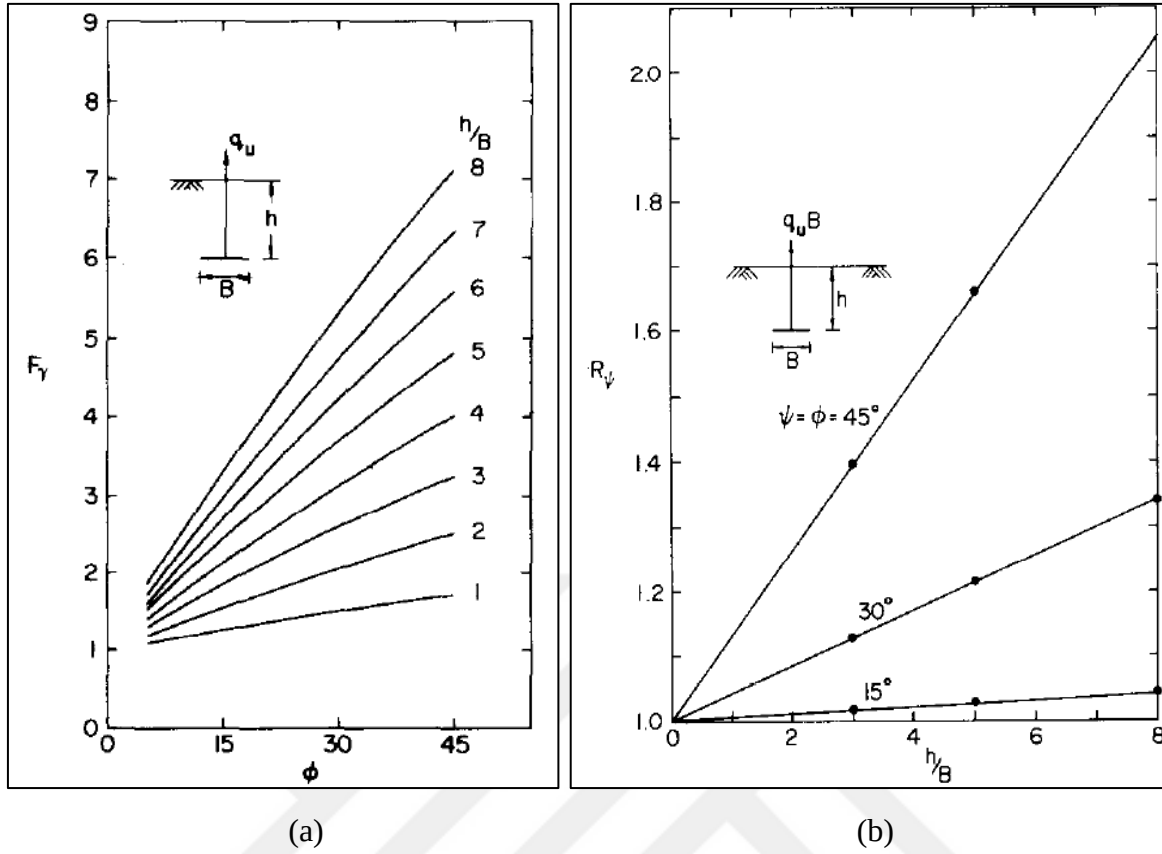
Rowe ve Davis (1982)

Yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanarak homojen ve izotropik kohezyonsuz zeminlerde yatay ve düşey doğrultuda çalışan plakalı ankrajların davranışlarını incelemiştir. Çalışma kapsamı gereği olarak sadece kohezyonsuz zemine gömülü düşey doğrultuda çalışan plakalı ankrajların davranışı açıklanmıştır. Araştırmacılar; ankrajın gömülme derinliği, pürüzlülüğü, inceliği ve geometrik şeklinin ankrajın çekme kapasitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan bu analizde düzlemsel deformasyon şartları baz alınmış olup, zemin modeli olarak Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ankraj net çekme dayanımını Eş 3.50 ve Eş 3.51 ile elde edilmektedir.

$$Q_{ult} = F'_q \gamma H A \quad (3.50)$$

$$F'_q = F_y R_\psi R_R R_K \quad (3.51)$$

Burada F'_q modifiye yenilme faktörünü, F_y yenilme faktörünü, R_ψ dilatasyon düzeltme katsayısını, R_R pürüzlülük düzeltme katsayısını, R_K sükûnetteki toprak basıncı düzeltme katsayısını belirtmektedir. Yatay plakalı ankrajlarda elde edilen sonuçlara göre pürüzlülük ve sükûnetteki toprak basıncının etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görüldüğü için bu katsayılar için 1 değeri alınması önerilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sığ derinlikte ankrajlar için çeşitli grafikler önerilerek net çekme kapasitesi elde edilecektir (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. Rowe ve Davis (1982) tarafından önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı değerler; (a): yenilme faktörü, (b) içsel sürtünme açısı dilatasyon açısına eşit olduğu varsayılan dilatasyon düzeltmesi (Rowe ve Davis, 1982)

Elde edilen grafikler dilatasyon düzeltmesi durumu dilatasyon açısı içsel sürtünme açısına eşit olduğu durum için önerilmektedir. Bu nedenle dilatasyon düzeltme katsayısı işlemi Eş 3.52'deki gibi yapılmaktadır.

$$R_\psi = 1 + \left(\frac{\psi}{\phi}\right) (R_{\psi(\psi=\phi)} - 1) \quad (3.52)$$

Vermeer ve Sutjiadi (1985)

Şerit plaka ankrajlar için elostoplastik sonlu elemanlar yöntemi kullanarak elde edilen yenilme faktörü Eş 3.53'de belirtilmiştir.

$$F_q = 1 + \left[\frac{H}{B} \frac{H}{L}\right] \tan \phi \cos \phi_{cv} \quad (3.53)$$

Burada ϕ_{cv} kesme deneyinde hacim değişimin gerçekleşmediği andaki içsel sürtünme açısını belirtmektedir.

Murray ve Geddes (1987)

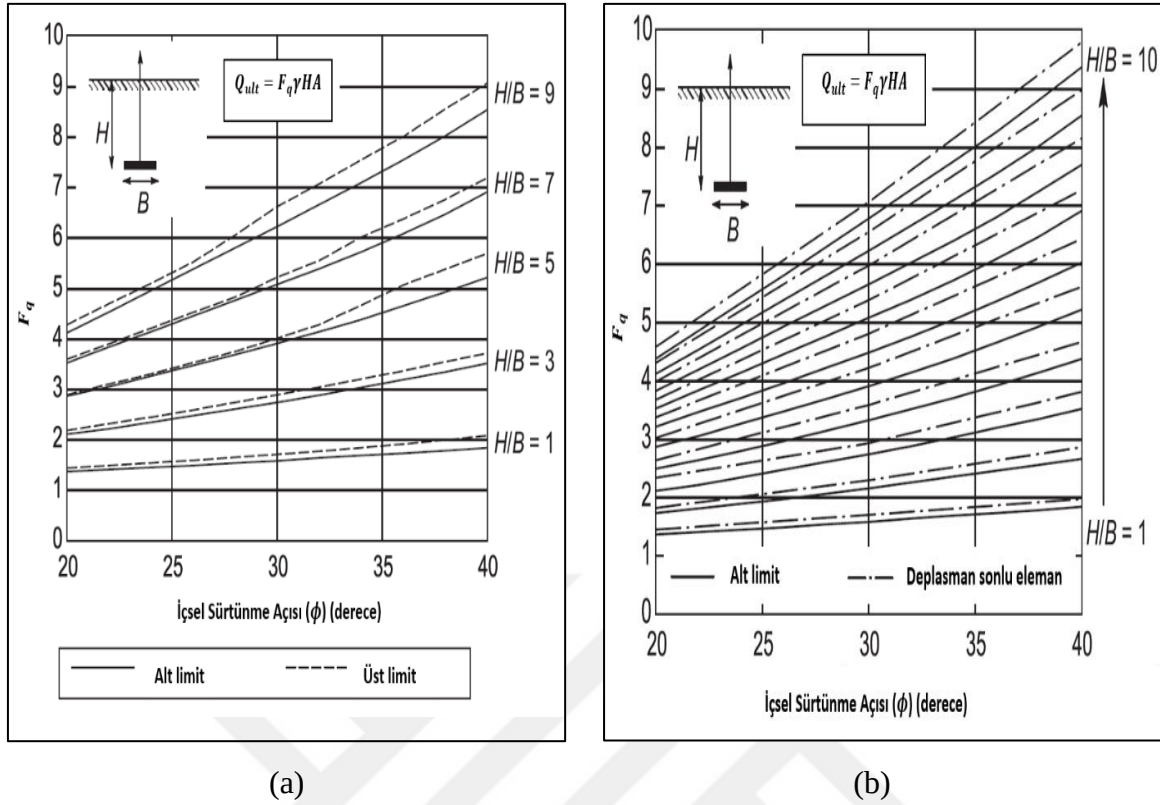
Yaptıkları çalışmalarda, farklı rölatif sıkılık değerlerine sahip kohezyonsuz zeminler için gömülü ankrajlar çekme davranışını araştırmışlardır. Ankrajın çekme davranışına; ankraj plakasının geometrik şekli, gömülme derinliği, pürüzlülüğünün etkisini limit denge denklemi ve limit analiz yöntemleri kullanılarak incelemiştir. Bu kısımda limit analiz kullanarak elde ettikleri eşitlikler açıklanacaktır. Limit analiz yöntemi plastisite teorisine dayanmaktadır. Bu yöntem kullanılırken üst sınır tercih edilmiştir. Şerit ve dairesel ankrajlar için net çekme kapasiteleri sırasıyla Eş 3.54 ve Eş 3.55’de belirtilmiştir.

$$F_q = 1 + \frac{H}{B} \tan \phi \quad (3.54)$$

$$F_q = 1 + 2 \frac{H}{D} \tan \phi \quad (3.55)$$

Merified ve Sloan (2006)

Yazarlar yaptıkları çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanarak kohezyonsuz zeminlere gömülü şerit plaka ankrajların davranışı incelenmiştir. Bu amaçla alt limit, üst limit ve deplasman sonlu elemanları yöntemleri kullanılmıştır. Zemin yenilme kriteri olarak ise Mohr-Coulomb yenilme kriteri seçilmiştir. Şekil 3.22.’de şerit plakalı ankrajlar için, çeşitli gömülme derinliklerinde elde edilen yenilme faktörü değerleri gösterilmiştir.



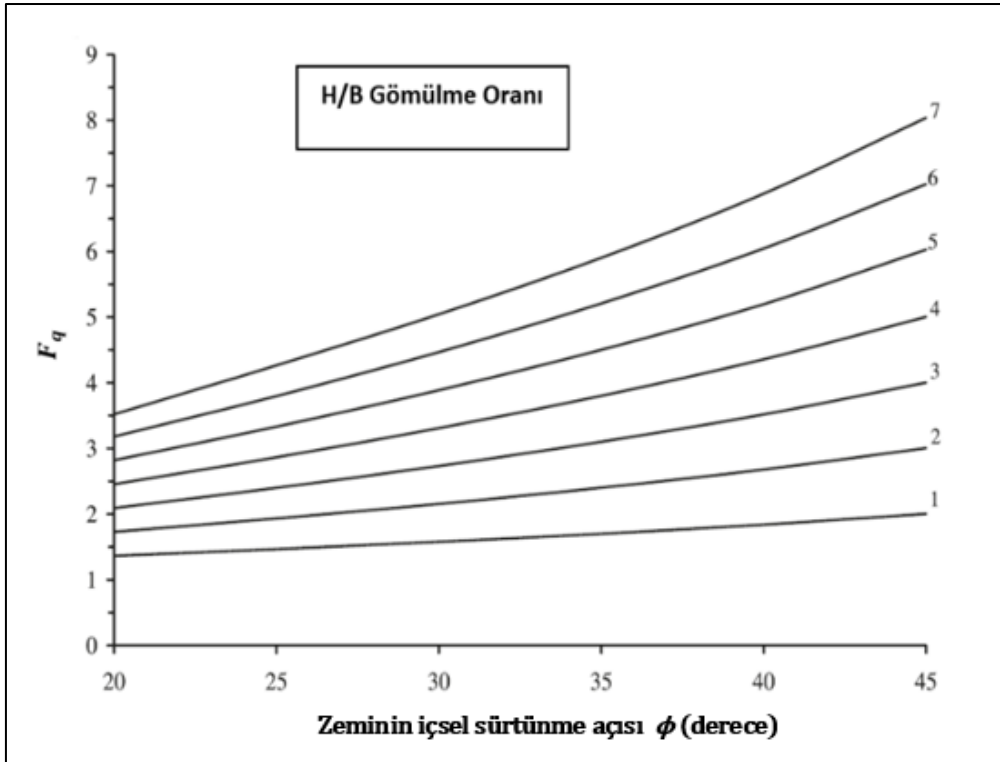
Şekil 3.22. Yenilme faktörü değerlerinin içsel sürtünme açısı ve gömülme oranına bağlı olarak elde edilmesi; (a): limit analiz yöntemi, (b): deplasman sonlu elemanlar yöntemi (Merified ve Sloan, 2006)

Dickin ve Laman (2007)

Yaptıkları çalışmada, Dickin (1988) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçları ile PLAXIS 2D sonlu elemanlar programı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çekme etkisi altında kohezyonsuz zeminin lineer olmayan davranışının modellenmesi için elasto plastik hiperbolik model olan pekleşen zemin modeli kullanılmıştır. Ankraj plakası ile zemin arasında oluşan sürtünme davranışında gerilme azaltma faktörü 1 seçilerek tamamen pürüzlü ankraj tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sükûnetteki yanal toprak basıncı katsayısının değeri net çekme kapasitesini etkilememektedir. Ayrıca PLAXIS 2D sonlu elemanı ile elde edilen sonuçlar, deneysel çalışmalar ve daha önceki araştırmacılar tarafından bulunan analitik yaklaşımlar ile benzerlik gösterdiği ortaya koyulmuştur.

Kumar ve Kouzer (2007)

Yazarlar yaptıkları çalışmada, üst limit sınırları ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak kohezyonsuz zeminlerde bulunan şerit plakalı ankrajların davranışını incelemiştir. Kesik koni şeklinde yenilme düzleminin olduğu düşünülmüş ve zemin yüzeyi ile yenilme yüzeyi arasında bulunan düşey açısını $90 - \phi/2$ 'e eşit olduğu belirtilmiştir. Zemin yenilme kriteri olarak Mohr-Coulomb yenilme kriteri belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yenilme faktörünün değeri, Murray ve Geddes (1987) çalışması ile benzerlik göstermektedir (Şekil 3.23.).

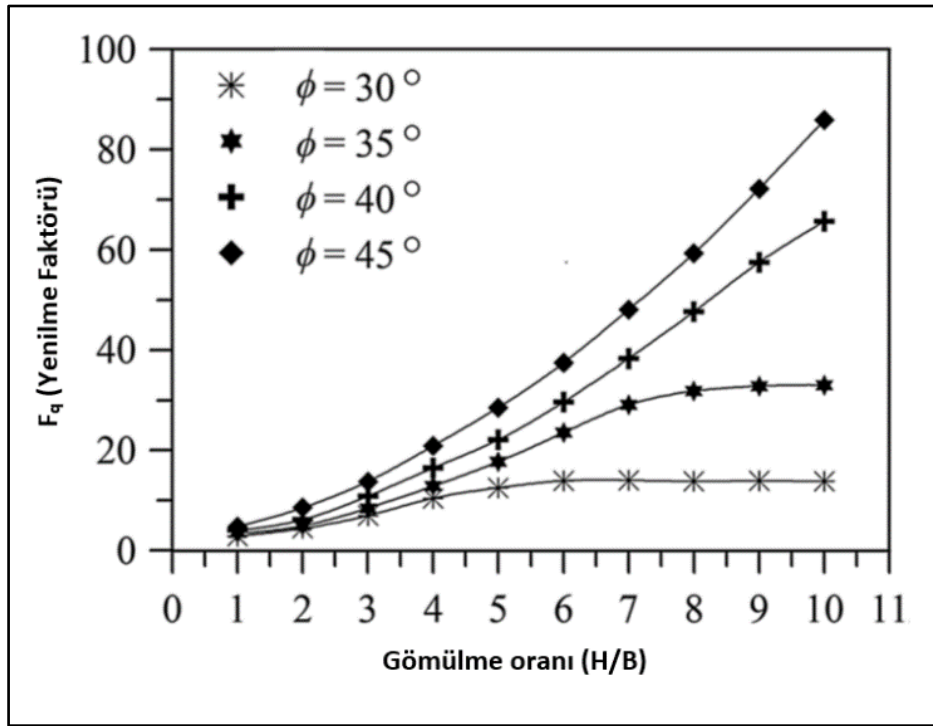


Şekil 3.23. Kumar ve Kouzer (2007) tarafından şerit ankrajlar için önerilen gömülme oranı ve içsel sürtünme açısına bağlı yenilme faktörü değişimi (Kumar ve Kouzer, 2007)

Choudhary ve diğerleri (2018)

Yaptıkları çalışmada kohezyonsuz zemine gömülü kare ankrajın çekme davranışını FLAC3D sonlu elemanlar programı kullanılarak, zeminin içsel sürtünme açısı, dilatasyon açısı, zeminin modülü ve ankrajın gömülme oranına bağlı incelenmiştir (Şekil 3.24.). Ankrajın çekme davranışına, zeminin Elastisite modülünün etkisini (10 MPa, 30 MPa, 60

MPa) incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre zemin Elastisite modülü; yük deplasman grafiğinin eğimi üzerinde etkili olurken, ankrajın çekme kapasitesinin üzerindeki etkisinin oldukça marjinal olduğu görülmüştür. Dilatasyon açısının ankrajın çekme kapasitesi üzerindeki etkisi incelendiğinde ise, zeminin yenilme faktörünün dilatasyon açısına doğrudan bağlı olduğu ve bu açı değerinin artması ile çekme kapasitesinin arttığı belirtilmiştir.



Şekil 3.24. Choudhary ve diğerleri (2018) tarafından önerilen içsel sürtünme açısının gömülme oranı ve yenilme faktörü ile olan ilişkisi (Choudhary ve diğerleri, 2018)

3.6. Deneysel Çalışmalar

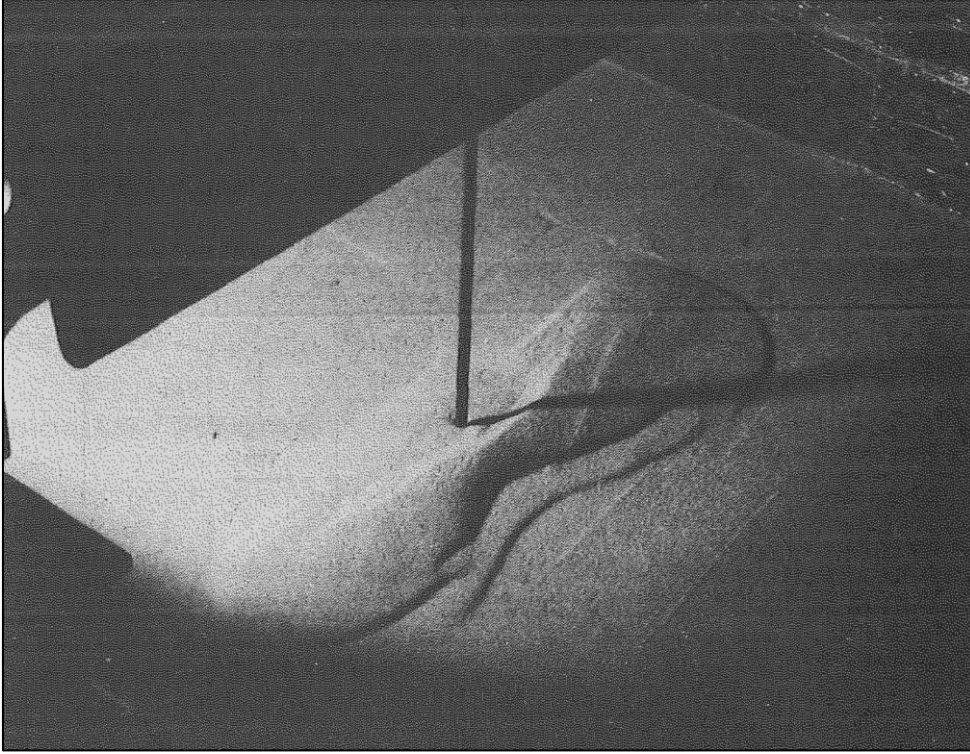
Dickin (1988)

Yazarın yaptığı çalışmalarda kullanılan deney tankının boyutları 460 mm × 570 mm × 230 mm (uzunluk × genişlik × yükseklik) olup, 25 mm genişliğinde ve farklı uzunluklardaki (L/B=1, 2, 5, 8) dikdörtgen plakalı ankrajlar kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kohezyonsuz zeminler, iki farklı rölatif sıkılık (% 33 ve % 76) değeri için incelenmiştir. Ankrajın gömülme derinliği arttıkça ve zeminin sıkılığı azaldıkça çekme kapasitesinde oluşan deplasman değerinde artış olduğunu gözlemlenmiştir. Gömülme oranı, ankrajın alanı ve zeminin sıkılığının, net ankraj kapasitesine etkisinin olduğu belirtilmiştir. (Resim 3.1.).

Ankraj plakanın uzunluğunun genişliğine oranı 8 olan deneylerden elde edilen sonuçlar şerit plaka ankraj olduğu varsayılarak şekil faktörü elde edilmiştir. Elde edilen amprik şekil faktörü Eş 3.56.'da belirtilmektedir.

$$S_f = \frac{F_q}{F_{q(\text{şerit})}} = 1 - \frac{aB}{3LH} (6B - 7H) \quad (3.56)$$

Burada; a sabit katsayısının gevşek zeminleri için 0.4 ve sıkı zeminler için 1 alınması önerilmiştir.



Resim 3.1. Sıkı kumlara gömülü sıg ankrajdan görüntülen yüzey kabarmaları (Dickin, 1988)

Sakai ve Tanaka (1998)

Yaptıkları çalışmada sıkı kumlarda kullanılan dairesel plakalı (30, 50, 100, 200 mm çapında) ankrajların boyut etkisini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak nümerik olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre deneysel ve nümerik sonuçların birbirleri ile uyumlu oldukları görülmüştür. Ayrıca ankrajın gömülme derinliği artıkça net çekme kapasitesinde de artış meydana geldiği ispatlanmıştır.

Remeshbabu (1998)

Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda kohezyonsuz zemine gömülü ankrajın yenilme faktörü için Eş 3.57 ve Eş 3.58'i önermiştir.

Şerit ankrajlar için;

$$F_q = 3.24 \left(\frac{H^2}{A} \right)^{0.34} \tan \phi \quad (3.57)$$

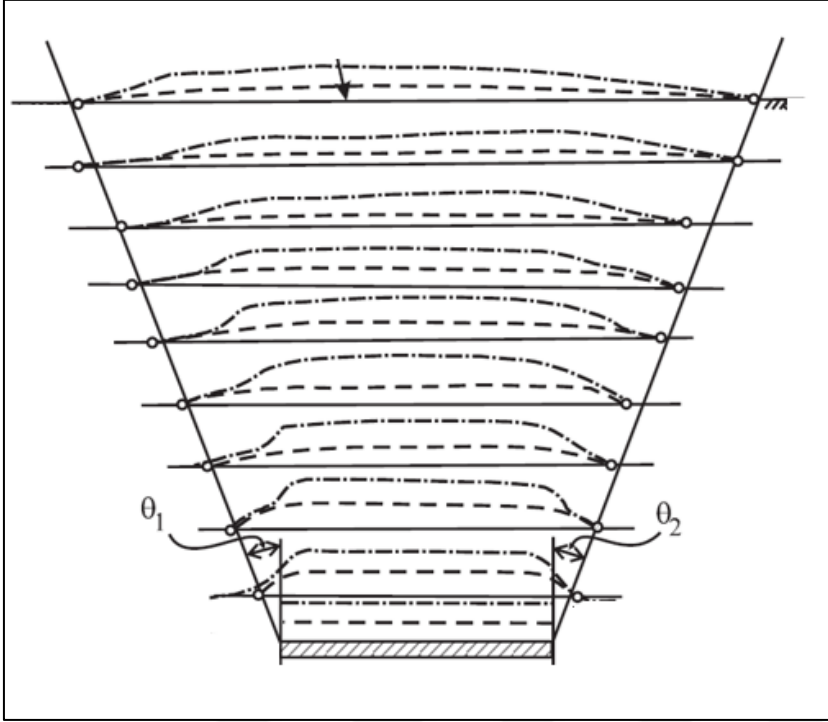
Dairesel ve kare ankrajlar için;

$$F_q = 3.74 \left(\frac{H^2}{A} \right)^{0.34} \tan \phi \quad (3.58)$$

Burada H ankrajın gömülme derinliği ve A ise ankrajın alanını belirtmektedir.

Ilamparuthi ve diğerleri (2002)

Yaptıkları deneysel çalışmada dört farklı çap uzunluğuna sahip dairesel plakalı ankrajın (100, 200, 300, 400 mm) davranışını zeminin sıkılığına (gevşek, orta sıkı, sıkı) ve gömülme oranına göre incelemiştir. Ankrajın zemin içerisindeki yenilme yüzeyinin gözlemlenmesi için ise 100 mm ve 150 mm çapı aralığında yarım dairesel ankrajlar kullanılmıştır. Yarım dairesel plakalı ankrajlar için kullanılan deney tankının boyutları 1000 mm × 500 mm × 1200 mm (uzunluk × genişlik × yükseklik) olup zeminin hareketlerinin gözlemlenebilmesi amacıyla 20 mm kalınlığında plastik cam yerleştirilmiştir. Tam dairesel ankrajlar için ise 1500 mm çapında ve 1500 mm genişliğinde çelik bir kum tankı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sığ derinliklerde yenilme yüzeyi şekli zemin konisine benzerken, ankrajın köşesi ile yenilme düzlemi arasında bulunan yatay açı değeri $90 - \phi/2$ 'e eşit olduğu belirtilmiştir (Şekil 3.25.). Kritik gömülme oranları için çeşitli yaklaşımlar öneren araştırmacılar gevşek kumda 4.8 ; orta sıkı kumda 5.9 ; sıkı kumda ise 6.8 olarak kritik gömülme oranları bulmuşlardır.



Şekil 3.25. Ilamparuthi ve diğerleri (2002) tarafından sıg ankrajlar için gözlemlenen yenilme yüzeyi

Bildik ve Laman (2011)

Yaptıkları deneysel çalışmada kullanılan kum tankının boyutları 700 mm × 700 mm × 700 mm (uzunluk × genişlik × yükseklik) olup tankın ön yüzü plastik cam ile kaplanarak zeminin hareketi gözlemlenmiştir. Deneylerde 50 mm ve 75 mm çapında dairesel ankrajlar, 50 mm × 50 mm ve 75 mm × 75 mm kare ankrajlar, 25 mm × 50 mm, 12.5 mm × 50 mm ebatlarında dikdörtgen plakalı ankrajlar kullanılmıştır (Resim 3.2.). Gevşek ve sıkı olmak üzere 2 farklı rölatif sıklıkta kohezyonsuz zemin kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ankrajın gömülme derinliği oranı arttıkça, kullanılan zeminin sıklığı arttıkça, ankrajın uzunluğunun genişliğine oranının artması ile net çekme kapasitesinde artışlar meydana gelmektedir. Aynı ebatlara sahip (genişlik ve çaplar eşit) dairesel ve kare plaka ankrajlar karşılaştırıldığında ise, yenilme faktörleri ve net çekme kapasitelerini birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç ise eş değer alanlara sahip ankraj geometrisinin çekme davranışına etkisinin oldukça az olduğunu göstermektedir. Bir diğer elde edilen sonuç ise gevşek zeminlerde elde edilen sonuçlar Vesic (1971) tarafından açıklanan teorik sonuçlara yakın çıkarken, sıkı zeminler için ise Meyerhof ve Adams (1968) teorik yaklaşımı deneysel sonuçlara benzer sonuçlar vermektedir.



(a)

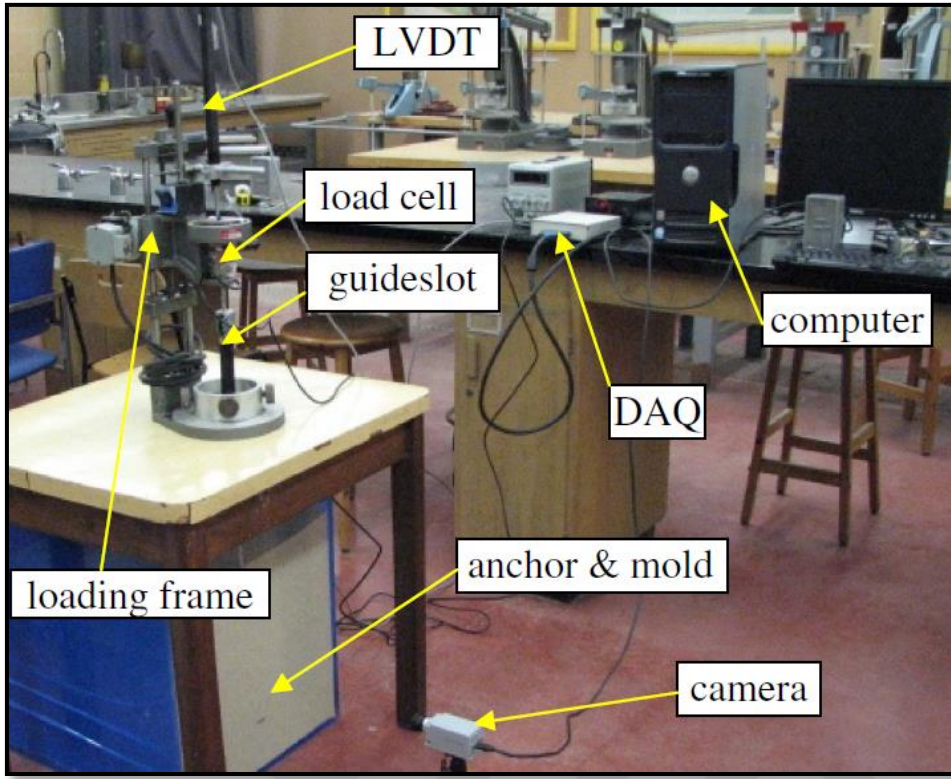


(b)

Resim 3.2. Bildik ve Laman (2011) tarafından yapılan deneysel çalışma; (a): deney düzeneği, (b): deneyde kullanılan model ankrajlar (Bildik ve Laman, 2011)

Liu ve diğerleri (2012)

Yaptıkları çalışmada kohezyonsuz zemin içerisine gömülü bulunan plaka ankrajın etrafındaki zeminde çekme sonucunda oluşan deformasyon davranışı incelenmiştir. Zeminin hareketini gözlemleyebilmek için plastik cam önüne yüksek çözünürlüklü bir kamera yerleştirilerek dijital ortamda fotoğraflar çekilmiştir (Resim 3.3.). Kullanılan deney tankının boyutları 500 mm × 300 mm × 500 mm (uzunluk, genişlik, yükseklik) olup 50.8 mm çapında ve 5 mm kalınlığında yarım dairesel plaka ankraj olarak kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ince gevşek, ince sıkı, iri gevşek ve iri sıkı kum zeminler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, rölatif sıklık net çekme kapasitesini etkilerken, danelerin irilik veya inceliği bu kapasiteye etkisi oldukça düşüktür. Çekme kapasitesinin oluşacağı deplasman değerleri karşılaştırıldığında ise gevşek zeminlerin daha büyük deplasman değerlerinde mobilize olduğu belirtilmiştir. Zeminin sıklığının yenilme yüzeyi üzerinde de etkili olduğu görülmüştür. Gevşek zeminlerde sıkı plaka ankrajlar için yenilme yüzeyi silindirik bir şekil olarak gözlemlenirken, sıkı zeminlerde zemin konisi şeklinde gözükmemektedir. Sıkı zeminlerde ankrajın köşesi ile yenilme düzlemi arasında bulunan yatay açı değeri $90 - \phi/2$ olarak gözlemlenmiştir. Gömülme derinliğinin ise çekme kapasitesi ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir.



Resim 3.3. Yenilme yüzeyinin belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği (Liu ve diğerleri, 2012)

Niroumand ve Kassim (2014a, 2014b)

Yaptıkları çalışma kapsamında rölatif sıklığı gevşek olan zeminler için farklı çaplara sahip (50, 75, 100 mm) dairesel ankrajlar kullanılmıştır. Rölatif sıklığı gevşek ve orta sıkı olan kohezyonsuz zeminler için dikdörtgen ankrajlar (50 mm $\times$ 200 mm, 75 mm $\times$ 300 mm) kullanarak çekme kapasitesi incelenmiştir. Deneyde kullanılan model tankı 500 mm genişliğinde, 1000 mm uzunluğunda ve 1200 mm yüksekliğindedir (Resim 3.4.). Bu deneyler PLAXIS 2D sonlu elamanlar programı ile modellenmiştir. Modelleme sırasında zemin modeli olarak pekleşen zemin kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre zeminin sıklığının, gömülme derinliğinin ve ankrajın boyutunun artması sonucunda ankrajın çekme kapasitesinde artışlar meydana gelmektedir. Sonlu elemanlar ile modellemelerde elde edilen çekme kapasitesi gerçek değerlere göre büyük çıkması da elde edilen diğer bir sonuçtur.

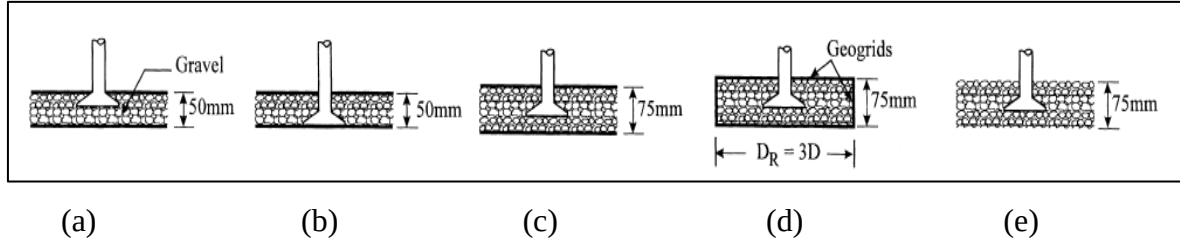


Resim 3.4. Niroumand ve Kassim (2014 a-b) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma;
(a): Deney tankı, (b) Dikdörtgen ankrajlar (Niroumand ve Kassim, 2014a,2014b)

3.7. Geosentetik Malzemeler Kullanılarak Ankrajların Güçlendirilmesi

Krishnaswamy ve Parashar (1994)

Yaptıkları çalışmada kohezyonlu ve farklı sıklıklara sahip kohezyonsuz zeminlerde gömülü olarak bulunan plaka ankrajlar, çeşitli geosentetik malzemelerle güçlendirerek, çekme kapasitesi performansını incelemişlerdir. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için 2 farklı tank kullanılmıştır. Kohezyonsuz zeminler için 700 mm × 700 mm × 600 mm (uzunluk × genişlik × yükseklik) ebatlarında prizmatik bir tank kullanılırken, kohezyonlu zeminlerde 600 mm çapında ve 800 mm yüksekliğinde silindirik bir tank kullanılmıştır. Kullanılan model ankrajlar kare, dairesel ve dikdörtgen ($L/B=2$ ile 5 arası) olarak belirlenmiştir. Geosentetik malzeme olarak ise farklı açıklıklara ve çekme dayanımına sahip HDPE geogridler ile örgülü, örgüsüz geotekstiller ve geokompozitler kullanılmıştır. Geosentetik malzemelerin konumun etkisinin incelenmesi için aşağıdaki şekilde görülen yerleştirmeler yapılmıştır (Şekil 3.26.).



Şekil 3.27. Ilamparuthi ve Dickin (2001) tarafından gerçekleştirilen geogrid ile güçlendirme çalışmaları; (a): 1.Yöntem, (b): 2.Yöntem, (c): 3.Yöntem, (d): 4.Yöntem, (e): 5.Yöntem (Ilamparuthi ve Dickin, 2001)

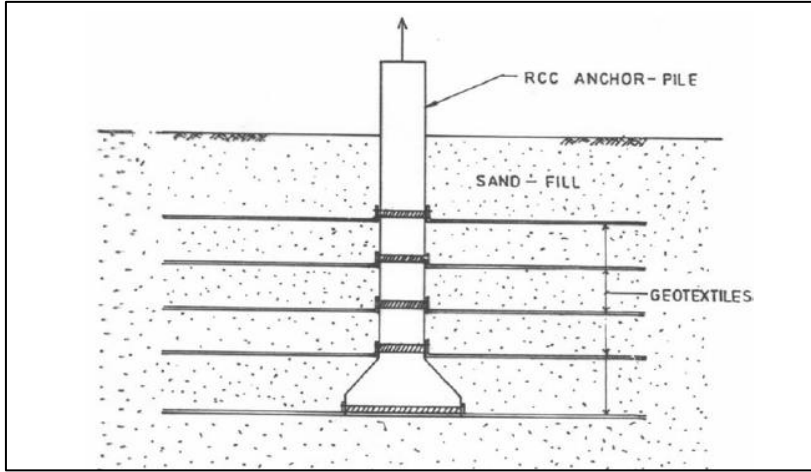
Elde edilen sonuçlara göre geogrid malzemeler kullanılarak çekme dayanımında önemli iyileşmeler görülmüştür. Geogridlerin birleştirilmesi sonucu oluşan hücresel yapıda en büyük çekme kapasitesi elde edilmiştir. Güçlendirilmemiş durum ile karşılaştırıldığında çekme kapasitesi geogrid hücrelerde gevşek kohezyonsuz zeminlerde 7 kat, sıkı zeminlerde ise 1.5 kat artış göstermiştir.

Ghost ve Bera (2010)

Yaptıkları çalışmada geotekstiller ile güçlendirilmiş ucu genişleyen kazıkların davranışı incelenmiştir (Şekil 3.28.). Elde edilen sonuçlara göre, gömülme oranı, geotekstil sayısı (2'den itibaren marjinal) ve ucu genişletilmiş kazığın çapı arttıkça çekme dayanımında artış meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarına göre geotekstil ile güçlendirilen ucu genişletilmiş kazıklar için aşağıdaki amprik eşitliği (Eş 3.77) önerilmiştir.

$$Q_{ult(r)} = 1.064531(Q_{ult})^{0.920054} \left(\frac{H}{D}\right)^{0.1011538} \left(\frac{\Delta}{D}\right)^{-0.01997} N^{0.022986} \quad (3.77)$$

Burada $Q_{ult(r)}$ geotekstil ile güçlendirilmiş net çekme kapasitesini, Δ güçlendirilmiş çekme dayanımında meydana gelen deplasman değerini (mm), N ise geotekstil sayısını belirtmektedir.



Şekil 3.28. Ghost ve Bera (2010) tarafından araştırılan geotekstillerle güçlendirilmiş deney düzeneği

Makarchian ve diğerleri (2012)

Yaptıkları çalışmada kohezyonsuz zemin içerisinde bulunan farklı çaplara sahip ankrajların farklı sayıda geonetler (0-4) ile güçlendirilmesi durumunu araştırmışlardır. 600 mm × 600 mm × 600 mm (uzunluk, genişlik, yükseklik) boyutlarında bulunan deney tankında gerçekleştirilen deney; 2 farklı sıklıkta gerçekleştirilmiş olup, ankrajın gömülme derinliğinin etkisi de araştırılmıştır. Hazırlanan deney düzeneği PLAXIS sonlu elemanlar programı ile modellenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zemin modeli olarak Mohr-Coloumb zemin modeli seçilen programda, geonet ise geogrid olarak modellenmiştir. Deneysel sonuçlar ile nümerik modelleme sonuçları arasında gözle görülür bir uyum elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geonet sayısı arttıkça çekme dayanımında artış görülürken, 3 adet geonetten fazla olduğu durumda ise artışın ihmal edilebilir bir düzeyde olduğu görülmüştür.

Niroumand ve diğerleri (2013)

Yaptıkları deneysel ve nümerik çalışmada geogrid malzemeler kullanarak kohezyonsuz zeminde gömülü bulunan yatay plaka tipi ankrajların (dairesel, kare, dikdörtgen) çekme dayanımlarının artışını incelemişlerdir (Resim 3.5.). Elde edilen deney sonuçlarına göre amprik yenilme faktörleri elde edilmiştir. İki farklı rölatif sıklık değeri incelenmiş olup, bunlar; gevşek ve sıkı olarak belirtilmiştir. Gevşek zeminin elde edilmesi için yağmurlama yöntemi kullanılırken, sıkı zemin için sıkıştırma yöntemi kullanılmıştır. İki farklı zemin

tankında incelenen deneylerde birinci tankın ebatları; 600mm × 250mm × 450mm (uzunluk, genişlik, yükseklik), ikincisinin ebatları ise 1000mm × 500mm × 1200mm (uzunluk, genişlik, yükseklik) olarak belirtilmiştir. Hazırlanan deney düzeneği PLAXIS sonlu elemanlar programı ile modellenmiş olup, kullanılan zemin modeli olarak pekleşen zemin modeli tercih edilmiştir. Deneysel ve nümerik çalışmada geogrid malzemenin gömülme derinliği, sayısı, uzunluğunun değiştirilerek net çekme kapasitesindeki iyileştirmeler ve yenilme yüzeyinde genişlemeler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geogrid çekme dayanımına etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ankrajın üzerine yerleştirilen geogrid sayısı incelendiğinde ise tek bir geogridin etkili olduğu birden fazla geogridlerin ise etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüş olup, birden fazla geogrid kullanılması durumunda geogridler arasındaki mesafenin ankraj genişliğinin yarısında daha küçük olması önerilmiştir. Deneysel ve nümerik araştırmalardan elde edilen sonuç birbirleri ile paralellik göstermektedir. Kare ve dairesel ankrajlar için elde edilen amprik eşitlik aşağıda verilmektedir (Eş 3.78, Eş 3.79, Eş 3.80, Eş 3.81.)

Gevşek zeminler için (sırasıyla kare ve dairesel ankraj);

$$F_q = 1.17 + 2.88 \left(\frac{H}{B} \right) - 0.12N \quad (3.78)$$

$$F_q = 1.36 + 2.79 \left(\frac{H}{D} \right) - 0.12N + 0.06 \left(\frac{X}{D} \right) \quad (3.79)$$

Sıkı zeminler için (sırasıyla kare ve dairesel ankraj);

$$F_q = 2.23 + 4.24 \left(\frac{H}{B} \right) - 0.14N \quad (3.80)$$

$$F_q = 2.23 + 4.24 \left(\frac{H}{D} \right) - 0.14N \quad (3.81)$$

Yukarıdaki parametrelere göre H ankrajın gömülme derinliğini, B kare temelin genişliğini, D dairesel temelin çapını, N geogrid sayısını, X ise geogrid genişliğini belirtmektedir.



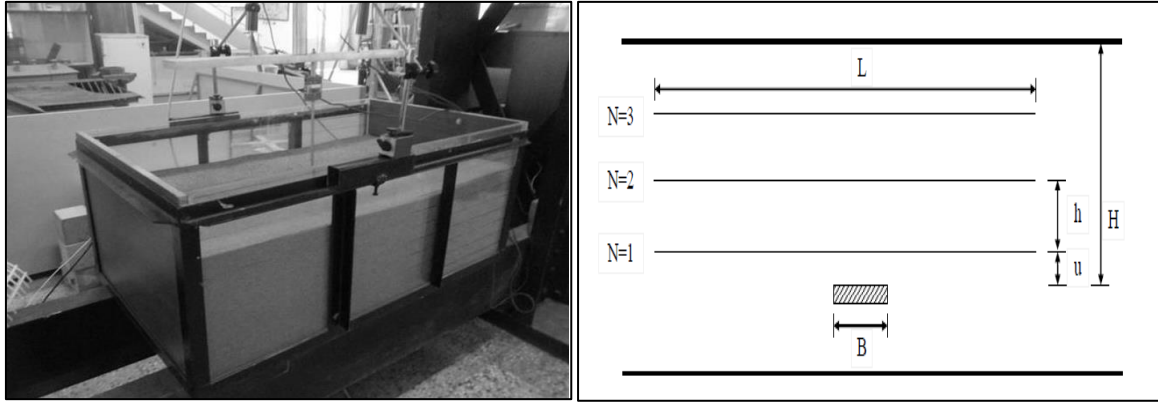
Resim 3.5. Niroumand ve diğerleri (2013) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda gözlemlenen yenilme yüzeyleri; (a) geogrid ile güçlendirilmemiş, (b) geogrid ile güçlendirilmiş

Tafreshi ve diğerleri (2014)

Yaptıkları çalışmada ucu genişletilmiş kazıklar kullanarak (genişletilmiş kısımdaki çap 150 mm) çekme kapasitelerini hücresel dolgu ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durum ile karşılaştırmıştır. Kullanılan hücresel dolgu malzemesinin genişliği temel genişliğinin 5 katı seçilmiş olup geocellin yüksekliğinin çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hücresel dolgunun yüksekliği arttıkça net çekme kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Ucu geniş kazık çapı genişliğini 0.5 katından daha yüksek genişlikteki hücresel dolgu yüksekliklerinde dayanımdaki artışın marjinal olduğu görülmüştür.

Keskin (2015)

Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Labaratuvarı'nda tasarlanan genişliği 700 mm, uzunluğu 1200 mm ve yüksekliği 500 mm olan test tankı deneyde kullanılmıştır (Resim 3.6.). Kullanılan ankraj kare olup genişliği 50 mm dir. Ayrıca incelenen kohezyonsuz zeminin sınıfı ise kötü derecelendirilmiş kum kullanılmıştır. Çalışmanın amacı geogridlerle güçlendirilmiş ankrajlar için optimum tasarım parametrelerinin bulunmasıdır. Bu amaçla sıklık değerinin, geogrid sayısının, geogrid uzunluğunun, geogridler arası mesafenin ve ankraj üzerine yerleştirilen ilk geogridin ankraj arasında mesafelerin etkisi incelenmiştir. Araştırılan parametreler PLAXIS 3D Tunnel sonlu elemanlar programı kullanılarak modellenerek deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



(a)

(b)

Resim 3.6. Keskin (2015) tarafından geogridlerle güçlendirilmiş kare ankrajlar;
(a): deney düzeneği, (b): incelenen test parametreleri (Keskin, 2015)

Sonuçlar karşılaştırıldığından gömülme oranının ve zeminin sıkılığının artmasının çekme kapasitesi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Yerleştirilen ilk geogrid ile ankraj arası mesafe incelendiğinde maksimum çekme kapasitesi için ankraj ile geogrid arasında herhangi bir uzaklık olmaması gerekmektedir. Uzaklığının artmasına paralel olarak çekme kuvvetinde düşüşler meydana gelmiştir. Geogridler arası mesafenin incelenmesi durumunda maksimum çekme kapasitesi geogridler arası mesafenin temel genişliğinin 0.5 katı olduğu durumda elde edilmektedir. Geogrid sayısı incelendiğinde ise iki geogridten daha fazla olan geogridlerin çekme kapasitesine etkisinin ihmal edilebilir bir düzeyde olduğu, optimum geogrid genişliğinin temel genişliğinin üç katı genişlikte olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan çalışmanın deney sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Emirler ve diğerleri (2016)

Yaptıkları çalışmada kohezyonsuz zemin içerisine gömülü geogrid ile güçlendirilmiş tekil ve grup plaka ankrajların davranışı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Ankrajın gömülme oranı, ankrajlar arası mesafe ve geogridler arasındaki uzaklık değiştirilerek etkisi araştırılmıştır. Kullanılan deney tankının boyutları 700mm × 700mm × 500mm (uzunluk, genişlik, yükseklik) olarak belirlenmiş olup 50mm × 50mm kare plaka ankraj kullanılmıştır. Nümerik olarak ise PLAXIS 3D Tunnel sonlu elemanlar programı kullanılmış olup zemin modeli olarak ise pekleşen zemin modeli tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yaklaşımından elde edilen değerler paralellik göstermektedir. Tek ankrajdan kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre ankrajın

gömölme oranı ile iyileşme oranı doğru orantılı olarak değişmektedir ve ankrajın çekme kapasitesi 1.76 kat arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca PLAXIS 3D Tunnel programından elde edilen sonuçlara göre geogridler ile güçlendirilme sonucu konturların dağılımında önemli bir değişim olduğu görülerek yüzeysel davranıştan derin davranışa geçişlerin olduğu görülmüştür.

2×2 grup plaka ankrajlar ile elde edilen sonuçlar tekli ankraj ile benzerlik göstermekle beraber tekil ankrajdan farklı olarak gömölme oranı ile artarken yenilme faktörünün azaldığı görülmektedir. Grup ankrajlar ise güçlendirme sonucunda çekme kapasitesi 2.7 katına çıkarken, güçlendirme sonucu elde edilen davranış derin ankraj davranışına benzediği görülmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Yapılan deneysel çalışma üç ana başlıkta incelenmiştir Bunlar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

- Deneysel çalışma kapsamında kullanılacak olan kohezyonsuz zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi
- Hücresel yapı elemanın ankrajın çekme kapasitesi üzerinde etkisinin belirlenmesine yönelik büyük ölçekli testler (TEST A)
- Ankrajların zemin üzerinde oluşturdıkları yenilme yüzeyi ve yayılma açısının belirlenmesine yönelik minyatür ölçekli testler (TEST B)

İlk olarak deney kapsamında kullanılan zeminin elek analizi, özgül ağırlık, maksimum ve minimum boşluk oranları ve kesme kutusu deneyleri ile mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

İkinci aşama olan TEST A deneyi kapsamında; Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan deney tankı kullanılarak, rölatif sıklığı orta sıkı olan kohezyonsuz zemine (% 65) gömülü olan, yatay plaka ankrajların çekme davranışına hücresel yapı elemanlarının (geocell) etkisi araştırılmıştır. Ankrajların gömülme derinliğinin, ankrajların çekme kapasitesine etkisi araştırıldığından deneyler üç farklı gömülme derinliğinde (200, 300, 450 mm) gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ankrajların gömülme oranları literatürde belirtilen kritik gömülme oranlarından küçük olduğunda, sığ derinliklerdeki ankraj durumu geçerli olmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan kare ve dairesel ankrajların yüzey alanları birbirlerine eşit olacak şekilde seçilmiştir. Böylelikle ankraj geometrisinin çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kare ankrajın genişliği (B) 200 mm, dairesel ankrajın ise çapı (D) 225 mm olup; ankrajın kalınlıkları 10 mm'dir. Hücresel yapı elemanın genişliğinin ve yüksekliğinin ankrajın çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Bu nedenle; HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) malzemeden üretilmiş yüksekliği 100 mm olan 1×1, 2×2, 3×3 ve 5×5 olmak üzere dört farklı hücre sayısına (genişliğine) sahip hücresel elemanlar ve yüksekliği 150 mm olan 3×3 ve 5×5 olmak üzere iki farklı hücre sayısına sahip hücresel elemanlar deneysel çalışmada

kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar hücresel eleman ile güçlendirilmemiş deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ankrajların zemine gömülme oranlarına, ankrajların geometrik şekline, hücresel yapı elemanlarının genişliklerine, hücresel yapı elemanlarının yükseklerine bağlı olarak ankrajların çekme yükü-deplasman davranışları belirlenmiştir.

TEST A kapsamında ankrajların hücresel elemanlar ile güçlendirilmesi sonucunda, ankrajların çekme kuvvetine maruz kalması sonucu oluşan yenilme yüzeyinde hakkında detaylı veri elde edilememiştir. Hücresel elemanların gerilim yayılım mekanizmasından kaynaklı yenilme yüzeyinin daha geniş yüzeylere yayılması gerekmektedir. Ankrajın yenilme yüzeyindeki meydana gelen değişimin gözlemlenmesi için, TEST A sistemi, minyatür olarak plexiglass malzemeden üretilmiş başka bir tankta modellenmiştir (TEST B). Test A'daki model deneyi baz alınarak 1/5 ölçekli minyatür deney sistemi oluşturulmuştur. TEST B sisteminde zemin hareketinin daha net görüntülenebilmesi için, kırmızı renkli kumlar 10 mm aralıklarla yatay bir şekilde model tankın içerisine yerleştirilmiştir ve çekme anında oluşan zemin hareketi dijital ortamda kaydedilmiştir. Plexiglass malzeme üzerinde hareket edecek şekilde tasarlanan sistem yarım ankraj (40 mm × 20 mm) yarım hücresel elemanlar ile yenilme yüzeyindeki değişimler ve yayılma açıları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca TEST A'da kullanılan parametrelerin yanında (HDPE geocell, orta sıkı kohezyonsuz malzeme), farklı zeminin sıklıklarında (% 25) ve farklı rijitliklere sahip hücresel elemanlar (NPA) kullanılarak ; sıklık ve hücresel eleman rijitliğini zemin içerisinde oluşan yenilme yüzeyi ve yayılma açısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Deney tankında (TEST A) toplam 42 adet ve minyatür deney düzeneğinde (TEST B) ise toplam 28 adet olmak üzere toplam 70 adet test yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda hücresel yapı elemanının (geocell) zemin çekme kapasitesini önemli miktarda artırdığı ve yüzeyde meydana gelen deformasyonların (kabarmaların) ise güçlendirme sonucunda daha geniş alanlara yayıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca hücresel yapı elemanları ile ankrajların güçlendirilmesi sonucunda oluşan yenilme yüzeyinin, hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş durumlara göre daha geniş alanlara yayıldığı gözlemlenmiştir.

4.2. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneyisel çalışma için kullanılan kum numuneler 200 numaralı (0.075 mm) elekten yıkılarak elenmiştir. Bu sayede deneyisel çalışma kapsamında kullanılacak zeminde bulunan

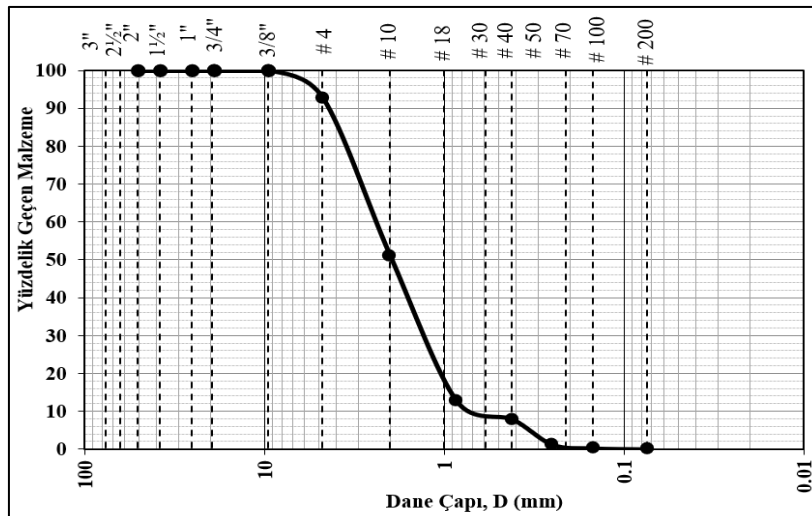
ince malzemelerin deney sonuçların üzerindeki etkisi azaltılmıştır. Yıkanan kum numuneleri, 105°C sıcaklıkta bulunana etüvlerde kurutulmuştur. Deneyde kullanılan kohezyonsuz zemin sınıfının belirlenmesi için elek analizi (ASTM D2487-17), özgül ağırlığının belirlenmesi için piknometre (ASTM D854-14), en büyük ve en küçük boşluk oranlarının tespiti için deneyler (ASTM D4253-16 ve ASTM D4254-16) ve zeminin kayma (kesme) dayanımının belirlenmesi için kesme kutusu deneyi (ASTM D3080/D3080M-11) yapılmıştır.

4.2.1. Elek analizi deneyi

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilen elek analizi deneyinde, deney tankında kullanılacak kohezyonsuz malzemelerin zemin sınıfı belirlenmiştir. Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre zemin sınıfı kötü derecelendirilmiş kum (SP) olarak sınıflandırılmıştır. Elek analizi deneyinden elde edilen veriler Şekil 4.1.'de verilmiştir. Üniformluk katsayısı (C_u) ve eğrilik katsayısı sıra (C_c) ile 3.57 ve 0.96 olarak elde edilmiştir (Eş 4.1 ve Eş 4.2)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} \quad (4.2)$$



Şekil 4.1. Dane boyu dağılım grafiği

4.2.2. Özgöl ağırlık tayini

Özgöl ağırlık katı danelerin ağırlığının bu danelerin hacmine eşit suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilir ve (G_s) olarak ifade edilir (Eş 4.3). Zemin mekaniğinde özgöl ağırlığının belirlenebilmesi için piknometreler kullanılmakta olup aşağıdaki eşitlikten faydalanılarak hesaplanır.

$$G_s = (M_2 - M_1) / [(M_4 - M_1) / (M_3 - M_2)] \quad (4.3)$$

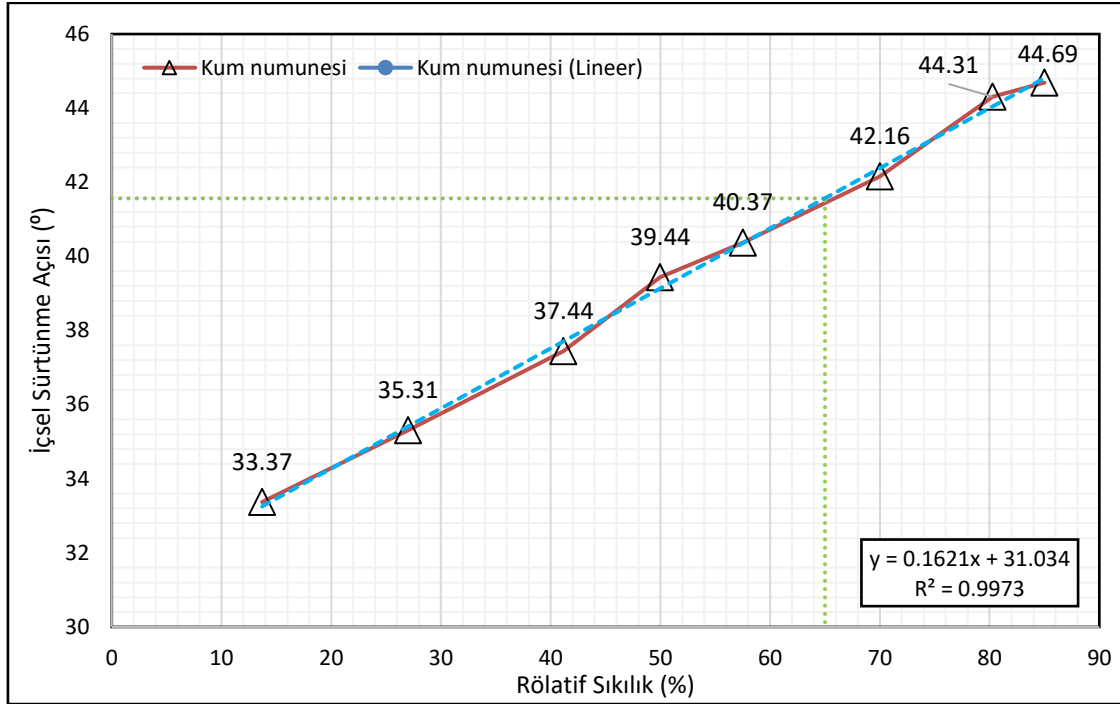
Burada; G_s özgöl ağırlığı, M_1 piknometre ağırlığını, M_2 piknometre ve numunenin ağırlığını, M_3 piknometre, numune ve suyun ağırlığının toplamını, M_4 ise piknometre ve suyun ağırlığını belirtmektedir. Elde edilen sonuçlara göre zeminin özgöl ağırlığı 2.68 olarak bulunmuştur.

4.2.3. Maksimum ve minimum boşluk oranları tayini

ASTM D4253-16 ve ASTM D4254-16 standartlarına uygun bir biçimde minimum ve maksimum boşluk oranları tayin edilmiştir. Maksimum boşluk oranı 0.75 olarak elde edilirken; minimum boşluk oranı 0.58 olarak elde edilmiştir.

4.2.4. Kesme kutusu deneyi

Zeminin mukavemet parametrelerini belirlemek amacıyla kesme kutusu deneyi, ASTM D3080/3080M-14 standartlarına uygun bir şekilde laboratuvar ortamında yapılmıştır. Deneyde kullanılan kesme kutusunun boyutları, $60 \times 60 \times 20$ mm (en, boy, yükseklik) olarak ölçülmüştür. Sekiz farklı rölatif sıkılık değeri için 16.72, 36.82, 50.93, 79.05, 101.09, 199.13 kPa normal gerilmeler altında zeminin içsel sürtünme açısı hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen içsel sürtünme açısı değeri Şekil 4.2.'de belirtilmiş olup, bu deneylerden elde edilen normal ve kayma gerilmeleri ile ilgili grafikler EK-1. ve EK-2.'de belirtilmiştir. % 25 ve % 65 rölatif sıkılıktaki içsel sürtünme açıları sırasıyla 35° ve 41° olarak bulunmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Farklı sıkılık değerleri için elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri grafiği

4.3. Deney düzeneği

Deney kapsamında yükleme sistemi, yük hücresi, test tankı, deplasman ölçerler (LVDT), dairesel ve kare model ankrajlar, ankraj bağlama çubuğu, veri aktarma sistemi (data logger), gerilim pulu ve hücresel yapı elemanlar (geocell) kullanılmıştır.

4.3.1. Yükleme sistemi

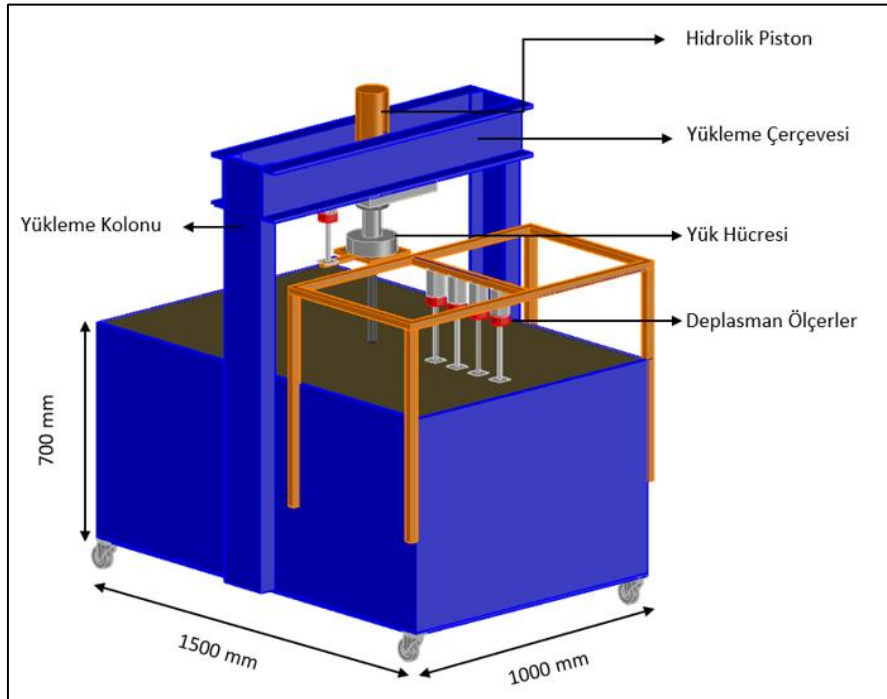
Yapılan çalışma kapsamında, yatay plaka ankrajlara çekme kuvveti uygulayabilmek için 300 kN kapasiteli hidrolik piston ve hidrolik el krikosu kullanılmıştır. Her ne kadar çekme hızının ankrajın çekme kapasitesine etkisinin oldukça düşük olduğunun bilinmesine rağmen (Bildik ve Laman, 2011); deney sırasında çekme hızından kaynaklanabilecek hataları minimize etmek için çekme hızı bütün deneylerde sabit tutulmaya çalışılmıştır (5 mm/dak).

4.3.2. Yük hücresi

Çekme kuvvetini ölçmek amacıyla 200 kN kapasiteli yassı tipi yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresi veri aktarma sistemine bağlanarak oluşan çekme kuvvetlerinin bilgisayar ortamına aktarılması gerçekleştirilmiştir.

4.3.3. Deney tankı

Deney koşullarının gerçek arazi sonuçlarına benzemesi için, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan mevcut deney tankı bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Deney tankının boyutu 1000 mm $\times$ 1500 mm $\times$ 700 mm (genişlik $\times$ uzunluk $\times$ yükseklik) olup, yükleme esnasında şeklini koruyabilmesi için cidar kalınlığı 5 mm olan metalik malzemeden üretilmiştir. Kutu kenarlarında meydana gelebilecek deformasyonları engellemek amacıyla da 40 mm $\times$ 40 mm elik profiller ile deney tankı güçlendirilmiştir. elik profillerden üretilmiş yükleme kolonları ve yükleme erevesi ile güçlendirilen tankta bu çerçevelere yk hücresi ve deplasman ler (LVDT) bağlanmıştır (Resim 4.1 ve şekil 4.3).



şekil 4.3. Çekme deneylerinde kullanılan deney tankının ve yükleme sisteminin üç boyutlu görseli



Resim 4.1. Çekme deneylerinde kullanılan deney tankı ve yükleme sistemi

4.3.4. Ankrajlar ve bağlama çubukları

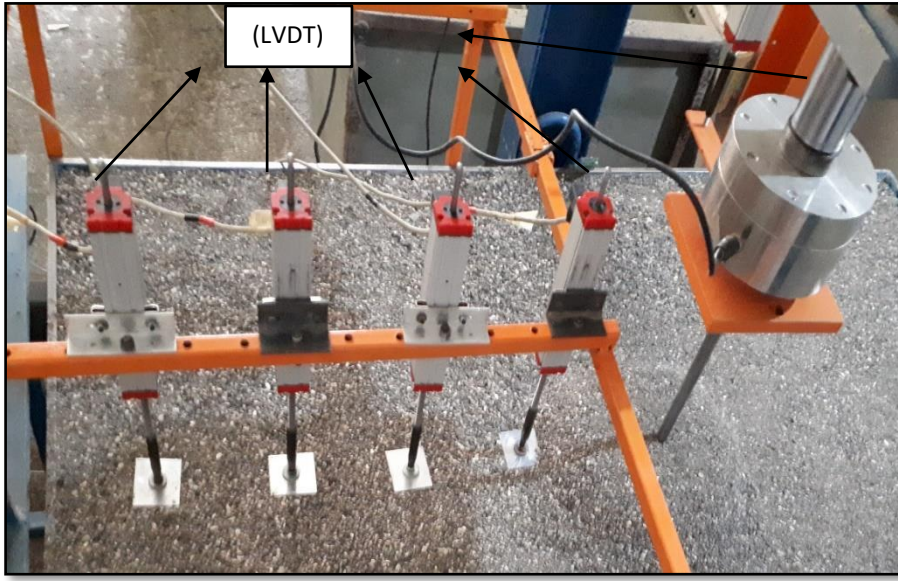
Deneyler kapsamında eş değer alana sahip iki farklı geometrik şekle sahip (kare ve daire), metalik ankrajlar kullanılmıştır. Kare ankrajın genişliği (B) 200 mm iken, dairesel ankrajın çapı (D) 225 mm'dir (Resim 4.2.). Bu ankrajların kalınlıkları 10 mm olarak seçilmiştir. Kare ankrajın kütlesi 3673 g ve dairesel ankrajın kütlesi 3247.5 g olarak ölçülmüştür. Ankrajların merkezinde çekme kuvvetinin etki edebilmesi için 16 mm çapında dairesel delikler açılarak, bu bölgeye bağlama çubuğu yerleştirilerek sabitlenmiştir. Bağlama çubuğun üst yüzü ise yük hücresine sabitlenmiştir.



Resim 4.2. Deneysel çalışma kapsamında kullanılan kare ankraj, dairesel ankraj ve bağlama çubukları

4.3.5. Deplasman ölçerler (LVDT)

Deney kapsamında 100 mm kapasiteli yaylı deplasman ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Bu LVDT ölçümleri ile deney esnasındaki ankrajın yer değiştirmesi ölçülmüştür. Ayrıca zeminde yüzeyinde meydana gelen yüzey hareketlerinin ölçülebilmesi için özel bir platform üzerine belirli aralıklarla (ankraj çekme merkezinden 190, 290, 440, 580 mm uzaklıkta) deplasman ölçerler yerleştirilerek, zemin yüzeyinde yüzey deformasyonları ölçülmüştür (Resim 4.3.).



Resim 4.3. Deney kapsamında kullanılan deplasman ölçerler (LVDT)

4.3.6. Veri aktarma sistemi (data logger)

Veri aktarma sistemleri yük, deplasman, birim şekil değiştirme, ivme vb. değerleri ölçmek amacıyla tasarlanana cihazlardır. Yük hücresi, deplasman ölçer, gerilim pulu, toprak basıncı ölçer, boşluk suyu basıncı ölçer vb. sensörler ile uyumluluğu bulunmaktadır. Yapılan çalışma çekme kuvvetleri, ankraj deplasmanı, yüzey deformasyonları ve hücresel yapı elemanı üzerindeki birim şekil değiştirmeler veri aktarma sistemi kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Üretici firmanın önerdiği şekilde kalibre edilmiş olan cihaz, 8 adet kanaldan meydana gelmektedir (Resim 4.4.).



Resim 4.4. 8 kanallı statik veri aktarma sistemi

4.3.7. Gerilim pulu (strain gauge)

Malzeme üzerine etki eden basınç ve çekme kuvvetlerinden kaynaklı oluşan uzama veya kısalma birim şekil değişiminin ölçülmesi için gerilim pulları kullanılmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında hücresel yapı elemanının yüzeyi ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvvetinin ölçülebilmesi için yüksekliği 100 mm olan HDPE malzemesinden üretilmiş 1×1 ve 2×2 hücre sayısına (genişlik) sahip hücresel yapı elemanların merkezine düşey doğrultuda gerilim pulları yerleştirilmiştir. Bu genişlikte malzemelerin seçilmesinin nedeni olarak ise, malzemenin genişliğinin artmasına bağlı olarak hücresel yapı elemanında eğilme veya burkulma durumunun gözlemlenmesidir. Hücresel yapı elemanı malzemesinin eğilmesinden veya burkulmasından kaynaklı oluşacak gerilmelerin ölçüm sonucunu değiştireceği düşünülmüştür.

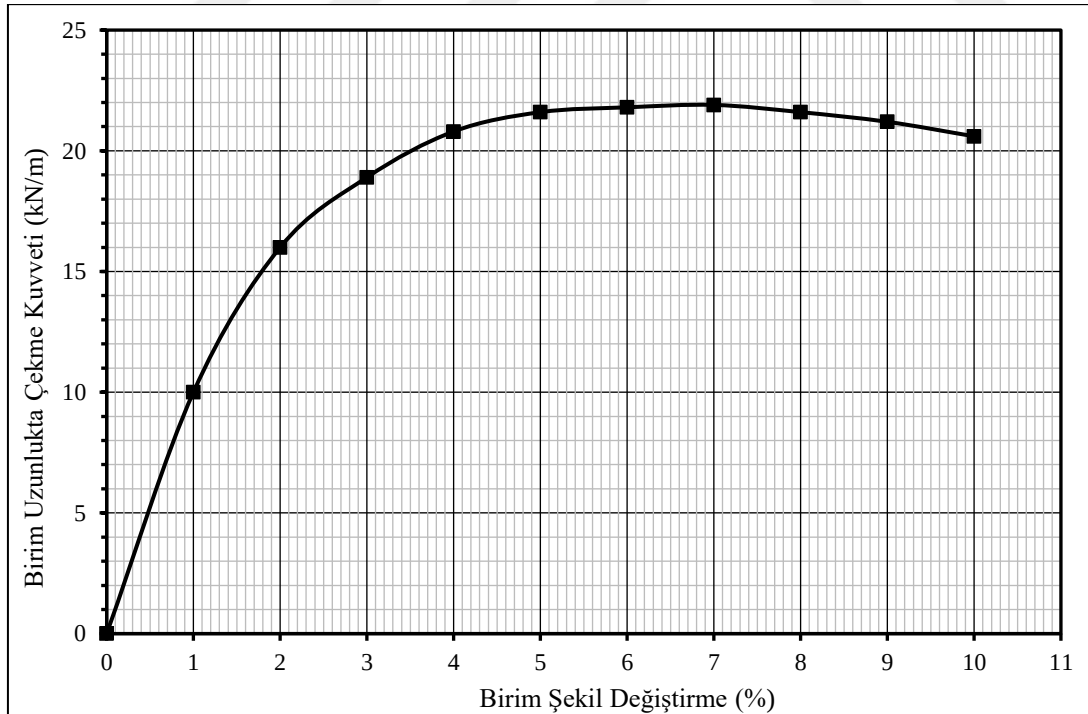
4.3.8. Hücresel yapı elemanının özellikleri

Deneysel çalışma kapsamında kullanılan HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) malzemeden üretilen delikli hücresel yapı elemanları kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan hücresel yapı elemanına ait teknik özellikler Çizelge 4.1’de belirtilmiştir. HDPE malzemeden üretilen hücresel yapı elemanına ait çekme deneyi sonuçları Şekil 4.4.’de belirtilmiştir (ASTM D4595-17). HDPE malzemeden üretilen hücresel yapı elemanlarında hücreler birbirlerine sıcak kaynak vasıtasıyla birleştirilmiştir. Deney kapsamında hücresel yapı elemanının genişliği değiştirilerek, ankrajın çekme davranışına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca minyatür olarak yapılan model deneylerde çekme kapasitesi 22 kN/m olan NPA (polimerik alaşım) malzemeden üretilen hücresel yapı elemanları da kullanılmıştır.

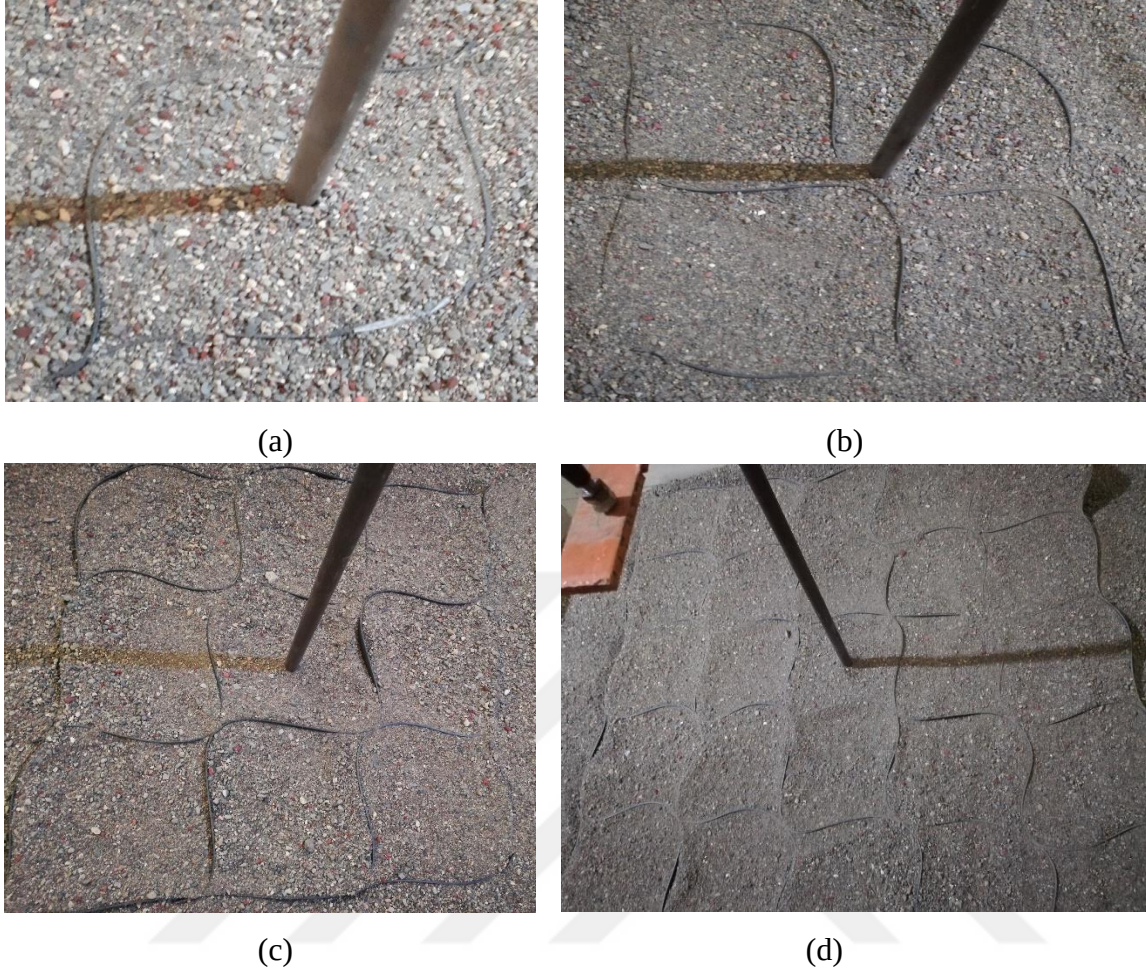
Hücresel yapı elemanlarının genişlikleri hücre sayıları ile ifade edilmektedir. Eliptik şekilli olan tek bir hücrenin eni ve boyu 160 mm'dir. Hücresel yapı elemanının eni ve boyu doğrultusunda aynı sayıda hücre artışı yapılarak hücresel elemanın genişlikleri belirlenmiştir. 1×1, 2×2, 3×3 ve 5×5 olarak hücre sayısına göre adlandırılan hücresel elemanları genişlikleri sırasıyla 160, 320, 480 ve 800 mm'dir (Resim 4.5.).

Çizelge 4.1. HDPE malzemeden üretilmiş hücresel yapı elemanının teknik özellikleri

Hücresel elemanın özellikleri	Değeri
Malzeme	HDPE
Tek hücre eni (mm)	160
Tek hücre boyu (mm)	160
Hücre yüksekliği (mm)	100 ve 150
Kalınlığı (mm)	1.5
Yoğunluğu (g/cm ³)	0.965
Çekme kapasitesi (kN/m)	21.8



Şekil 4.4. HDPE malzemesinden üretilmiş hücresel yapı elemanına ait çekme deneyi sonuçları



Resim 4.5. Deneyde kullanılan HDPE'den üretilmiş hücresel elemanlar; (a): 1×1, (b): 2×2, (c): 3×3, (d): 5×5

4.3.9. Minyatür olarak modellenen tankın, hücresel yapı elemanlarının ve ankrajın özellikleri

Deney tankı kullanılarak yapılan çalışmalarda, hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay plaka ankrajların zemin içerisinde gerçekleştirdikleri yenilme yüzeyi hareketleri net olarak gözlemlenememektedir. Bu nedenle hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajların yenilme yüzeyinin gözlemlenmesi için deney tankı, kare ankraj ve hücresel yapı elemanlar beş kat küçültülerek minyatür olarak modellenmiştir. Minyatür olarak tasarlanan deneysel çalışmalarda (TEST B) 300 mm × 300 mm × 300 mm (genişlik × uzunluk × yükseklik) boyutunda, 2 mm kalınlığında plexiglass malzemeden üretilmiş bir düzenek tasarlanmıştır. Bu düzenek çelik plakalar ile güçlendirilmiştir. Plexiglass malzemesi yardımı ile ankrajların yenilme yüzeyleri gözlemlenmektedir. Ayrıca yenilme yüzeyinin tam olarak

gözlemlenebilmesi için yarım olarak tasarlanan, kare ankraj ($25 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) ve hücresel yapı elemanları ($16 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$, $32 \text{ mm} \times 64$, $48 \text{ mm} \times 96 \text{ mm}$, $80 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$) kullanılmıştır (Resim 4.6.). Ankraj ile plexiglass malzeme arasında meydana gelebilecek sürtünme kuvvetini minimize etmek için, ankraj yüzeyi her deneyden önce yağlanmıştır. Hücresel yapı elemanı malzemesi olarak HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) ve NPA (polimerik alaşım) kullanılmıştır. TEST A için kullanılan gömülme oranları (H/B) baz alınarak dört farklı gömülme derinliğine (40, 60, 90 ve 160 mm) yarım minyatür ankraj yerleştirilmiştir. Yenilme yüzeyinin belirlenebilmesi için 10 mm aralıklar ile kırmızı renge boyanmış kum malzemesi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yenilme yüzeyleri ve yayılma açıları tam olarak gözlemlenebilmesi için, minyatür olarak tasarlanan deney düzeneğindeki zemin hareketi video ile kayıt altına alınmıştır.



(a)



(b)

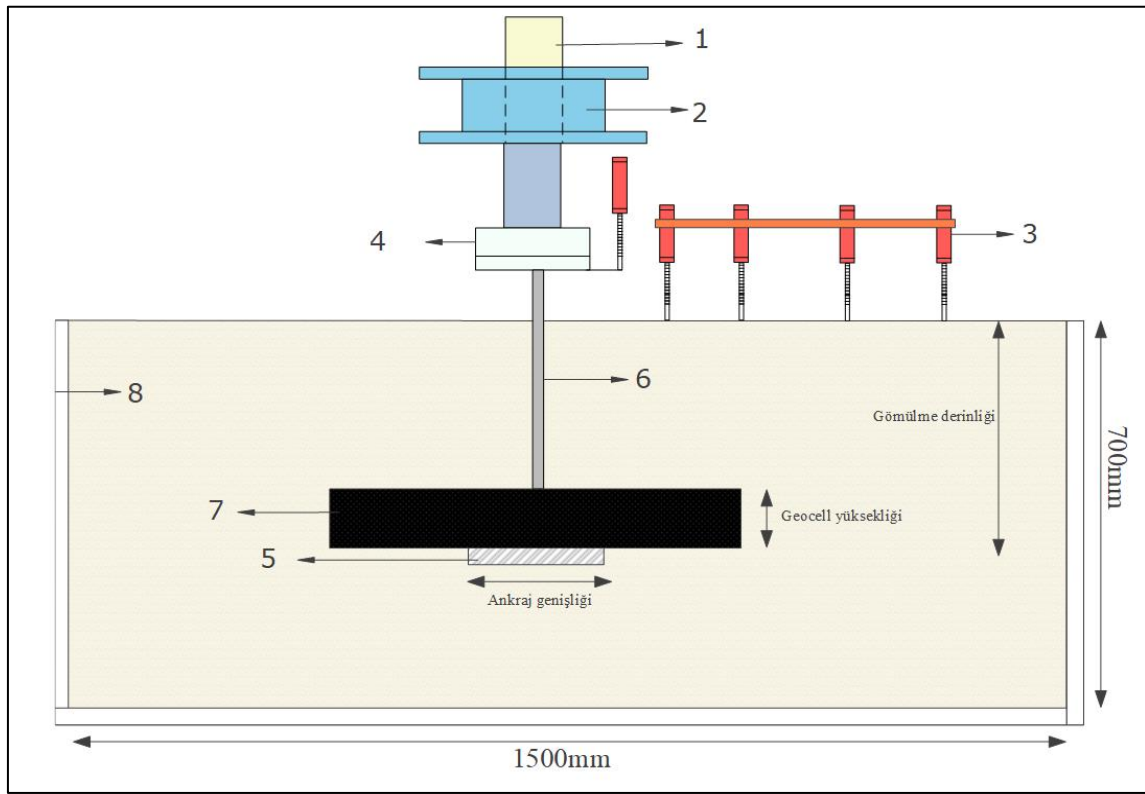
Resim 4.6. Minyatür olarak modellenen deney; (a): kullanılan test tankı ve deney düzeneği, (b): minyatür olarak modellenen hücresel yapı elemanı (3×3)

4.4. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar iki aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşama (TEST A) olarak, deney tankı kullanılarak hücresel yapı elemanlarının kohezyonsuz zemine gömülü yatay plaka ankrajların çekme kapasitesi davranışı ve zemin yüzey deformasyonları üzerine etkisi araştırılmıştır. Ankraj geometrisinin çekme kapasitesine etkisi de incelenen bir diğer konudur. Yapılan çalışmada kare ve dairesel ankrajlar; 200, 300, 450 mm gömülme derinliklerine yerleştirilmiştir. Hücre sayısının

(genişliğinin) (1×1, 2×2, 3×3, 5×5) ve hücresel yapı elemanların yüksekliklerinin (100 mm ve 150 mm) ankrajların çekme kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.5.'de TEST A için tasarlanan deney sistemi gösterilmektedir.

TEST A kapsamında iki konu araştırılmıştır. Bunlar; ankrajların hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş durumdaki çekme kapasitesi davranışı ve ankrajların hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki çekme kapasitesi davranışdır. Elde edilecek deney sonuçlarına göre optimum hücre genişliği elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Yatay ankrajların kohezyonsuz zeminlerde güçlendirilmesinin incelenmesi durumunun araştırıldığı deney düzeneğinin kesit görüntüsü ; (1): Hidrolik krik, (2):Yüklem çerçevesi, (3): Deplasman ölçerler (LVDT), (4): Yük hücresi (load cell), (5): dairel veya kare ankraj, (6): bağlama çubuğu, (7): üç boyutlu hücresel yapı elemanı (geocell), (8): çelik çerçeve sistemi

Deney tankı kullanılarak (TEST A) yapılan deneysel çalışma aşamaları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Deney sırasında kullanılacak olan ankraj deney tankının merkezine yerleştirilmiştir ve bağlama çubuğu ile vidalarla sıkıştırılmak suretiyle bağlanarak sabitlenmiştir. Daha sonra

bağlama çubuğu yük hücresine bağlanarak olası bir eksantrik yüklenmenin önüne geçilmiştir.

- Hücresel yapı elemanlarının kullanıldığı deneylerde, önceden belirlenen hücre genişliklerinde ayarlanan hücresel yapı elemanları, ankraj çubuğunun merkezinden geçecek bir biçimde yerleştirilmiştir. Bu elemanların eş değer açıklık genişliklerinde olması için daha önceden uzunlukları ayarlanan demir çubuklar ile açıklıklar sabitlenmiştir (Resim 4.7.). Gerilim pulunun kullanıldığı deneylerde, gerilim pulu önceden hücresel yapı elemanın merkezine yapıştırılarak yerleştirilmekte ve üzeri koruyucu malzemeler ile kapatılmaktadır.
- Sıklığı önceden belirlenmiş olan kum numunesi eşit kütlerle halinde zemin yüzeyine yayılmıştır. Yapılan çalışmada 100 mm yüksekliğindeki tabakalar halinde kum numunesi yerleştirilmiştir. Bu tabakalar, deney tankı üzerinde çizilen çizgiler ile belirtilmiştir. Sonra kontrollü bir şekilde tokmaktama işlemi ile istenilen sıklık değeri elde edilmiştir ve zemin tesviye edilerek düzeltilmiştir. Bu işlem istenilen zemin yüksekliği değerine kadar devam ettirilmiştir.
- Kum numunesi deney tankının yüzeyine kadar doldurulduktan sonra, yüzey deformasyonların ölçüldüğü deplasman ölçerler (LVDT) yerleştirilmiştir. Yük hücresi ve deplasman ölçerler veri aktarma sistemine bağlanmıştır. Çekme işlemi, hidrolik el krikosu ile gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar yükleme hızının çekme kapasitesine etkisinin oldukça marjinal olduğu bilinse de (Bildik ve Laman, 2011) çekme esnasında çekme hızından kaynaklanabilecek farklılıkların önüne geçmek için sabit hıza yakın bir hızda çekme işlemi yapılmaya çalışılmıştır.
- Yukarıda belirtilen işleme üç farklı gömülme derinliği, iki farklı geometriye sahip ankraj, dört farklı genişliği sahip hücresel yapı elemanları için tekrarlanmıştır.

İkinci aşamada ise TEST A deneyinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda; deney düzeneği minyatür olarak tasarlanarak, ankrajların hücresel yapı elemanları ile güçlendirilme sonucunda meydana gelen yenilme yüzeylerinin belirlenmiştir. Bunun için minyatür test düzeneğindeki zemin hareketi video ile kayıt altına alınmıştır (TEST B).Minyatür olarak modellenen tank kullanılarak (TEST B) yapılan deneysel çalışma aşamaları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Deney sırasında kullanılan yarım plaka ankraj minyatür deney tankının merkezine yerleştirilmiştir. Eğer hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş deneyler inceleniyorsa, yarım olarak tasarlanan hücresel yapı elemanları ankrajın üzerine simetrik bir biçimde yerleştirilmiştir.
- Sıkılık değeri ayarlandıktan sonra 10 mm aralıklar ile kırmızı renge boyanmış kum numuneleri yerleştirilmiştir.
- İstenilen gömülme derinliği elde edildikten sonra çekme işlemi yapılmıştır (bkz. Resim 4.6.).
- Çekme anı dijital olarak fotoğraflanmış olup, ankrajın yenilme yüzeyi bu şekilde elde edilmeye çalışılmıştır.



(a)



(b)

Resim 4.7. Hücresel yapı elemanlarının yerleştirilmesi ve kum malzeme ile doldurulması;
 (a): hücresel yapı elemanlarının hücre açıklıkları sağlamak için kullanılan demir çubuklar, (b): hücresel yapı elemanlarının kum numune ile doldurulması

4.4.1. Sıkılık değerinin ayarlanması

Yapılan deneysel çalışma sonuçlarının uyumlu ve güvenilir olması için zeminin rölatif sıkılık değerinin bütün deneylerde değişmemesi gerekmektedir. Bu nedenle; her 100 mm yüksekliğindeki tabaka kalınlığı için, 245 kg ağırlığındaki kum deney tankına kademeli olarak yerleştirilmiştir (TEST A). Deney tankı içerisindeki kum yığılmaları ve buna bağlı olarak sıkılık değerindeki farklılıkları minimize etmek amacıyla eş değer ağırlıklara sahip kum, kovalara doldurularak deney tankı içerisine yayılmaktadır. Bu boşaltma işleminden

sonra, tesviye edilen zemin yüzeyi çeşitli denemeler sonucu elde edilen 100 mm yükseklikten sabit hızla 150 tokmak darbesi ile sıkıştırılmaktadır (Resim 4.8.). Yapılan bu işlem ile literatürde kum yağmurlaması ve tokmakla olarak isimlerinden sıklık kontrolü işlemi yapılmış olup, rölatif sıklığı % 65 ve birim hacim ağırlığı 16.08 kN/m^3 olacak şekilde homojen kohezyonsuz zemin elde edilmiştir. Sıkıştırma esnasında kum danelerinin kırılmaması için tokmak ile uygulanan sıkıştırma kuvveti sabit ve düşük tutulmaya çalışılmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra sıklığı bozmayacak şekilde tesviye edilmiştir. Bu işlemden sonra zemin yüzeyi, su terazisi ile kontrol edilerek düz bir yüzey elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan tokmaklama işleminden sonra zeminin sıklığı kontrol edilmiş olup ortalama birim hacim ağırlık değeri ile ölçülen değerler arasındaki fark % 0.05 olarak belirlenmiştir.



(a)



(b)

Resim 4.8. Zeminin bütün tabakalarında aynı sıklık değerinin olması için yapılan çalışmalar; (a): zeminin tesviye edilmesi, (b): zemin tokmak ile sıkıştırılması

4.4.2. Deney programı

Öncelikle hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş farklı derinliklere gömülü (200, 300, 450 mm), eş değer alana sahip kare ve dairesel ankrajların çekme davranışlarını incelenmiştir. Bu kısımdan sonra ankrajlar 100 mm yüksekliğinde, dört farklı hücre sayısına (genişliğe) sahip hücresel yapı elemanları (1×1 , 2×2 , 3×3 , 5×5) ve 150 mm yüksekliğinde iki farklı hücre sayısına (genişliğine) sahip hücresel yapı elemanları ile (3×3 , 5×5) güçlendirilen ankrajların çekme davranışları üç farklı gömülme derinliği için incelenmiştir. Hazırlanan deney programı Çizelge 4.2.'de belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda sonucunda

hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajların çekme kapasitesinde artış ve yük deplasman davranışında değişimlerin meydana geldiği görülmüştür. Deney adı adlandırılırken; H harfi gömülme derinliğini belirtmek amacıyla kullanırken, H harfinin yanındaki rakam santimetre (cm) cinsinden gömülme derinliğini, Kare ve Daire yazısı yatay ankrajın geometrisini, h ve yanındaki sayı ise hücresel yapı elemanın santimetre cinsinden yüksekliğini belirtmektedir. Ankrajın geometrik şekli ve hücre sayısı ise gömülme derinliğinin yanına yazılmıştır. Örneğin, 450 mm derinliğe gömülmüş 3×3 hücre sayısına sahip ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilmiş kare ankraj “H45 Kare 3×3 h10” olarak adlandırılmaktadır.

Zemin içerisinde oluşan yenilme yüzeylerinin belirlenebilmesi için oluşturulan minyatür deney düzeneğinde, kare ankraj ve hücresel elemanlar simetrik bir biçimde yarım olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan kare ankraj dört farklı gömülme derinliğine yerleştirilerek (40, 60, 90, 160 mm), hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş (1×1 , 2×2 , 3×3 , 5×5) ve güçlendirilmemiş durumlar araştırılmıştır. Hücresel yapı elemanın genişliği, hücresel eleman malzemesinin rijitliği ve kohezyonsuz zeminin rölatif sıkılığı (%25 ve %65) parametrelerinin ankrajın yenilme yüzeyi ve yayılma açısı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu deney düzeneği de Çizelge 4.3.’de belirtilmiştir. Deney adı adlandırılırken; H harfi gömülme derinliğini belirtmek amacıyla kullanırken, H harfinin yanındaki rakam santimetre (cm) cinsinden gömülme derinliğini belirtmektedir. OS orta sıkı zeminleri, G gevşek zeminleri simgelerken; HDPE yüksek yoğunluklu polietileni, NPA ise polimerik alaşımı belirtmektedir. Örneğin; 60 mm derinliğe gömülmüş, HDPE malzemedan üretilmiş 3×3 hücre sayısına sahip hücresel yapı elemanı ile güçlendirilmiş %65 rölatif sıkılığa sahip kohezyonsuz zemine gömülü kare ankraj “H6-OS 3×3 HDPE” olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge 4.3. Minyatür olarak modellenen deney programı (TEST B)

Deney Adı	Ankraj Geometrisi	Geocell Malzemesi	Sıklık (%)	Ankraj Genişliği veya Çapı (mm)	Ankrajın Gömülme Derinliği (mm)	Hücreyel Yapı Elemanı Sayısı	Hücreyel Yapı Elemanının Yüksekliği (mm)	Hücreyel Yapı Elemanın Genişliği (mm)
H4-OS	Kare	-	65	40	40	-	-	-
H6-OS	Kare	-	65	40	60	-	-	-
H9-OS	Kare	-	65	40	90	-	-	-
H16-OS	Kare	-	65	40	160	-	-	-
H4-OS 1×1 HDPE	Kare	HDPE	65	40	40	1×1	20	32
H4-OS 2×2 HDPE						2×2		64
H4-OS 3×3 HDPE						3×3		96
H4-OS 5×5 HDPE						5×5		160
H6-OS 1×1 HDPE	Kare	HDPE	65	40	60	1×1	20	32
H6-OS 2×2 HDPE						2×2		64
H6-OS 3×3 HDPE						3×3		96
H6-OS 5×5 HDPE						5×5		160
H9-OS 1×1 HDPE	Kare	HDPE	65	40	90	1×1	20	32
H9-OS 2×2 HDPE						2×2		64
H9-OS 3×3 HDPE						3×3		96
H9-OS 5×5 HDPE						5×5		160
H16-OS 1×1 HDPE	Kare	HDPE	65	40	160	1×1	20	32
H16-OS 2×2 HDPE						2×2		64
H16-OS 3×3 HDPE						3×3		96
H16-OS 5×5 HDPE						5×5		160
H4-G 3×3 HDPE	Kare	HDPE	25	40	40	3×3	20	96
H6-G 3×3 HDPE	Kare	HDPE	25	40	60	3×3	20	96
H9-G 3×3 HDPE	Kare	HDPE	25	40	90	3×3	20	96
H16-G 3×3 HDPE	Kare	HDPE	25	40	160	3×3	20	96
H4-G 3×3 NPA	Kare	NPA	25	40	40	3×3	20	96
H6-G 3×3 NPA	Kare	NPA	25	40	60	3×3	20	96
H9-G 3×3 NPA	Kare	NPA	25	40	90	3×3	20	96
H16-G 3×3 NPA	Kare	NPA	25	40	160	3×3	20	96

4.4.3. Hücreyel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş durumdaki ankrajın davranışı

Rölatif sıklığı % 65 olan kohezyonsuz zemin içerisine çeşitli derinliklerde gömülen, eş değer alana sahip, hücreyel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş kare ve dairesel ankrajların çekme yükü-deplasman davranışları bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Deney sonuçlarından eş değer alana sahip ankraj geometrisinin yatay plaka ankrajların çekme kapasitesi üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca ankraj gömülme derinliğine bağlı olarak, ankrajın çekme kapasitesi ve bu kapasitede anında oluşan pik deplasman değerlerinde artışlar meydana geldiği deneysel çalışmalar sonucunda tespit

edilmiştir. Çizelge 4.4.'de yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen çekme kapasitesi, residual kapasite, yenilme faktörü (F_q) ve pik deplasman değerleri gösterilmiştir. Yenilme faktörü değeri Balla (1961) tarafından önerilen eşitlik yardımıyla elde edilmiştir (Eş 4.4). Yapılan çalışmalarda, çekme yükünde değişimlerin görülmediği yük değeri residual kapasite olarak tanımlanmıştır. Fakat residual kapasite için 20 mm ankraj deplasmanı sınır olarak belirlenmiştir. Bu sınırdan daha büyük değerde çekme kuvvetinin residual değere ulaşması halinde 20 mm'lik deplasman değerindeki çekme kuvveti residual kapasite olarak kabul edilmiştir. Ankrajların hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş yük deplasman davranışları Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Burada kare ankrajlar kare şekilde simgelenirken, dairesel ankrajlar daire şeklinde simgelenmiştir.

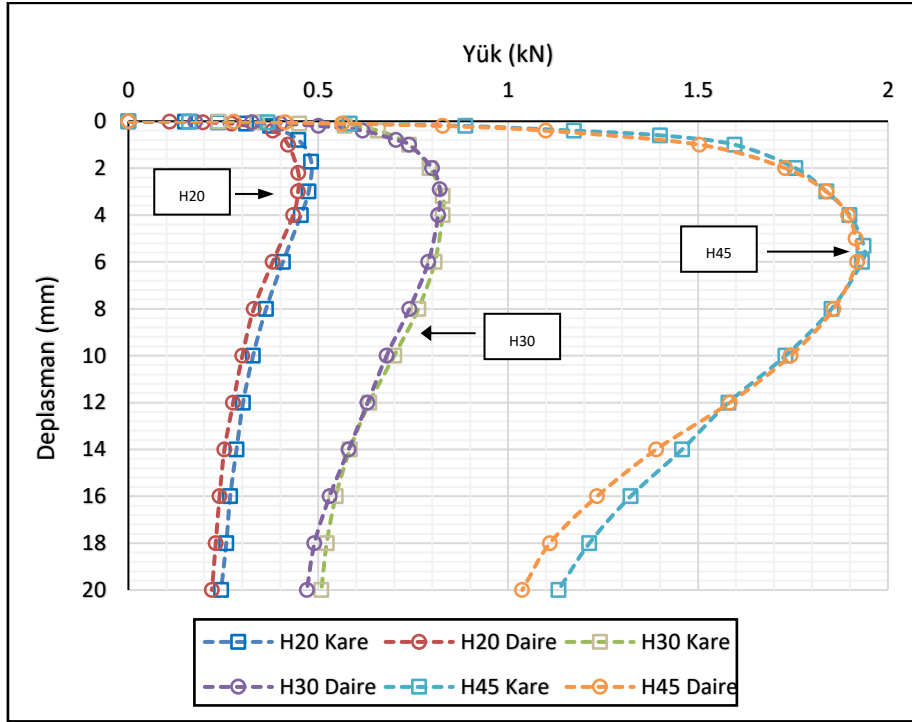
$$F_q = \frac{Q_{ult}}{\gamma H A} \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte Q_{ult} ankrajın net çekme kapasitesini, γ zemin birim hacim ağırlığını, H ankrajın gömülme derinliğini, A ise ankrajın alanını belirtmektedir.

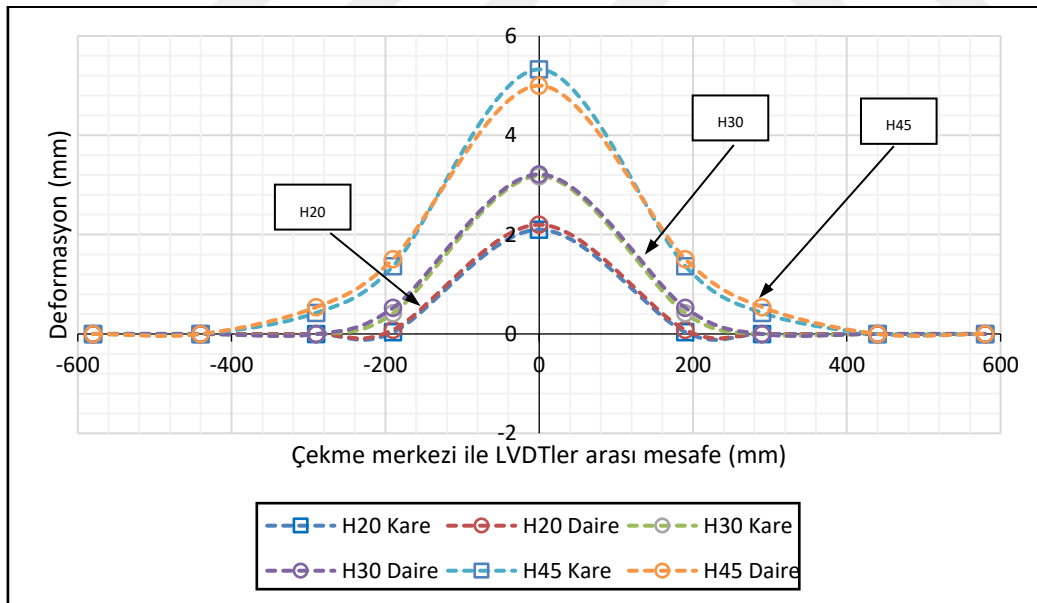
Ankrajın zemin içerisinden çekilmesi esnasında, zemin yüzeyinde yer değişimleri meydana gelecektir. Bu yer değişimleri yüzey deformasyonları olarak adlandırılmaktadır. Ankrajların çekme kapasitesi değerine ulaştığı andaki yüzey deformasyonları Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Burada; çekme merkezinde ankraj çekme kapasitesine ulaştığı pik deplasman değeri gösterilmiş olup, diğer deformasyon değerleri ise merkezden çeşitli uzaklıklara yerleştirilen (190, 290, 440 ve 580 mm) LVDT okumaları ile elde edilmiştir. Yüzey deformasyonları incelendiğinde, deformasyonların ankrajın geometrik şeklinden bağımsız olduğu görülmektedir. Ayrıca ankrajın gömülme derinliğine bağlı olarak yüzey deformasyon değerlerinde artışlar ve daha geniş alanlara yayılmalar meydana gelmektedir.

Çizelge 4.4. Güçlendirilmemiş yatay plaka ankrajların farklı gömülme derinliklerine göre çekme kapasiteleri ve pik deplasman değerleri

Deney Adı	Açıklama	Gömülme Derinliği (mm)	Gömülme Oranı (H/B veya H/D)	Çekme Kapasitesi (kN)	Residual Kapasite (kN)	Yenilme Faktörü (F_q)	Pik Deplasman (mm)
H20 Kare	Güçlendirilmemiş	200	1	0.482	0.244	3.738	1.72
H20 Daire	Güçlendirilmemiş	200	0.888	0.448	0.220	3.496	2.20
H30 Kare	Güçlendirilmemiş	300	1.5	0.827	0.508	4.283	3.08
H30 Daire	Güçlendirilmemiş	300	1.333	0.820	0.470	4.270	2.90
H45 Kare	Güçlendirilmemiş	450	2.25	1.946	1.133	6.716	5.37
H45 Daire	Güçlendirilmemiş	450	2	1.913	1.037	6.639	5.00



Şekil 4.6. Güçlendirilmemiş durumdaki yatay ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre yük deplasman grafikleri



Şekil 4.7. Güçlendirilmemiş durumdaki yatay ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyonları grafikleri

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen çekme kapasitesi verileri mevcut literatürde bulunan kohezyonsuz zeminlere gömülü yatay plaka ankrajların çekme kapasitesi formülleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre literatürde önerilen yöntemlerin, ankrajın geometrik şekli ve gömülme oranına (H/B veya H/D) göre hata oranları belirlenmiştir

(Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.). Deneyisel ve teorik olarak elde edilen çekme kuvvetleri karşılaştırılmasının olduğu grafik EK-3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Literatürde önerilen çekme kuvveti formülleri ile deneyisel verilerin karşılaştırılması (Dikdörtgen ankraj)

Teorik Yöntem	Gömülme Oranı (H/B)	Deneyisel Çekme Kapasitesi (kN)	Teorik Çekme Kapasitesi (kN)	Hata Oranı (%)
Meyerhof ve Adams (1968)	1	0.482	0.435	%9.63
	1.5	0.827	0.882	%6.65
	2.25	1.946	1.841	%5.43
Ovesen (1981)	1	0.482	0.269	%44.16
	1.5	0.827	0.902	%9.06
	2.25	1.946	3.880	%99.35
Murray ve Geddes (1988)	1	0.482	0.455	%5.58
	1.5	0.827	1.041	%25.81
	2.25	1.946	2.584	%32.78
Frdyman ve Shaham (1989)	1	0.482	0.364	%24.50
	1.5	0.827	0.856	%3.49
	2.25	1.946	2.00	%2.88
Remeshbabu (1998)	1	0.482	0.419	%13.03
	1.5	0.827	0.828	%0.01
	2.25	1.946	1.635	%15.98
Desmuskh ve diğerleri (2010)	1	0.482	0.396	%17.72
	1.5	0.827	0.866	%4.62
	2.25	1.946	2.042	%4.91

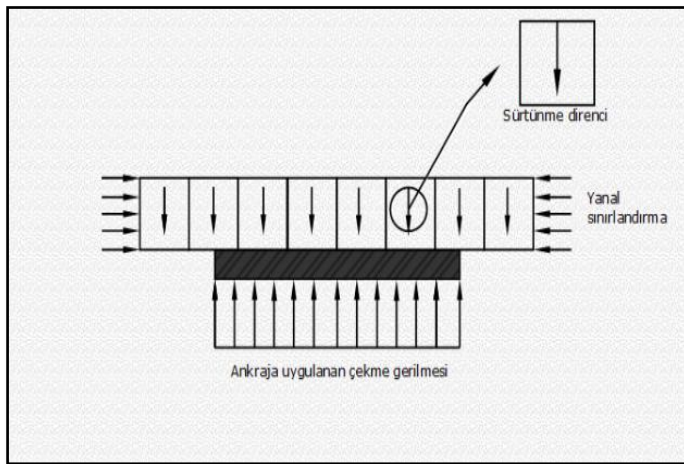
Çizelge 4.6. Literatürde önerilen çekme kuvveti formülleri ile deneyisel verilerin karşılaştırılması (Dairesel ankraj)

Teorik Yöntem	Gömülme Oranı (H/D)	Deneyisel Çekme Kapasitesi (kN)	Teorik Çekme Kapasitesi (kN)	Hata Oranı (%)
Balla (1961)	0.888	0.448	0.335	%25.18
	1.333	0.820	0.826	%0.72
	2	1.913	2.354	%23.12
Ireland (1963)	0.888	0.448	0.227	%49.29
	1.333	0.820	0.414	%49.43
	2	1.913	0.939	%50.93
Downs ve Chieurrzi (1966)	0.888	0.448	0.126	%71.88
	1.333	0.820	0.621	%24.30
	2	1.913	4.857	%153.94
Meyerhof ve Adam (1968)	0.888	0.448	0.3761	%15.96
	1.333	0.820	0.818	%0.25
	2	1.913	2.437	%27.31
Vesic (1971)	0.888	0.448	0.320	%28.49
	1.333	0.820	0.745	%9.13
	2	1.913	1.920	%0.42
Celemence ve Veesaert (1977)	0.888	0.448	1.000	%123.61
	1.333	0.820	1.968	%139.95
	2	1.913	5.166	%170.12
Murray ve Geddes (1988)	0.888	0.448	0.357	%20.23
	1.333	0.820	0.707	%13.74
	2	1.913	1.752	%8.41
Remeshbabu (1998)	0.888	0.448	0.373	%16.67
	1.333	0.820	0.737	%10.11
	2	1.913	1.739	%9.09
Ilamparuthi ve diğerleri (2002)	0.888	0.448	0.371	%17.15
	1.333	0.820	0.742	%9.55
	2	1.913	2.060	%7.73

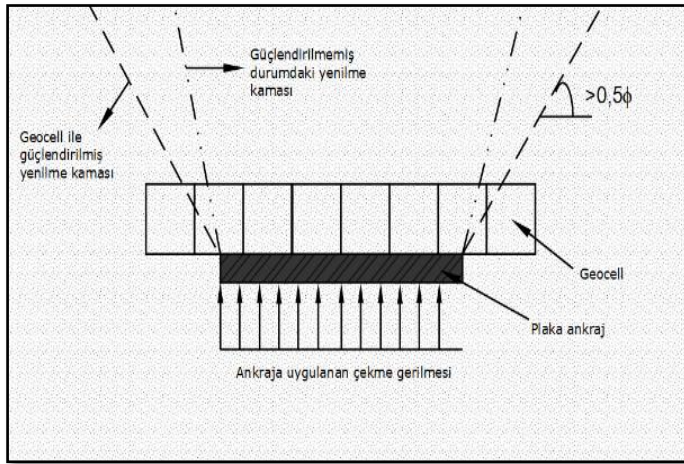
4.4.4. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki ankrajın davranışı

Yapılan deneysel çalışmanın bu kısmında, hücresel yapı elemanları güçlendirilmiş yatay plaka ankrajların çekme kapasitesine davranışı araştırılmıştır. Bu aşamada kullanılan HDPE malzemeden üretilmiş tek hücre boyutu 160 mm × 160 mm olan hücresel yapı elemanları sırası ile yüksekliği 100 mm hücre sayısı 1×1, 2×2, 3×3, 5×5 olan ve yüksekliği 150 mm hücre sayısı 3×3, 5×5 olan hücre genişlikleri ve hücre yüksekliklerin ankrajın çekme davranışına etkisi incelenmiştir. Optimum hücre sayısı (genişliği) araştırılmıştır.

Hücresel yapı elemanları zeminleri hapsederek, zeminin yanal yönlü hareketini sınırlandırmaktadır. Bu sınırlandırma sonucunda, hücresel yapı elemanı yüzeyleri ile zemin arasında sürtünmeden kaynaklı iyileşmeler görülmektedir (hücresel sınırlandırma) (Şekil 4.8.). Aynı zamanda hücresel yapı elemanları ile zeminin oluşturduğu kompozit yapı, zeminin kohezyon miktarında artırarak kayma dayanımına karşı direnç sağlamaktadır. Bu kompozit yapı, zeminin modülünü artırmaktadır. Zemin modülü artan kohezyonsuz zeminler üzerine gelen gerilmeleri daha geniş alana yayabilmektedir (gerilim yayılma) (Şekil 4.9.). Bu kapsamında optimum hücre genişliği bulunmuş olup, bu alanda yapılacak diğer çalışmalar için de referans olacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.8. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajlarda hücresel yapı elemanı üzerinde oluşan sürtünme kuvveti



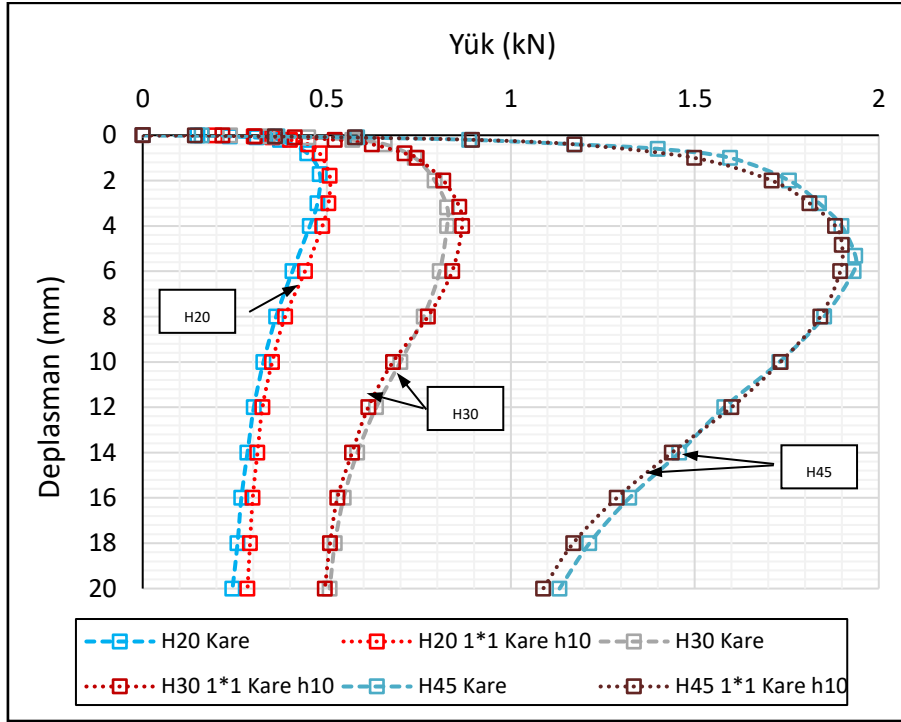
Şekil 4.9. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajlardaki gerilim yayılma mekanizması

Hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile yapılan çalışmalar

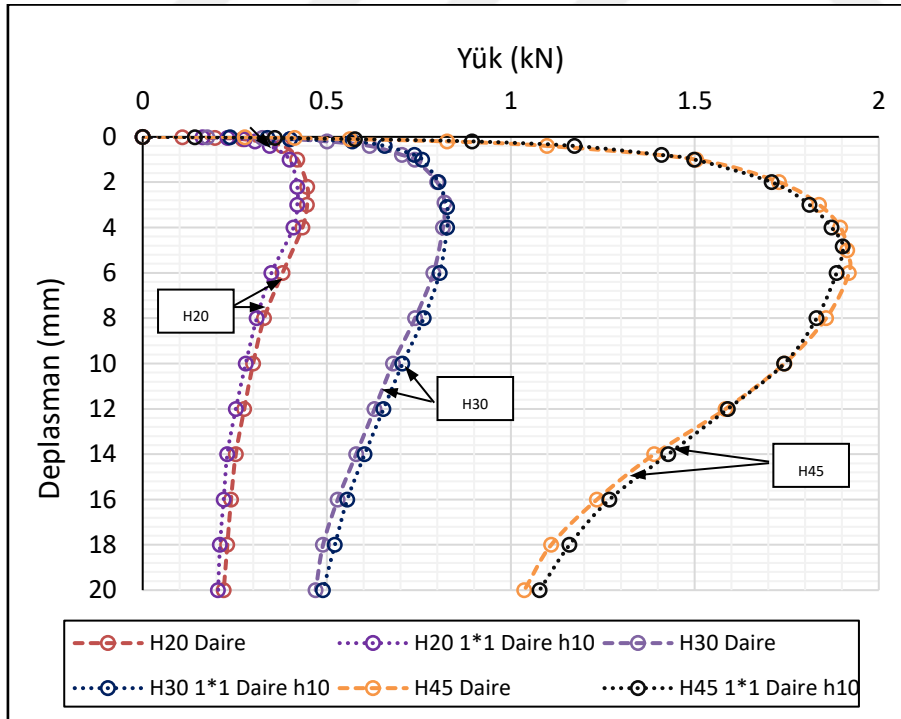
Farklı gömülme derinliklerine (200, 300, 450 mm) yerleştirilen yatay dairesel ve kare plaka ankrajlar, hücre sayısı 1×1 olan hücresel yapı elemanları kullanılarak çekme dayanımlarının güçlendirilmesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, HDPE malzemeden üretilmiş hücre sayısı 1×1 ve hücre yüksekliği 100 mm olan elemanların ankrajların çekme kapasitesi üzerine etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni; hücre genişliğinin ankrajların genişliğinden küçük olması ve bu nedenle yenilme yüzeyinde önemli bir miktarda değişiklik olmaması gösterilebilir. Şekil 4.10. ve Şekil 4.11. sırası ile kare ve dairesel ankrajların üç gömülme derinliği için ölçülen yük deplasman grafiği verilmiştir. Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de ise sırası ile kare ve dairesel ankrajları için zemin yüzeyinde yenilme anında ölçülen deformasyonlar (kabarmalar) değerleri verilmiştir. Yüzey deformasyonları ankrajın gömülme oranına bağlı olarak daha geniş alanlara yayılmıştır. Ankrajların çekme kapasitesine ulaştığı andaki hücresel yapı elemanında oluşan ve gerilim pulları ile ölçülen düşey doğrultuda yaptığı birim şekil değiştirmeler Çizelge 4.7.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7. Hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanların merkezinden ölçülen düşey doğrultudaki birim şekil değiştirmeler

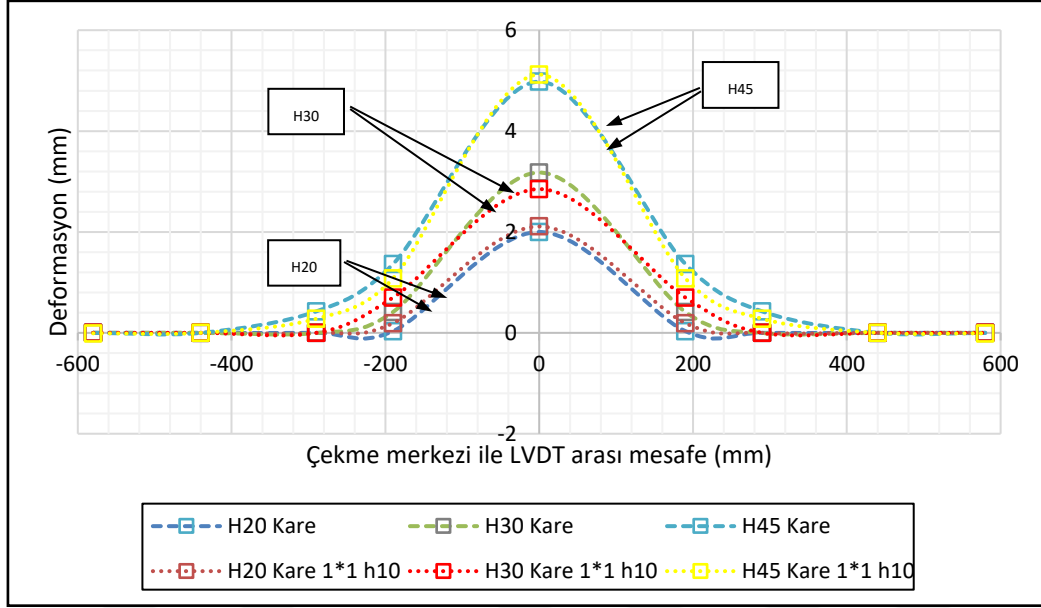
Deney Adı	Açıklama	Birim Şekil Değiştirme (ϵ)	Deney Adı	Açıklama	Birim Şekil Değiştirme (ϵ)
H20 Kare 1×1	Güçlendirilmiş	0.0000131	H20 Daire 1×1	Güçlendirilmiş	0.0000157
H30 Kare 1×1	Güçlendirilmiş	0.0000526	H30 Daire 1×1	Güçlendirilmiş	0.0000456
H45 Kare 1×1	Güçlendirilmiş	0.0001	H45 Daire 1×1	Güçlendirilmiş	0.0001261



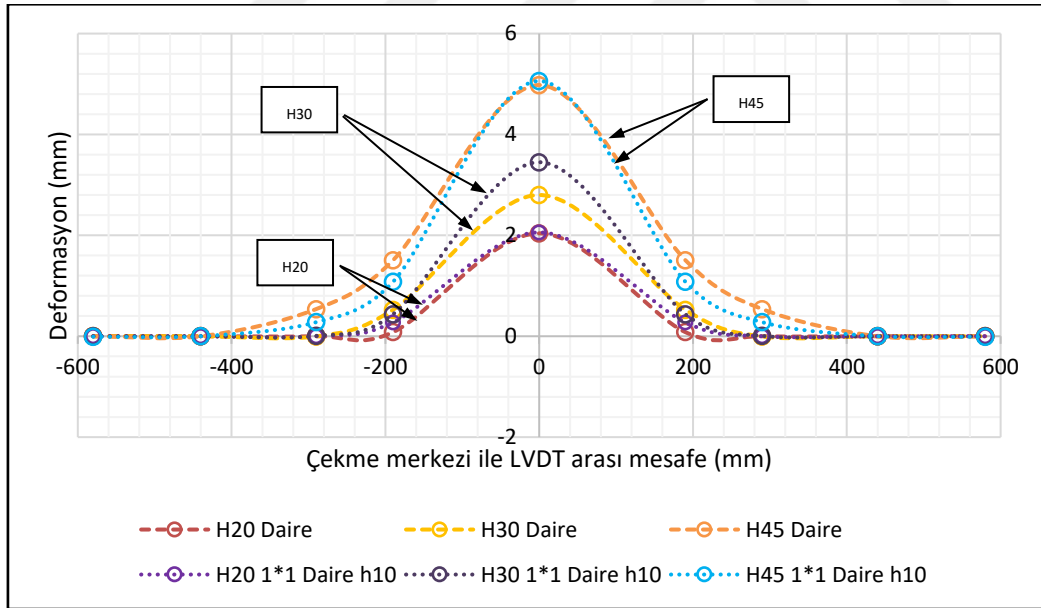
Şekil 4.10. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 1×1 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



Şekil 4.11. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 1×1 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



Şekil 4.12. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 1×1 , yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri



Şekil 4.13. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 1×1 , yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri

Hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile yapılan çalışmalar

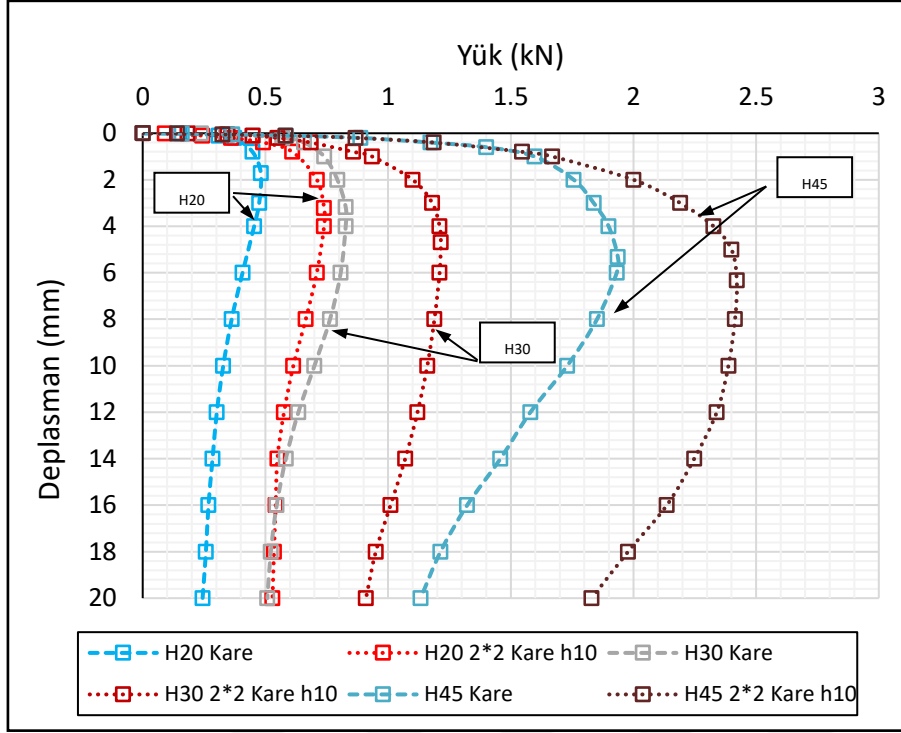
Farklı gömülme derinliklerine yerleştirilen 1×1 hücre sayısı bulunan hücresel yapı elemanlarının, yatay plaka ankrajların çekme kapasitesini artırmak amacıyla kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Bu nedenle çekme kapasitesinin iyileştirilmesi için hücresel yapı elemanın genişliği artırılarak, optimum ankraj genişliği elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile dairesel ve kare ankrajların güçlendirilmesi araştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada; hücre sayısının artırılması ile birlikte çekme kapasitesi, pik deplasman değerlerinde ve yüzey deformasyon değerlerinde artışlar meydana geldiği görülmüştür. Üç farklı gömülme derinliğine (200, 300, 450 mm) gömülü hücresel elemanlarla güçlendirilmiş kare ve dairesel yatay plaka ankrajların çekme yükü-deplasman grafikleri Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'de gösterilmiştir. Üç farklı gömülme derinliği için, hücresel elemanlarla güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kare ve dairesel yatay plaka ankrajların çekme kapasitesine ulaştığı andaki yüzey deformasyonları Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.'de gösterilmiştir.

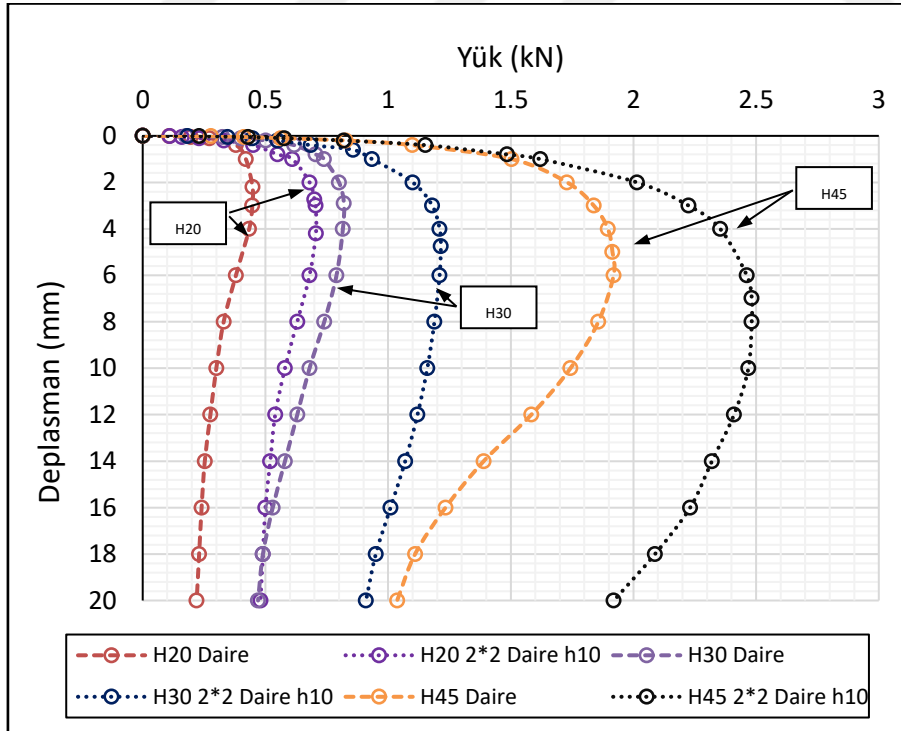
Hücresel yapı elemanı merkezine yerleştirilen gerilim pulları sayesinde, hücresel yapı elemanı malzemesinin düşey doğrultuda gerçekleştirdiği birim şekil değiştirmeler ölçülmüştür. Ölçülen birim şekil değiştirme değerleri Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanların merkezinden ölçülen düşey doğrultudaki birim şekil değiştirmeler

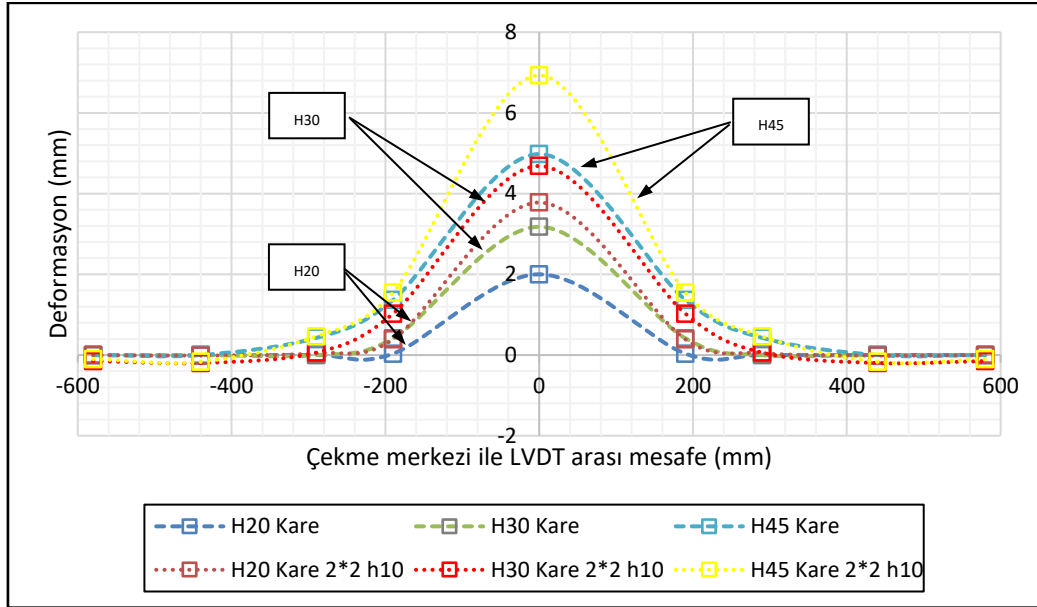
Deney Adı	Açıklama	Birim Şekil Değiştirme (ϵ)	Deney Adı	Açıklama	Birim Şekil Değiştirme (ϵ)
H20 Kare 2×2	Güçlendirilmiş	0.0000208	H20 Daire 2×2	Güçlendirilmiş	0.0000210
H30 Kare 2×2	Güçlendirilmiş	0.0000518	H30 Daire 2×2	Güçlendirilmiş	0.0000427
H45 Kare 2×2	Güçlendirilmiş	0.0000873	H45 Daire 2×2	Güçlendirilmiş	0.0001062



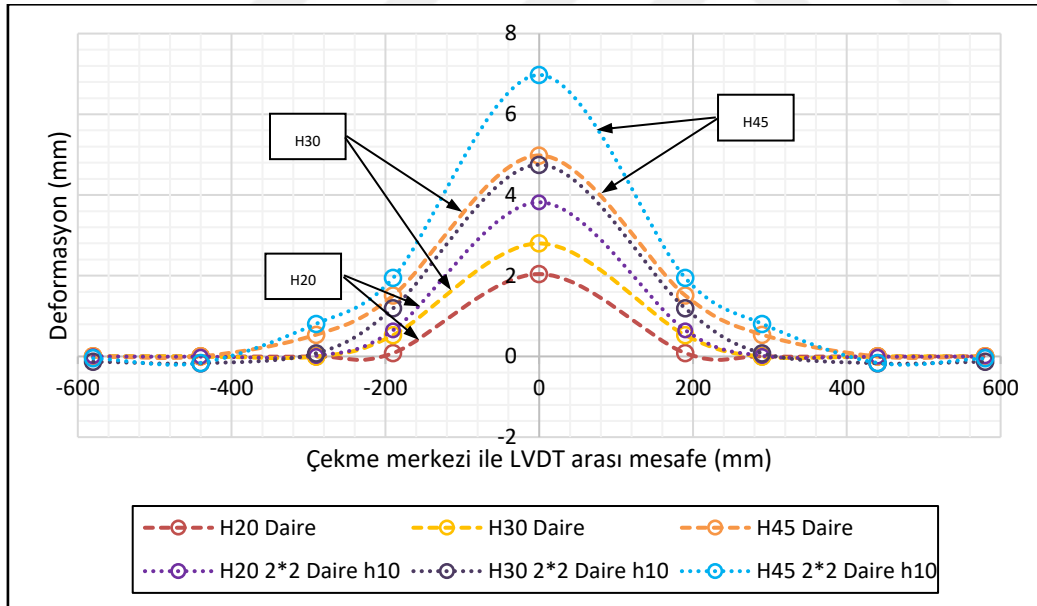
Şekil 4.14. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 2×2 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



Şekil 4.15. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 1×1 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



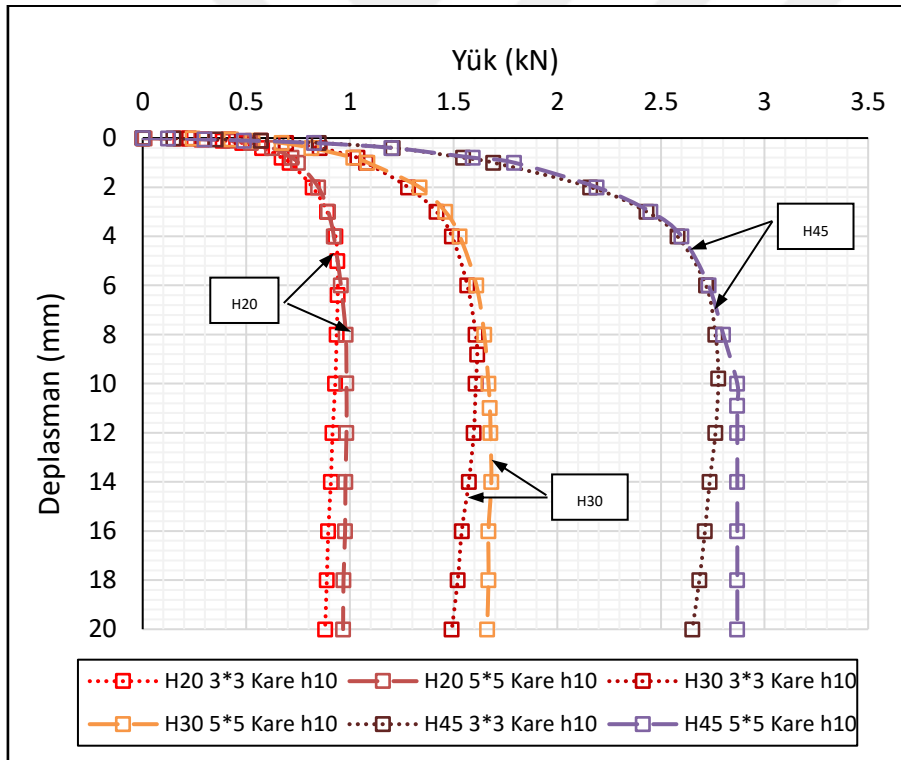
Şekil 4.16. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 2×2 , yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri



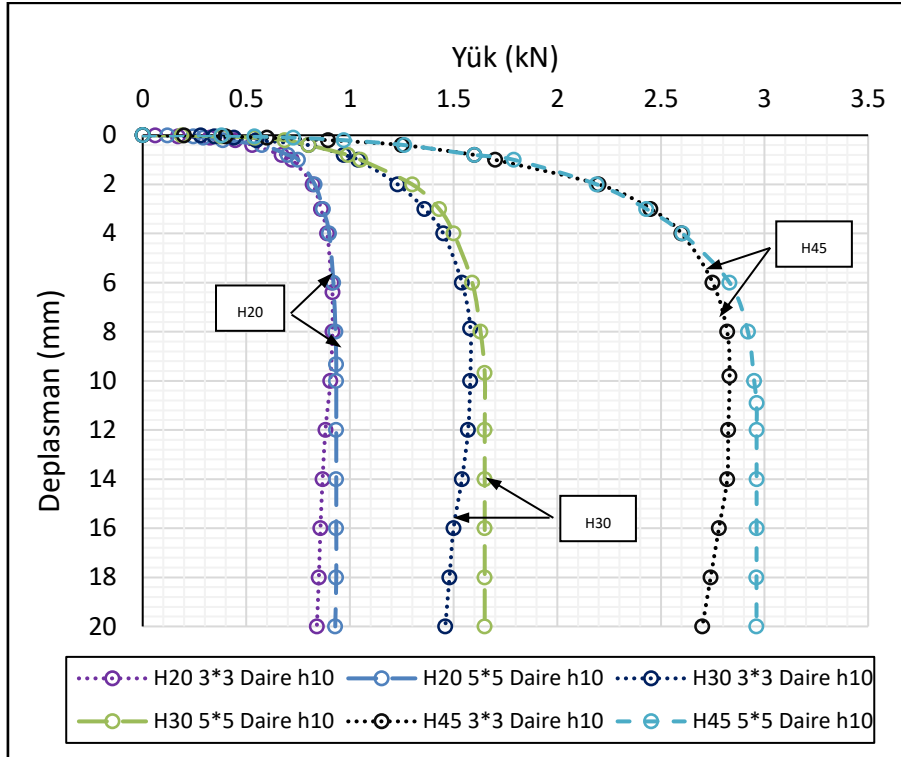
Şekil 4.17. Güçlendirilmemiş ve hücre sayısı 2×2 , yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri

Hücre sayısı 3×3 ve 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile yapılan çalışmalar

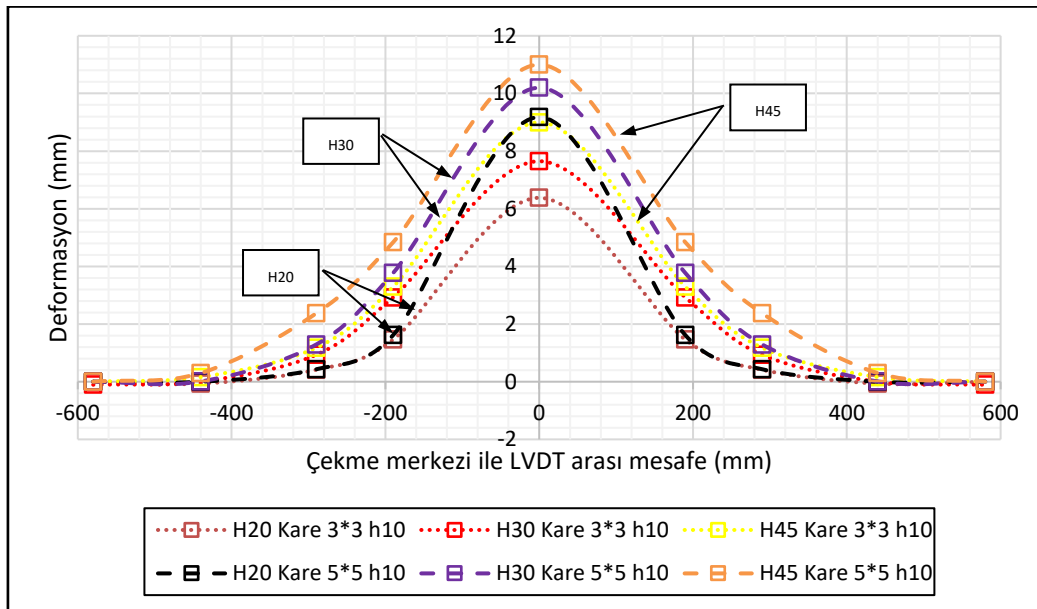
Hücre sayısının artması ile yatay plaka ankrajların çekme kapasitesi ve bu değerdeki pik deplasman değerlerinde artışın görülmesi üzerine hücre sayısı 3×3 ve 5×5 olan HDPE malzemeden üretilmiş hücresel elemanlar ile güçlendirilmiş ankrajlar için plaka çekme deneyi yapılmıştır. Üç farklı gömülme derinliğine (200, 300, 450 mm) bulunan hücre sayısı 3×3 ve 5×5 olan hücresel elemanlarla güçlendirilmiş yatay kare ve dairesel plaka ankrajları çekme yükü-deplasman grafiği Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.'da belirtilmiştir. Üç farklı gömülme derinliği için, hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesine (Q_{ult}) andaki, zemin yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar (kabarmalar) Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.'de gösterilmiştir



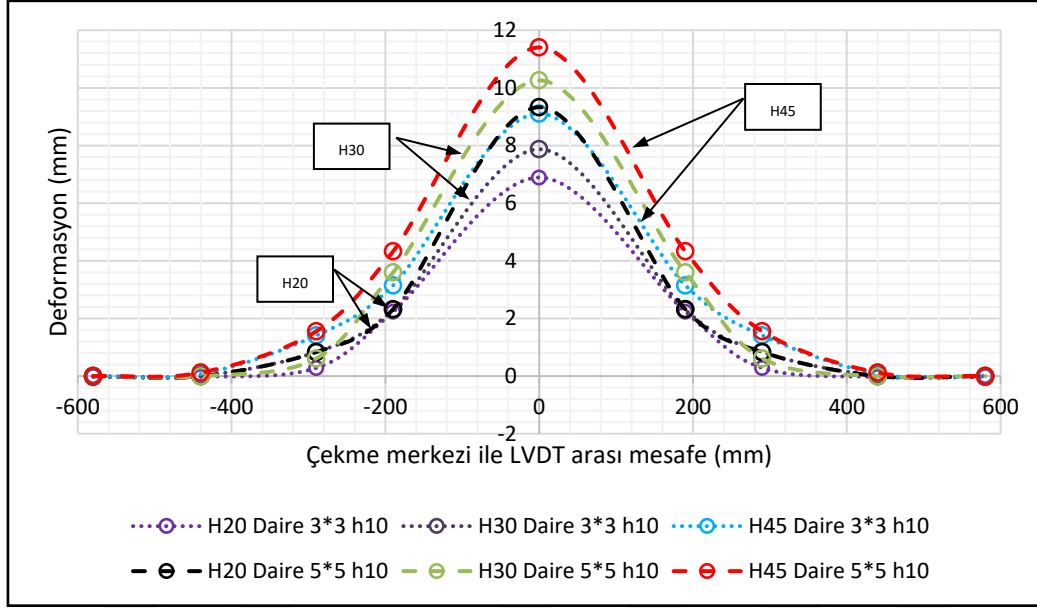
Şekil 4.18. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



Şekil 4.19. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



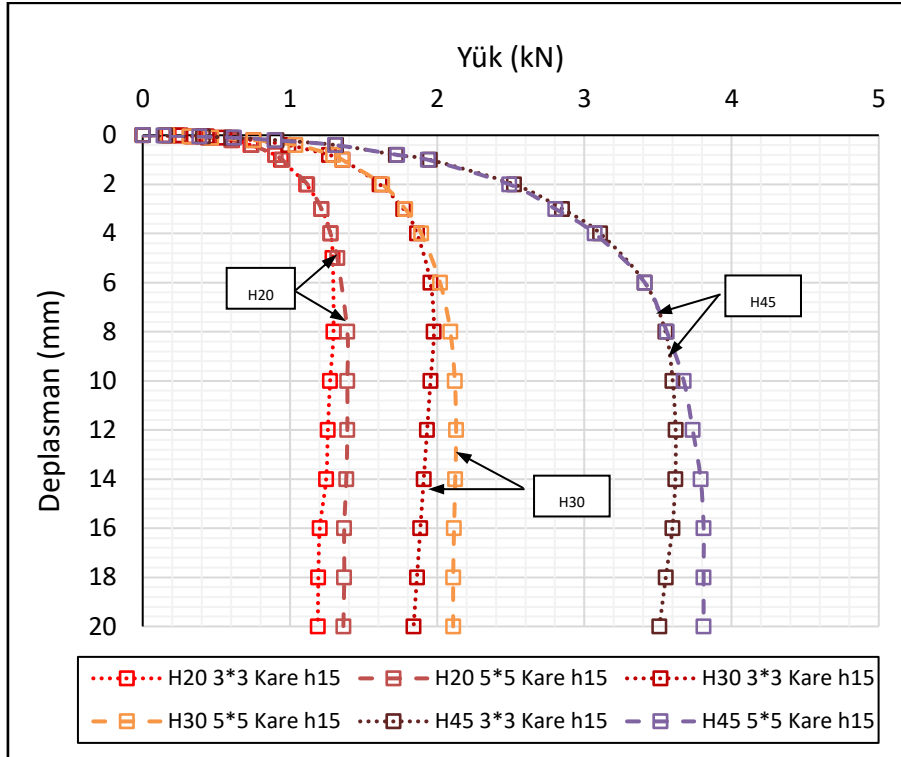
Şekil 4.20. Hücre sayısı 3×3 ve 5×5, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri



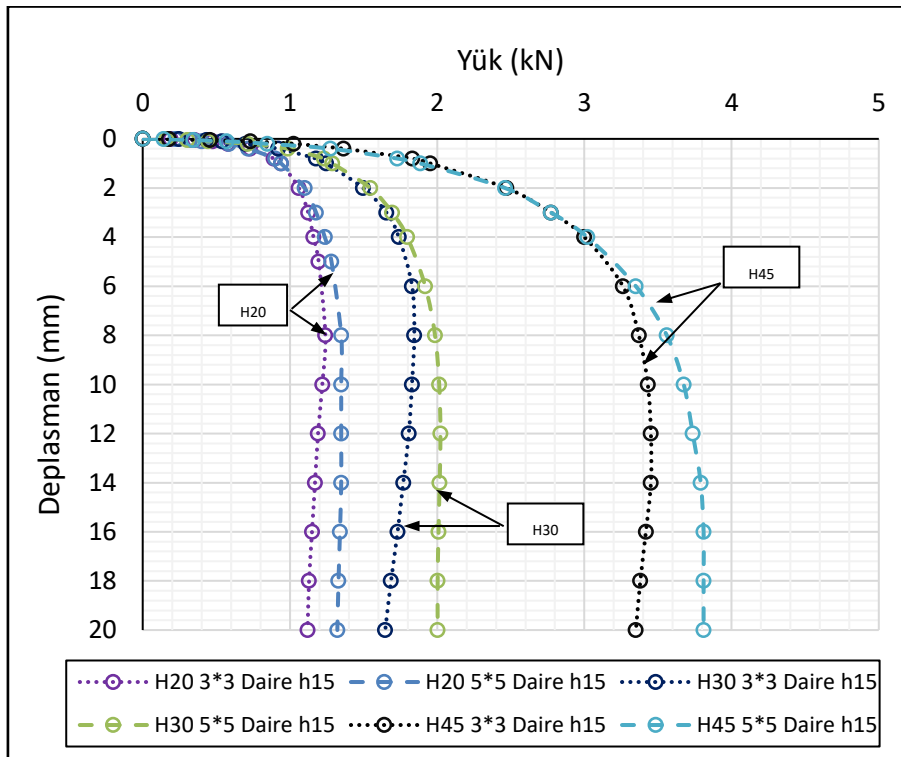
Şekil 4.21. Hücre sayısı 3x3 ve 5x5, yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri

Hücre sayısı 3x3 ve 5x5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanları ile yapılan çalışmalar

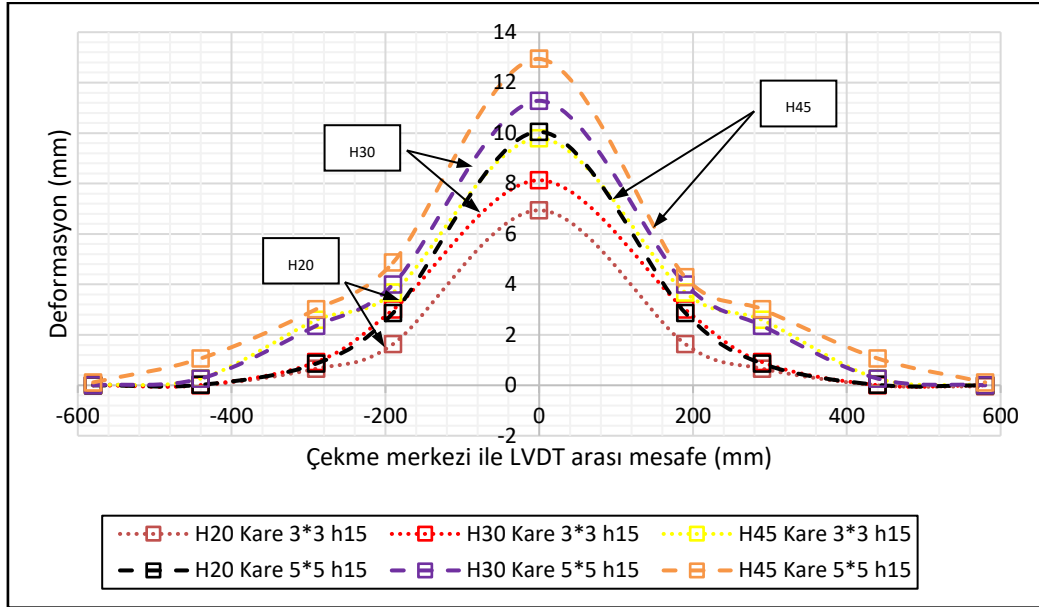
Hücresel yapı elemanın yatay plaka ankrajların çekme davranışına etkisinin araştırılması amacıyla, yüksekliği 150 mm hücre sayısı 3x3 ve 5x5 olan hücresel yapı elemanları kullanılarak dairesel ve kare ankrajların çekme davranışları incelenmiştir. Önceki deneylerde olduğu gibi % 65 rölatif sıklığa sahip kohezyonsuz zemin içerisine kare ve dairesel ankrajlar yerleştirilmiştir. Bu ankrajlar üç farklı gömülme derinliğine (200,300, 450 mm) gömülmüşlerdir. Elde edilen çekme yükü ve deplasman grafiği Şekil 4.22. ve Şekil 4.23.'de belirtilmiştir. Üç farklı gömülme derinliği için, hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesine (Q_{ult}) andaki, zemin yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar (kabarmalar) Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'de gösterilmiştir. Hücre yüksekliğinin artmasına bağlı olarak ankrajların çekme kapasitesinde, çekme anındaki pik deplasman değerlerinde ve yüzey yayılmalarında artışlar meydana gelmiştir.



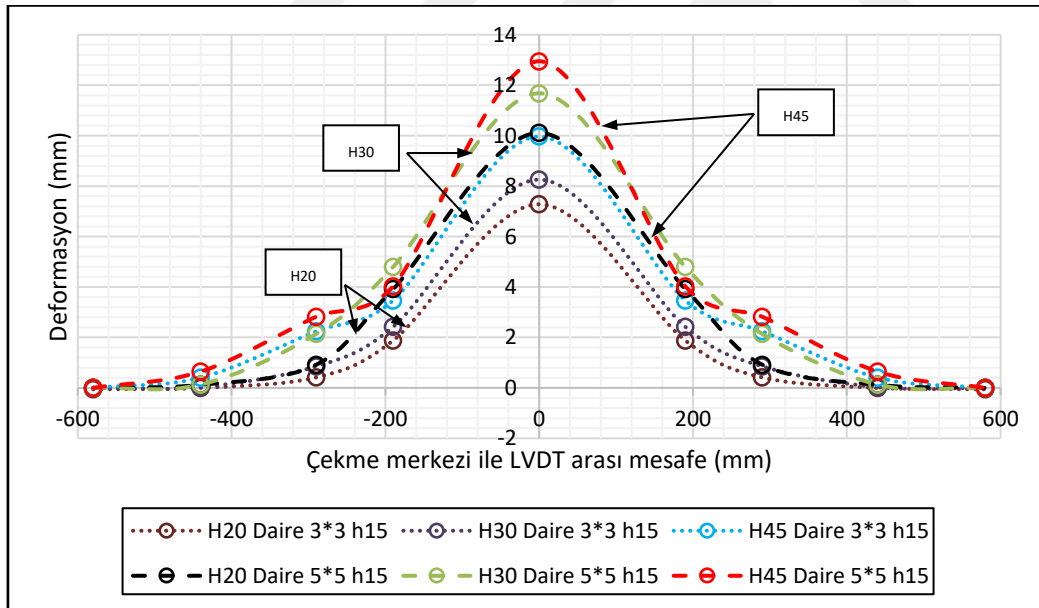
Şekil 4.22. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan kare ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 150 mm olan hüresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



Şekil 4.23. Üç farklı gömülme derinliğinde (200,300,450 mm) bulunan dairesel ankrajların hücre sayısı 3×3 ve 5×5 hücre ve yüksekliği 150 mm olan hüresel yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu oluşan yük deplasman grafiği



Şekil 4.24. Hücre sayısı 3×3 ve 5×5, yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki kare ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri



Şekil 4.25. Hücre sayısı 3×3 ve 5×5, yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş durumdaki dairesel ankrajların çeşitli gömülme derinliklerine göre (200,300,450 mm) çekme kapasitesi anındaki yüzey deformasyon grafikleri

4.4.5. Ankrajın geometrik şeklinin, gömülme derinliğinin ve hücresel yapı elemanlarının ankrajın çekme davranışına etkisi

Yapılan deneylerden elde edilen çekme kapasitesi, residual kapasite, yenilme faktörü ve pik deplasman değerleri Çizelge 4.9.'da belirtilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda; kohezyonsuz zemine gömülü eş değer alana sahip yatay dairesel ve kare ankrajların çekme kapasiteleri, yük-deplasman davranışları ve yüzey deformasyonları (kabarmaları) karşılaştırıldığında bu değerler arasında önemli bir fark bulunmadığı görülmektedir. Bu nedenle eş değer alana sahip dairesel ve kare ankraj geometrisinin, çekme kapasitesi üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir bir düzeyde olduğu görülmüştür.

Yatay plaka ankrajların davranışları belirleyen parametrelerden biri ankrajın gömülme derinliğidir. Gömülme derinliğinin artışına bağlı olarak; ankrajların çekme kapasitesinde, çekme kapasitesi anındaki pik deplasman değerlerinde ve yüzey deformasyonlarında (kabarmalarında) artışlar meydana gelmektedir. Residual kapasite çekme yükünde değişimin olmadığı sınır yükü ifade etmektedir. Yapılan çalışma kapsamında residual sınır 20 mm belirlenmiştir. Eğer 20 mm'lik deplasman değerinde residual kapasite elde edilemezse 20 mm'lik deplasman değerindeki çekme yükü residual kapasite kabul edilmektedir. Gömülme derinliği ile residual kapasitenin ankrajın çekme kapasitesine oranı arasında herhangi bir ilişki bulunmamaktadır. Bu değer gömülme derinliğinden bağımsızdır.

Deneysel sonuçlar doğrultusunda, hücre sayısının (genişliğinin) ankrajın çekme kapasitesi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Hücre sayısının artışına bağlı olarak ankrajın çekme kapasitesinde ve yenilme anındaki pik deplasman değerlerinde artışlar meydana gelmektedir. Ankraj genişliğinden küçük genişlikte kullanılan hücresel elemanların, ankrajın çekme kapasitesine etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12., Şekil 4.13.). Hücre sayısı 3×3 (480 mm) ve hücre sayısı 5×5 (800 mm) ile güçlendirilmiş yatay plaka ankrajların net çekme kapasiteleri arasındaki farkın oldukça küçük olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 4.18., Şekil 4.19., Şekil 4.22., Şekil 4.23.). Bu nedenle hem maliyet açısından hem de uygulanabilirlik açısından optimum hücre sayısı 3×3 ve dolayısıyla optimum hücresel yapı elemanının genişliğinin kare ankrajın genişliğine oranı 2.4 olarak belirtilmiştir. Hücresel yapı elemanın genişliği artması ile ankrajın çekme kapasitesi anındaki pik deplasman değerini ve residual kapasite değerlerinde artışlar meydana gelmektedir. Şekil 4.26., Şekil 4.27., Şekil 4.28. ve Şekil 4.29.'da toplam

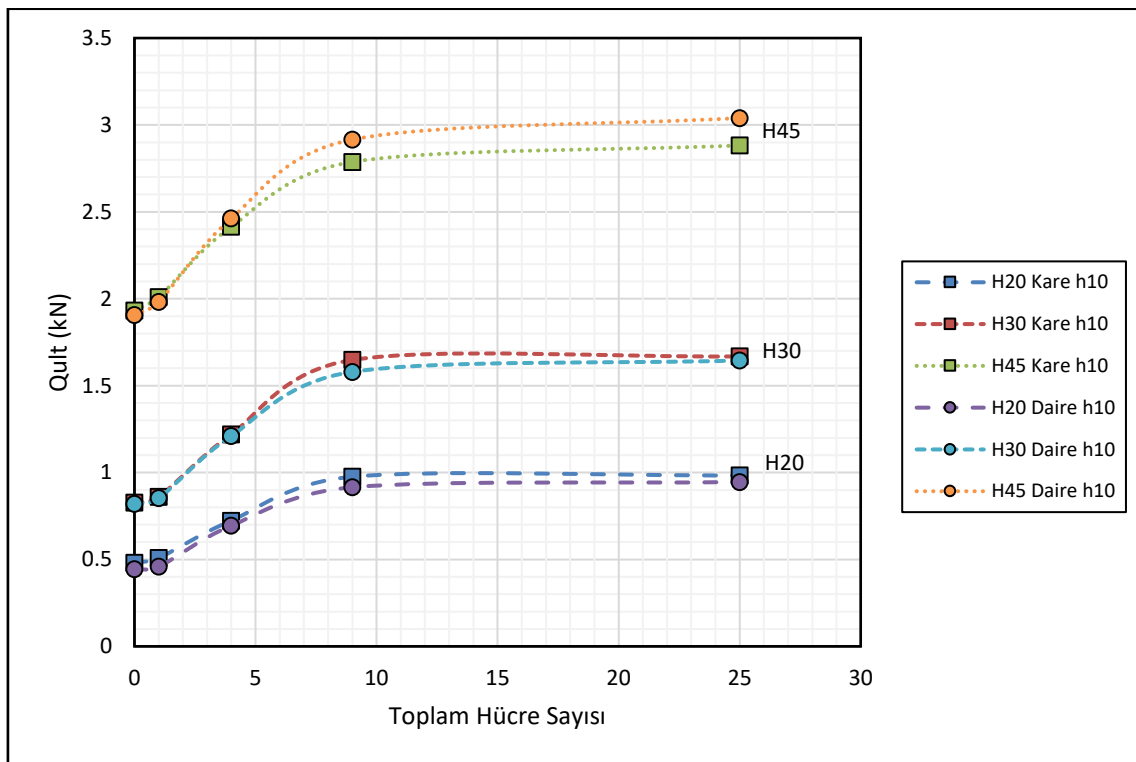
hücre sayısının artışına bağlı olarak ankrajların çekme kapasitesi ve yenilme faktörlerindeki değişimler gösterilirken; Şekil 4.30. ve Şekil 4.31.'de ise toplam hücre sayısının artışına bağlı olarak, ankrajların çekme kapasitesi anındaki pik deplasman değerlerindeki değişimler gösterilmiştir Şekil 4.32. ve Şekil 4.33.'de ise toplam hücre sayısı ile residual kapasitenin çekme kapasitesine oranının (Q_{rez}/Q_{ult}) ilişkisi gösterilmiştir. Bu grafiklerde Q_{ult} net çekme kapasitesi, Q_{rez} residual kapasiteyi, F_q Balla (1961) tarafından önerilen yenilme faktörünü, Δ_f çekme kapasitesi anındaki pik deplasmanı belirtmektedir.

Çizelge 4.9. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler

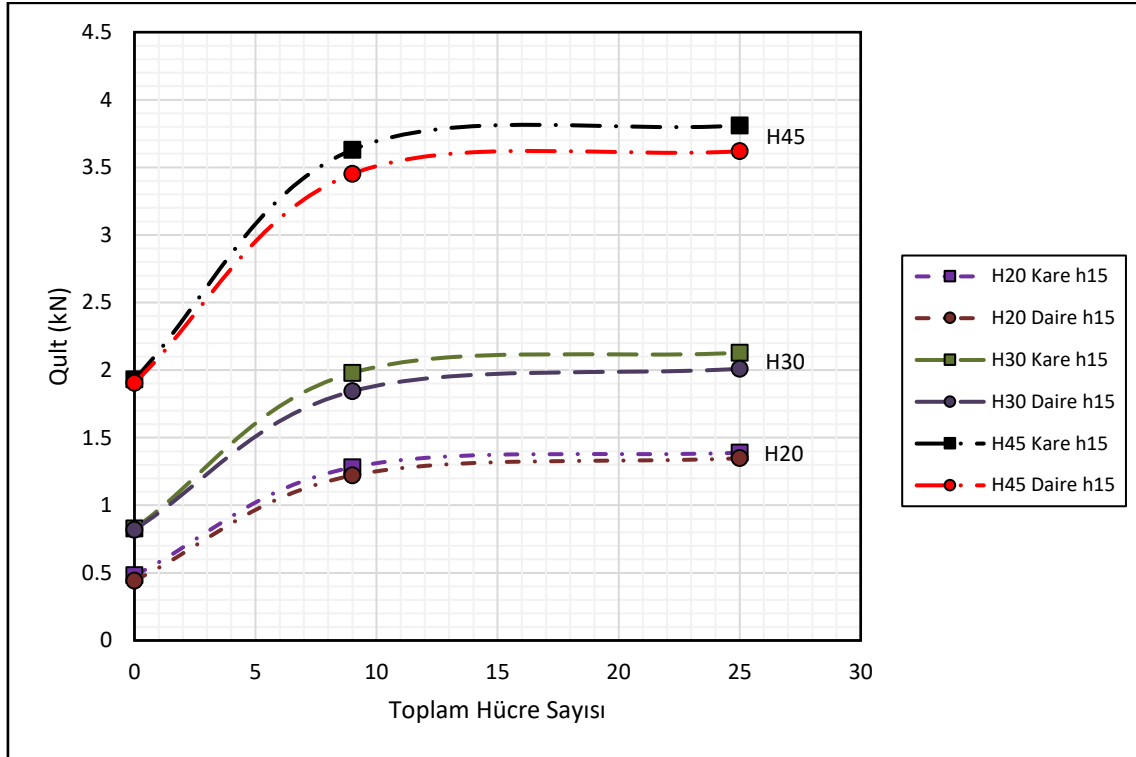
Deney Adı	Açıklama	Gömülme Derinliği (mm)	Çekme Kapasitesi (Q_{ult}) (kN)	Residual Kapasite (Q_{rez}) (kN)	Yenilme Faktörü (F_q)	Pik Deplasman (Δ_f) (mm)
H20 Kare	Güçlendirilmemiş	200	0.482	0.244	3.738	1.72
H20 Kare 1×1 h10	Güçlendirilmiş	200	0.509	0.278	3.968	2.11
H20 Kare 2×2 h10	Güçlendirilmiş	200	0.723	0.529	5.642	3.78
H20 Kare 3×3 h10	Güçlendirilmiş	200	0.976	0.888	7.616	6.38
H20 Kare 5×5 h10	Güçlendirilmiş	200	0.983	0.977	7.672	9.18
H30 Kare	Güçlendirilmemiş	300	0.827	0.508	4.283	3.08
H30 Kare 1×1 h10	Güçlendirilmiş	300	0.860	0.522	4.474	2.90
H30 Kare 2×2 h10	Güçlendirilmiş	300	1.220	0.910	6.345	4.68
H30 Kare 3×3 h10	Güçlendirilmiş	300	1.648	1.529	8.570	7.65
H30 Kare 5×5 h10	Güçlendirilmiş	300	1.668	1.662	8.677	10.20
H45 Kare	Güçlendirilmemiş	450	1.946	1.133	6.716	5.37
H45 Kare 1×1 h10	Güçlendirilmiş	450	2.010	1.171	6.969	5.12
H45 Kare 2×2 h10	Güçlendirilmiş	450	2.414	1.919	8.371	6.93
H45 Kare 3×3 h10	Güçlendirilmiş	450	2.787	2.652	9.664	9.08
H45 Kare 5×5 h10	Güçlendirilmiş	450	2.882	2.882	9.994	11.21
H20 Daire	Güçlendirilmemiş	200	0.448	0.220	3.496	2.20
H20 Daire 1×1 h10	Güçlendirilmiş	200	0.458	0.275	3.598	2.06
H20 Daire 2×2 h10	Güçlendirilmiş	200	0.694	0.507	5.448	3.82
H20 Daire 3×3 h10	Güçlendirilmiş	200	0.915	0.861	7.184	6.89
H20 Daire 5×5 h10	Güçlendirilmiş	200	0.946	0.944	7.423	9.32
H30 Daire	Güçlendirilmemiş	300	0.820	0.470	4.270	2.83
H30 Daire 1×1 h10	Güçlendirilmiş	300	0.853	0.499	4.462	2.85
H30 Daire 2×2 h10	Güçlendirilmiş	300	1.210	0.895	6.331	4.75
H30 Daire 3×3 h10	Güçlendirilmiş	300	1.579	1.510	8.263	7.87
H30 Daire 5×5 h10	Güçlendirilmiş	300	1.645	1.641	8.607	10.26
H45 Daire	Güçlendirilmemiş	450	1.913	1.037	6.639	5
H45 Daire 1×1 h10	Güçlendirilmiş	450	1.982	0.861	6.913	5.06
H45 Daire 2×2 h10	Güçlendirilmiş	450	2.462	1.974	8.587	6.97
H45 Daire 3×3 h10	Güçlendirilmiş	450	2.916	2.828	10.172	9.11
H45 Daire 5×5 h10	Güçlendirilmiş	450	3.040	3.038	10.604	11.40
H20 Kare 3×3 h15	Güçlendirilmiş	200	1.281	1.190	9.993	6.94
H20 Kare 5×5 h15	Güçlendirilmiş	200	1.389	1.363	10.836	10.05
H30 Kare 3×3 h15	Güçlendirilmiş	300	1.980	1.840	10.298	8.13
H30 Kare 5×5 h15	Güçlendirilmiş	300	2.129	2.109	11.073	11.28
H45 Kare 3×3 h15	Güçlendirilmiş	450	3.630	3.510	12.586	9.79
H45 Kare 5×5 h15	Güçlendirilmiş	450	3.810	3.790	13.210	12.94
H20 Daire 3×3 h15	Güçlendirilmiş	200	1.221	1.120	9.580	7.28
H20 Daire 5×5 h15	Güçlendirilmiş	200	1.348	1.322	10.582	10.11
H30 Daire 3×3 h15	Güçlendirilmiş	300	1.844	1.648	9.648	8.26
H30 Daire 5×5 h15	Güçlendirilmiş	300	2.010	2.004	10.517	11.68
H45 Daire 3×3 h15	Güçlendirilmiş	450	3.452	3.350	12.041	9.97
H45 Daire 5×5 h15	Güçlendirilmiş	450	3.620	3.620	12.625	12.95

Hücresel yapı elemanlarının yüksekliklerinin etkisi incelendiğinde ise, yüksekliğin artmasına bağlı olarak ankrajın çekme kapasitesi ve pik deplasman değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Bu durumun nedeni olarak ise; yüksekliğin artışına bağlı olarak zemin

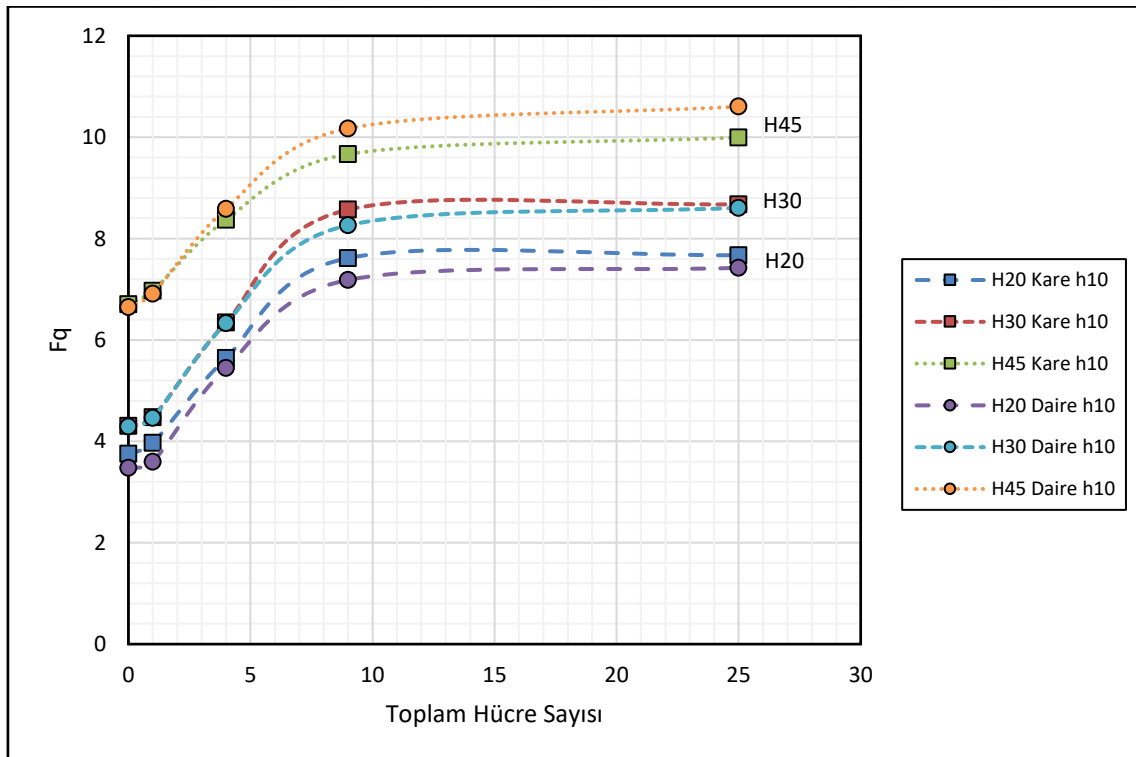
ile hücresel yapı elemanının temas yüzeyinin genişlemesi ve bunun sonucunda hücresel yapı elemanlarında bulunan yüzey sürtünmesinin artması olarak gösterilmektedir. Ayrıca zemin ile hücresel yapı elemanın oluşturacağı kompozit yapının rijitliği artacak ve buna bağlı olarak yenilme yüzeyleri genişleyecektir. 150 mm yüksekliğindeki hücresel elemanlarda elde edilen çekme kapasitesi, yenilme faktörleri, pik deplasmanlar, yüzey deformasyonları değerlerinde artışlar görülmektedir (Şekil 4.26, Şekil 4.27., Şekil 4.28., Şekil 4.29., Şekil 4.30. ve Şekil 4.31.).Hücresel yapı elemanı yüksekliğin, residual dayanımın çekme dayanımına oranı üzerinde etkisi oldukça düşüktür (Şekil 4.32. ve Şekil 4.33.).



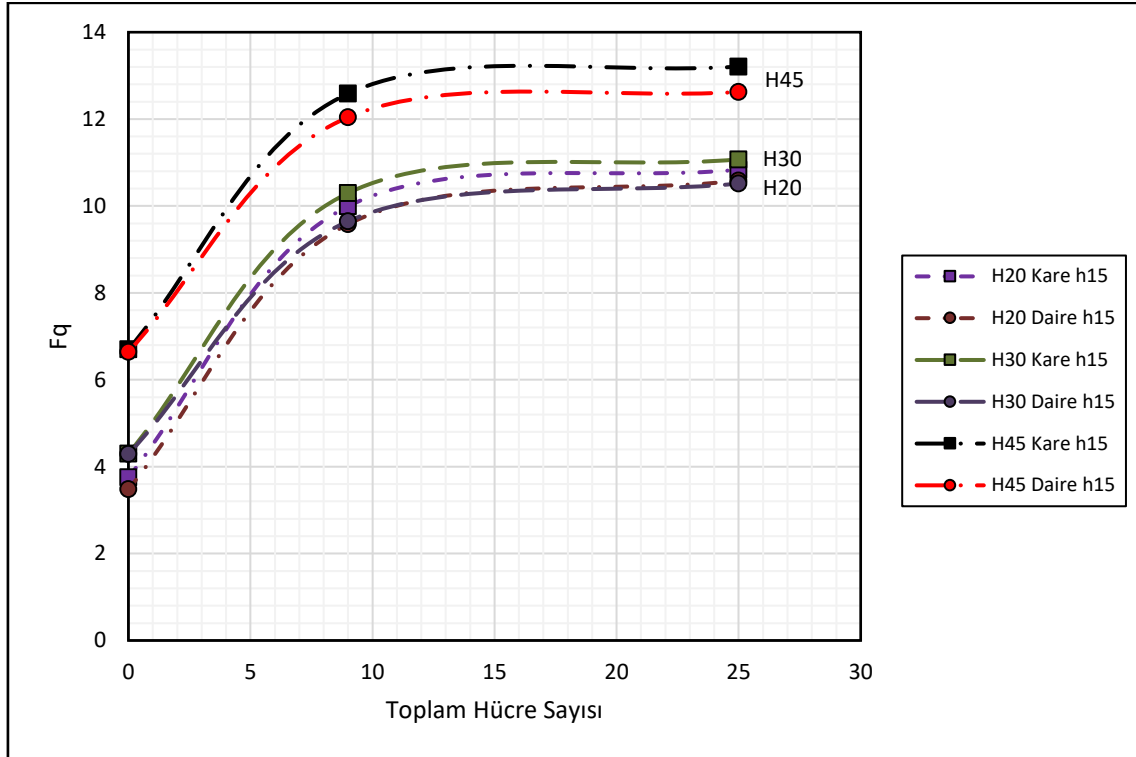
Şekil 4.26. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesi ve yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



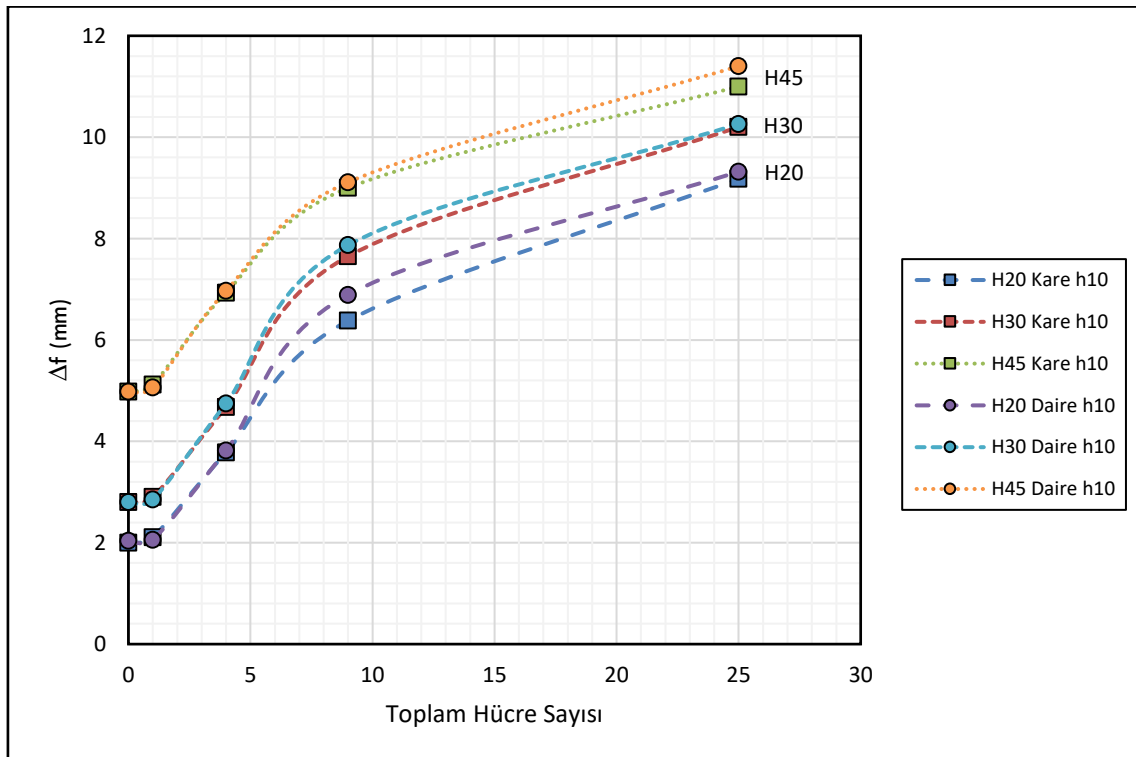
Şekil 4.27. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesele ankrjların çekme kapasitesi ve yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



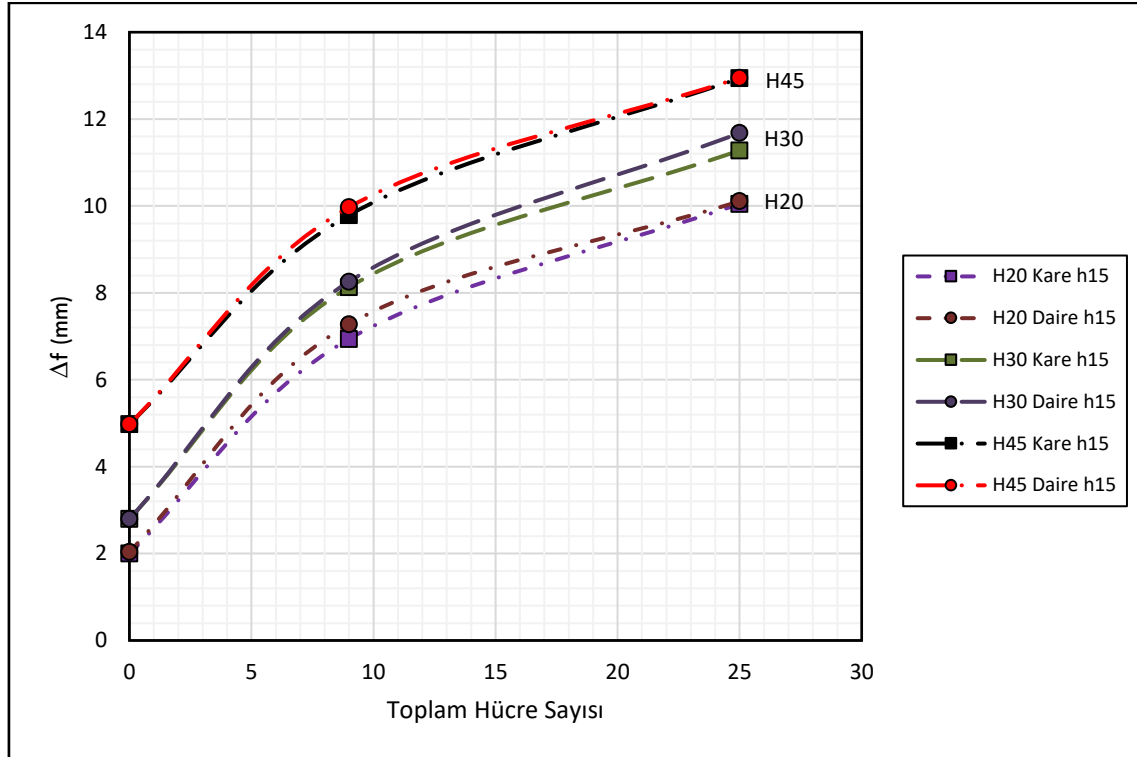
Şekil 4.28. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesele ankrjların yenilme faktörü ve yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



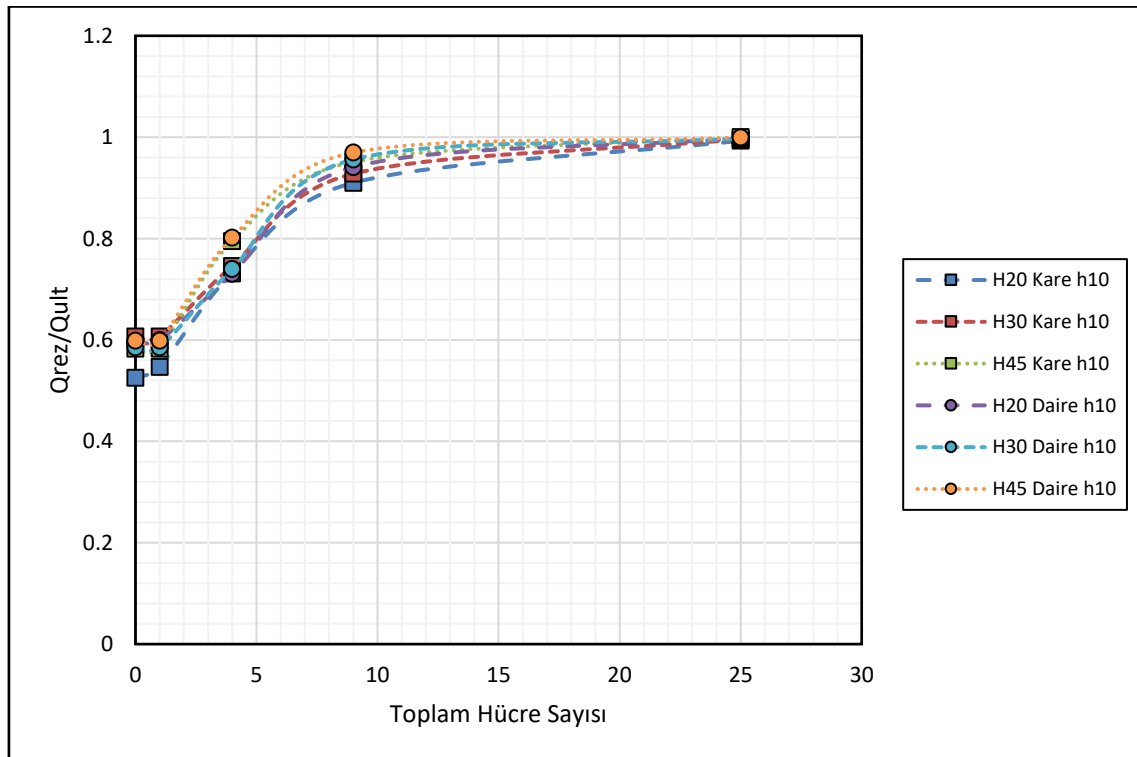
Şekil 4.29. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların yenilme faktörü ve yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



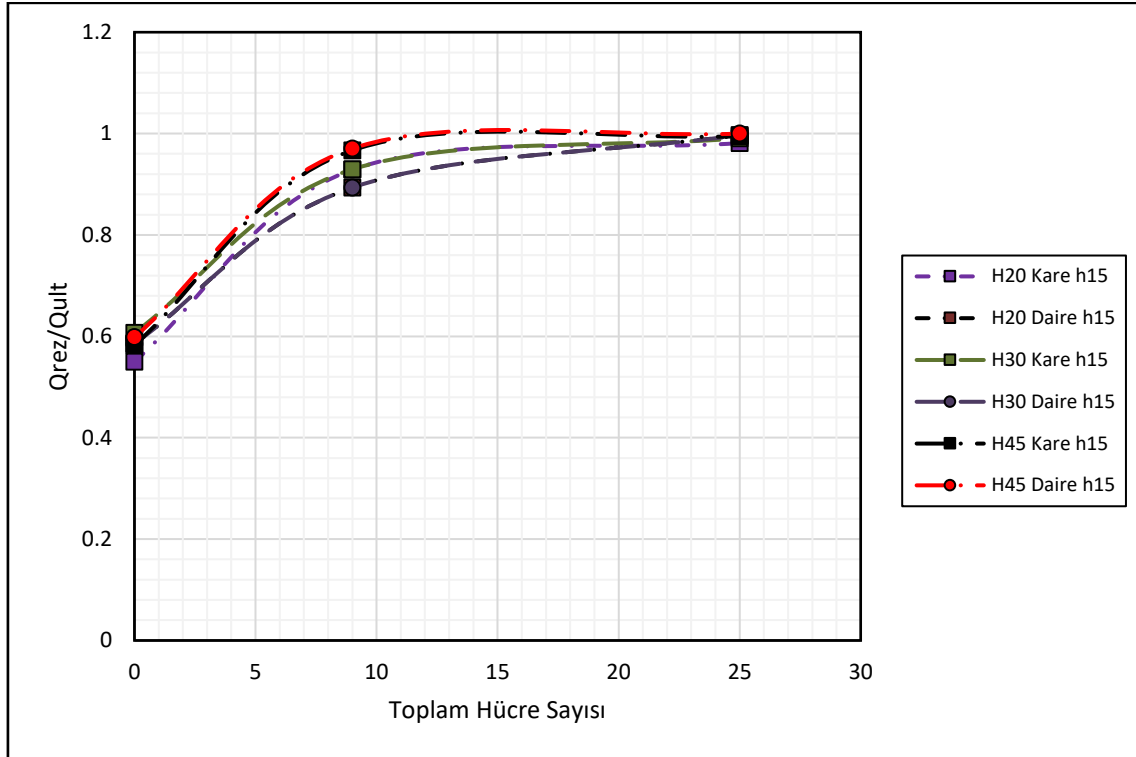
Şekil 4.30. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman değerleri ve yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



Şekil 4.31. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman ve yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



Şekil 4.32. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların residual kapasitesinin çekme kapasitesine oranı ile yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



Şekil 4.33. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların residual kapasitesinin çekme kapasitesine oranı ile yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi

Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilen ankrajın çekme kapasitesinin, güçlendirilmemiş durumdaki çekme kapasitesine oranına çekme kapasitesi artış oranı olarak adlandırılmaktadır (Eş 4.5). Hücresel yapı elemanının genişliklerine bağlı olarak çekme kapasitesi artış oranı 100 mm yüksekliğindeki hücresel yapı elemanları için 1.05 ile 2.09, 150 mm yüksekliğindeki hücresel yapı elemanları için ise 1.87 ile 3.04 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.34., Şekil 4.35.)

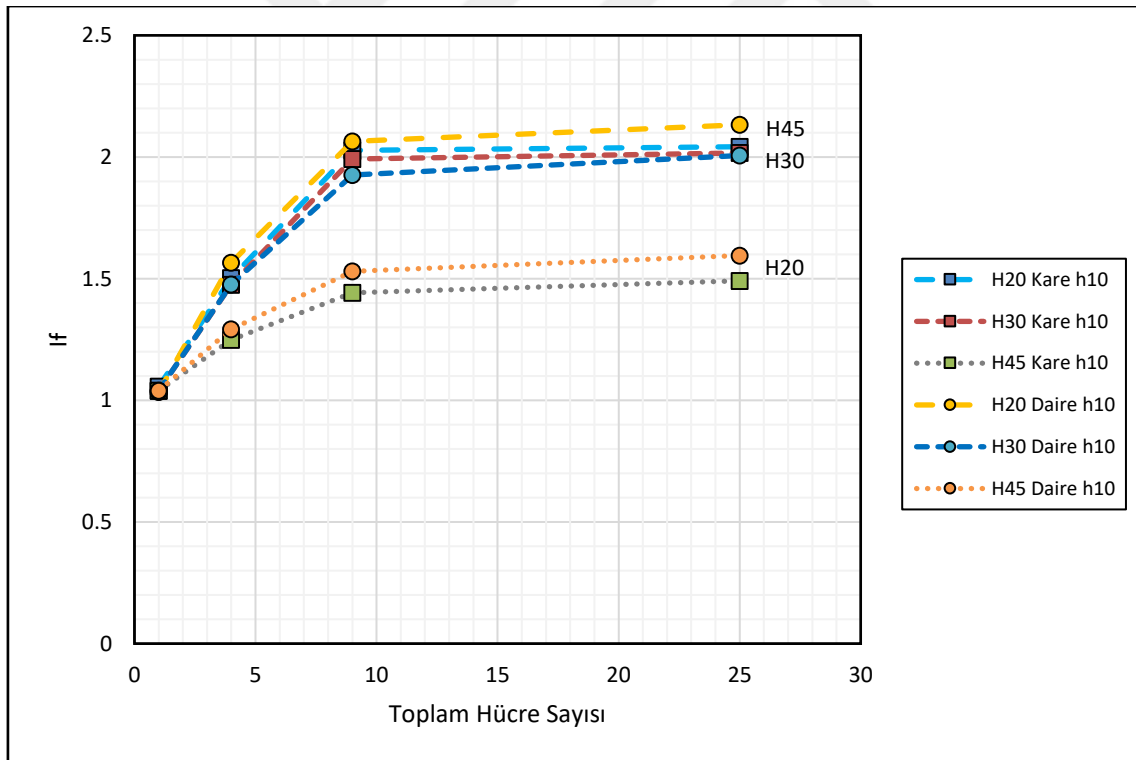
$$I_f = \frac{Q_{ult(ur)}}{Q_{ult(r)}} \quad (4.5)$$

Pik deplasmanlardaki artış oranı ise; hücresel yapı elemanları güçlendirilen ankrajın çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman değerinin, güçlendirilmemiş durumdaki çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman değerine oranı olarak elde edilmektedir (Eş 4.6). Bu iyileşme oranları hücre sayısına bağlı olarak artarken, gömülme oranına bağlı olarak azalış eğilimi göstermektedir. Pik deplasmandaki artış oranı hücre genişliğine bağlı olarak 100 mm yüksekliğindeki hücresel yapı elemanları için 1.08 ile 4.59, 150 mm

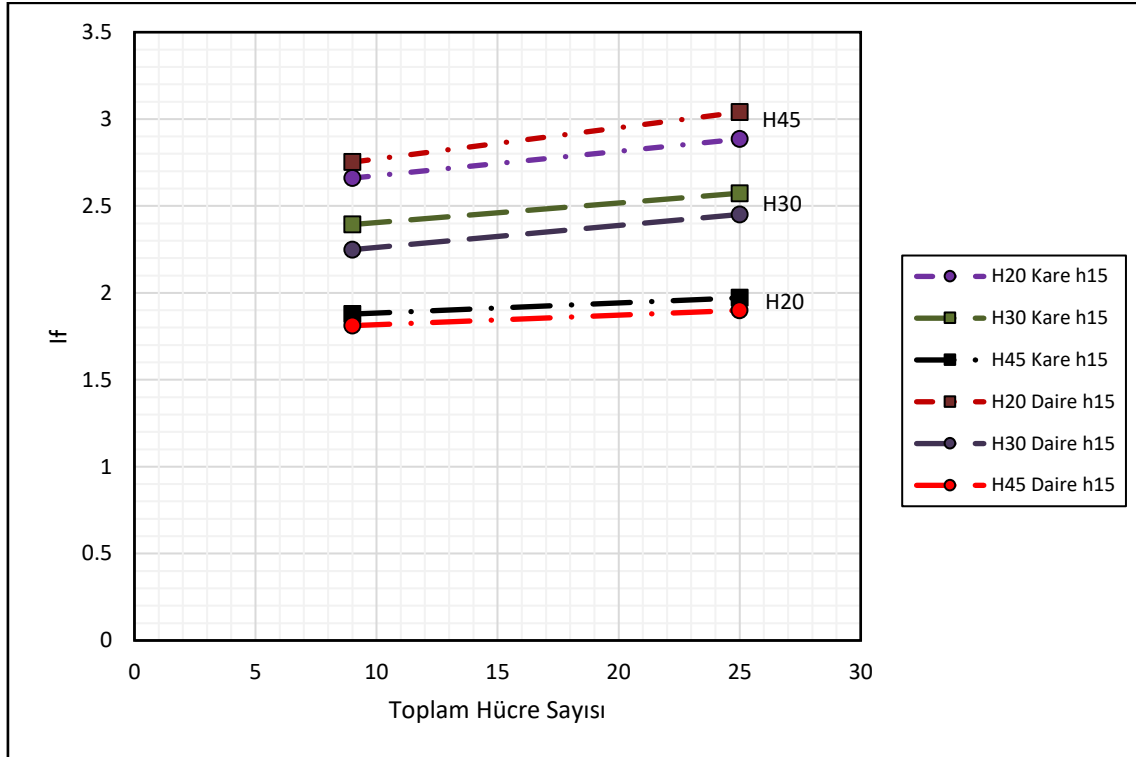
yüksekliğindeki hücresel yapı elemanları için ise 1.96 ile 5.03 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.36, Şekil 4.37.).

$$D_f = \frac{\Delta_{f(ur)}}{\Delta_{f(r)}} \quad (4.6)$$

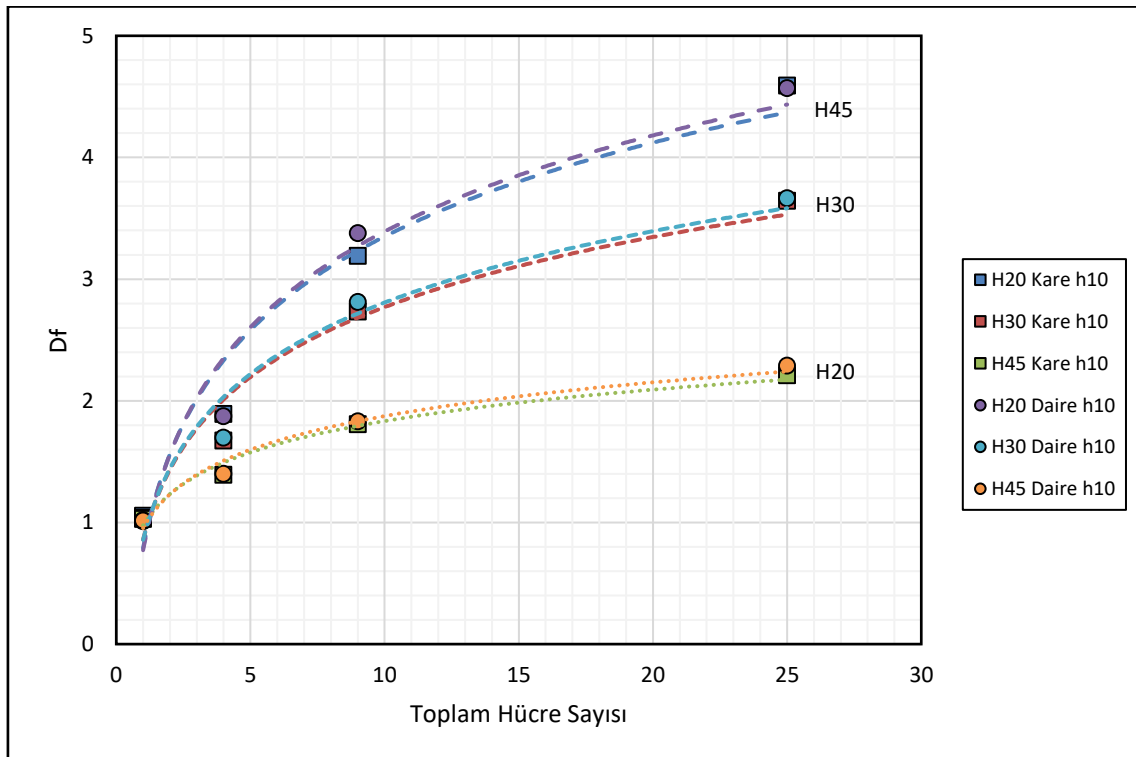
Eş.4.5 ve Eş.4.6'da $Q_{ult(ur)}$ hücresel yapı elemanları güçlendirilmemiş yatay plaka ankrajın çekme kapasitesini, $Q_{ult(r)}$ hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay plaka ankrajın çekme kapasitesi, I_f ankrajın çekme kapasitesi artış oranını, $\Delta_{f(ur)}$ hücresel elemanlarla güçlendirilmemiş yatay plaka ankrajın çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman değerini, $\Delta_{f(r)}$ hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay plaka ankrajın çekme kapasitesine ulaştığı andaki pik deplasman değerini, D_f ise pik deplasmanlardaki artış oranını simgelemektedir.



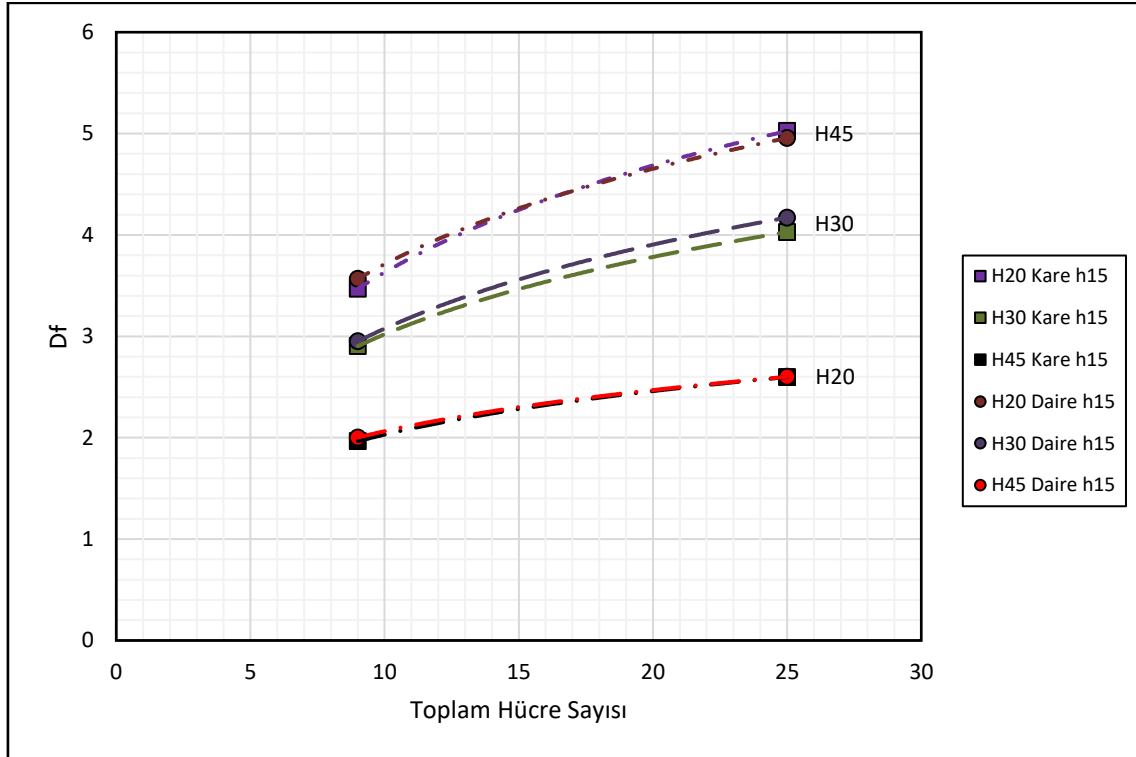
Şekil 4.34. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesindeki artış oranı ile yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



Şekil 4.35. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların çekme kapasitesindeki artış oranı ile yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



Şekil 4.36. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların deplasmanlarındaki iyileşme oranları ile yüksekliği 100 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi



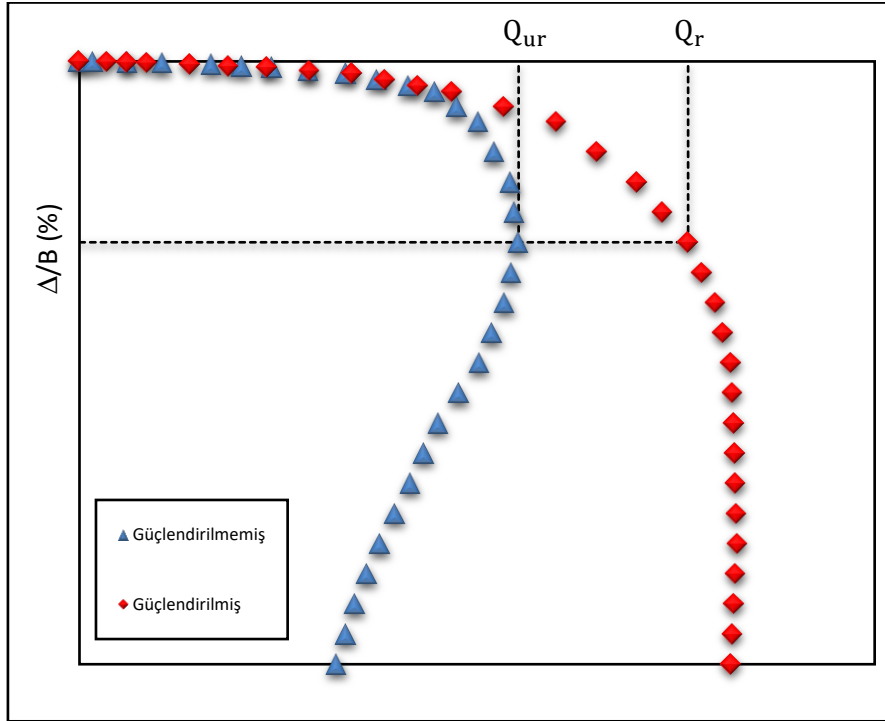
Şekil 4.37. Üç farklı gömülme derinliğine (200,300,450 mm) gömülen kare ve dairesel ankrajların deplasmanlarındaki iyileşme oranları ile yüksekliği 150 mm olan toplam hücre sayısı ilişkisi

Yapılan çalışma kapsamında sadece hücresele yapı elemanları ile güçlendirilen ankrajların çekme kapasitesi ve pik değerindeki iyileşmeler değil, aynı zamanda eş değer deplasman değerlerinde sahip olunan çekme kuvvetlerindeki iyileşmeler de incelenmiştir. İyileşme oranları aşağıdaki eşitlik yardımıyla elde edilmektedir (Eş 4.7, Şekil 4.38.). Elde edilen veriler doğrultusunda bu iyileşme oranının ankraj gömülme derinliğine bağlı olarak azaldığı ve dairesel ankrajlarda bu oranın kare ankrajlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Şekil 4.39., Şekil 4.40. ve Şekil 4.41.'de gösterilen grafiklerde dairesel ve kare ankrajlar ortak olarak değerlendirilmeleri açısından ankrajın deplasman değerinin kare ankraj genişliğine oranı (Δ/B) yüzdelik olarak grafikte yerini almıştır. Yük deplasman grafiklerinde sınır değer kabul ettiğimiz 20 mm ankraj deplasmanı değeri, bu grafikler için de sınır değer 20 mm olarak kabul edilmiştir.

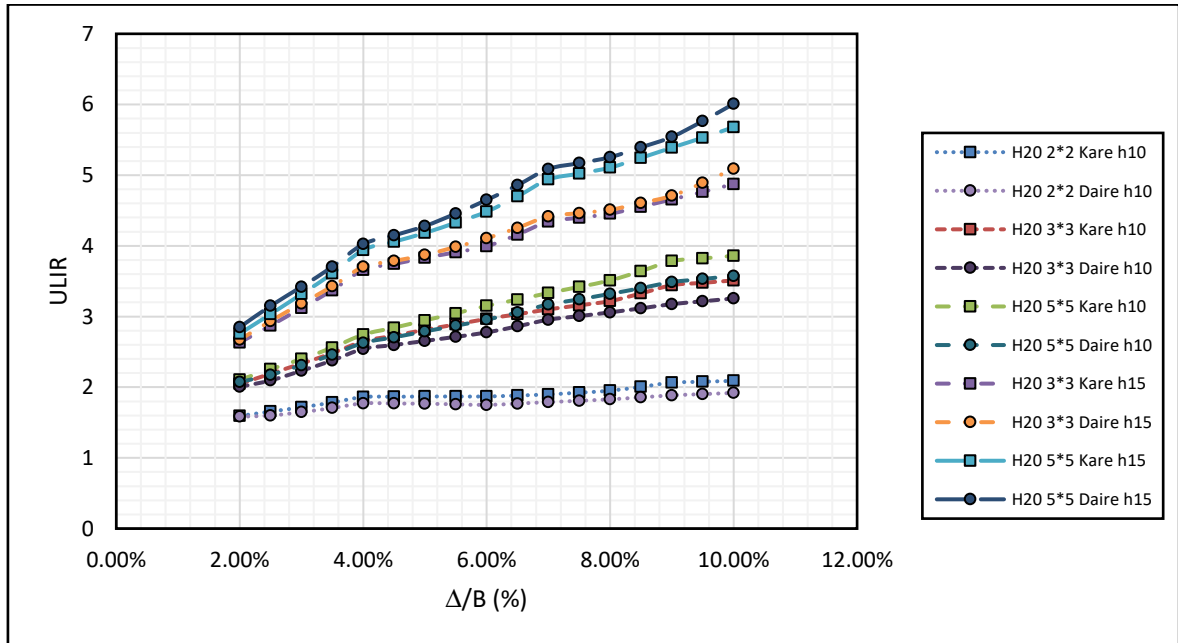
$$ULIR = \frac{Q_r}{Q_{ur}} \quad (4.7)$$

Burada Q_{ur} hücresele yapı elemanları ile güçlendirilmemiş yatay plaka ankrajın incelenen deplasman değerindeki çekme yükünü, Q_r hücresele yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay

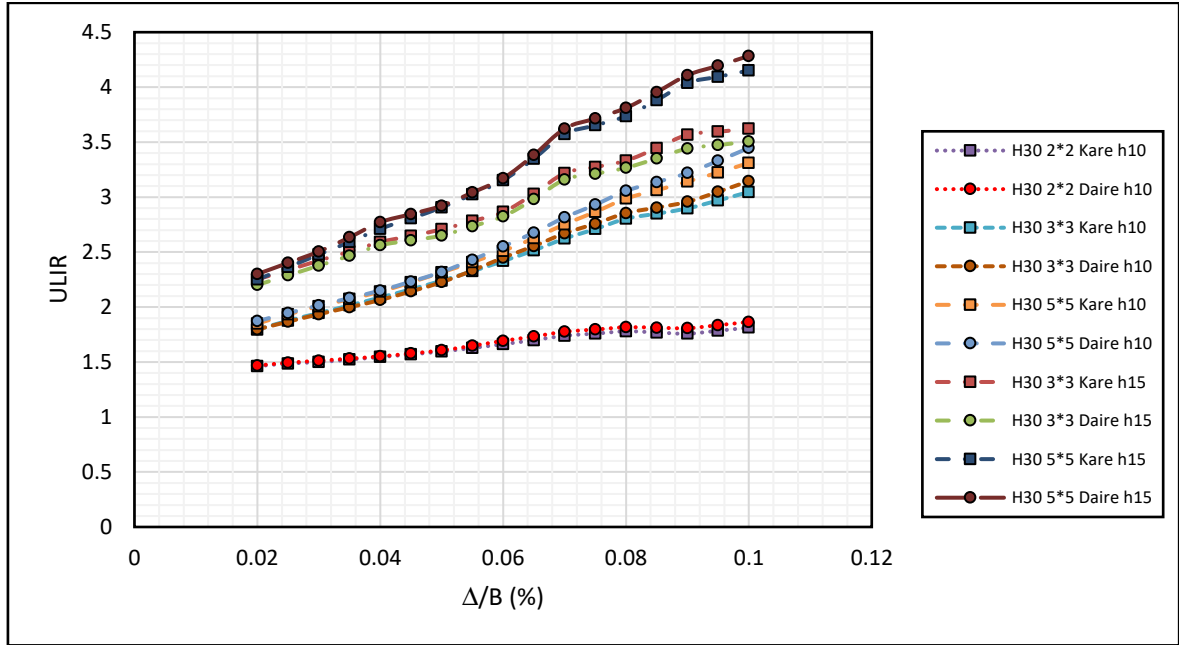
plaka ankrajın incelenen deplasman değerindeki çekme yükünü, ULIR ise ankrajın çekme yükündeki iyileşme oranını belirtmektedir.



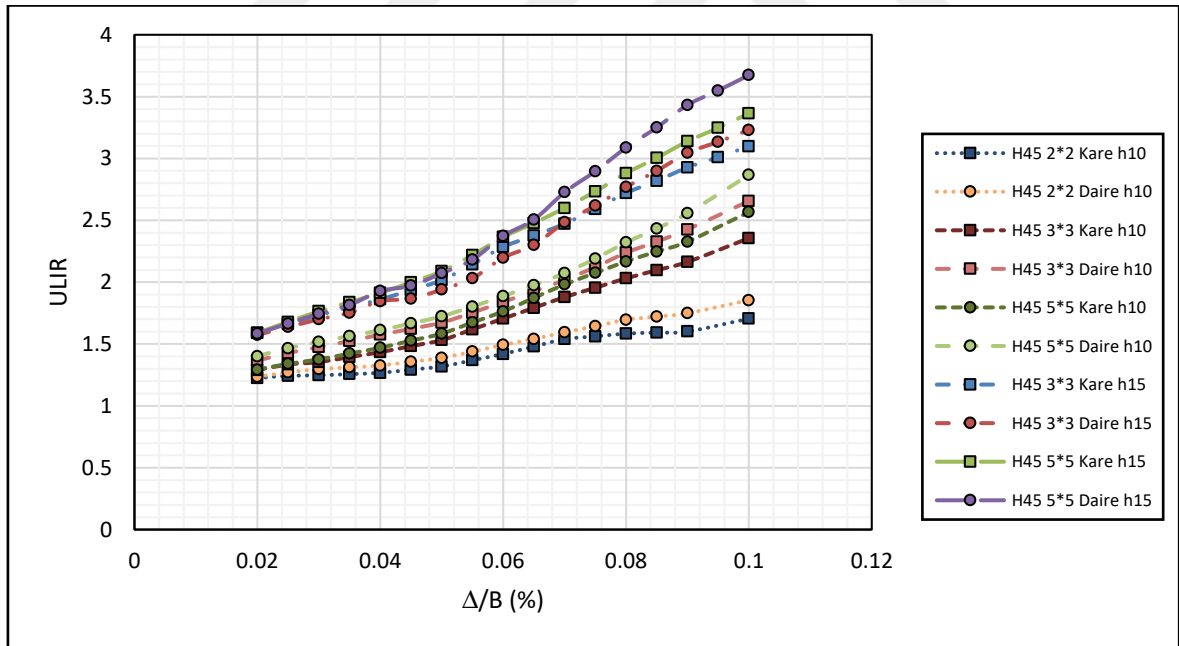
Şekil 4.38. Yatay plaka ankrajların çekme yükündeki iyileşme oranının elde edilmesi



Şekil 4.39. Gömülme derinliği 200 mm olan farklı sayıda hücreli yapı elemanları ile güçlendirilen kare ve dairesel ankrajın deplasmana bağlı çekme kuvvetlerinde iyileşme oranı



Şekil 4.40. Gömülme derinliği 300 mm olan farklı sayıda hücreli yapı elemanları ile güçlendirilen kare ve dairesel ankrajın deplasmana bağlı çekme kuvvetlerinde iyileşme oranı

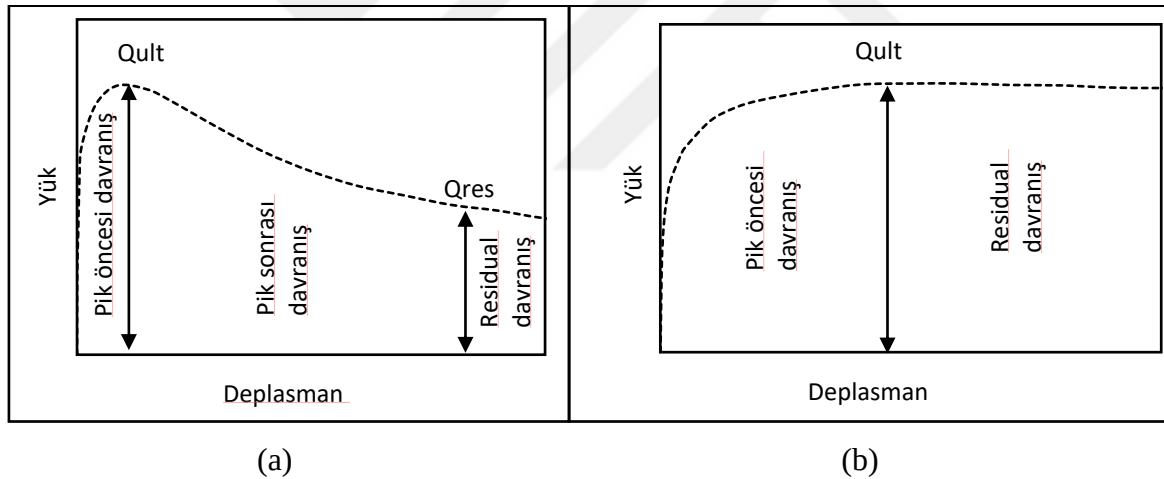


Şekil 4.41. Gömülme derinliği 450 mm olan farklı sayıda hücreli yapı elemanları ile güçlendirilen kare ve dairesel ankrajın deplasmana bağlı çekme kuvvetlerinde iyileşme oranı

Genel anlamda yatay plaka ankrajların çekme davranışı üç aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

- Pik öncesi davranış: Çekme kuvvetinin çekme kapasitesi değerine ulaşana kadar çok hızlı bir şekilde arttığı çekme davranışdır.
- Pik sonrası davranış: Ankrajın deplasman değerine bağlı olarak çekme yükünün hızla azalarak residual kuvvet değerine ulaştığı çekme davranışdır.
- Residual davranış: Büyük deplasman değerlerinde bile çekme kuvvetinde değişikliklerin olmadığı veya bu değişikliklerin oldukça küçük olduğu çekme davranışdır.

Hüresel yapı elemanları ile güçlendirilmeyen ankrajlarda, çekme davranışının üç aşaması da gözlemlenmektedir. Fakat hüresel yapı elemanları güçlendirilme sonucunda hücre genişliğine bağlı olarak pik sonrası davranış azalmakta ve hücre sayısı 5×5 olduğu durumda ise ortadan kaybolmaktadır (Şekil 4.42.). Bu nedenle ve hücre sayısı 5×5 olan ankrajlarda toplam 2 davranış meydana gelmektedir.



Şekil 4.42. Plaka tipi yatay ankrajların çekme durumunda yük deplasman davranışları; (a): Güçlendirilmemiş, (b) Hüresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş

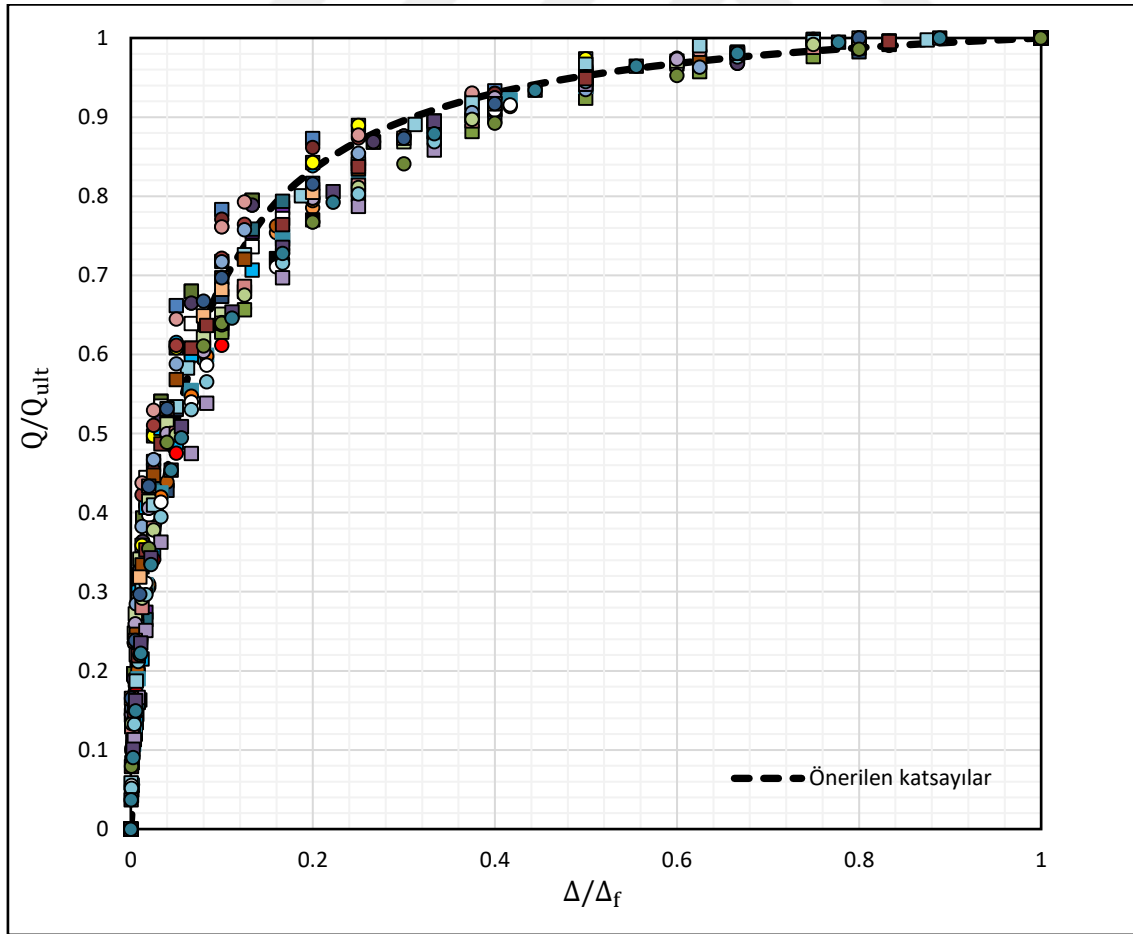
Hüresel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş ankrajın yük deplasman davranışları sıkı kumlardaki genel kayma yenilmesi davranışına benzetilebilir¹. Fakat hüresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajların davranışı orta sıkı kumlar için yerel kayma yenilmesi davranışı veya zımbalama davranışına benzemekte, çekme kapasitesi değeri ile

¹ Dilatasyon davranışı: Genellikle sıkı kumlarda görülen bu davranışta, kum danelerinin kayma gerilmeleri altında birbirlerine göre hareketlerinin çok zor olması ve bu hareket için büyük oranda enerji harcanması gerekmektedir. Zemin kayma dayanımına ulaştığı andan sonra ise çok az bir enerji ile kayma davranışı devam etmektedir. Dilatasyon davranışı altında zemin hacim genişlemesi görülmektedir. Dilatasyon davranışından dolayı zeminin kayma dayanımında artışlar görülmektedir.

residual kuvvet arasında önemli bir yük kaybı bulunmamaktadır. Bu sebeple hücresel yapı elemanları bulundukları bölgedeki zeminin hapsederek hareketini sınırlaması sonucunda, dilatasyon miktarını önemli ölçüde azalttığı sonucu çıkarılabilir (bkz. Şekil 4.32., Şekil 4.33.).

4.4.6. Yatay plaka ankrajların normalize yük ve normalize deplasman davranışının incelenmesi

Yatay plaka ankrajın çekme kapasitesi ve deplasman davranışı bu değerlerin normalize edilmiş hali (Q/Q_{ult} , Δ/Δ_f) ile ifade edilmiştir. Normalize edilmiş yük ve deplasman değerleri, maksimum 1 olarak kabul edilmiştir. Normalize değerlerden elde edilen hiperbolik eğri Şekil 4.43.'de gösterilmiştir. Bu değerlerden elde edilen sonuçların ankrajın gömülme derinliği, ankrajın geometrisi, hücresel eleman genişliği ve hücresel elemanın yüksekliğinden bağımsız olduğu görülmektedir.

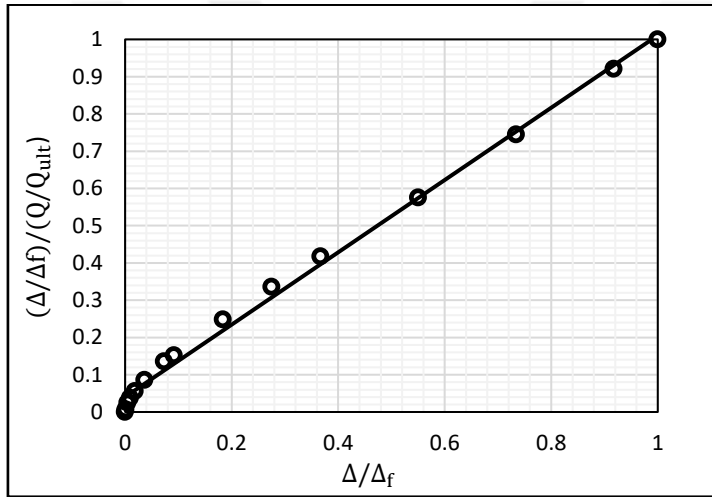


Şekil 4.43. Normalize deplasman ve normalize yük grafiği

Bu hiperbolik grafik Eş 4.8 ile lineerleştirilmektedir (Şekil 4.44.). Bu sayede elde edilen hiperbolik grafik sayesinde yatay plaka ankrajlar için, pik deplasman ve çekme kapasitesi arasındaki istenilen deplasman değerine ait çekme kuvveti değeri bulunabilmektedir.

$$\frac{Q}{Q_{ult}} = c + m \frac{\Delta}{\Delta_f} \quad (4.8)$$

Bu denklemdeki Q çekme yükünü, Q_{ult} net çekme kapasitesini, Δ ankrajın deplasmanını, Δ_f yenilme anındaki pik deplasmanı, c katsayısı lineerleştirilmiş yük deplasman grafiğinden elde edilen sabit katsayısı, m değeri ise lineerleştirilmiş yük deplasman grafiğinin eğimidir.



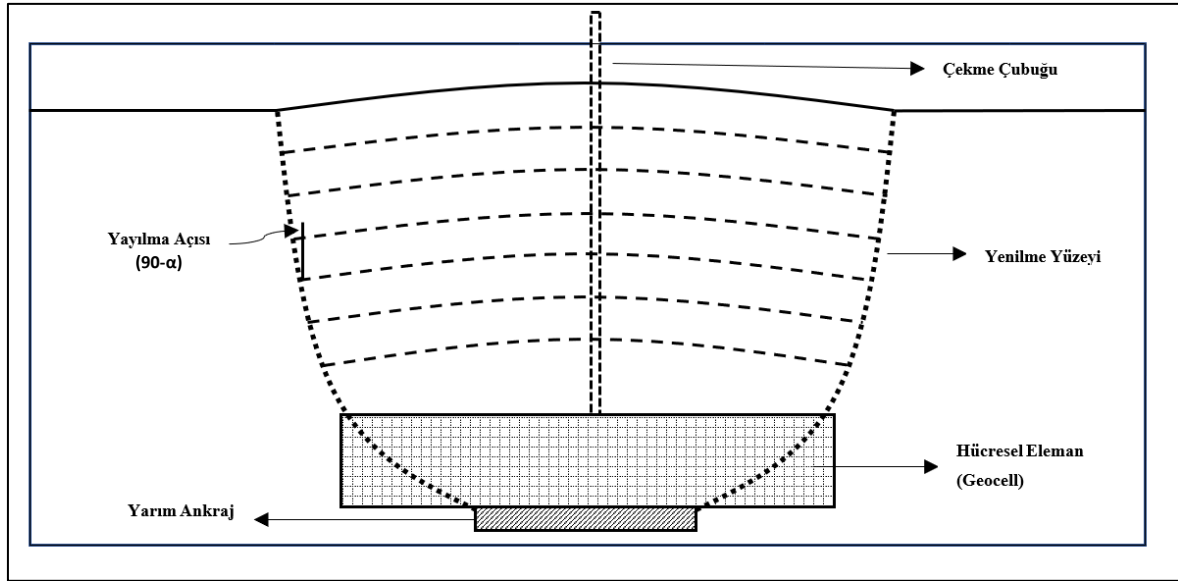
Şekil 4.44. Lineerleştirilmiş yük deplasman grafiği

Elde edilen sonuçlara göre ampirik sınır m ve c katsayı değerleri bulunmuştur. Çalışma kapsamında m değeri 0.914 ile 0.975 arasında değişirken, c değeri ise 0.024 ile 0.085 arasında değişmektedir.

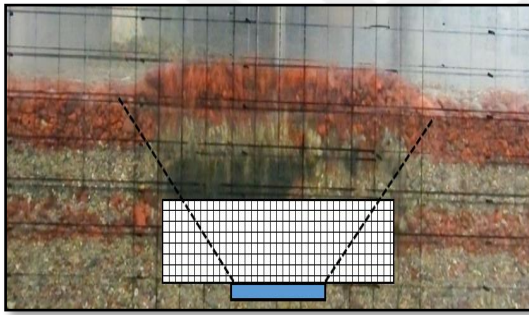
Yapılan grafiksel gösterimde optimum değerlerinin kullanılması düşünüldüğünde m katsayısı için 0.95 ve c katsayısı için 0.05 değeri kullanılmasına karar verilmiştir (bkz. Şekil 4.43.).

4.4.7. Minyatür olarak deney düzeneğini modellenmesi ve yayılma açılarının tayini

Yapılan çalışma kapsamında hücre yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanları 1/5 oranında minyatüre edilerek, hücresel yapı elemanları güçlendirilmiş ankrajların yenilme yüzeyi ve yayılma açısı araştırılmaktadır (TEST B) (bkz. Çizelge 4.3.). Yenilme yüzeyinin gözlemlenmesi için $300 \times 300 \times 300$ (mm) boyutunda plexiglass malzemeden üretilmiş deney tankı kullanılmıştır. Zeminin hareketlerinin görülebilmesi açısından 10 mm aralıklarla kırmızı renge boyanmış kum yerleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada yenilme yüzeyine ankrajın gömülme oranı, zeminin sıklığı, hücresel yapı elemanın genişliği ve hücresel yapı elemanın rijitliği gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Yayılma açısı ($90-\alpha$) çeşitli araştırmacılar tarafından (Clemence ve Veesaert, 1977; Murray ve Geddes, 1987; Ilamparuthi ve diğerleri, 2002; Liu ve diğerleri, 2012), zemin yüzeyi ile yenilme yüzeyinin lineer kısmının düşey doğrultuda yaptığı dar açı olarak belirtilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından (Mors, 1959; Balla, 1961; Downs ve Chieurrzi, 1966; Meyerhof ve Adams, 1968; Vesic, 1971; Clemence ve Veesaert, 1977; Fadl, 1981; Murray ve Geddes, 1987; Ilamparuthi ve diğerleri, 2002; Kumar ve Kouzer, 2007; Deshmukh ve diğerleri, 2010; Liu ve diğerleri, 2012) yayılma açısı sabit kabul edilip yayılma açısını değiştiren tek parametrenin zeminin içsel sürtünme açısı olduğunu belirtilmiştir. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmemiş ankrajlarda gerçekleştirilen deneylerde, gömülme oranının (H/B) 1.5’den büyük olmasında bu durumun doğru olduğu görülürken; bu orandan daha düşük olan gömülme oranlarında yayılma açısının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilen ankrajlarda gözlemlenen yenilme yüzeyi daha geniş bir alana yayılmaktadır. Yayılma açısı ise yenilme yüzeyinin doğrusal olmaya başladığı ilk bölgenin düşey doğrultuda yaptığı ilk açı olarak belirtilmiştir (Şekil 4.45.). Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilen ankrajların yayılma açısı ankrajın gömülme oranına, hücresel yapı elemanının genişliğine, hücresel yapı elemanının rijitliğine ve zeminin sıklığına göre değişim göstermektedir (Resim 4.9.). Şekil 4.46.’da ölçümlerle elde edilen yayılım açılarının gömülme derinliğine bağlı değişimi verilmiştir. Şekil 4.46.’da gösterilen grafikte gömülme derinliği H, ankrajın uzunluğu B, orta sıkı kohezyonsuz zeminler için OS, gevşek zeminler için G, yüksek yoğunluklu polietilen malzeme için HDPE, polimerik alaşım için ise NPA kısaltması kullanılmıştır.



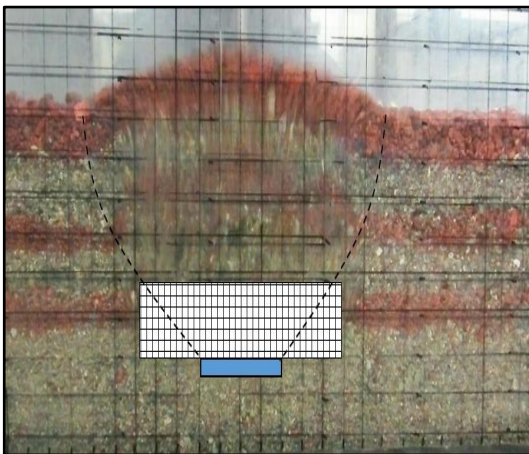
Şekil 4.45. Minyatür olarak tasarlanan modelle yayılma açısının tayini



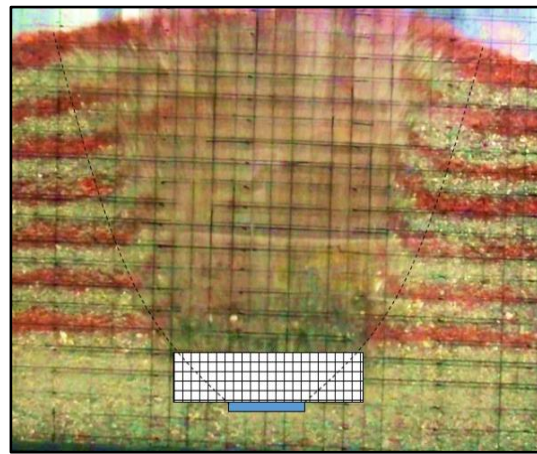
(a)



(b)

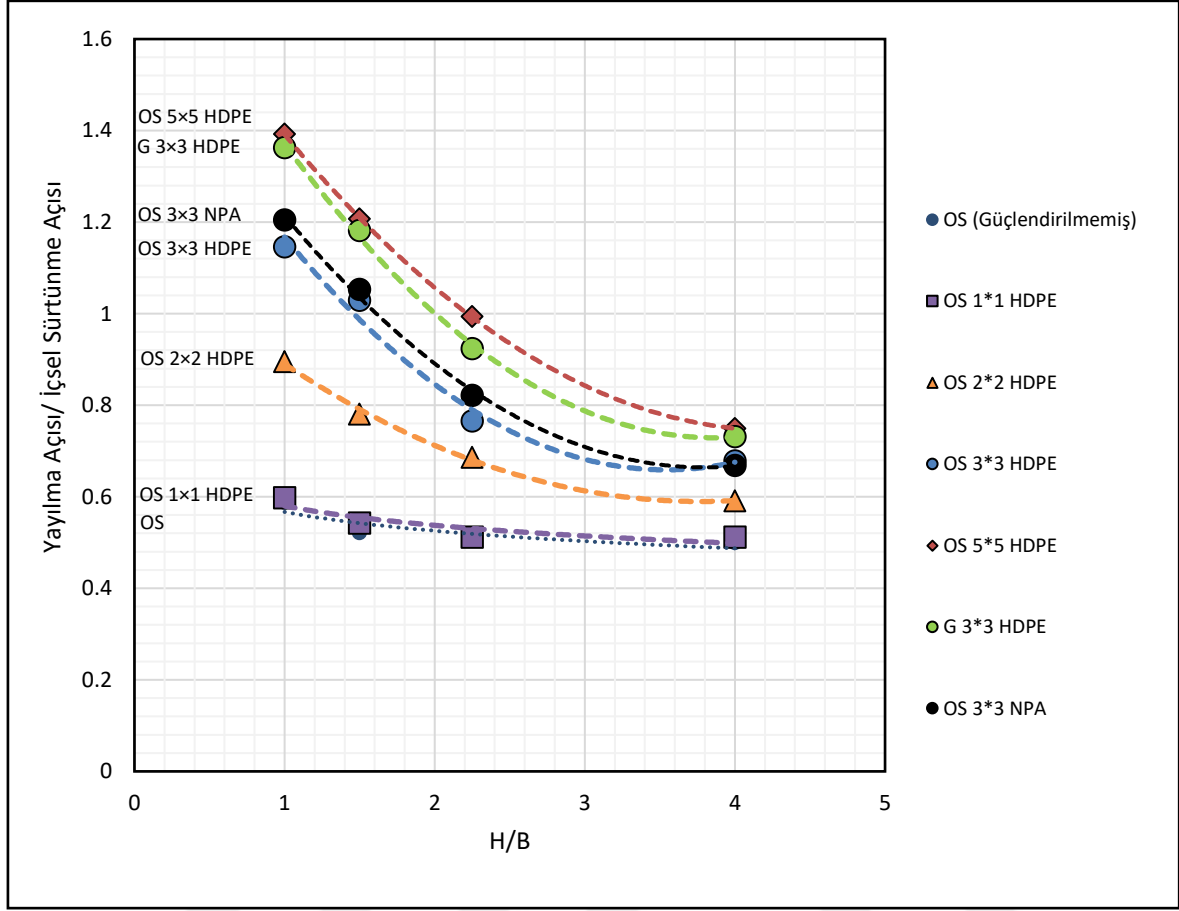


(c)



(d)

Resim 4.9. Minyatür olarak modellenen 3×3 hücre için deney düzeneğinde gözlemlenen yenilme yüzeyleri; (a): gömülme derinliği: 40mm, (b): gömülme derinliği: 90mm, (c): gömülme derinliği: 60mm, (d): gömülme derinliği: 160mm



Şekil 4.46. Kohezyonsuz zeminler içerisinde gömülme derinliğine bağlı yayılma açısı değişimi

5. HÜCRESEL YAPI ELEMANLARI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ANKRAJIN ÇEKME KAPASİTESİNİN ANALİTİK OLARAK ELDE EDİLMESİ

Yapılan tam ve minyatür modellerden elde edilen deneysel çalışmalar kapsamında, hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajların çekme kapasitesinin belirlenmesi için analitik bir yaklaşım yapılmıştır. Elde edilen bu analitik yaklaşımda hücresel yapı elemanların çalışma mekanizması olan (Dash ve diğerleri, 2001; Zhang ve diğerleri, 2010; Neto ve diğerleri, 2013) gerilim yayılma ve hücresel sınırlandırma mekanizmalarından yararlanılmıştır. Önerilen analitik çalışmada ilk olarak gelim yayılma mekanizması daha sonra ise hücresel sınırlandırma mekanizması açıklanmıştır. Gerilim yayılma mekanizmasında minyatür modellerden elde edilen yayılma açıları kullanılmıştır (bkz. Şekil 4.46.). Bu yöntem, Desmukh ve diğerleri (2010) tarafından önerilen yöntemin modifiye edilmiş halinden meydana gelmiştir. Ayrıca önerilen bu yöntemde eş değer alana sahip dairesel ankraj içinde kare ankraj ile aynı çekme kapasitesine sahip olduğu varsayılmıştır.

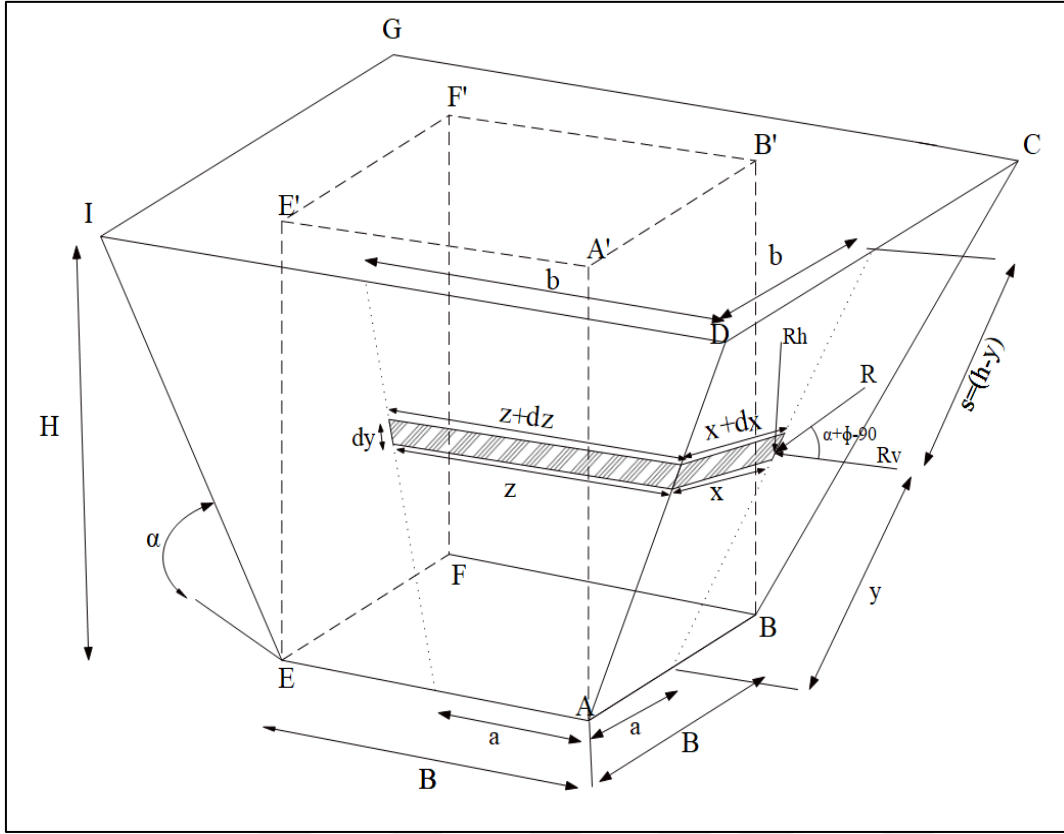
5.1. Yatay Plaka Ankrajların Tepki Kuvvetinin Belirlenmesi

Bu kısımda Desmukh ve diğerleri (2010) tarafından önerilen kare plaka ankrajların kohezyonsuz zemin içerisindeki çekme kapasitesi eşitliği modifiye edilmiştir. Bu eşitlikler Kötter (1903) tarafından önerilen eşitliklerin üç boyutlu düzlemde de kullanılabileceğini göstermiştir. Kötter (1903) tarafından önerilen plaka ankrajlarda meydana gelen tepki gerilmesi Eş 5.1’de açıklanmıştır.

$$p' = \gamma \sin(\alpha + \phi) s \quad (5.1)$$

Burada p' yenilme yüzeyi üzerinde meydana gelen tepki gerilmesini, s ise tepki kuvveti (R) ile zemin yüzeyi arası mesafeyi, α açısı ise yenilme yüzeyinin yatayda yaptığı açıyı belirtmektedir ($90 - \alpha$) değeri yayılma açısını belirtmektedir.).

Önerilen yenilme yüzeyi şekli trapez (zemin konisi) şeklindedir (Şekil 5.1.). Yenilmenin meydana geldiği yüzeyin denklemi Eş 5.2 de belirtilmiştir.



Şekil 5.1. Önerilen zemin konisi şeklindeki yenilme yüzeyi

$$y = kx + c \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte k değeri doğrunun eğimi ve $x=a$ değeri için $y=0$ ve $x=b$ değeri için de $y=h$ olduğundan yenilme yüzeyinin eğimi Eş 5.3 gibi gösterilir. Bu simgelemelerde a ankraj genişliğinin yarısını ve b ise yenilme yüzeyine ulaşan kama genişliği uzunluğun yarısını belirtmektedir.

$$y = \left(\frac{h}{b-a} \right) x - \frac{ah}{b-a} \quad (5.3)$$

Eşitliğin türevi alındığında ise birim uzunluğunun denklemi elde edilmektedir (Eş 5.4).

$$dy = \left(\frac{h}{b-a} \right) dx \quad (5.4)$$

Aynı şekilde z eksenini için de eşitlik yazılabilir (Eş 5.5, Eş 5.6).

$$y = \left(\frac{h}{b-a}\right)z - \frac{ah}{b-a} \quad (5.5)$$

$$dy = \left(\frac{h}{b-a}\right)dz \quad (5.6)$$

AD doğrusunun (yenilme yüzeyi) uzunluğu ise Eş 5.7'den elde edilebilir.

$$AD = \frac{H}{\tan \alpha} \sqrt{1 + \sec^2 \alpha} \quad (5.7)$$

Birim alan denklemi Eş 5.8'de belirtilmiştir.

$$dA = \left(x + \frac{dx}{2}\right) \left(\frac{h}{b-a}\right) dx + \left(z + \frac{dz}{2}\right) \left(\frac{h}{b-a}\right) dz \quad (5.8)$$

Bu eşitlikte $dx^2 \cong 0$ ve $dy^2 \cong 0$ olduğu için eşitlikten bu değerler çıkartılır ve denklem aşağıdaki şekli alır (Eş 5.9).

$$dA = \left(\frac{h}{b-a}\right) x dx + \left(\frac{h}{b-a}\right) z dz \quad (5.9)$$

Yenilme yüzeyi üzerine etki edecek birim tepki kuvveti ise Eş 5.10 ile elde edilmektedir

$$dR = p dA = \gamma \sin(\alpha + \phi) (h - y) \left[\left(\frac{h}{b-a}\right) x dx + \left(\frac{h}{b-a}\right) z dz \right] \quad (5.10)$$

Eş 5.3 ve Eş 5.5'den elde edilen değerler yerine yazıldığında denklem Eş 5.11 gibi olmaktadır.

$$dR = \gamma \sin(\alpha + \phi) \left[\frac{h^2}{(b-a)^2} (bx - x^2) dx + \frac{h^2}{(b-a)^2} (bz - z^2) dz \right] \quad (5.11)$$

Birim tepki kuvvetini düşey bileşeni ise Eş 5.12'de belirtildiği gibi elde edilir.

$$dR_V = \gamma \sin(\alpha + \phi) \sin(\alpha + \phi - 90) \left[\frac{h^2}{(b-a)^2} (bx - x^2) dx + \frac{h^2}{(b-a)^2} (bz - z^2) dz \right] \quad (5.12)$$

Birim tepki kuvvetinin integrali alındığında bir yenilme yüzeyine etki eden tepki kuvveti elde edilmiş olur. Yenilme yüzeyinin dört tarafına etki eden toplam tepki kuvveti Eş 5.13’de gösterilmiştir.

$$\sum R_V = 4\gamma \sin(\alpha + \phi) \sin(\alpha + \phi - 90) \left[\frac{5B^3}{24} + \frac{3B^2H}{6\tan\alpha} + \frac{BH^2}{4\tan^2\alpha} + \frac{H^3}{3\tan^3\alpha} \right] \quad (5.13)$$

Yenilme yüzeyine düşey yönde etki eden tepki kuvvetinin hesaplanması için hücresel yapı elemanın genişliğine bağlı olarak dijital ortamda belirlenen yayılma açıları kullanılmaktadır (bkz. Şekil 4.9., Şekil 4.46.). Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, hücre sayısı 5×5 olan hücresel yapı elemanları için minyatür ortamda belirlenen yayılım açıların kullanılması gerçekten uzak sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bunun nedeni olarak minyatür olarak modellenen hücresel yapı elemanların boyutunun küçülmesine bağlı olarak eğilme rijitliklerinin artması gösterilebilir. Ayrıca gerçek boyuttaki hücresel yapı elemanlarında meydana gelen eğilme, burkulma veya kopmalardan kaynaklı yerel yenilmelerin minyatür koşullarda görülmemektedir. Bu nedenle önerilen analitik yaklaşımda hücre sayısı 3×3 veya hücre genişliği temel genişliğinin 2.4 katından büyük olan hücresel yapı elemanları için, hücre sayısı 3×3 olan hücresel yapı elemanlarında elde edilen yayılma açılarının kullanılması önerilmektedir.

5.2. Yatay Plaka Ankrajların Yenilme Yüzeyi İçindeki Zemin Ağırlığının Belirlenmesi

Yatay plaka ankrajların çekme kapasitesinin etkileyen önemli bir etken de yenilme yüzeyi içerisindeki zeminin ağırlığıdır. Trapez şeklindeki yenilme yüzeyi içerisindeki zeminin ağırlığı Eş 5.14 ile elde edilmektedir.

$$W = \gamma H \left[\frac{B^2}{2} + 2 \left(\frac{B}{2} + \frac{H}{\tan\alpha} \right)^2 \right] \quad (5.14)$$

5.3. Hücresel Yapı Elemanlarının Hücresel Sınırlandırma Mekanizmasından Kaynaklı İyileşmenin Belirlenmesi

Hücresel yapı elemanları, hücresel sınırlandırma mekanizmasından kaynaklı zeminin yanal ve düşey doğrultudaki hareketini sınırlandırmaktadır. Bu sınırlandırma sırasında hücresel yapı elemanı yüzeyi ile zemin arasında sürtünme meydana gelmektedir (bkz. Şekil 4.8.)

Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yaklaşımlara göre bu sürtünme kuvvetinin bileşenlerin birisi olan yanal toprak basıncı için aktif toprak basıncı (K_a) (Koerner, 1994; Presto, 2008; Sitharam ve Hedge, 2013) veya sükûnetteki toprak basıncının (K_0) (Neto ve diğerleri, 2013) kullanılması önerilmektedir. Ayrıca zemin ile hücresel yapı elemanı arasında meydana gelen sürtünmeden kaynaklı kayma açısı değeri olarak Koerner (1994) HDPE ve kum malzemesinden oluşan kompozit yapı için 15° - 25° , geotekstil ve kum malzemesinden oluşan kompozit yapı için ise 25° - 35° alınması gerektiğini önerirken; Presto (2008) bu açı değerinin içsel sürtünme açısının 0.7 katı olduğunu; Neto ve diğerleri (2013) ise içsel sürtünme açısının 0.67 katı alınması gerektiğini belirtmiştir. Önerilen çalışma kapsamında laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda HDPE malzemesinden üretilmiş hücresel yapı elemanı ile kohezyonsuz zemin arasındaki sürtünmenin içsel sürtünme açısının 0.8 katı olduğu bulunmuştur.

Önerilen analitik yaklaşımda elde edilen toplam sürtünme kuvveti denklemi Eş 5.15’de belirtilmiştir.

$$\sum F = 4K(\bar{\sigma}hB_g)\tan\delta \quad (5.15)$$

$$\bar{\sigma} = \left(\frac{\gamma H - \gamma(H-h)}{2} \right) \quad (5.16)$$

$$\delta = 0.8\phi \quad (5.17)$$

Bu eşitliklerde F tek bir hücre duvarına etki eden sürtünme kuvvetini, K yanal toprak basıncı katsayısını, δ zemin ile hücresel yapı elemanı arasındaki kayma açısını, B_g ise hücresel yapı elemanı genişliğini, $\bar{\sigma}$ değeri ise hücresel yapı elemanı üzerine etki eden efektif gerilmeyi, h hücresel eleman yüksekliğini, H ise gömülme derinliğini belirtmektedir.

Toplam çekme kapasitesi ise Eş 5.18’de gösterilmiştir.

$$Q_{ult} = W + \sum R_v + \sum F \quad (5.18)$$

Yanal toprak basıncının belirlenebilmesi için aktif (K_a), pasif (K_p), sükûnetteki (K_0), toprak basıncı katsayıları ve gerilim pullarından ölçülen birim şekil değişimlerden elde edilen

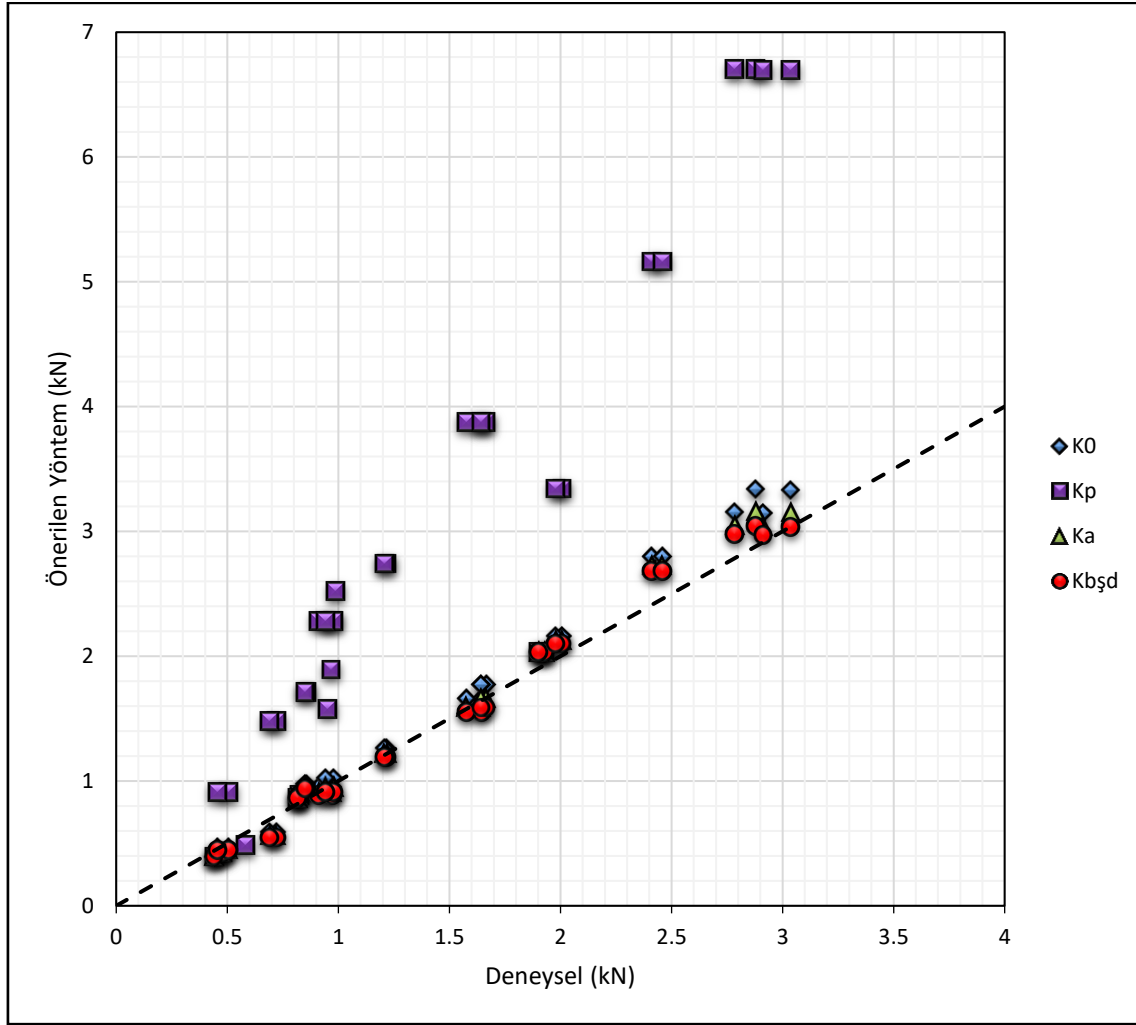
amprik yanal toprak basıncı katsayısı (K_{bsd}) kullanılarak, toplam çekme kapasitesi hesaplanmış ve bu sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. (Şekil 5.2.). Pasif toprak basıncı katsayısının ve sükûnetteki toprak basıncı katsayısının eşitlikler için uygun olmadığı görülmüştür. Ayrıca gerilim pullarından elde edilen sürtünme değerleri ve bu değerlerden elde edilen yanal toprak basıncı katsayıları aktif toprak basıncı katsayısı ile kıyaslanmıştır. Kıyaslanan bu değerlerin birbirlerine yakın oldukları görülmüştür. Bu nedenle hesaplamalarda aktif toprak basıncı katsayısı kullanılması önerilmektedir.

Gerilim pulları ile elde edilen birim şekil değiştirme değerleri kullanılarak, HDPE malzemesinden üretilen hücresel yapı elemanının bir yüzeyine etki eden birim uzunlukta çekme kuvveti değerleri bulunmaktadır (bkz. Şekil 4.4.). Birim uzunlukta elde edilen çekme kuvveti değerleri ile tek hücre duvarı genişliği için elde edilen sürtünme kuvveti bulunmaktadır. Toplam hücresel yapı elemanı üzerine etki eden sürtünme değerinin (bkz. Şekil 4.8.) bulunması için, tek hücre duvarına etki eden sürtünme kuvveti değeri bütün hücre duvarları ile çarpılması gerekmektedir (Çizelge 5.1., Eş 5.19.). Amprik olarak elde edilen yanal toprak basıncı katsayıları ise Eş.5.20'deki gibi elde edilmektedir. Gömülme oranlarına bağlı olarak artan bu amprik değerler bütün hücre genişlikleri için uygun hale getirilmiştir.

$$\sum F' = N(qB_g') \quad (5.19)$$

$$K_{bsd} = \frac{\sum F'}{4(\sigma_h B_g) \tan \delta} \quad (5.20)$$

Bu eşitliklerde; F' değeri ölçülen hücre duvarına etki eden toplam yüzey sürtünmesi kuvvetinin değerini, N değeri toplam hücre duvarı sayısını (örneğin hücre sayısı 1×1 olan hücresel yapı elemanı için 4, hücre sayısı 3×3 olan hücresel yapı elemanı için 12), q ise HDPE malzemesinden üretilmiş hücresel yapı elemanı gerilim pullarından ölçülen birim şekil değiştirme değerlerine karşılık gelen birim uzunlukta çekme kuvveti (bkz. Şekil 4.4.), B_g' ise tek bir hücre genişliğini, K_{bsd} ise amprik olarak elde edilen yanal toprak basıncı katsayısını belirtmektedir (Çizelge 5.1.). Çizelge 5.2.'de ise aktif, pasif, sükûnetteki ve amprik olarak elde edilen yanal toprak basıncı katsayıları kullanılarak elde edilen çekme kapasitesi ile deneysel sonuçlardan elde edilen çekme kapasitesi verilmiştir.



Şekil 5.2. Farklı yanal toprak basınçları kullanılarak elde edilen analitik olarak elde edilen çekme kapasitelerinin deneysel olarak elde edilen çekme kapasiteleri ile karşılaştırılması

Çizelge 5.1. Ölçülen birim şekil değiştirme, birim çekme kuvveti ve ampririk olarak elde edilen yanal toprak basıncı katsayıları

Deney Adı	Birim Şekil Değiştirme (ε)	q (kN/m)	(q/B_g') (kN)	$K_{bşd}$
H20 Kare 1×1	0.0000131	0.0131	0.002096	0.084575
H30 Kare 1×1	0.0000526	0.0526	0.008416	0.203755
H45 Kare 1×1	0.0001	0.1	0.016	0.242105
H20 Daire 1×1	0.0000157	0.0157	0.002512	0.101361
H30 Daire 1×	0.0000456	0.0456	0.007296	0.176639
H45 Daire 1×1	0.0001261	0.1261	0.020176	0.305294
H20 Kare 2×2	0.0000208	0.0208	0.003328	0.134287
H30 Kare 2×2	0.0000518	0.0518	0.008288	0.200656
H45 Kare 2×2	0.0000873	0.0873	0.013968	0.211357
H20 Daire 2×2	0.0002	3.4	0.544	0.137193
H30 Daire 2×2	0.0000427	0.0427	0.006832	0.165406
H45 Daire 2×2	0.0001062	0.1062	0.016992	0.257115

Çizelge 5.2. Çeşitli yanal toprak basınçları ile elde edilen çekme kapasitesinin hata oranları

Ankraj Geometrisi	H/B	Hücre Sayısı	Deneysel Çekme Kapasitesi (kN)	Çekme Kapasitesi K_0 (kN)	Çekme Kapasitesi K_p (kN)	Çekme Kapasitesi K_a (kN)	Çekme Kapasitesi K_{bsd} (kN)
Kare	1	-	0.482	0.424	0.424	0.424	0.424
	1.5	-	0.827	0.883	0.883	0.883	0.883
	2.25	-	1.933	2.032	2.032	2.032	2.032
Daire	1	-	0.444	0.390	0.390	0.390	0.390
	1.5	-	0.820	0.862	0.862	0.862	0.862
	2.25	-	1.906	2.032	2.032	2.032	2.032
Kare	1	1×1	0.509	0.466	0.909	0.453	0.444
	1.5	1×1	0.860	0.973	1.712	0.951	0.937
	2.25	1×1	2.010	2.159	3.341	2.123	2.100
Daire	1	1×1	0.458	0.466	0.909	0.453	0.444
	1.5	1×1	0.853	0.973	1.712	0.951	0.937
	2.25	1×1	1.982	2.159	3.341	2.123	2.100
Kare	1	2×2	0.723	0.590	1.477	0.563	0.546
	1.5	2×2	1.220	1.262	2.740	1.217	1.188
	2.25	2×2	2.414	2.797	5.161	2.725	2.679
Daire	1	2×2	0.694	0.590	1.477	0.563	0.546
	1.5	2×2	1.210	1.262	2.740	1.217	1.188
	2.25	2×2	2.462	2.797	5.161	2.725	2.679
Kare	1	3×3	0.976	0.951	2.281	0.911	0.885
	1.5	3×3	1.648	1.658	3.874	1.591	1.548
	2.25	3×3	2.787	3.155	6.701	3.047	2.978
Daire	1	3×3	0.915	0.951	2.281	0.911	0.885
	1.5	3×3	1.579	1.658	3.874	1.591	1.548
	2.25	3×3	2.916	3.147	6.692	3.039	2.970
Kare	1	5×5	0.983	1.019	2.281	0.952	0.909
	1.5	5×5	1.668	1.772	3.874	1.659	1.587
	2.25	5×5	2.882	3.337	6.701	3.157	3.042
Daire	1	5×5	0.946	1.019	2.281	0.952	0.909
	1.5	5×5	1.645	1.772	3.874	1.659	1.587
	2.25	5×5	3.040	3.328	6.692	3.148	3.034

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma kapsamında kohezyonsuz zemine gömülü hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay plaka ankrajların davranışları incelenmiştir. İlk olarak gerçek ölçülere yakın olarak tasarlanan kohezyonsuz zemine gömülü ($D_r = \% 65$) eş değer alana sahip kare ve dairesel ankrajların üç farklı gömülme derinliğindeki (200, 300, 450 mm) çekme yükü, deplasman ve zemin yüzey deformasyon (kabarma) davranışları incelenmiştir. Sonraki çalışmalarda ise üç farklı gömülme derinliğine gömülen, HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) malzemesinden üretilmiş hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş dairesel ve kare ankrajların çekme yükü, deplasman ve yüzey deformasyon davranışı incelenmiştir. Hücresel yapı elemanlarının genişliğinin ve yüksekliğinin çekme kapasitesi davranışına etkisi incelenmiştir. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş yatay plaka ankrajların yenilme yüzeylerinin gözlemlenmesi için, minyatür olarak modellenen ve plexiglass malzemeden üretilen deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu deney düzeneğinde kullanılmak üzere yarım olarak modellenen ankraj ve hücresel yapı elemanları ile yayılma açısının değişimi araştırılmıştır. Yenilme yüzeyine, zeminin sıklığı ve malzemenin rijitliğinin etkisi araştırılan bir diğer konudur. Yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Ankrajın gömülme oranına (H/B veya H/D) bağlı olarak yenilme faktöründe, net çekme kapasitesinde ve bu kapasitede meydana gelen pik deplasman değerinde artışlar meydana gelmiştir. Yenilme faktöründe sabitleşmemenin görülmemesinin sebebi ise yapılan çalışmaların kritik derinlik üzerinde (sığ ankraj) çalışıldığıının göstergesidir.
- Sığ derinlikte yapılan deneysel çalışmalar ile çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen çalışmalar karşılaştırıldığında Meyerhof ve Adams (1968), Remeshbabu (1998), Ilamparuthi ve diğerleri (2002) ve Deshmukh ve diğerleri (2010) tarafından önerilen analitik yaklaşımların kohezyonsuz zemine gömülü yatay plaka ankrajlar için daha uygun olduğu görülmüştür.
- Hücresel yapı elemanlarının yatay plaka ankrajların çekme kapasitesini artırmak için alternatif olarak kullanabilecek bir geosentetik malzeme olduğu kanıtlanmıştır.
- Hücresel yapı elemanların genişliğinin artmasına bağlı olarak net çekme kapasitesi ve bu kapasitede değerindeki pik deplasman değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca zemin yüzeyinde meydana gelen deformasyonlar incelendiğinde ise, hücre

genişliğin artmasına bağlı olarak, daha geniş alanlara yayılımlar görülmüştür. Ayrıca hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajlar için ankraj geometrisinin herhangi bir önemi olmadığı görülmüş olup deneyler arasında farklılıklar ihmal edilebilir bir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.

- Hücre sayısı 3×3 ve 5×5 (genişliği 480 mm ve 800 mm) olan hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajlar arasında çekme kapasitesi bakımından önemli bir fark görülmemiştir. Bu yüzden optimum hücresel yapı elemanı genişliğinin kare temel genişliğine oranı ($B_g/B=2.4$) olarak belirlenmiştir.
- Hücresel yapı elemanın yüksekliğinin ankrajın çekme kapasitesi üzerine etkisi incelendiğinde ise; yüksekliğin artmasına paralel olarak ankrajın çekme kapasitesi, pik deplasman değeri ve yüzey deformasyonlarında artışlar meydana gelmektedir. Hücresel yapı elemanın yüksekliğinin artması ile zemin ile oluşacak kompozit yapı büyüyerek hapsediği zeminin modülünü artıracaktır. Bunun sonucunda yenilme yüzeyini daha geniş alanlara yayılacaktır. Ayrıca yüksekliğinin artması ile zemin ile ankraj arasındaki sürtünme kuvvetinde de artışlar meydana gelecektir.
- Hücre genişliğine, hücre yüksekliğine ve ankrajın gömülme oranına bağlı olarak ankrajın çekme kapasitesindeki artış 1.05 ile 3.04 arasında değişirken, pik deplasman değerlerindeki artış ise 1.08 ile 5.03 arasında değişmektedir. Ankrajların gömülme derinliğinde bağlı olarak çekme kapasitesindeki artış oranı ve pik deplasmandaki artış oranları azalmaktadır.
- Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilen yatay ankrajın eş değer deplasman değerlerindeki çekme kuvvetlerindeki iyileşmelere ankrajın gömülme derinliğine ile ters orantılı ile hücresel yapı elemanının yüksekliği ve ankraj deplasmanı ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir.
- Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmiş ankrajlar yük deplasman davranışı incelendiğinde ise, güçlendirilmemiş duruma göre oldukça farklılıklar görülmektedir. Hücresel yapı elemanları ile güçlendirilmeyen ankrajın çekme davranışı genel kayma yenilmesi davranışına benzerken; güçlendirilme sonucunda davranış yerel kayma yenilmesi veya zımbalama davranışına benzemektedir. Bunun nedeni olarak ise hücresel yapı elemanlarının zeminin hareketini sınırlandırarak dilatasyona engel olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.
- Hesaplanan normalize yük ve deplasman değerleri sayesinde ankraj net çekme kapasitesine ulaşmadığı andaki istenen yük değerine ait deplasman değeri elde

edilmektedir. Normalize yük ve deplasman değerlerinden elde edilen grafiğin ankrajın geometrisinden, gömülme derinliğinden ve hücre sayısından bağımsız olduğu görülmüştür. Belirtilen eşitlik için sabit katsayılar c ve m sırasıyla 0.05 ve 0.95 olduğu belirtilmiştir.

- Minyatür olarak modellemeler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda geleneksel olarak tek bir sabit yayılma açısının değil gömülme oranına bağlı olarak değişen bir yeni yayılma açısı görülmektedir.
- Minyatür olarak modellenen deney düzeneği ile hücresel yapı elemanlarında meydana gelen yayılma açıları elde edilmiştir. Bu yayılma açılarının gömülme derinliğine bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Farklı rijitliklere sahip malzemeler incelendiğinde ise gözlemlenen yayılma açılarında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bunun sonucu olarak ise rijitliğin önemli ölçüde yayılma açısına etki etmediği düşünülmektedir.
- Önerilen analitik yaklaşımda hücresel elemanlar ile güçlendirilmiş plaka tipi ankraj için kullanılabilir. Bu yaklaşımın ana parametrelerini hücresel elemanın gerilim yayılma ve yanal sınırlandırma mekanizmaları oluşturmaktadır. Fakat hücre sayısı 5×5 olan hücresel yapı elemanları için minyatür deney düzeneğinde dijital ortamda elde edilen yayılma açısı değerleri önerilen analitik yaklaşım için uygun değildir. Bu nedenle hücre sayısı 3×3 veya hücre genişliği ankraj genişliğinin 2.4 katı genişliğinde hücresel yapı elemanları yayılma açısı bakımından sınır olarak kabul edilmiştir. Bu değerden büyük genişlikler için yayılma açısında herhangi bir değişikliğe gidilmeyecektir. Elde edilen sonuçların deneysel verilere oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda öneriler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Yapılan deneysel çalışma kapsamında hücresel yapı elemanının yüksekliğinin, malzeme rijitliğinin, açıklık genişliğinin ve kohezyonsuz zeminin rölatif sıkılığın etkisi incelenerek tam olarak tasarım parametreleri belirlenmelidir.
- Daha büyük deney düzenekleri kullanılarak, hücresel yapı elemanı için kritik gömülme derinliği belirtilmeli ve bu davranış derin ankraj için de incelenmelidir.
- Düzlemsel geosentetik malzemeler ile hücresel yapı elemanı ile güçlendirilmiş yatay ankrajlar karşılaştırılarak performans açısından en verimli geosentetik malzeme belirlenmelidir.

- Üç boyutlu sonlu elemanlar yazılımları kullanılarak deneysel sonuçlar karşılaştırılabilmeli ve deneysel sonuçlarda ölçüm alınamayan durumlar bu yazılımlardan yararlanılmalıdır.
- Düşey ve eğimli plaka ankrajların hücresele yapı elemanları ile güçlendirilmesi sonucu ortaya çıkacak çekme davranışı incelenmelidir.
- Kohezyonlu zeminlere gömülü olan yatay plaka ankrajların hücresele elemanlarla güçlendirilmesi sonucu oluşan çekme davranışı belirlenmelidir.
- Hücresele yapı elemanları ile güçlendirilmiş grup ankrajların çekme davranışları incelenmelidir.



KAYNAKLAR

- American Society for Testing and Materials (2011). *Standart Practice for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. ASTM D3080/3080M-11.
- American Society for Testing and Materials (2014). *Standart Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. ASTM D854-14.
- American Society for Testing and Materials (2016). *Standart Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table*. ASTM D4253-16.
- American Society for Testing and Materials (2016). *Standart Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density*. ASTM D4254-16.
- American Society for Testing and Materials (2017). *Standart Practice for Soils for Engineering Purposes (United Soil Classification System)*. ASTM D2487-17.
- American Society for Testing and Materials (2017). *Standart Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method*. ASTM D4595-17.
- Balla, A. (1961). *The resistance to breaking-out of mushroom foundations for pylons*. 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundations, Paris, France, 1, 569-576.
- Bathurst, R.J. and Karpurapu R. (1993). *Large scale triaxial compression testing of geocell reinforced granular soils*. Geotechnical Testing Journal (ASTM), 16 (3), 296-303.
- Bildik, S., and Laman, M. (2011). *Experimental Investigations on Uplift Behaviour of Plate Anchors in Cohesionless Soil*. Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 26 (2), 486-496.
- British Standart Institute (1989). *British Standard Code of practice for Ground anchorages*. BS8081 : 1989.
- Clemence, S.P. and Veesaert, C.J. (1977). *Dynamic pullout resistance of anchors in sand*. International Conference on Soil Structure Interaction, Roorkee, India, 389-397.
- Das, B.M (1990). *Earth Anchors*. (Second Edition). Amsterdam: Elsevier Science.
- Dash, S.K., Krishnaswamy, N.R., and Rajagopal, K. (2004). *Performance of different geosynthetic reinforcement materials in sand foundations*. Geosynthetics International, 11 (1), 35-42.
- Downs, D.I. and Chieurzzi, R. (1966). *Transmission tower foundations*. Journal of Power Division, ASCE, 88 (2), 91-114.

- Deshmukh, V.B., Dewaikar, D.M., Choudhury, D. (2010). *Analysis of rectangular and square anchors in cohesionless soil*. International Journal of Geotechnical Engineering, 4 (1), 79–87.
- Deshmukh, V.B., Dewaikar, D.M., and Choudhary, D. (2011). *Uplift resistance of horizontal strip anchors in cohesionless soil*. Geotechnical and Geological Engineering, 29, 977–988.
- Dickin, E.A. (1988). *Uplift behaviour of horizontal anchor plates in sand*. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 114 (11), 1300-1317.
- Dickin, E.A., and Laman, M. (2007). *Uplift response of the strip anchor in cohesionless soil*. Advances in Engineering Software, 38 (8–9), 618-625.
- Emirler B., Tolun M., Laman M., (2016). *Investigation of the Uplift Capacity of Group Anchor Plates in Geogrid-Reinforced Sand*. Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 31(2), pp. 257-267.
- Fadl, M.O. (1981) *The behaviour of plate anchors in sand*. Ph.D. thesis, University of Glasgow, Glasgow, Scotland.
- Ghaly, A.M., Hanna, A. (1994). *Ultimate pullout resistance of single vertical anchors*. Canadian Geotechnical Journal, 31 (5), 661-672.
- Ghosh, A., and Bera, A.K. (2010). *Effect of geotextile ties on uplift capacity of anchors embedded in sand*. Journal of Geotechnical and Geological Engineering, 28 (5), 567–577.
- Frydman, S., and Shaham, I. (1989). Pullout capacity of slab anchors in sand. Canadian Geotechnical Journal, 26 (3), 385-400.
- Ilamparuthi, K., and Dickin, E.A. (2001). *The influence of soil reinforcement on the uplift behaviour of belled piles embedded in sand*. Geotextile and Geomembranes, 19 (1), 1-22.
- Ilamparuthi, K., Dickin, E.A., Muthukrishnaiah, K. (2002). *Experimental investigation of the uplift capacity of circular plate anchors in sand*. Canadian Geotechnical Journal, 39, 648-66.
- Ireland, H.O. (1963). *Discussion, Uplift resistance of transmission tower footing*. Journal of Power Division, ASCE, 89 (1), 115-118.
- Internet: Thanasis Leventakis. Ultimate Bond Strength of Anchors in Rock. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fblog.geotechnical.com%2Findex.php%2F2016%2F08%2Fultimate-bond-strength-of-anchors-in-rock%2F&date=2018-12-05>, Son Erişim Tarihi: 05.12.2018.
- Kanakapura, S., Rao, S., Kumar, J. (1994). *Vertical uplift capacity of horizontal anchors*. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 120 (7), 1134–1147.

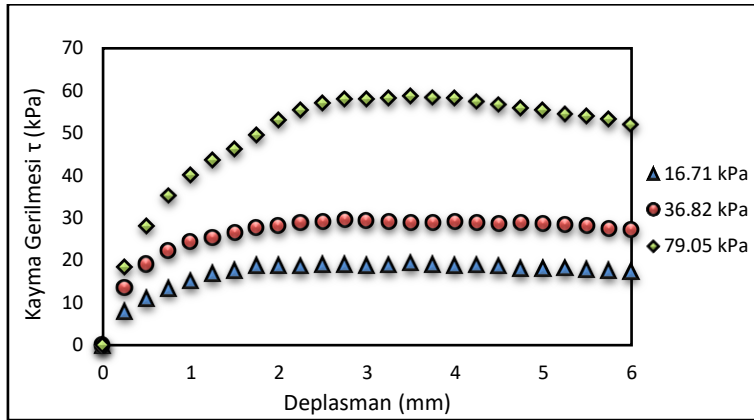
- Keskin, M.S. (2015). *Model studies of uplift capacity behavior of square plate anchors in geogrid-reinforced sand*. Geomechanics and Engineering , 8 (4), 595-613.
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with Geosynthetics*. Prentice Hall Five Edition, New Jersey.
- Kötter, F. (1903) *Die Bestimmung des Drucks an gekrümmten Gleitflächen, eine Aufgabe aus der Lehre vom Erddruck*. Berlin, 229–233.
- Krishnaswamy, N.R., and Parashar, S.P. (1994). *Uplift behaviour of plate anchors with geosynthetics*. Geotextile and Geomembranes, 13 (2), 67-89.
- Kumar, J., Kouzer, K.M. (2008). *Vertical uplift capacity of horizontal anchors using upper bound limit analysis and finite elements*. Canadian Geotechnical Journal, 45, 698-704.
- Latha, G.M., and Murthy V.S. (2007). *Effect of reinforcement form on the behaviour of geosynthetic reinforced sand*. Geotextiles and Geomembranes. 25, 23-32.
- Latha, G.M., and Somnash, A. (2009). *Effect of reinforcement form on the bearing capacity of square footing on sand*. Geotextiles and Geomembranes, 27 (6), 409-422.
- Liu, J., Liu, M., Zhu, Z. (2011). *Sand deformation around an uplift plate anchor*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 138(6), 728–737.
- Majer, J. (1955). *Zur berechnung von zugfundamenten*. Österreichische Bauzeitschrift, 10 (5), 85-90.
- Makarchian, M., Badakhshan, E., Gheitashi, M. (2012). *Experimental and numerical study of uplift behavior of anchors embedded in reinforced sand*. Geosynthetics Asia, 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics, Bangkok, Thailand, 675–681.
- Mandal J.N., and Gupta P. (1994). *Stability of geocell reinforced soil*, Construction and Building Materials. 8 (1), 55-62.
- Mariupol'skii, L.G. (1965). *The bearing capacity of anchor foundations (English translation)*. Soil Mechanics and Foundation Engineering (in Russian), 26-37.
- Matsuo, M. (1967). *Study of uplift resistance of footing*. Soils and Foundations, 7 (4), 1-37.
- Merifield, R.S., and Sloan, S.W. (2006). *The ultimate pullout capacity of anchors in frictional soils*. Canadian Geotechnical Journal. 43 (8), 852–868.
- Meyerhof, G.G., Adams, J.I. (1968). *The ultimate uplift capacity of foundations*. Canadian Geotechnical Journal, 5 (4), 225-244.
- Mors, H. (1959). *The behavior of mast foundations subjected to tensile forces*. Bautechnik, 36 (10), 367-378.
- Murray, E.J., and Geddes, J.D. (1987). *Uplift of Anchor Plates in Sand*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 113 (3), 202–215.

- Neto, J.O.A., Bueno, B.S., Futai, M.M. (2013). *A bearing capacity calculation method for soil reinforced with a geocell*. Geosynthetics International, 20 (3), 129-141.
- Niroumand, H., Kassim, K.A., Nazir, R. (2013). *The Influence of Soil Reinforcement on the Uplift Response of Symmetrical Anchor Plate Embedded in Sand*. Measurement, 46 (10), 2608-2629.
- Niroumand, H and Kassim, K.A. (2014a). *Uplift Response of Circular Plates as Symmetrical Anchor Plates in Loose Sand*. Geomechanics and Engineering, 6 (4), 321-340.
- Niroumand, H and Kassim, K.A. (2014b). *Experimental and Numerical Modeling of Uplift Behavior of Rectangular Plates in Cohesionless Soil*. Geomechanics and Engineering, 6 (4), 341-358.
- Niroumand, H and Kassim, K.A. (2016). *Design and Construction of Soil anchors plates*. (First Edition). Elsevier Science.
- Ovesen, N.K. (1981). *Centrifuge tests to determine the uplift capacity of anchor slabs in sand*. 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden, 1, 717-722.
- Presto (2008). *Geoweb Load Support System*, Technical Overview, Presto Products Company, Appleton, WI, USA.
- Rajagopal, K., Krishnaswamy, N.R., Latha, G.M. (1999). *Behaviour of sand confined with single and multiple geocells*. Geotextiles and Geomembranes, 17, 171-181.
- Ramesh Babu, R., (1998). *Uplift Capacity and Behaviour of Shallow Horizontal Anchors in Soil*, Phd Thesis, Department of Civil Engineering, Indiana Institute of Science, Bangalore.
- Rowe, R.K., and Davis, H. (1982). *The behaviour of anchor plates in sand*. Géotechnique, 32(1), 25-41.
- Sakai, T., and Tanaka, T. (1998). *Scale Effect of a Shallow Circular Anchor in Dense Sand*. Soils and Foundation, Japan, 38 (2), 93-99.
- Sitharam, T.G., and Hedge, A. (2013). *Design and construction of geocell foundation to support the embankment on settled red mud*. Geotextiles and Geomembranes, 41, 55-63.
- Tafreshi, S.N.M., and Dawson A.R. (2010). *Comparison of bearing capacity of a strip footing on sand with geocell with planar form of geotextile reinforcement*. Geotextiles and Geomembranes, 28 (1), 72-84.
- Tafreshi, S.N.M., Javadi, S., Dawson, A.R. (2014). *Influence of geocell reinforcement on uplift response of belled piles*. Acta Geotechnica, 9 (3), 513-528.

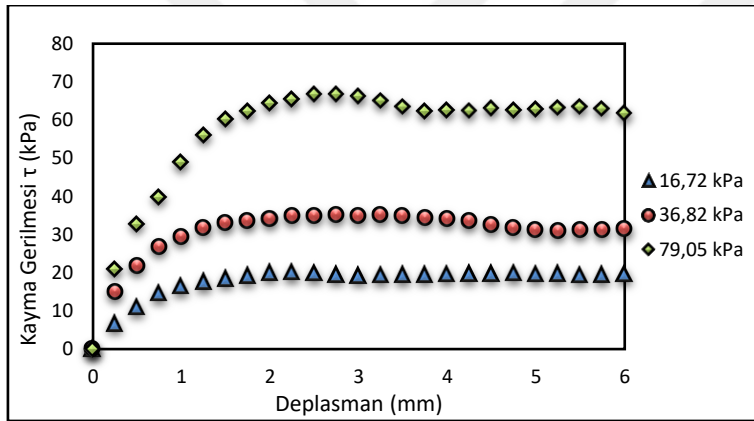
- Vermeer, P.A., and Sutjiadi, W. (1985). *The uplift resistance of shallow embedded anchors*. 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Calif., 12–16 August 1985. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands. 3, 1635–1638.
- Vesic, A.S. (1971). *Breakout resistance of objects embedded in ocean bottom*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, 97 (9), 1183–1205.
- Wang, D., Merified, R.S., Gaudin, C. (2013). *Uplift behaviour of helical anchors in clay*. Canadian Geotechnical Journal, 50, 575-584.
- Yünkül, K., and Gürbüz, A. (2018). *Use of geocells and working mechanism*. 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, ISAS 2018, Antalya, Turkey, 2, 354-360.
- Zhang, L., Zhao, M., Shi, C., Zhao, H. (2010). *Bearing capacity of geocell reinforcement in embankment engineering*. Geotextiles and Geomembranes, 28 (5), 475-482.



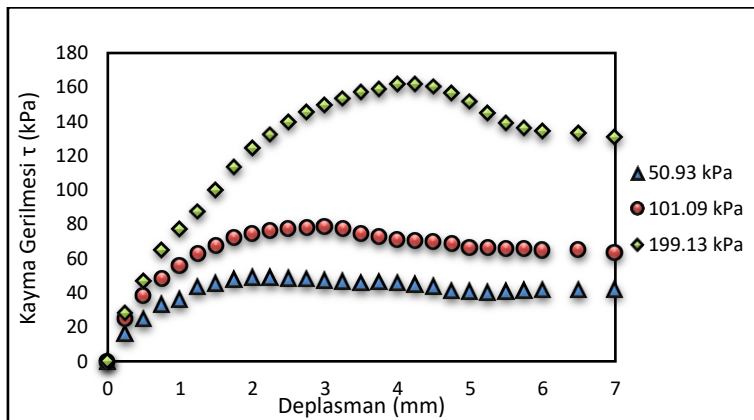
EK-1. Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen deplasman kayma gerilmesi grafiği



Şekil 1.1 % 13.7 rölatif sıklık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

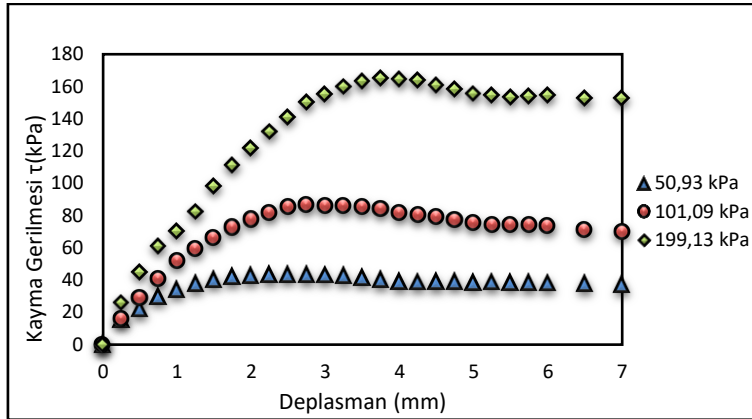


Şekil 1.2. % 27 rölatif sıklık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

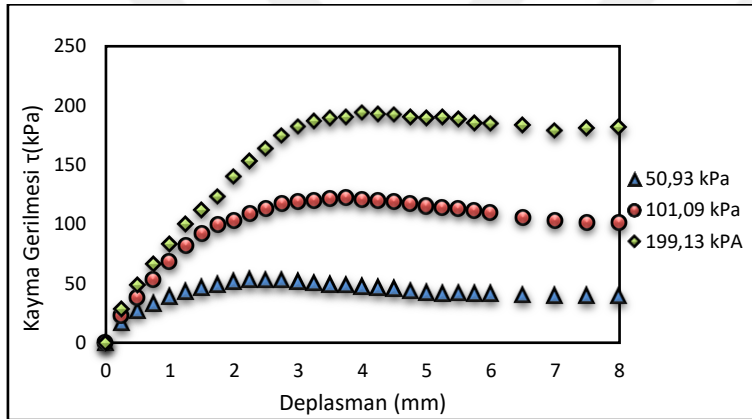


Şekil 1.3. % 41.16 rölatif sıklık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

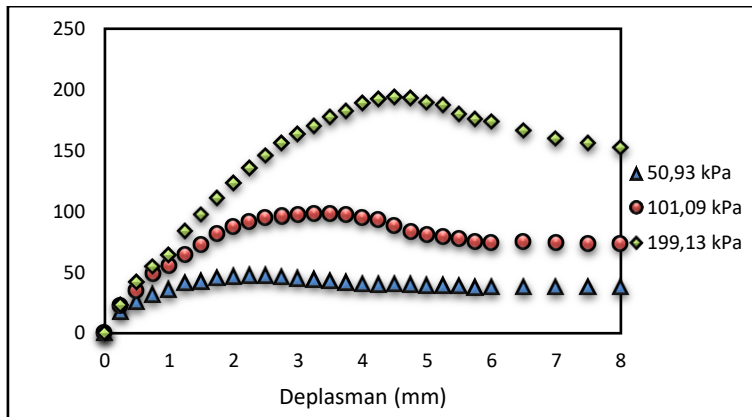
EK-1. (devam) Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen deplasman kayma gerilmesi grafiği



Şekil 1.4. % 49.97 rölatif sıklık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

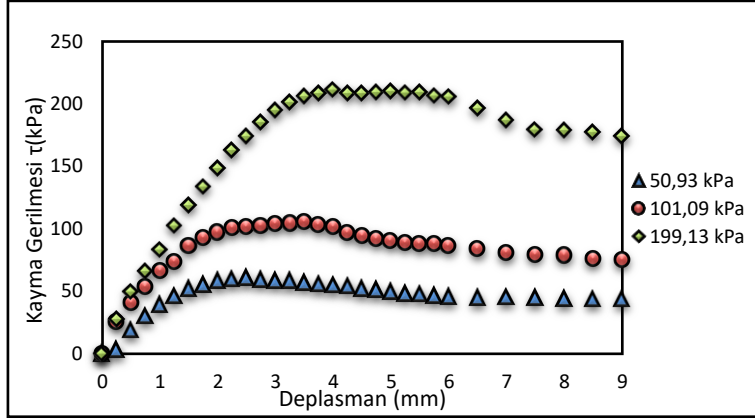


Şekil 1.5. % 57.51 rölatif sıklık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

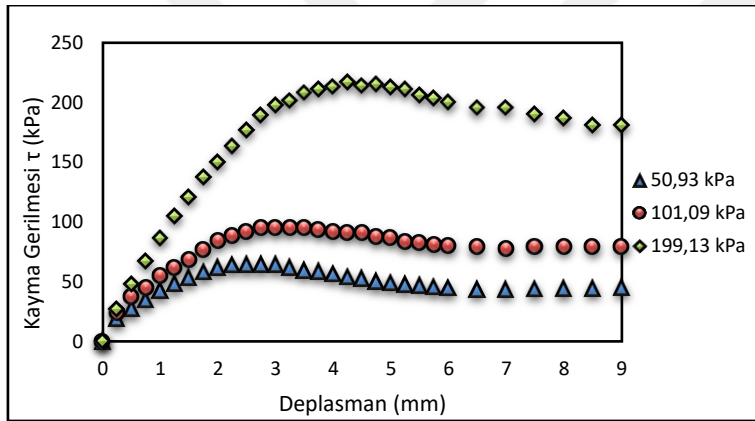


Şekil 1.6. % 70 rölatif sıklık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

EK-1. (devam) Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen deplasman kayma gerilmesi grafiği

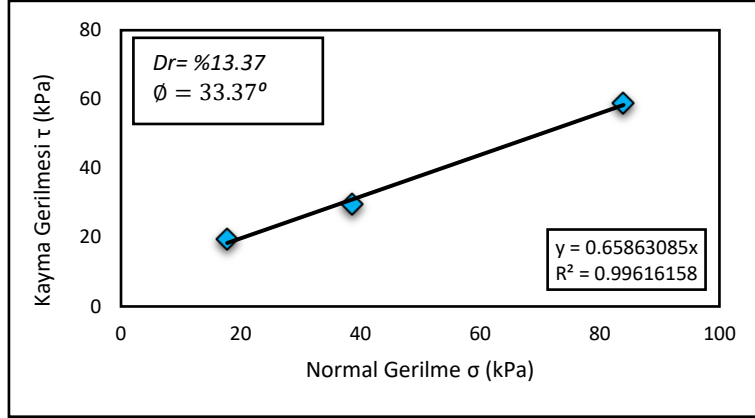


Şekil 1.7. % 80.45 rölatif sıkılık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

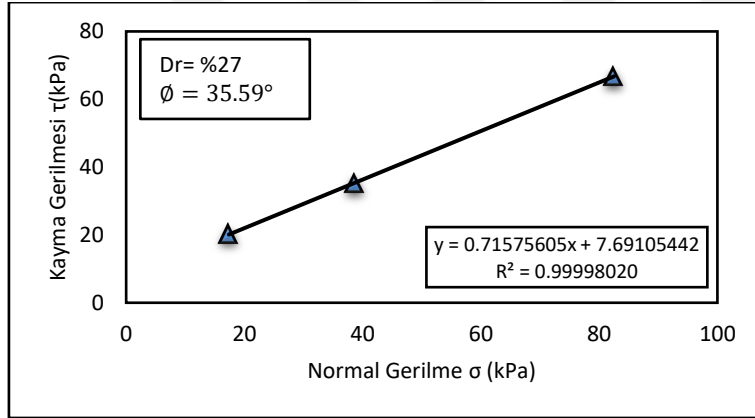


Şekil 1.8. % 85 rölatif sıkılık için kayma gerilmesi yatay deplasman grafiği

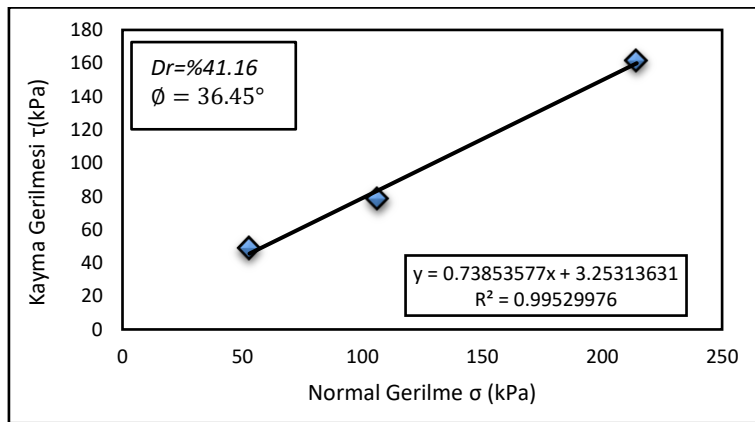
EK-2. Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen içsel sürtünme açısının belirlenmesi



Şekil 2.1. % 13.37 rölatif sıkılıkta bulunan zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi

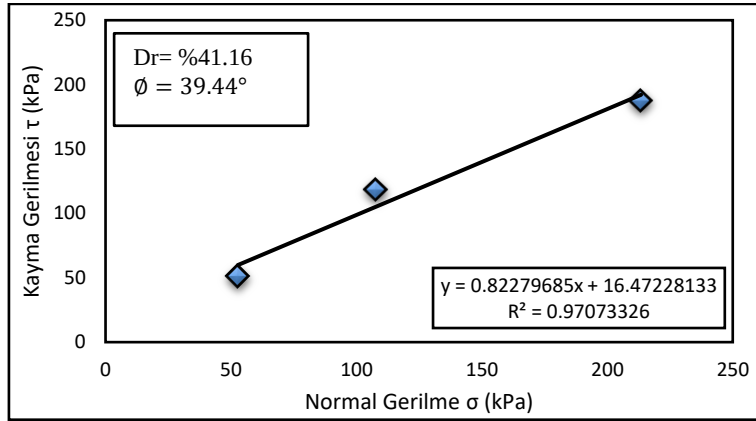


Şekil 2.2. % 27 rölatif sıkılıkta bulunan zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi

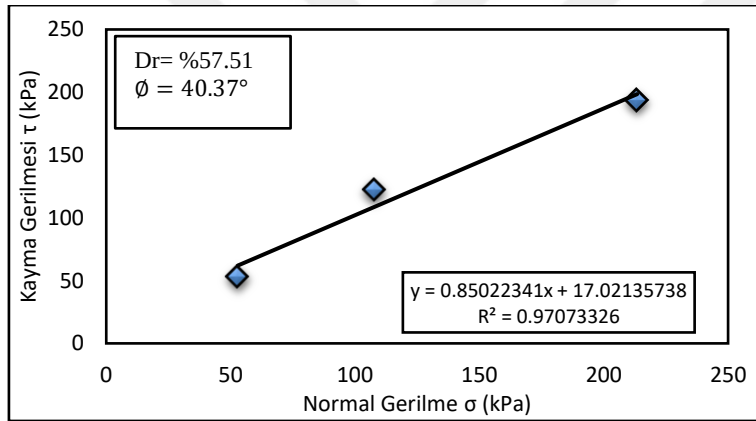


Şekil 2.3. % 41.12 rölatif sıkılıktaki zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi

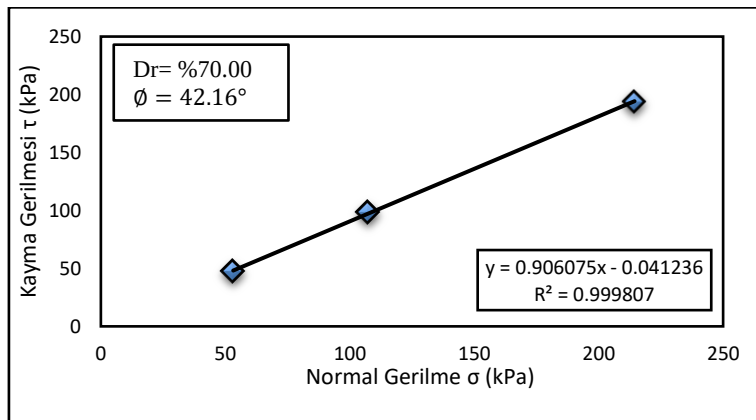
EK-2. (devam) Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen içsel sürtünme açısının belirlenmesi



Şekil 2.4. % 49.97 rölatif sıkılıktaki zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi)

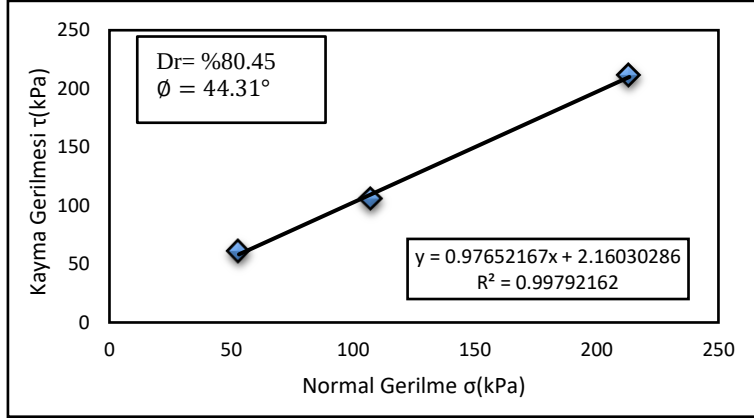


Şekil 2.5. % 57.51 rölatif sıkılıktaki zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi

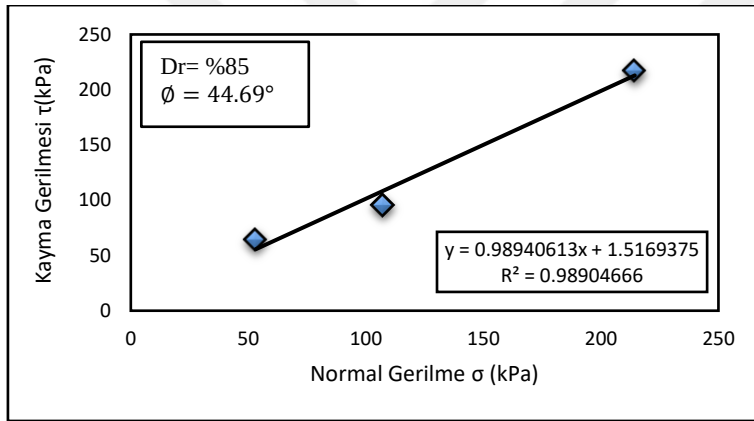


Şekil 2.6. % 70 rölatif sıkılıktaki zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi

EK-2. (devam) Kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen içsel sürtünme açısının belirlenmesi

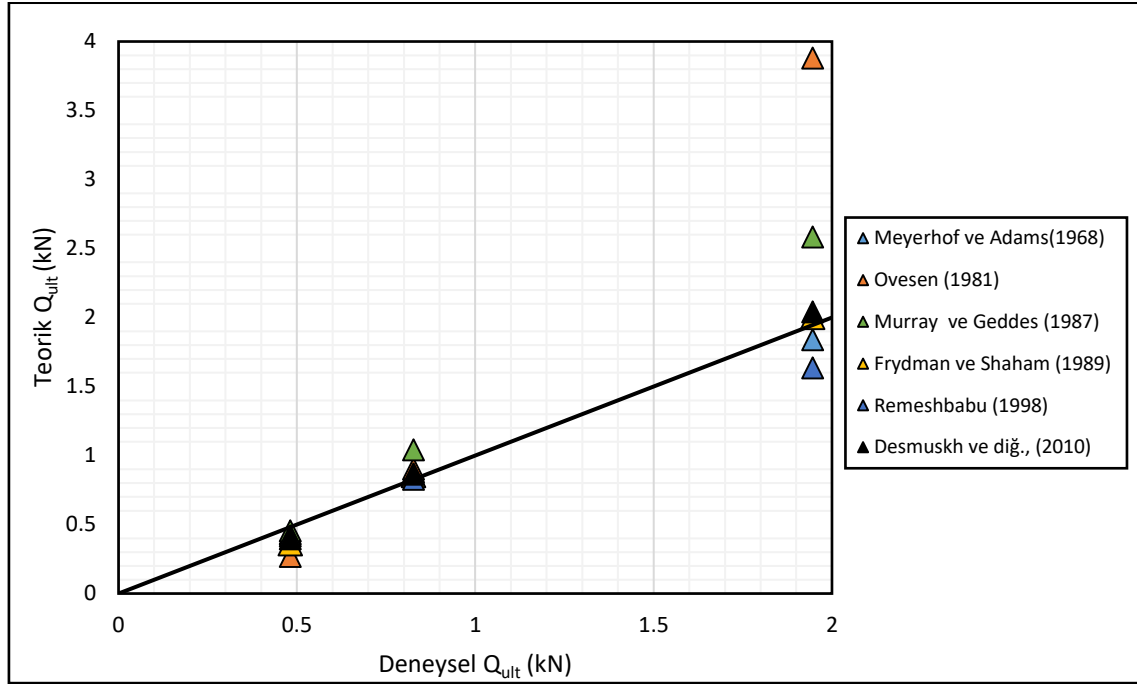


Şekil 2.7. % 80.45 rölatif sıkılıktaki zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi

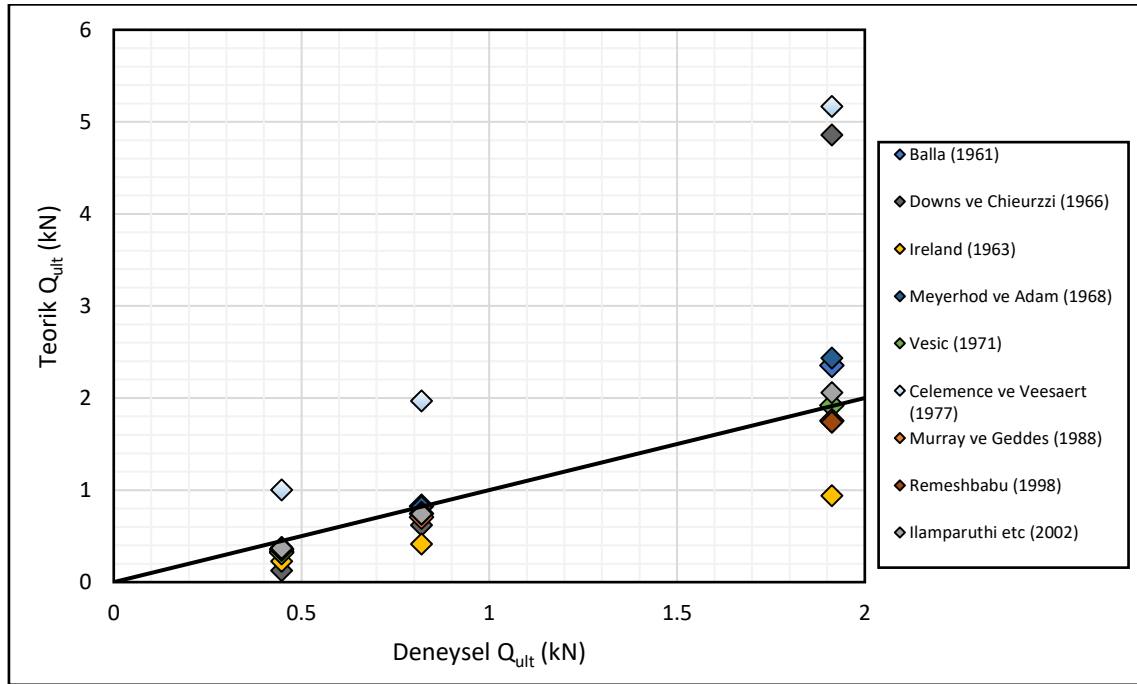


Şekil 2.8. % 85 rölatif sıkılıktaki zeminin içsel sürtünme açısının belirlenmesi)

EK-3. Güçlendirilmemiş ankrajlardan elde edilen çekme kapasitesinin teorik yaklaşımlar ile karşılaştırılması

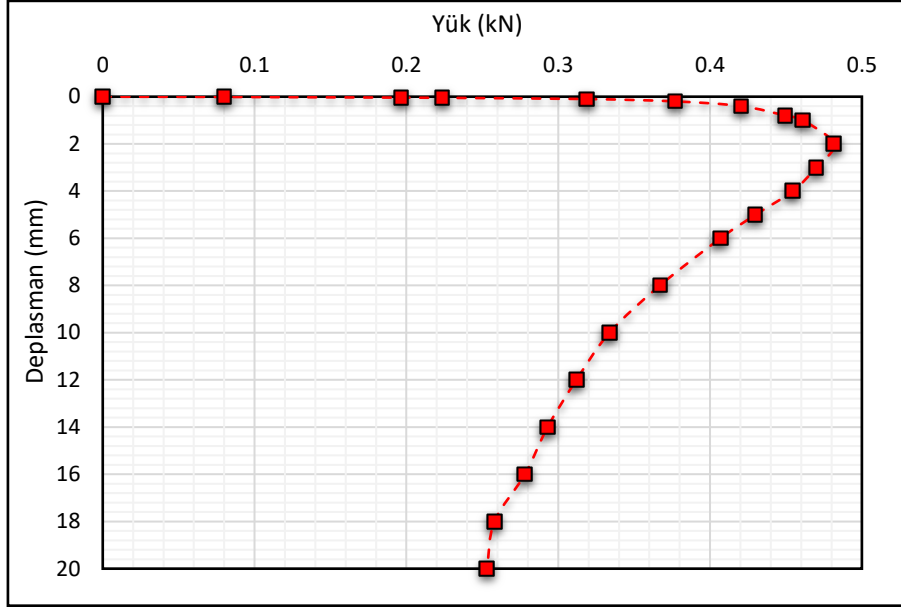


Şekil 3.1. Güçlendirilmemiş kare ankrajın çekme kapasitesinin literatürdeki yöntemler ile karşılaştırılması

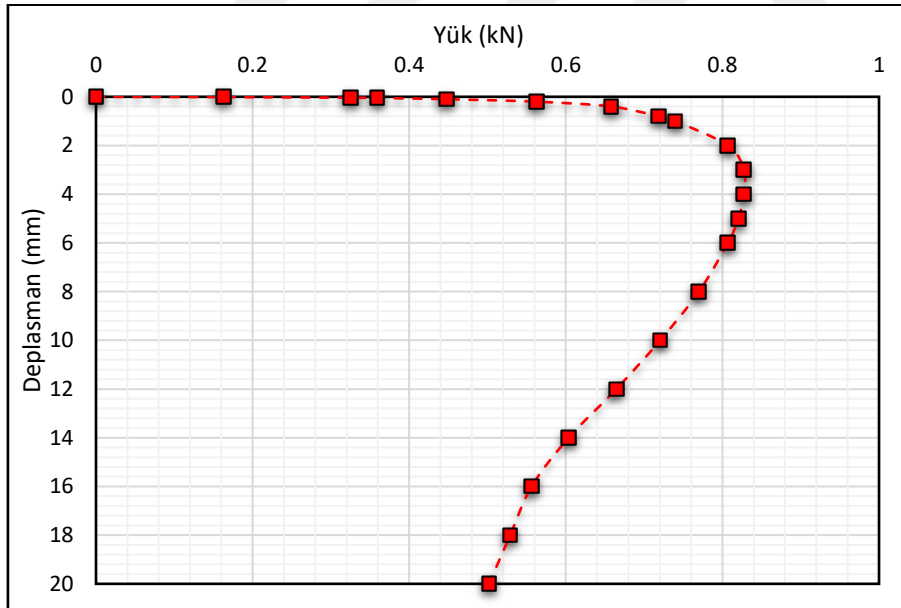


Şekil 3.2. Güçlendirilmemiş dairesel ankrajın çekme kapasitesinin literatürdeki yöntemler ile karşılaştırılması

EK-4. Ankrajların yük deplasman grafikleri

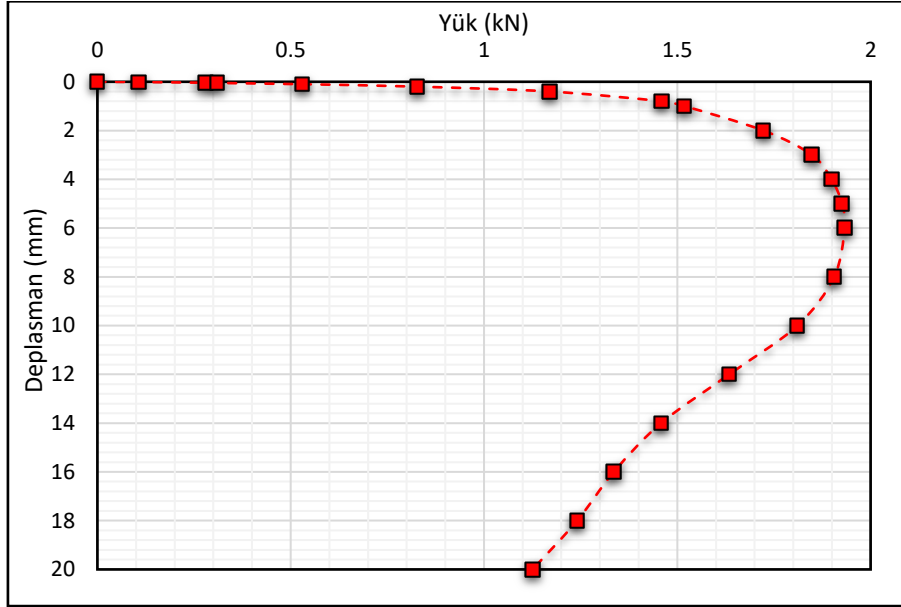


Şekil 4.1. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan güçlendirilmemiş kare ankrajın yük deplasman grafiği

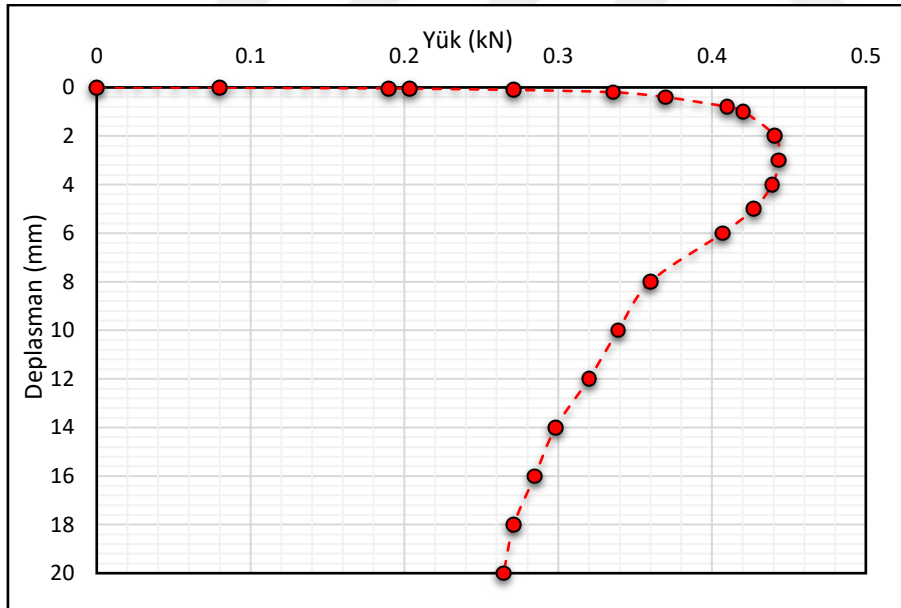


Şekil 4.2. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan güçlendirilmemiş kare ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

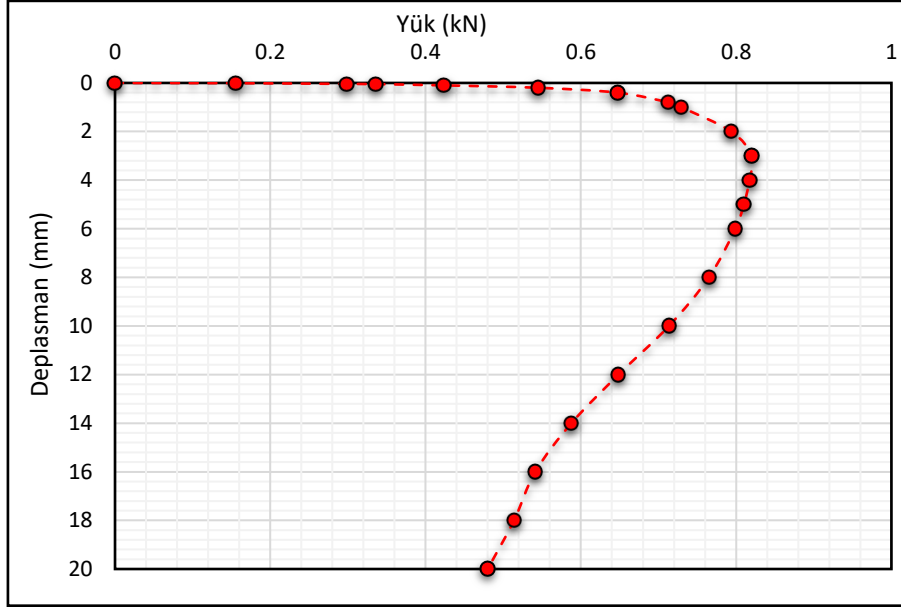


Şekil 4.3. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan güçlendirilmemiş kare ankrajın yük deplasman grafiği

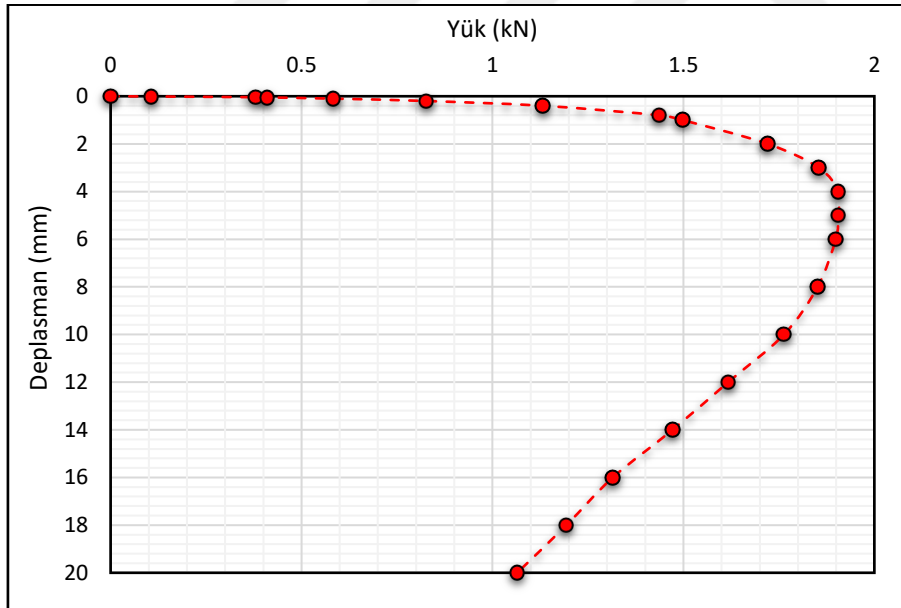


Şekil 4.4. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan güçlendirilmemiş dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

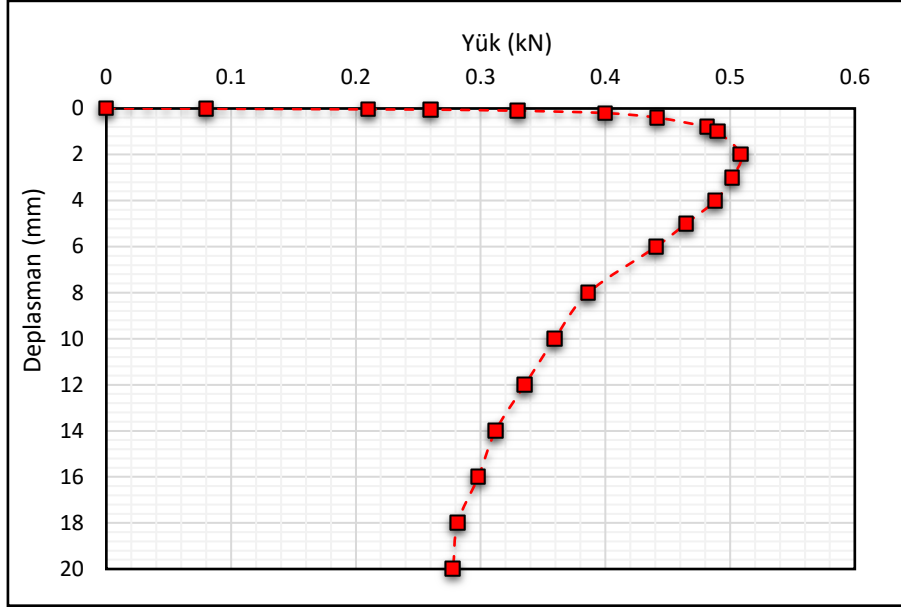


Şekil 4.5. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan güçlendirilmemiş dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

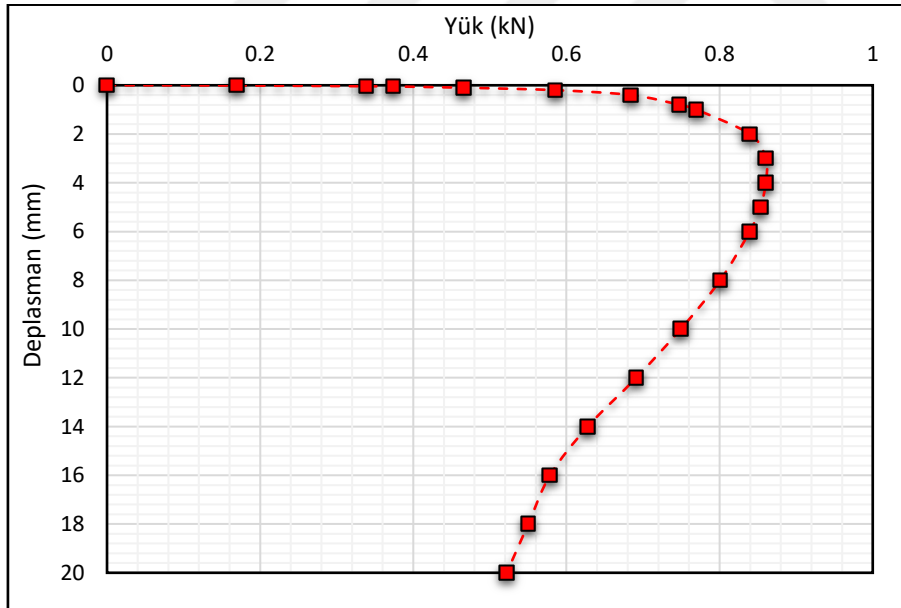


Şekil 4.6. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan güçlendirilmemiş dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

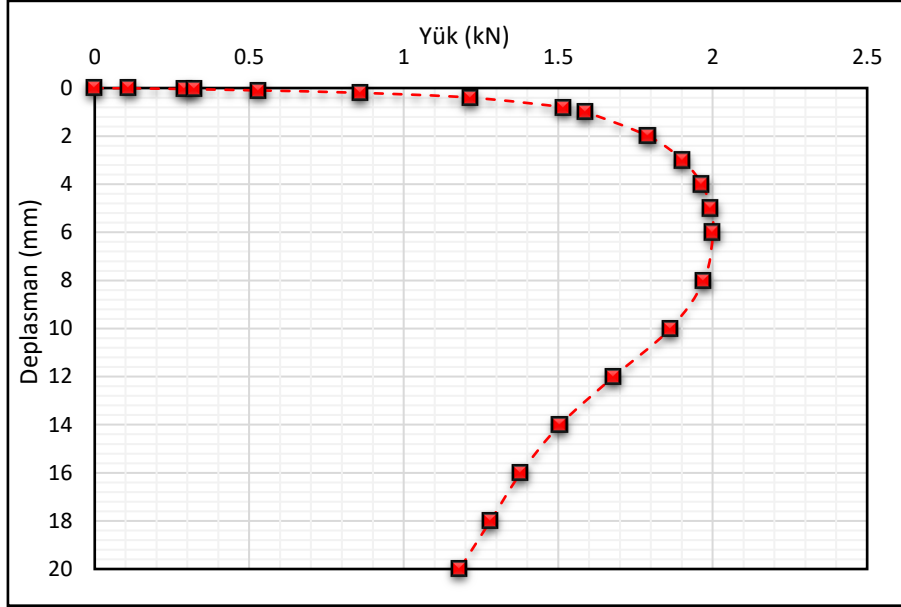


Şekil 4.7. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

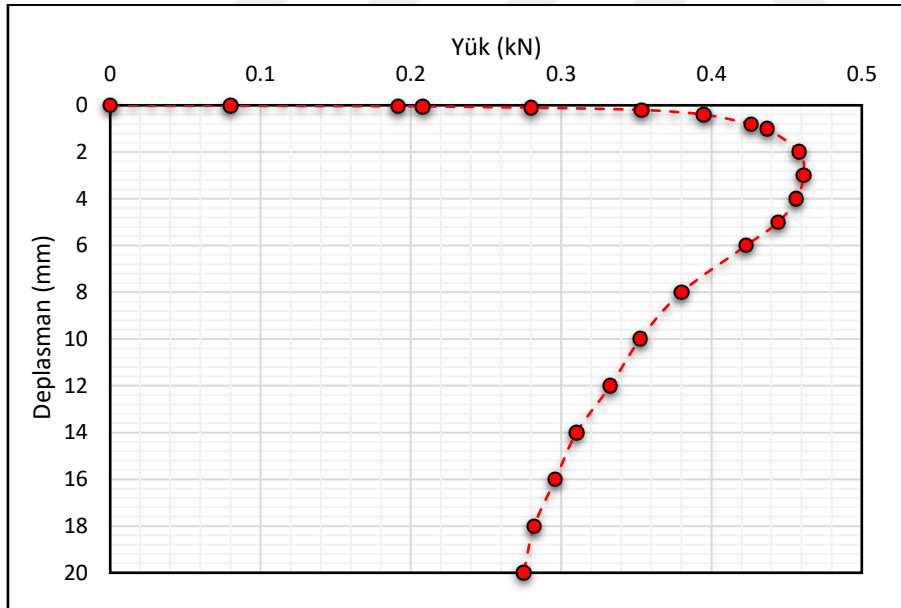


Şekil 4.8. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

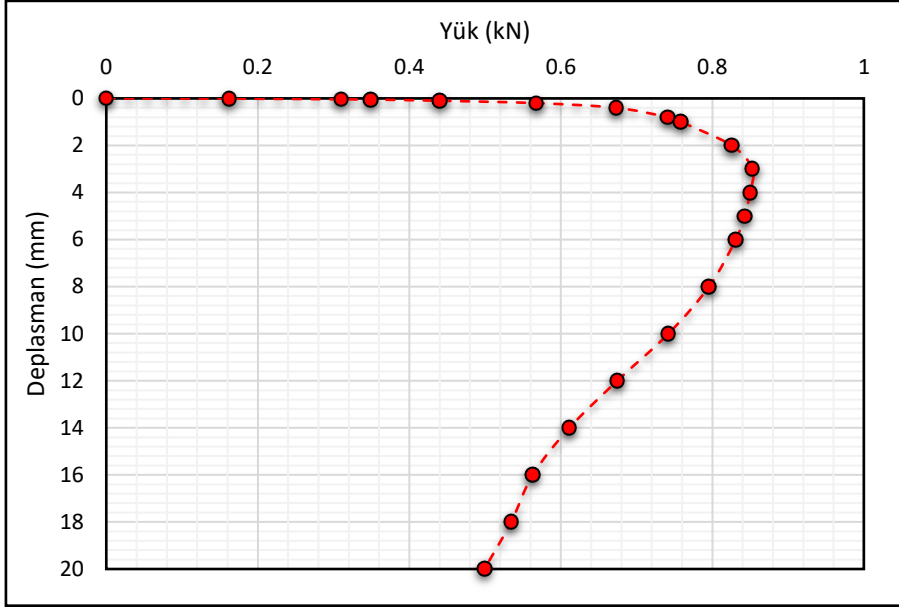


Şekil 4.9. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

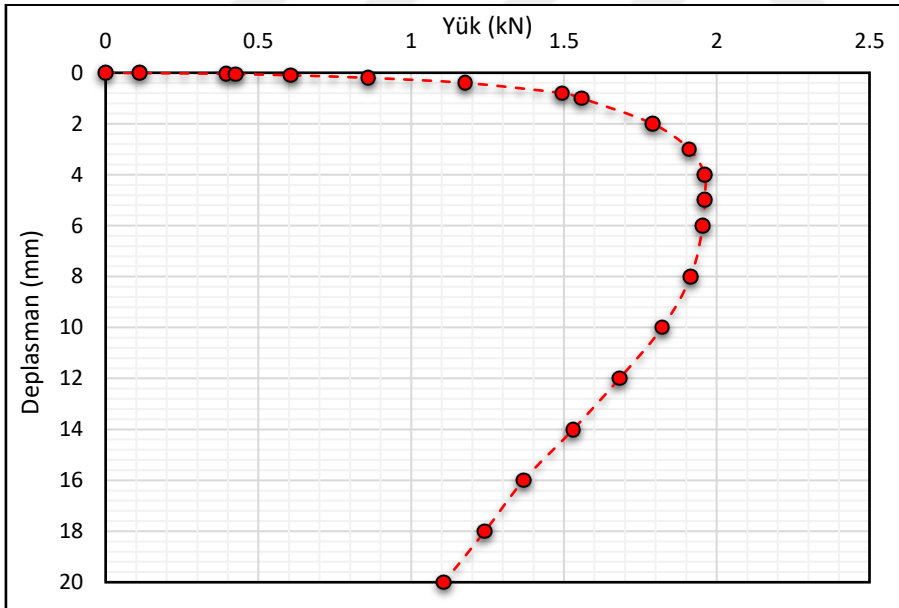


Şekil 4.10. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

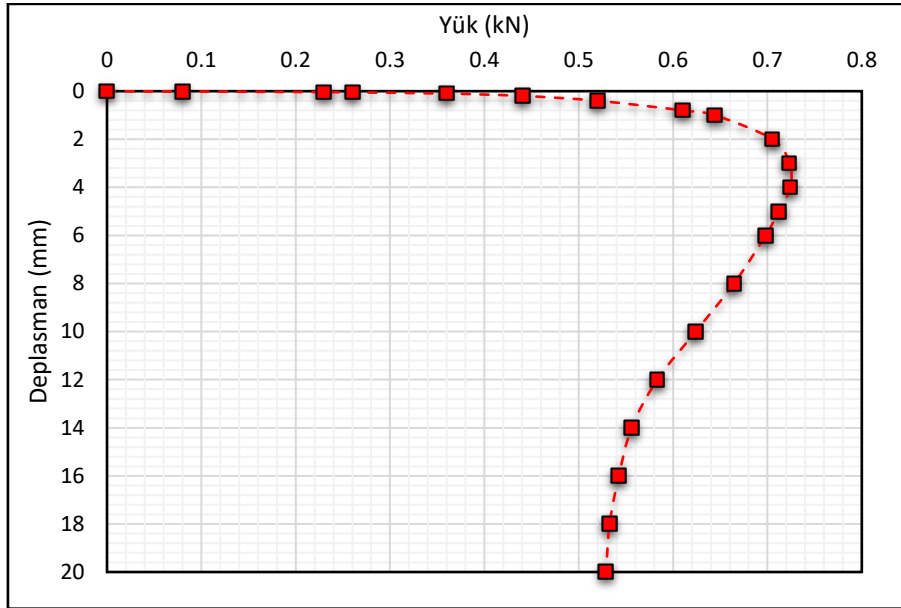


Şekil 4.11. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

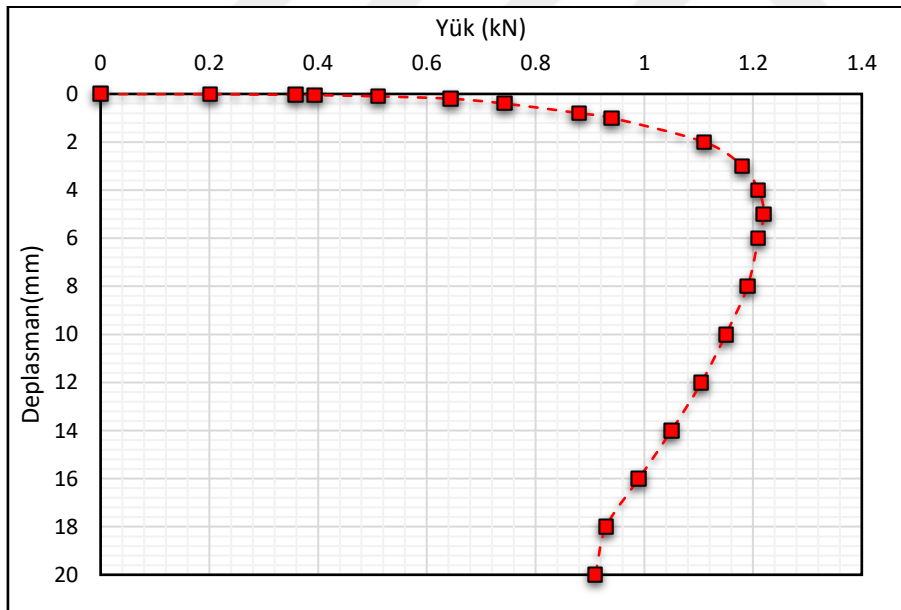


Şekil 4.12. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

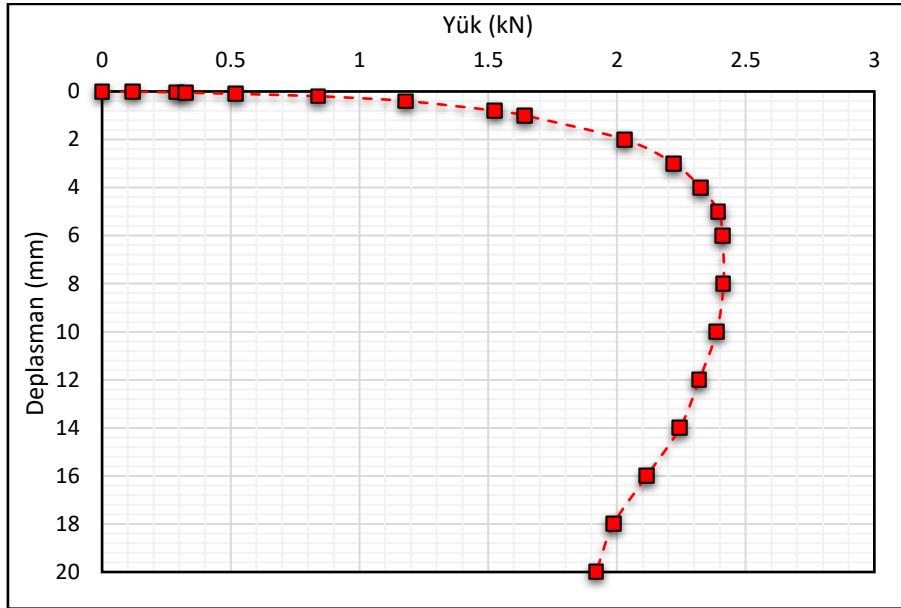


Şekil 4.13. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

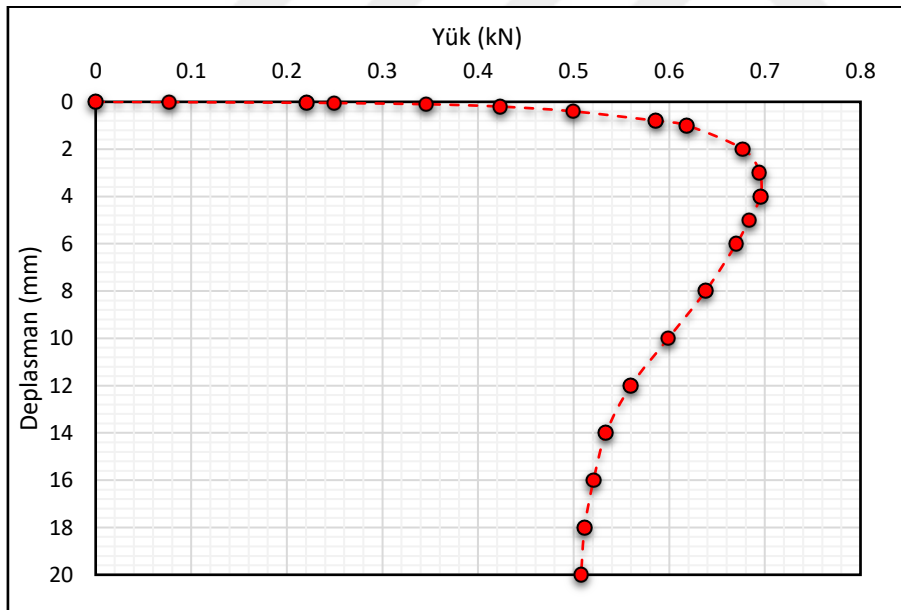


Şekil 4.14. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

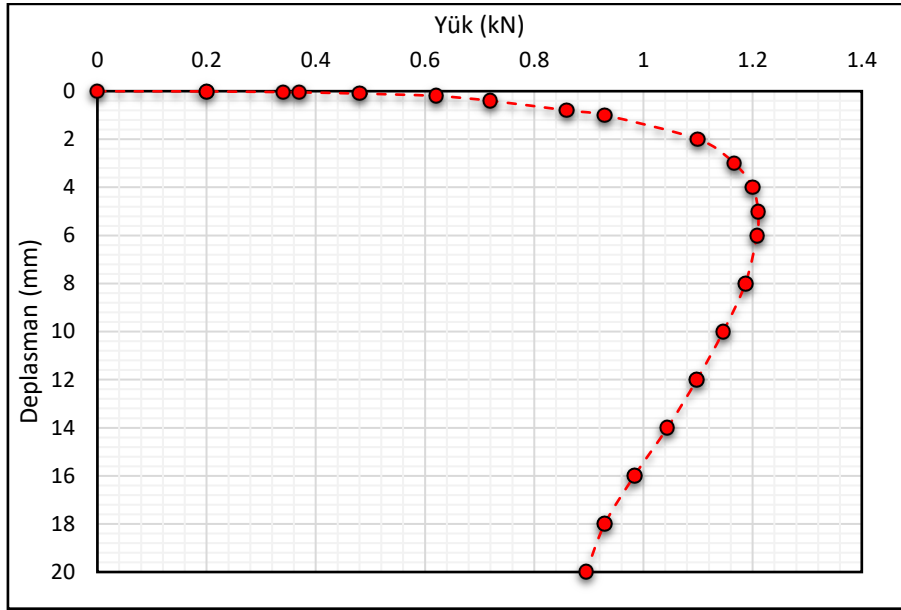


Şekil 4.15. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

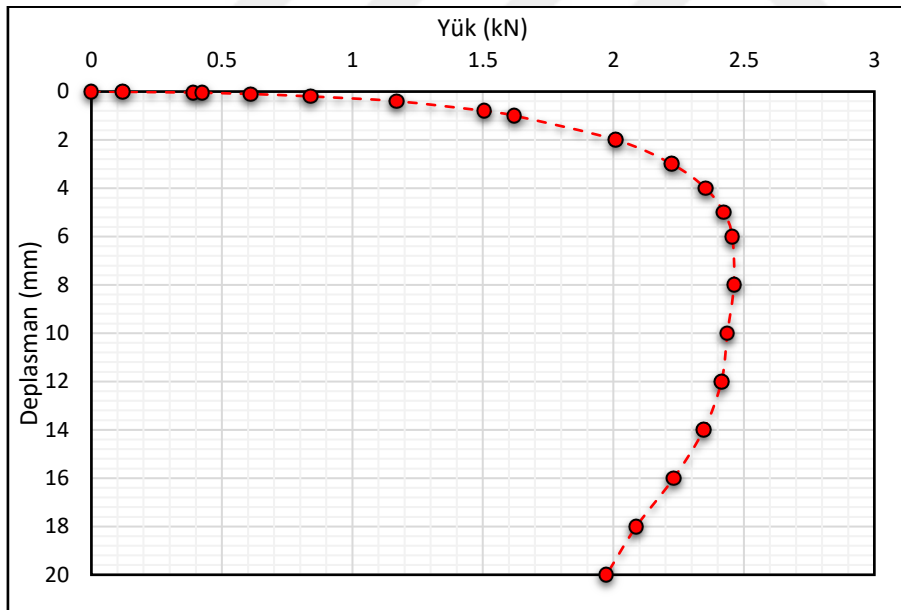


Şekil 4.16. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

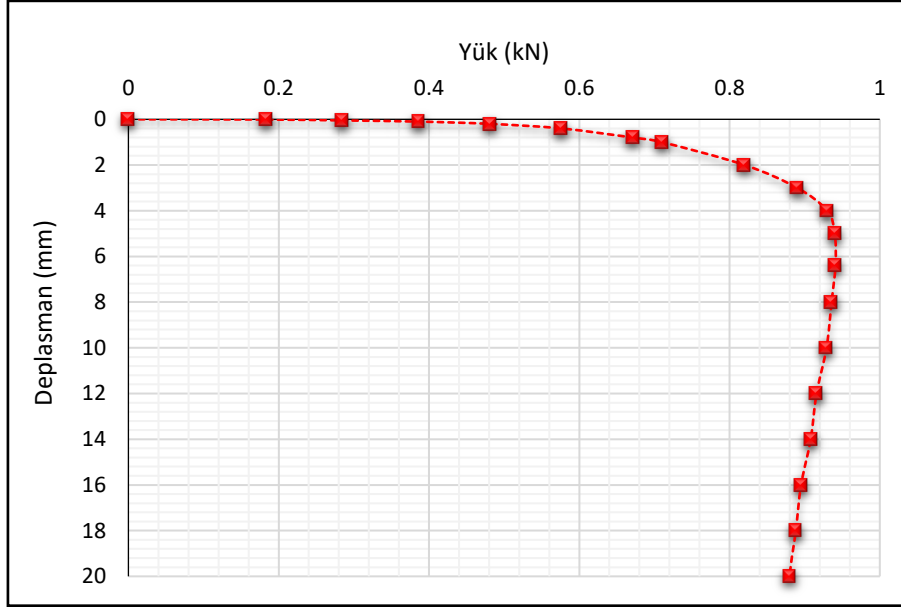


Şekil 4.17. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

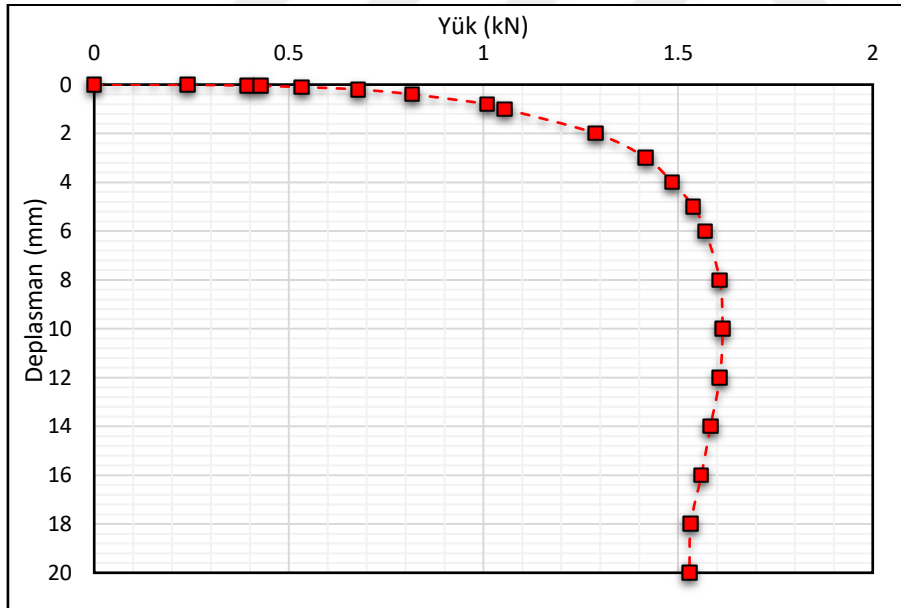


Şekil 4.18. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

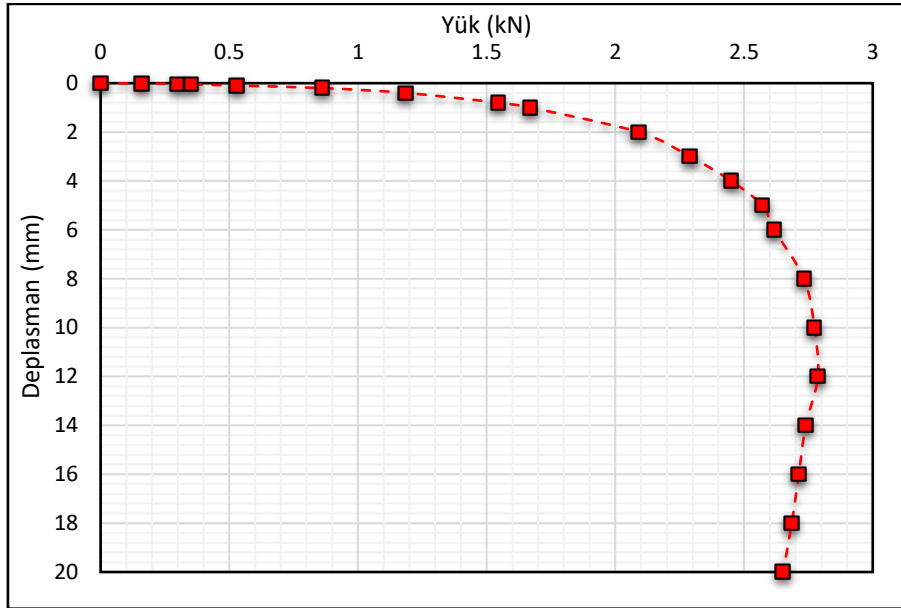


Şekil 4.19. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

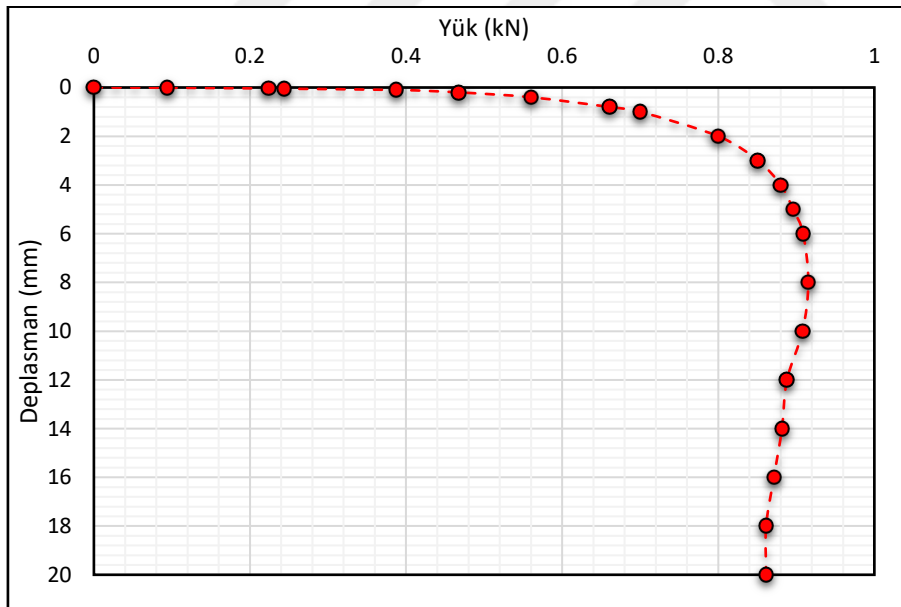


Şekil 4.20. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

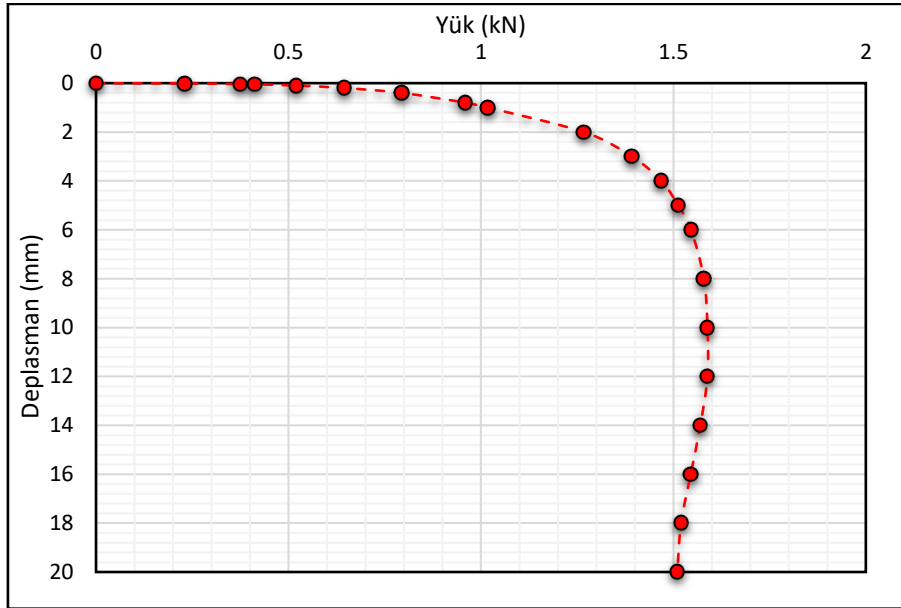


Şekil 4.21. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

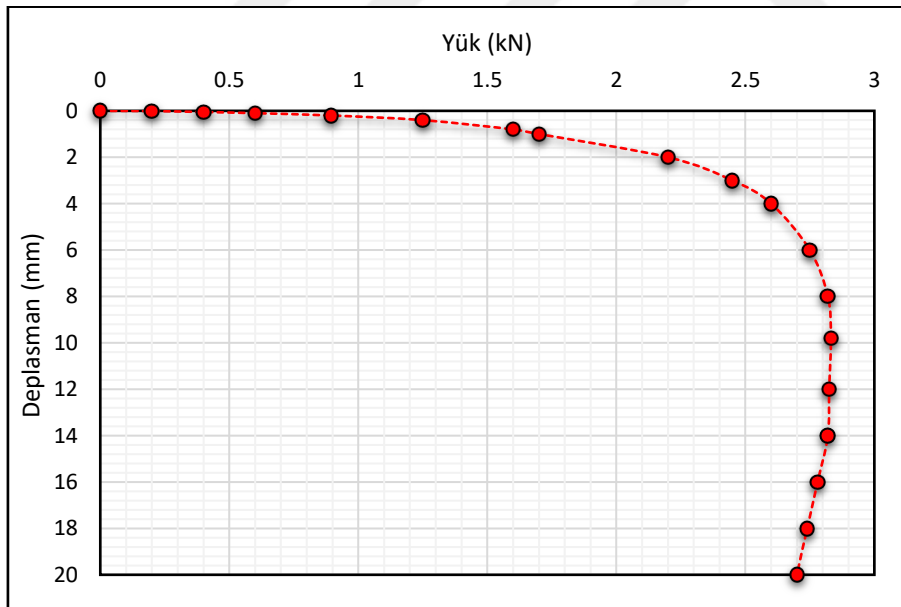


Şekil 4.22. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

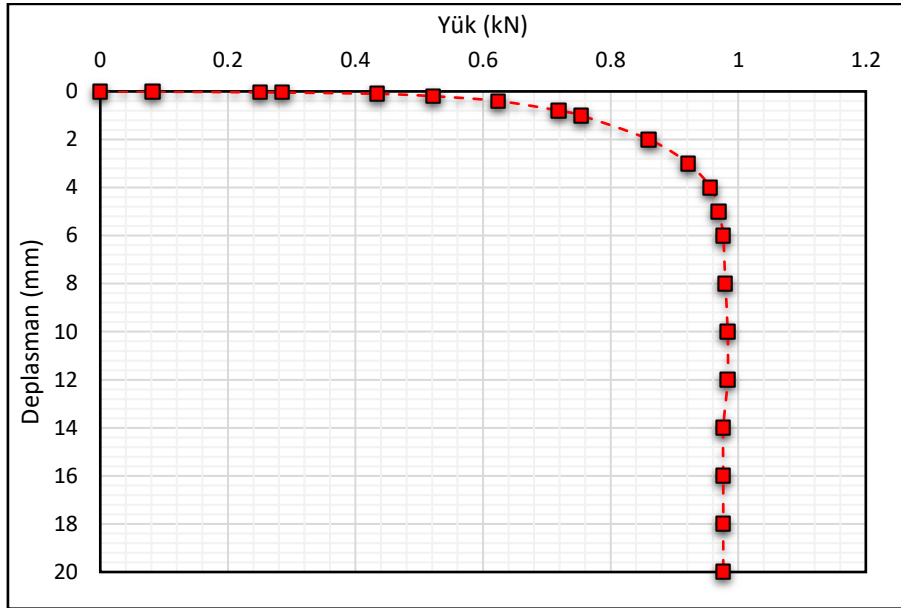


Şekil 4.23. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

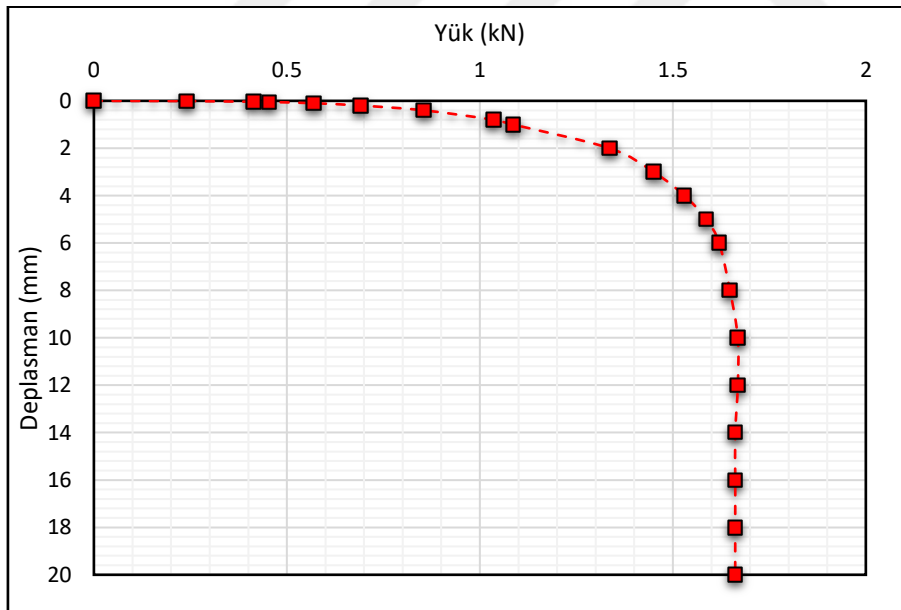


Şekil 4.24. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

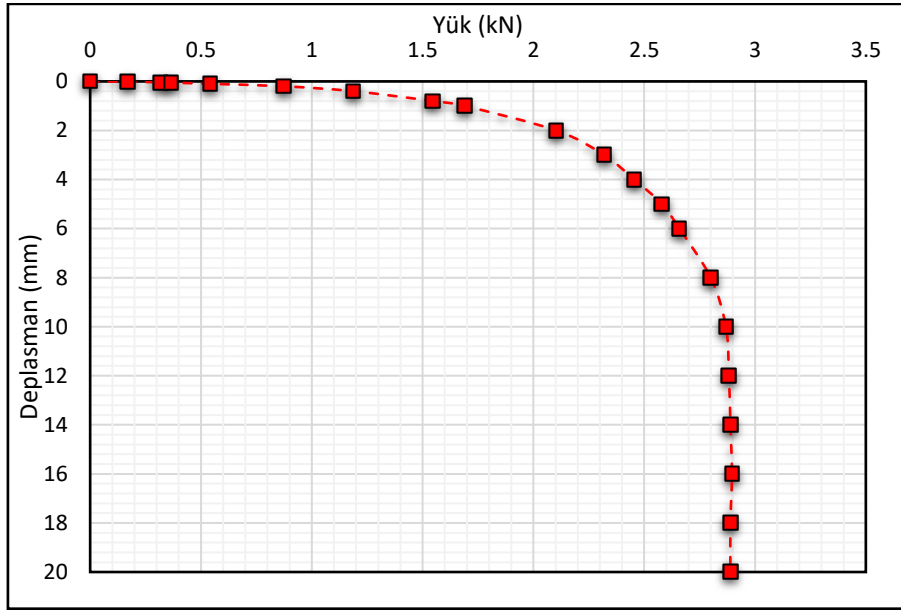


Şekil 4.25. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

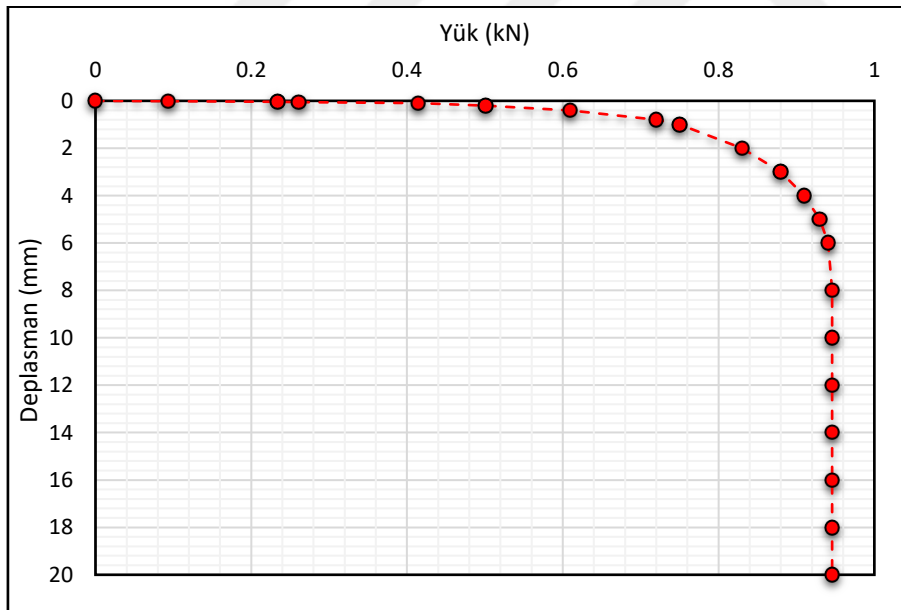


Şekil 4.26. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

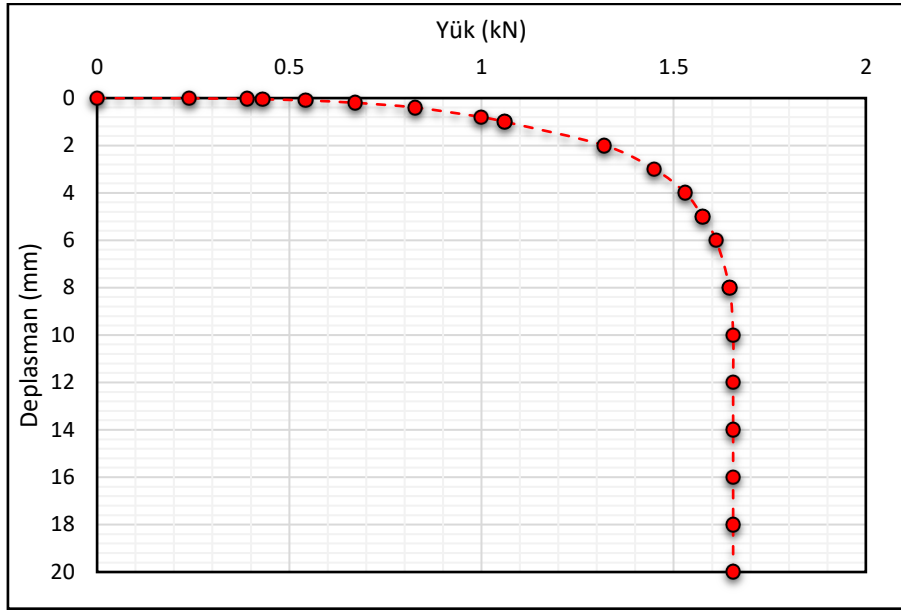


Şekil 4.27. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

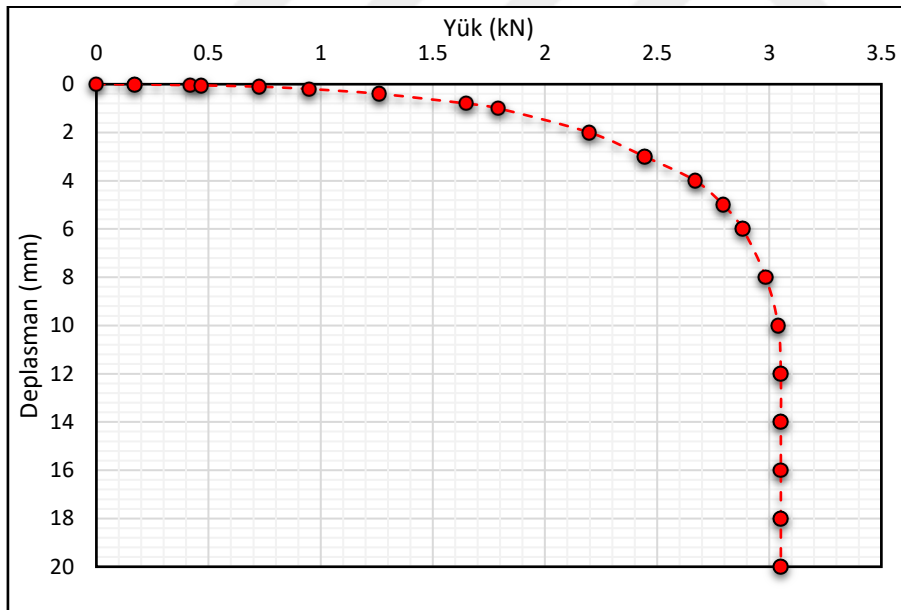


Şekil 4.28. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

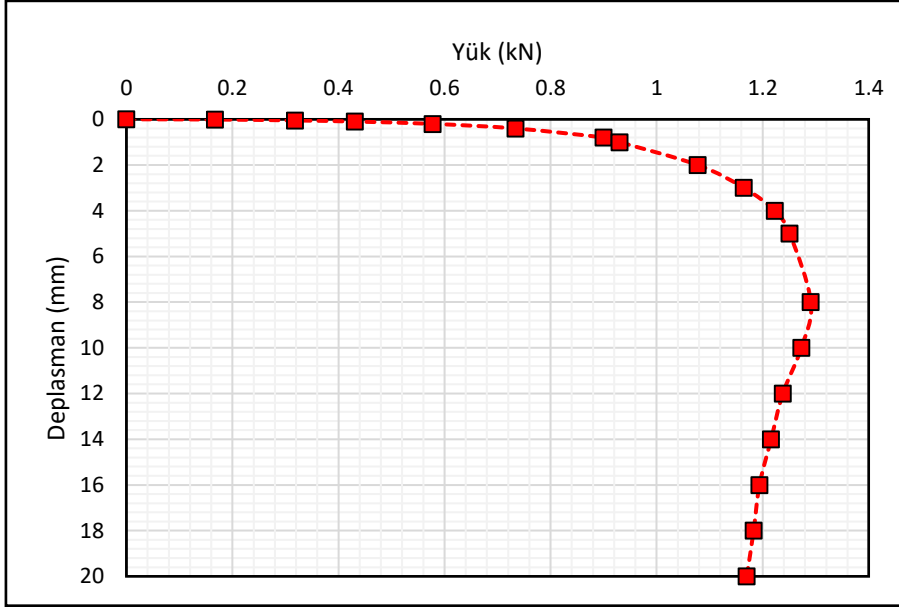


Şekil 4.29. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

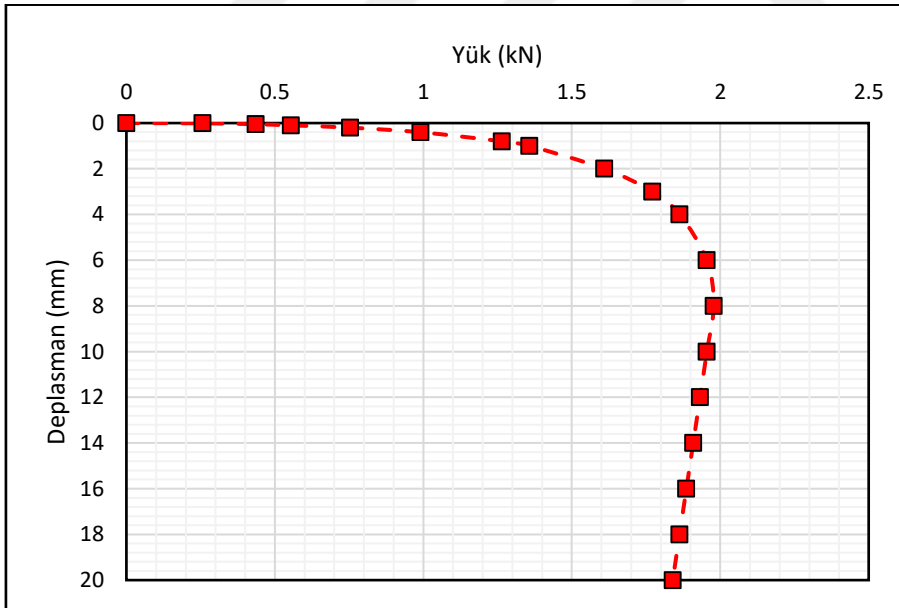


Şekil 4.30. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

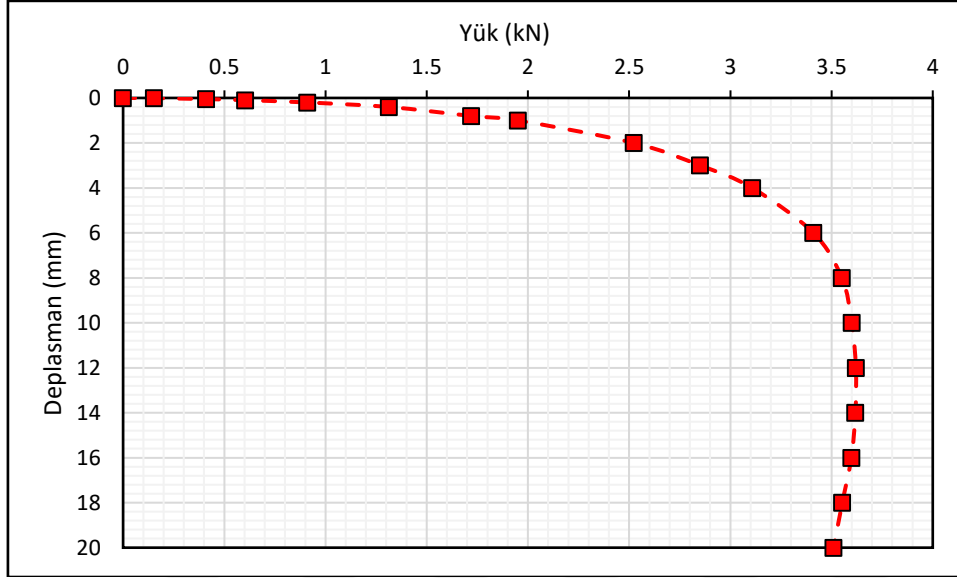


Şekil 4.30. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

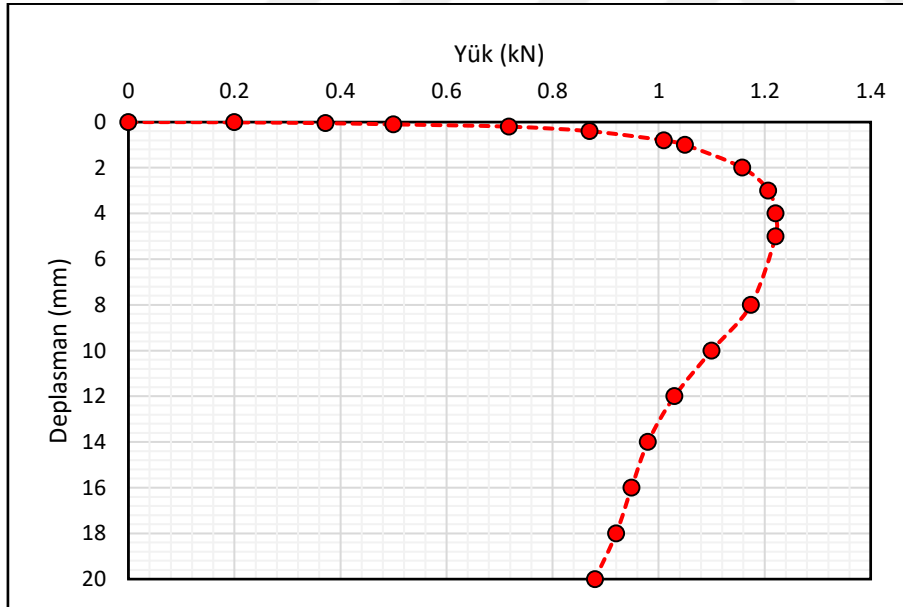


Şekil 4.31. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

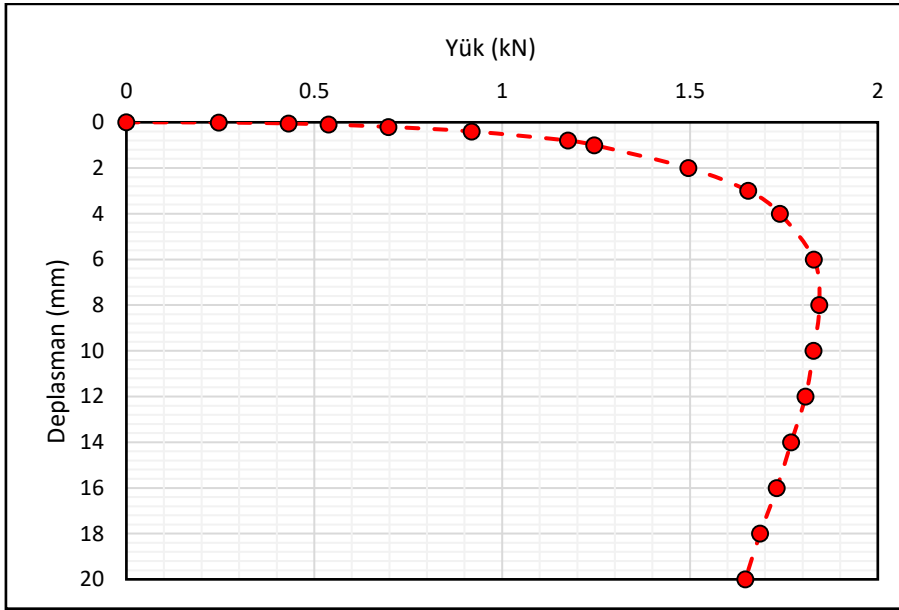


Şekil 4.32. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3x3 ve yüksekliği 150 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

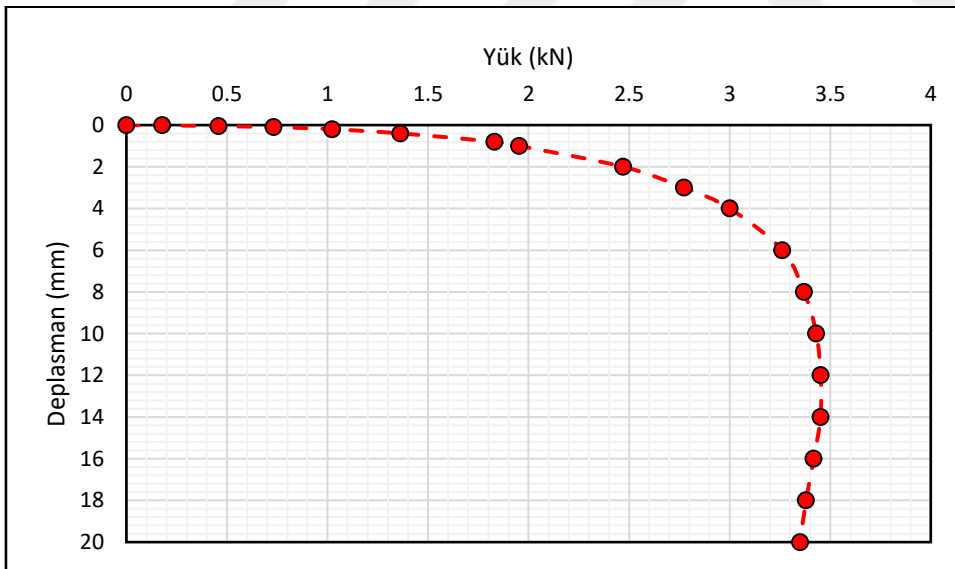


Şekil 4.33. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3x3 ve yüksekliği 150 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

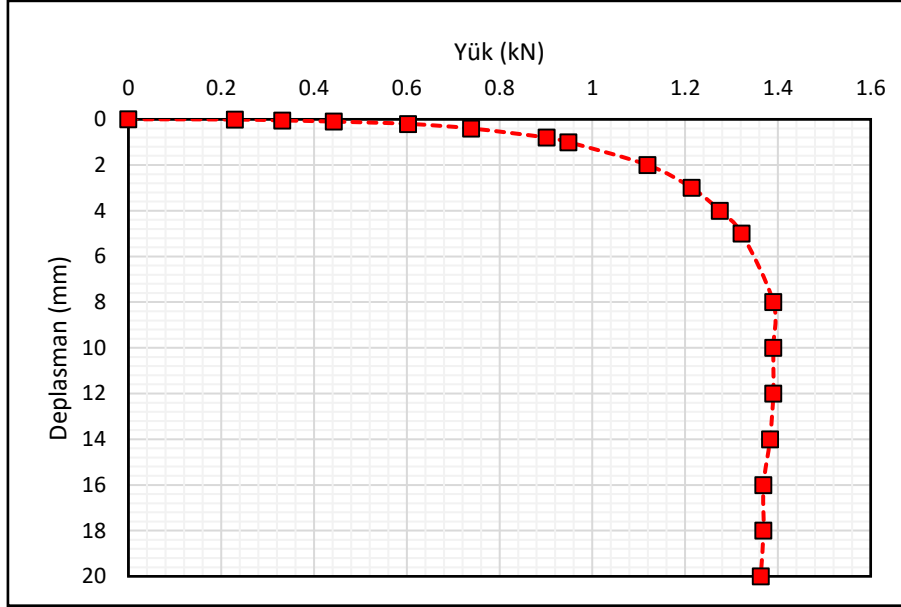


Şekil 4.34. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

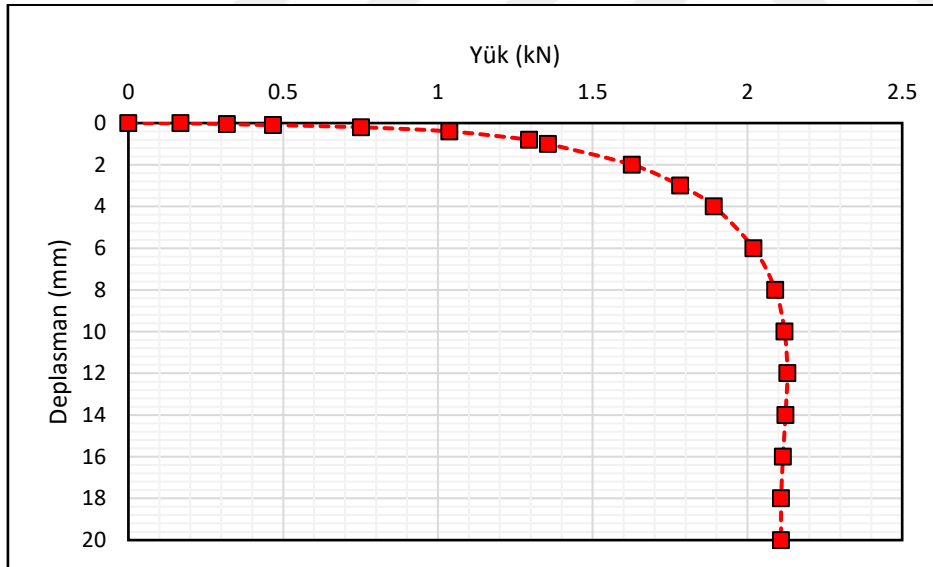


Şekil 4.35. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

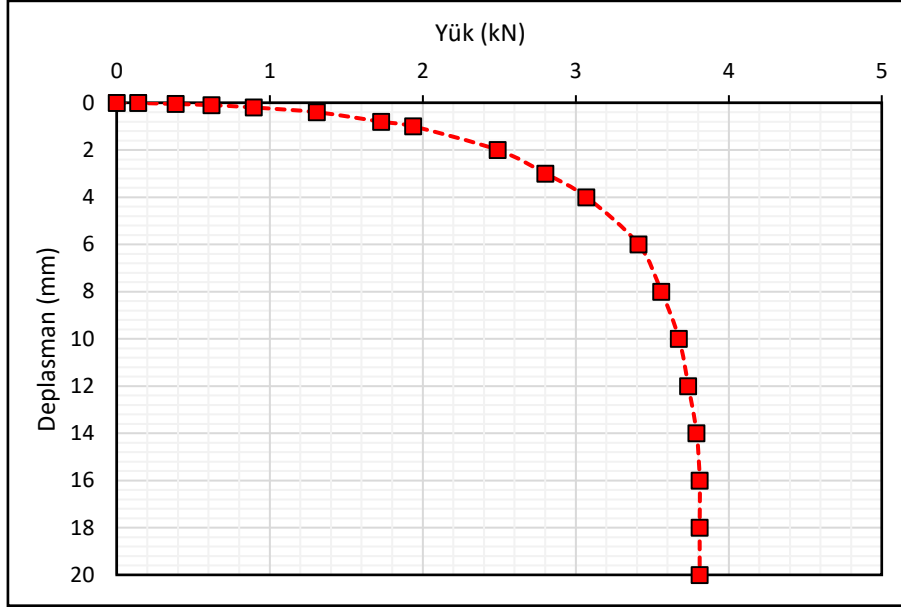


Şekil 4.36. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

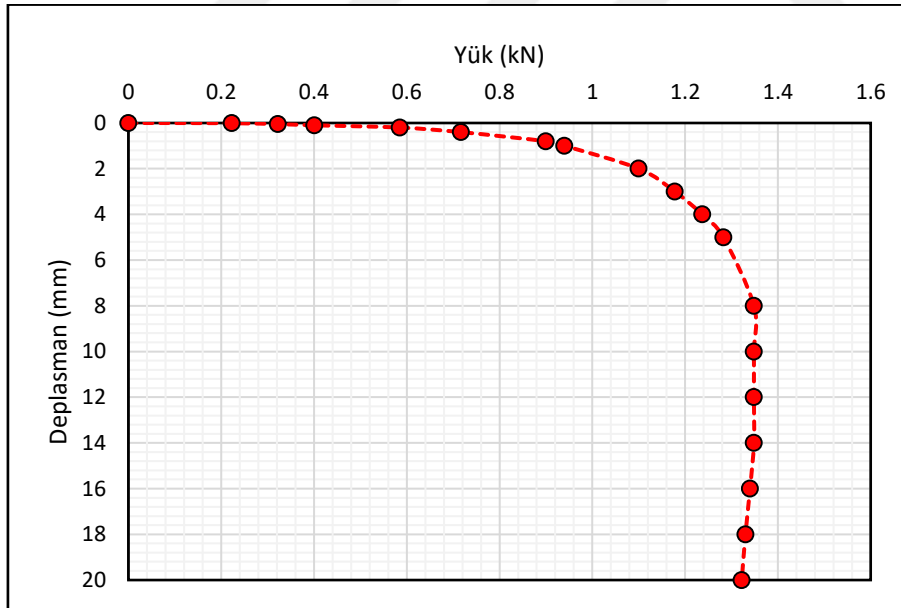


Şekil 4.37. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

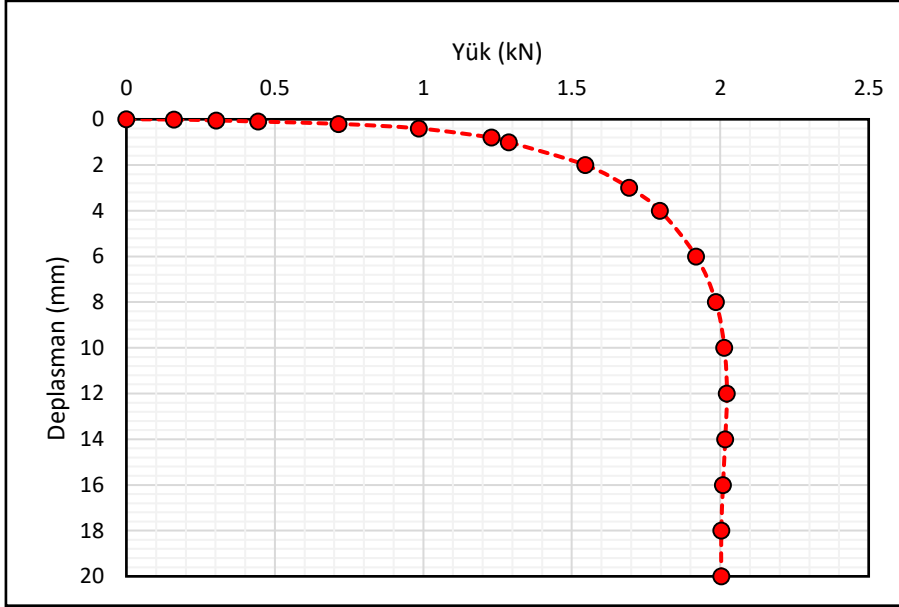


Şekil 4.38. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan kare ankrajın yük deplasman grafiği

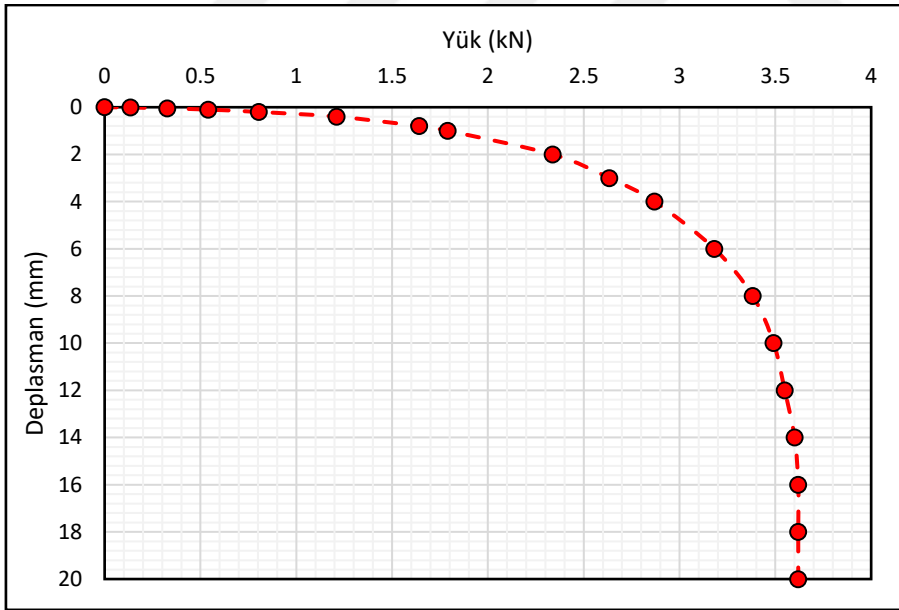


Şekil 4.39. 200 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-4. (devam) Ankrajların yük deplasman grafikleri

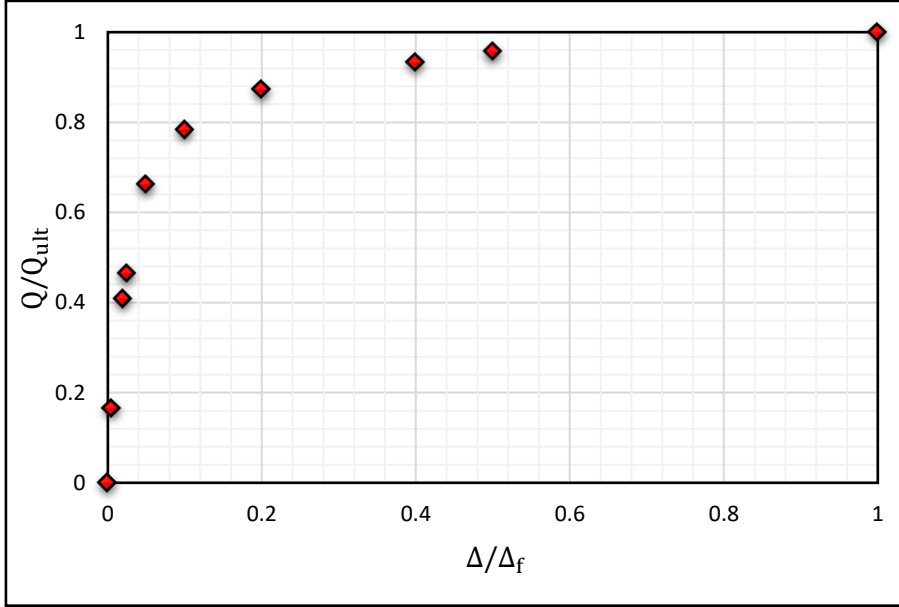


Şekil 4.40. 300 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

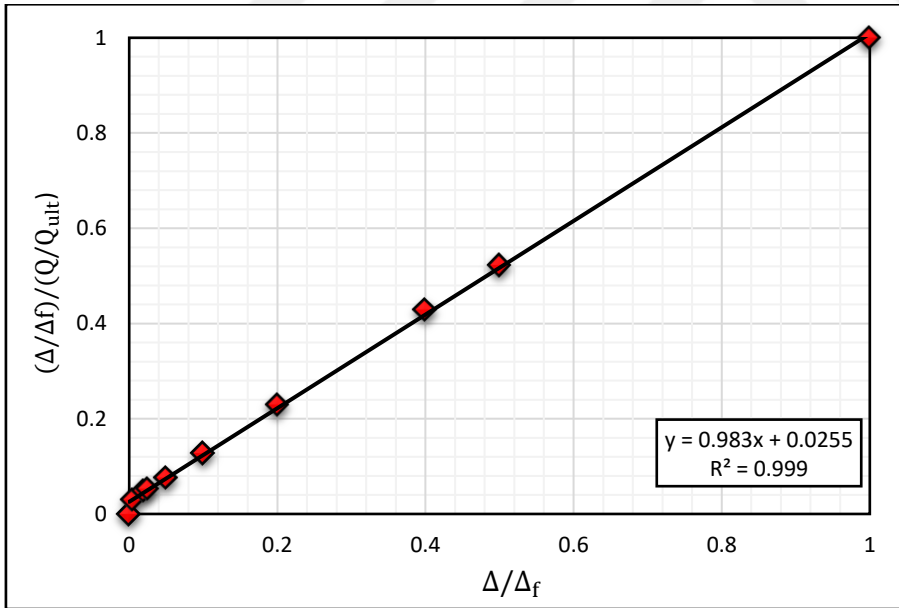


Şekil 4.41. 450 mm gömülme derinliğinde bulunan hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan dairesel ankrajın yük deplasman grafiği

EK-5. Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

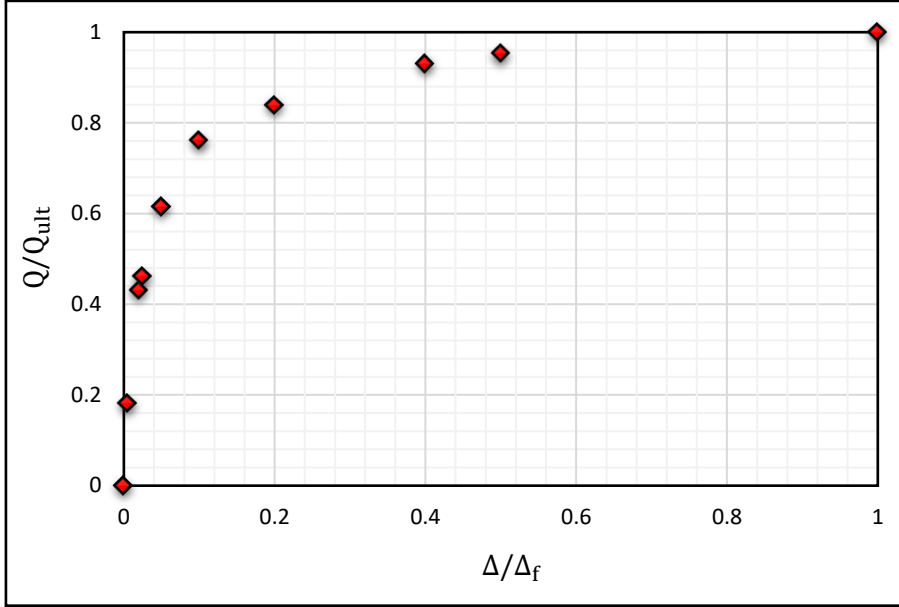


Şekil 5.1. 200 mm gömülme derinliğinde kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

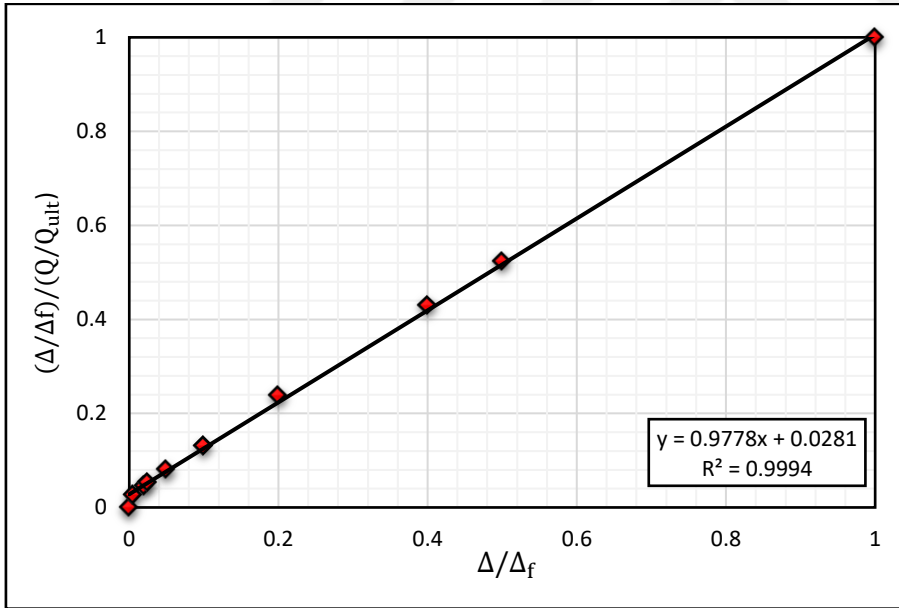


Şekil 5.2. 200 mm gömülme derinliğinde kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

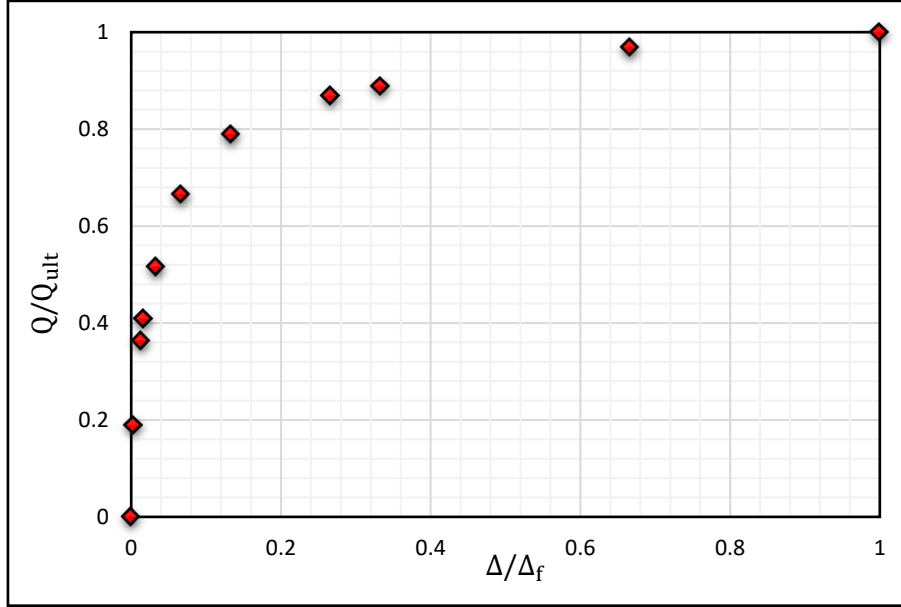


Şekil 5.3. 200 mm gömülme derinliğinde dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

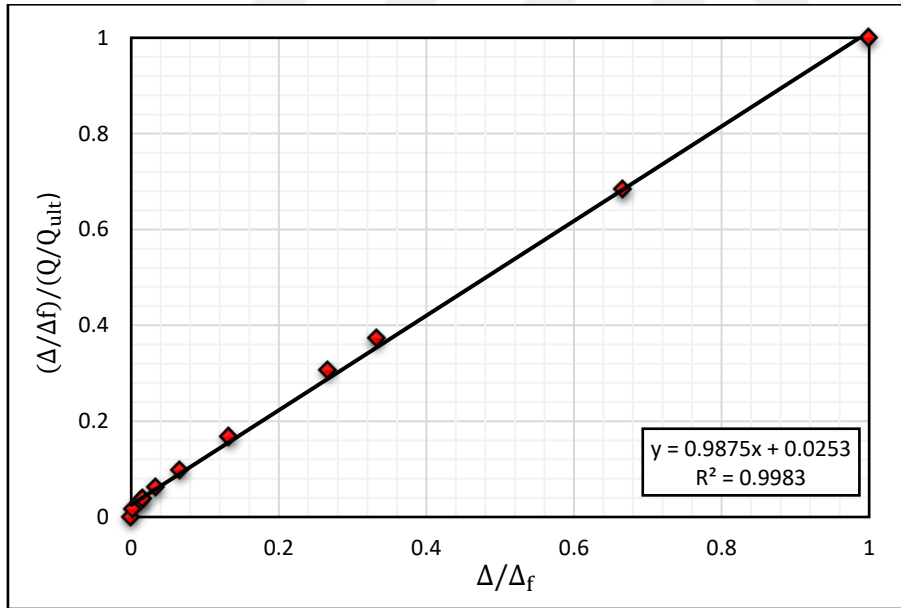


Şekil 5.4. 200 mm gömülme derinliğinde dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

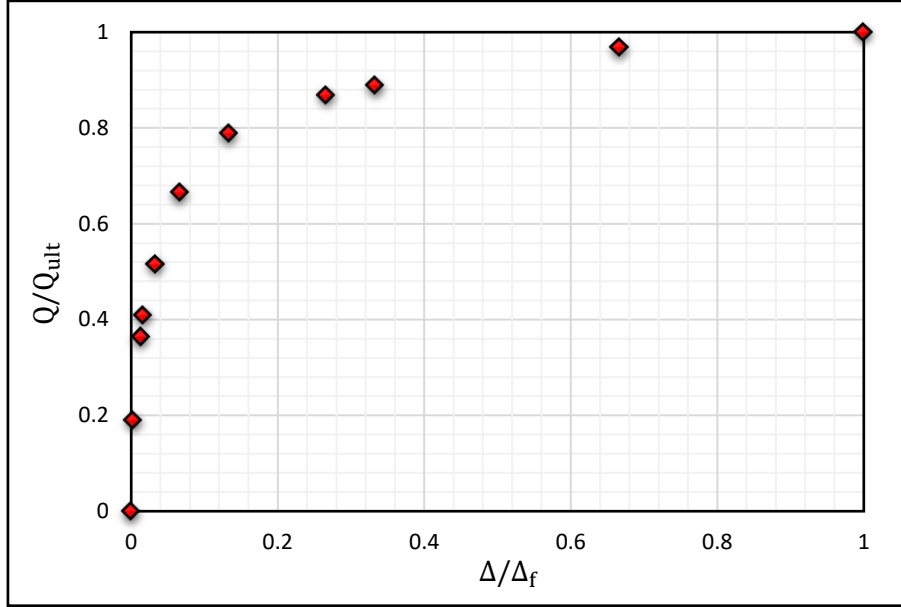


Şekil 5.5. 300 mm gömülme derinliğinde kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

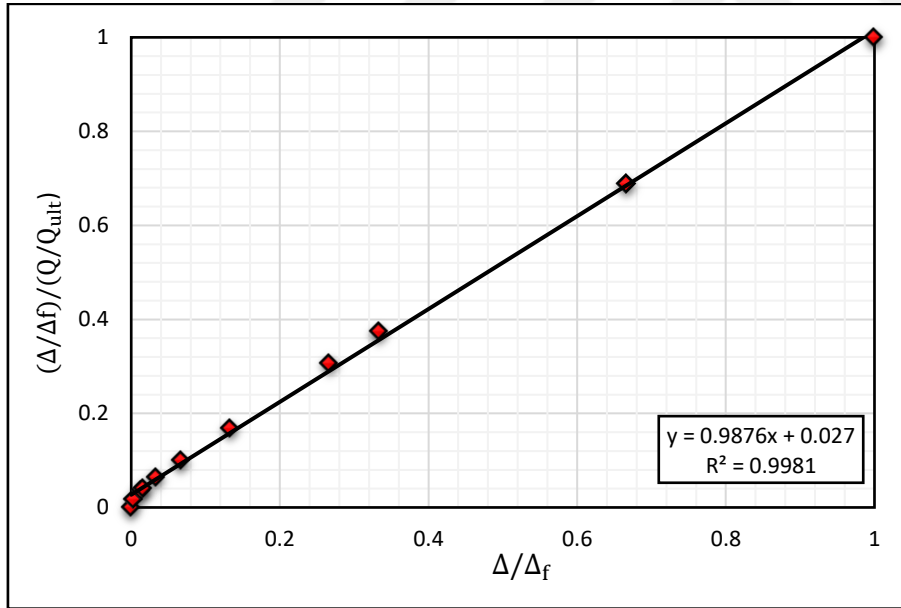


Şekil 5.6. 300 mm gömülme derinliğinde kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

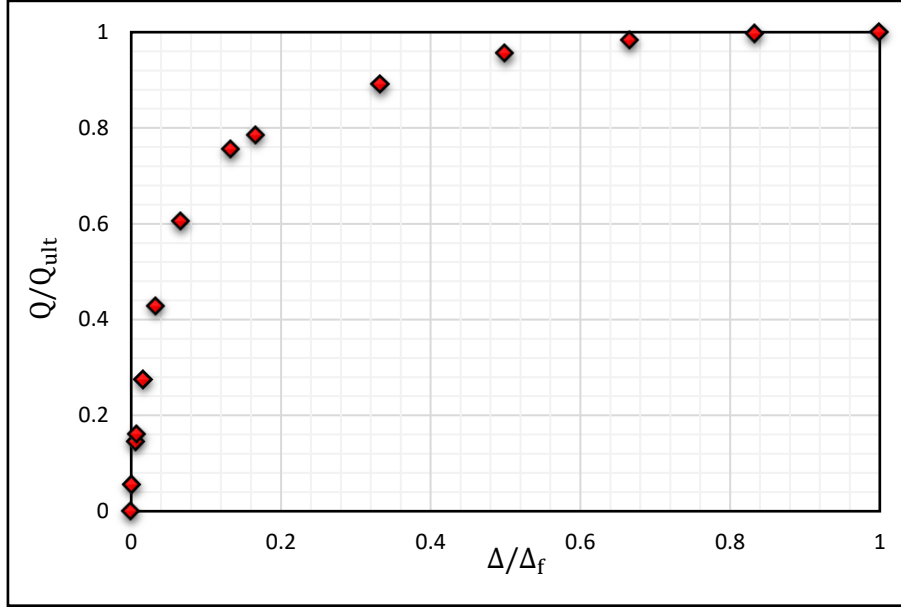


Şekil 5.7. 300 mm gömülme derinliğinde dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

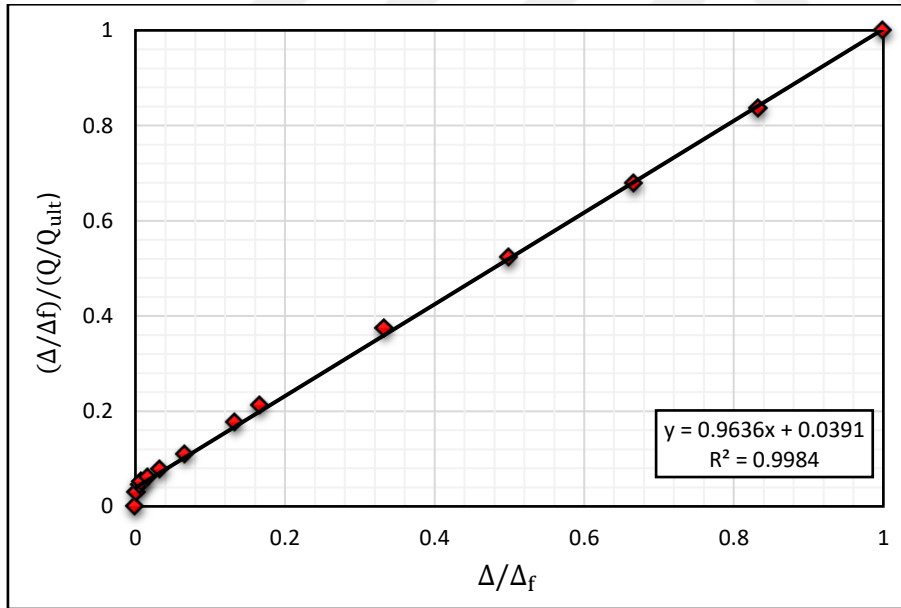


Şekil 5.8. 300 mm gömülme derinliğinde dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

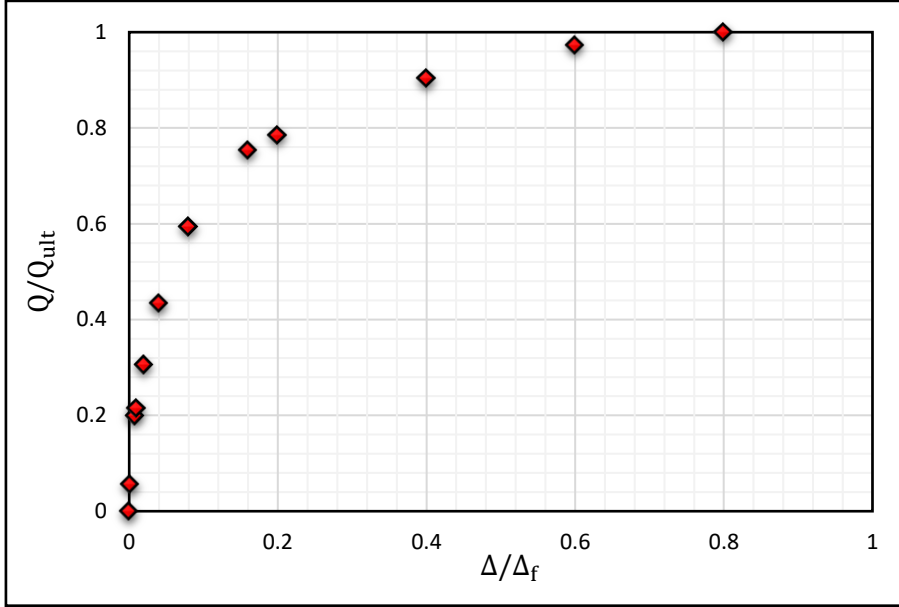


Şekil 5.9. 450 mm gömülme derinliğinde kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

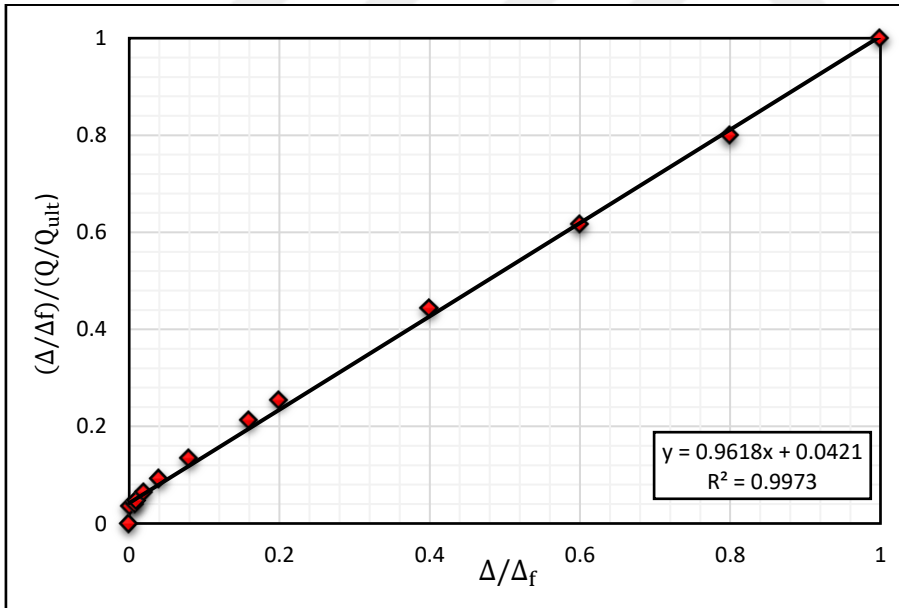


Şekil 5.10. 450 mm gömülme derinliğinde kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

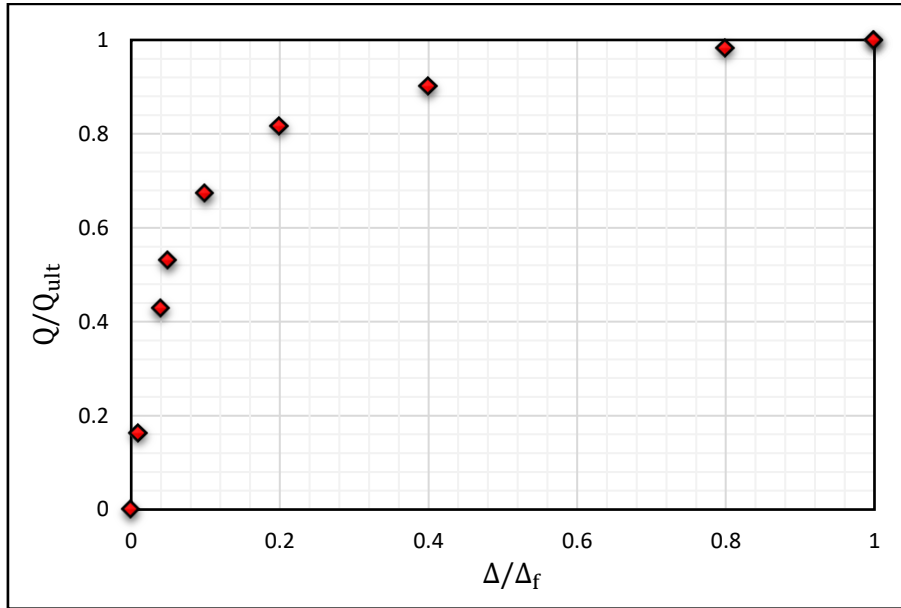
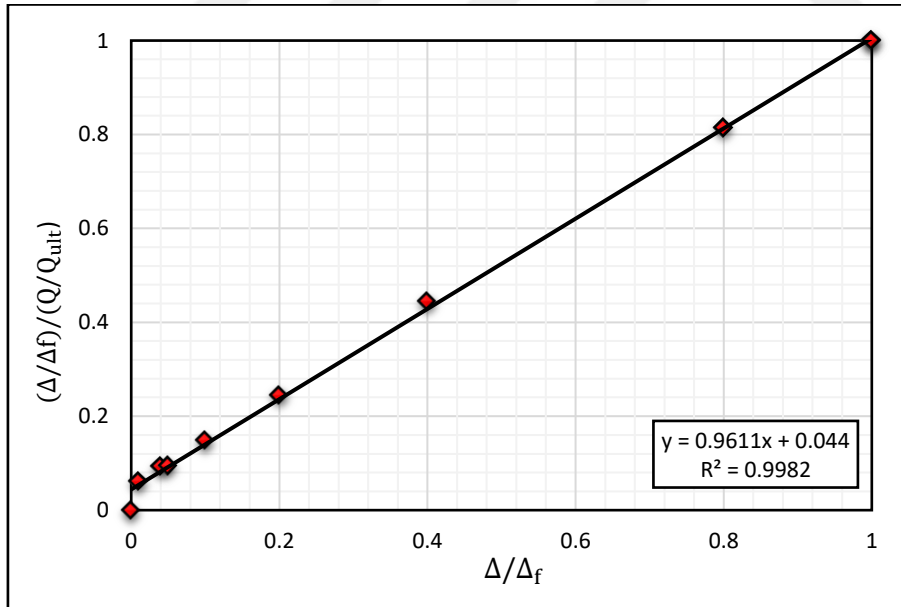


Şekil 5.11. 450 mm gömülme derinliğinde dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

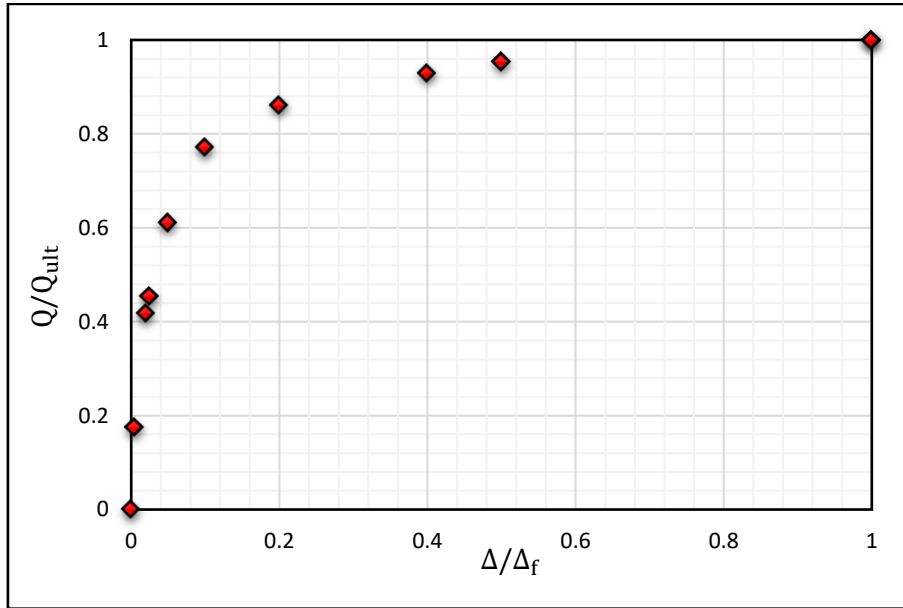


Şekil 5.12. 450 mm gömülme derinliğinde dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

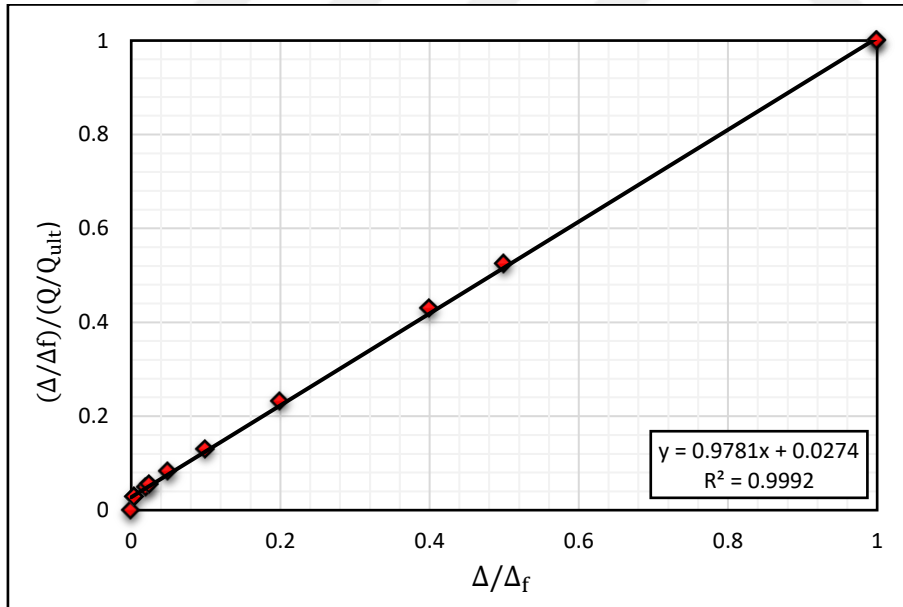
EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

Şekil 5.13. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiğiŞekil 5.14. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

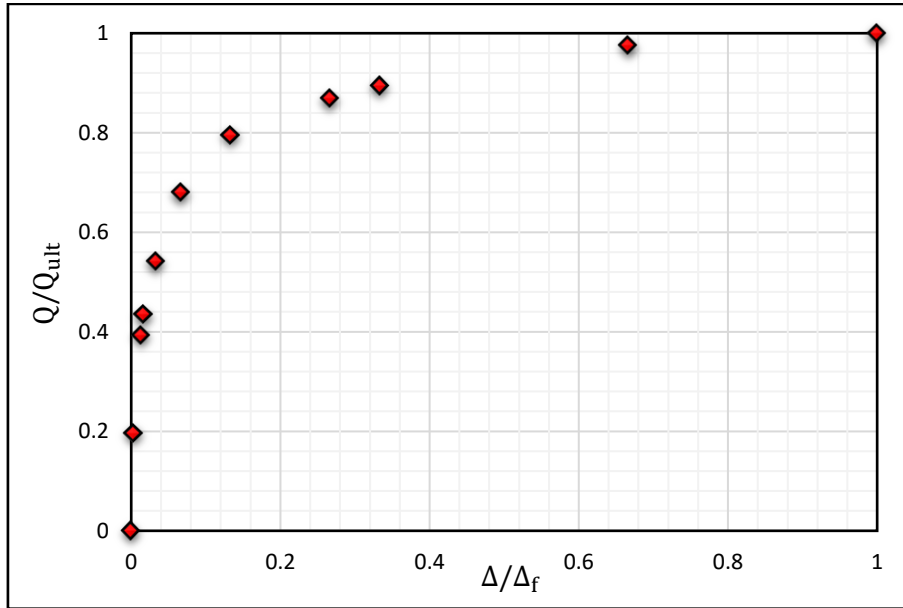


Şekil 5.15. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

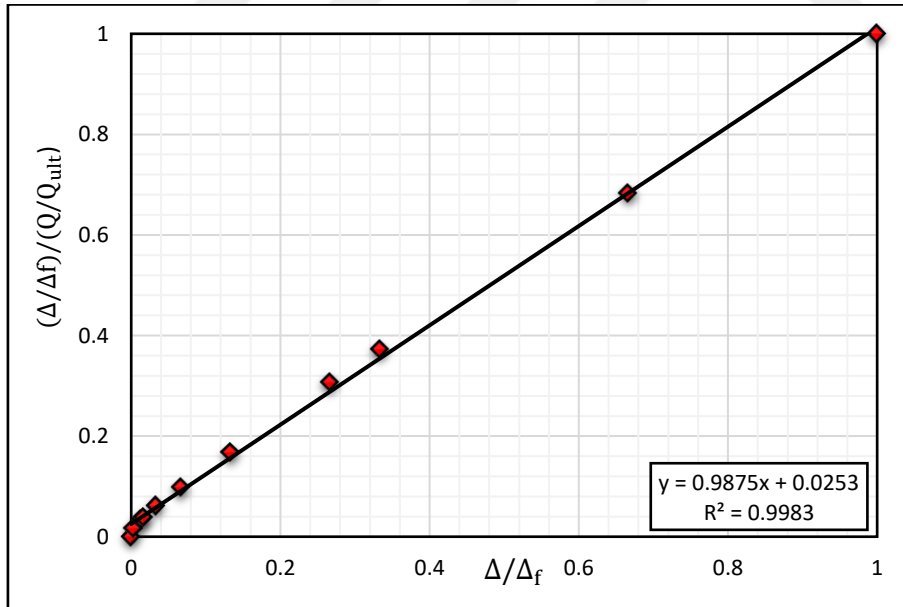


Şekil 5.16. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

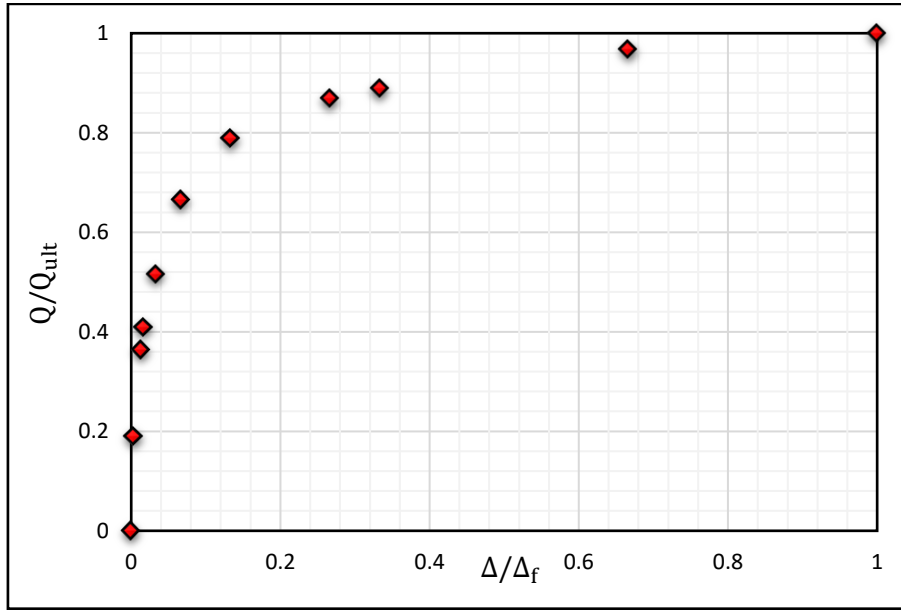


Şekil 5.17. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1x1 ve yüksekliği 100 mm olan hücreli yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

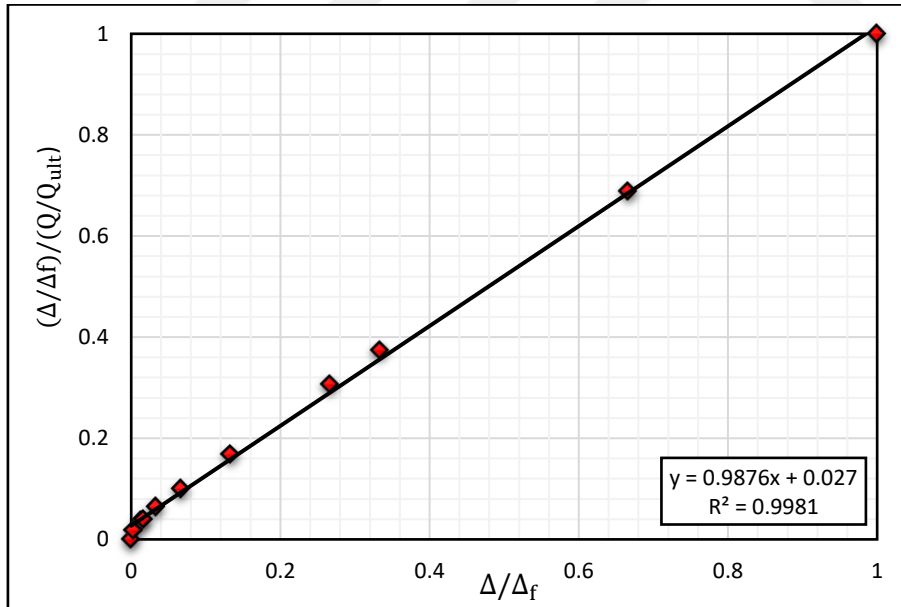


Şekil 5.18. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1x1 ve yüksekliği 100 mm olan hücreli yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

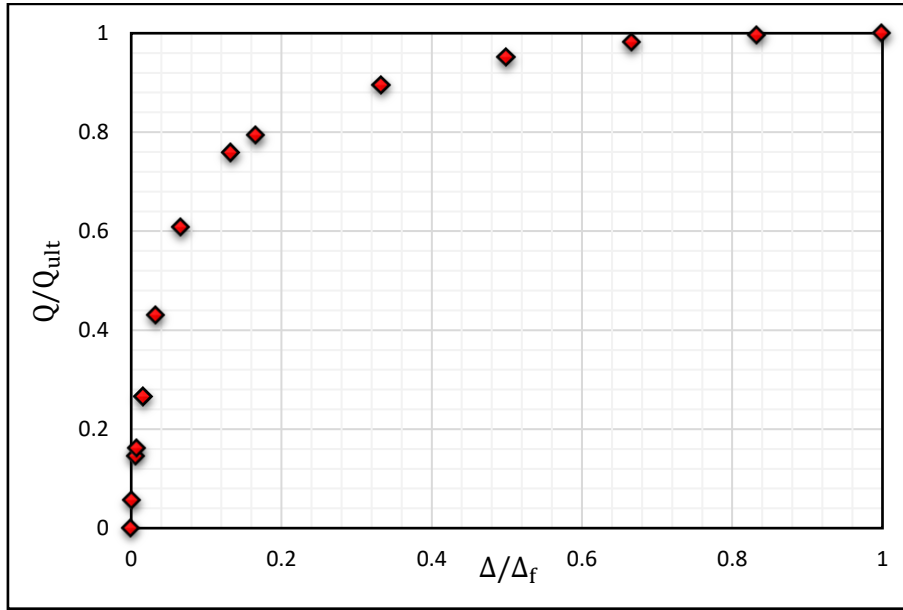


Şekil 5.19. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

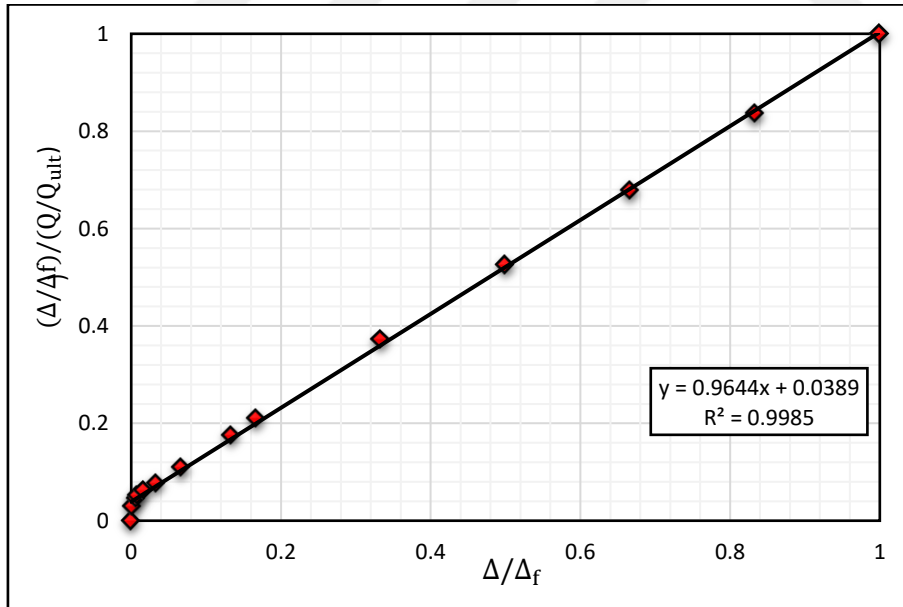


Şekil 5.20. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

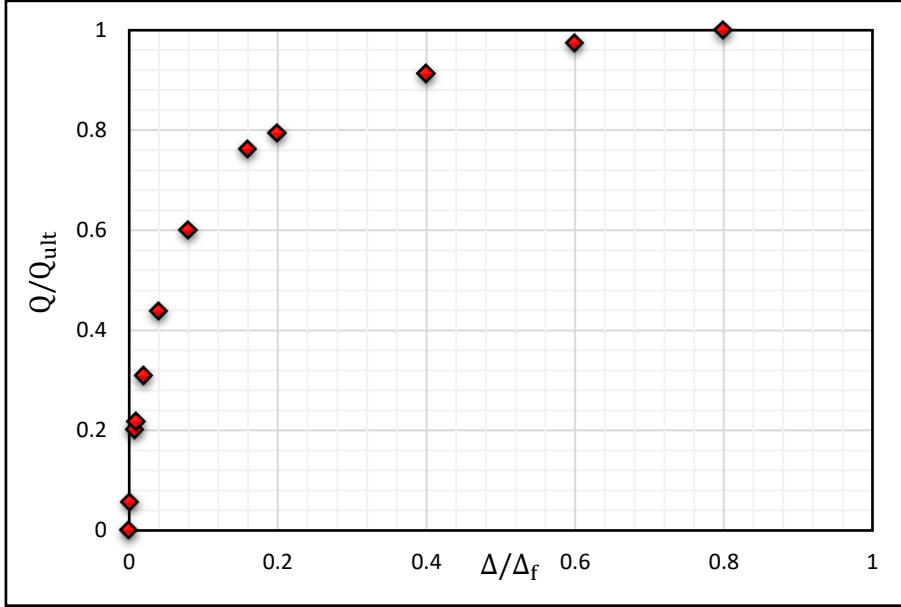


Şekil 5.21. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücreli yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

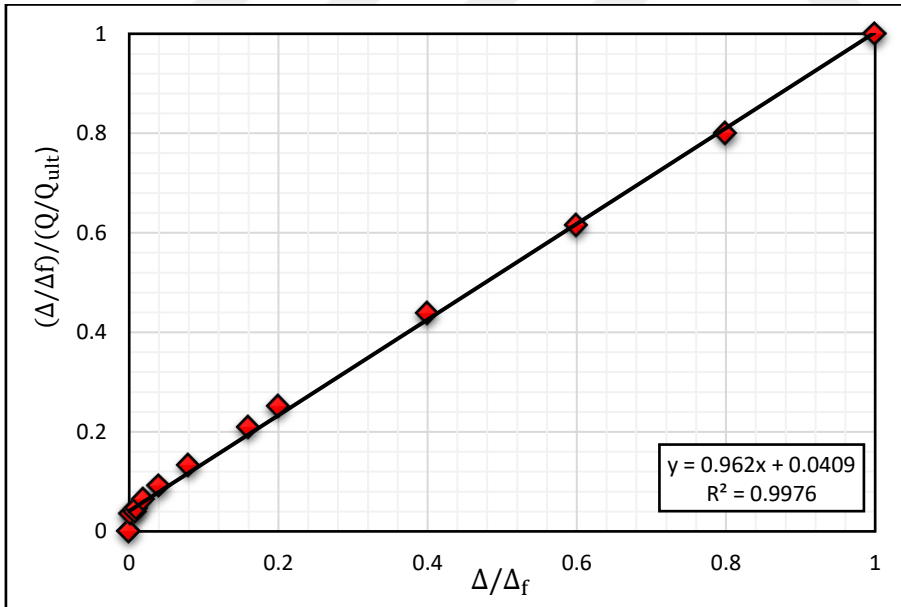


Şekil 5.22. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücreli yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

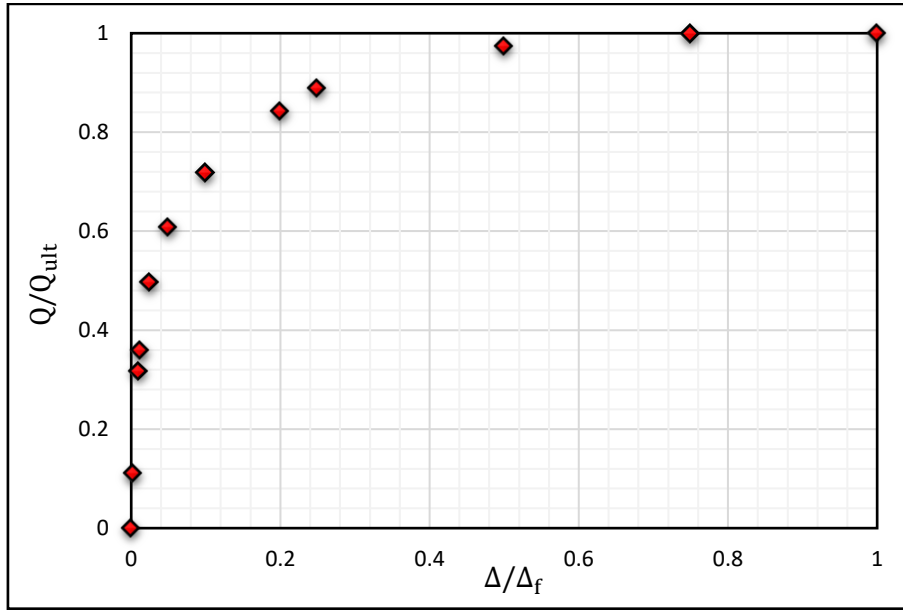


Şekil 5.23. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

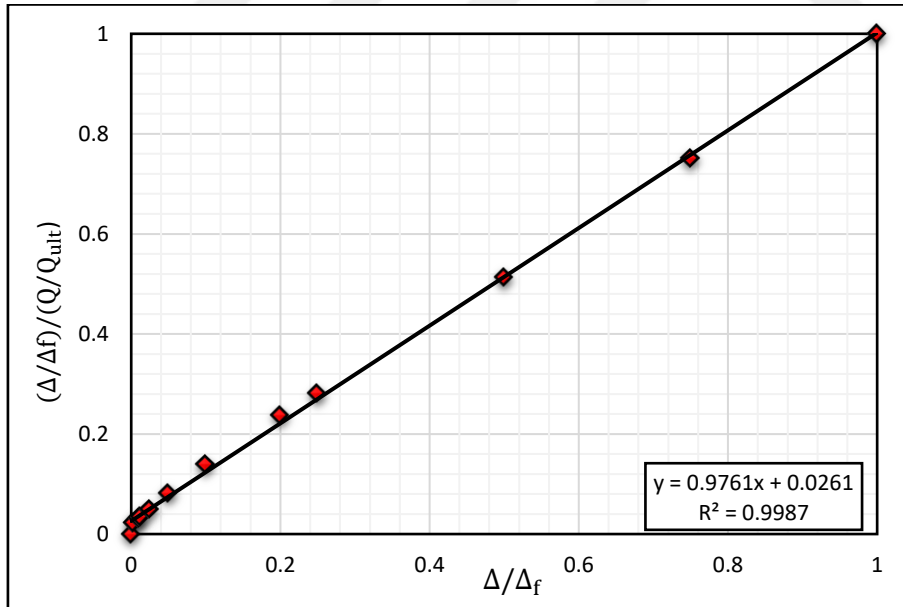


Şekil 5.24. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 1×1 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

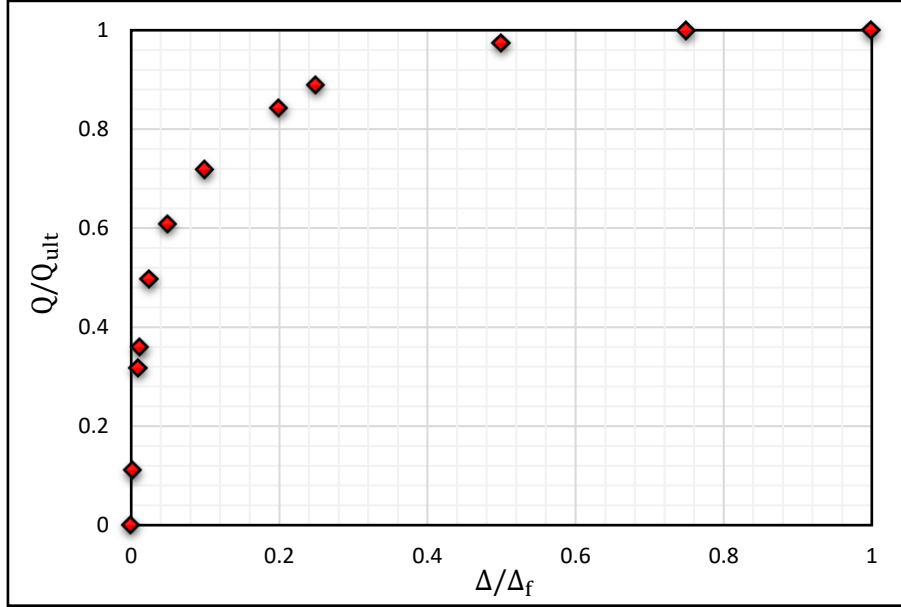


Şekil 5.25. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

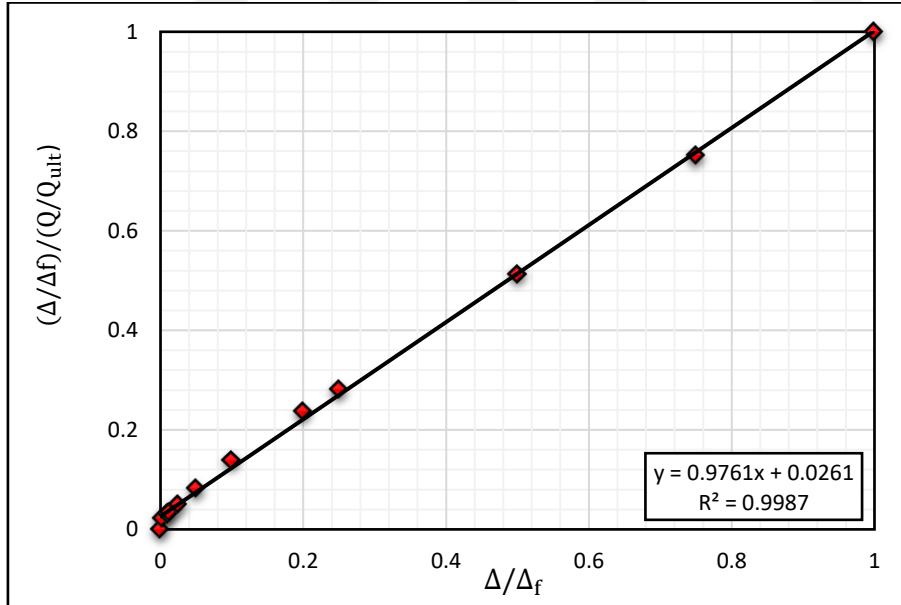


Şekil 5.26. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

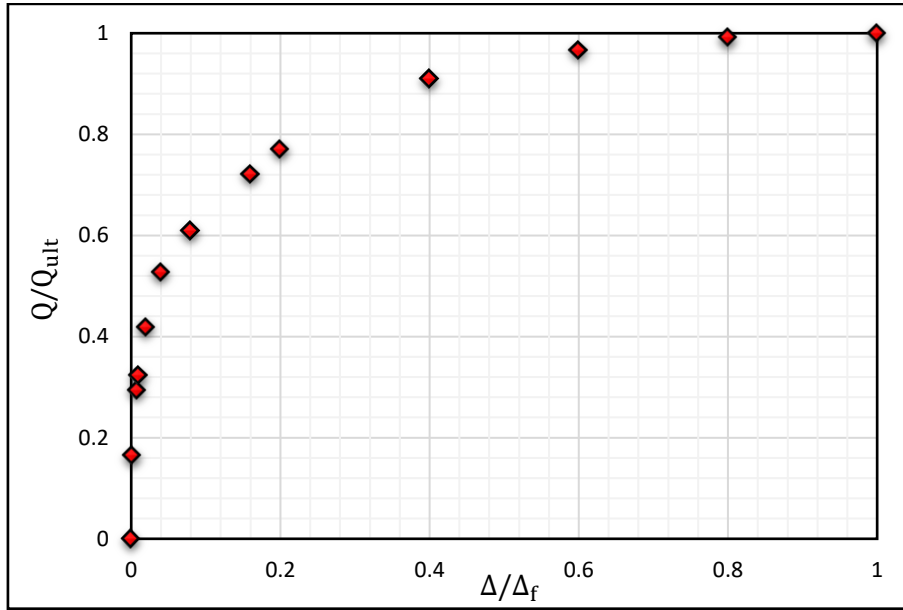


Şekil 5.27. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

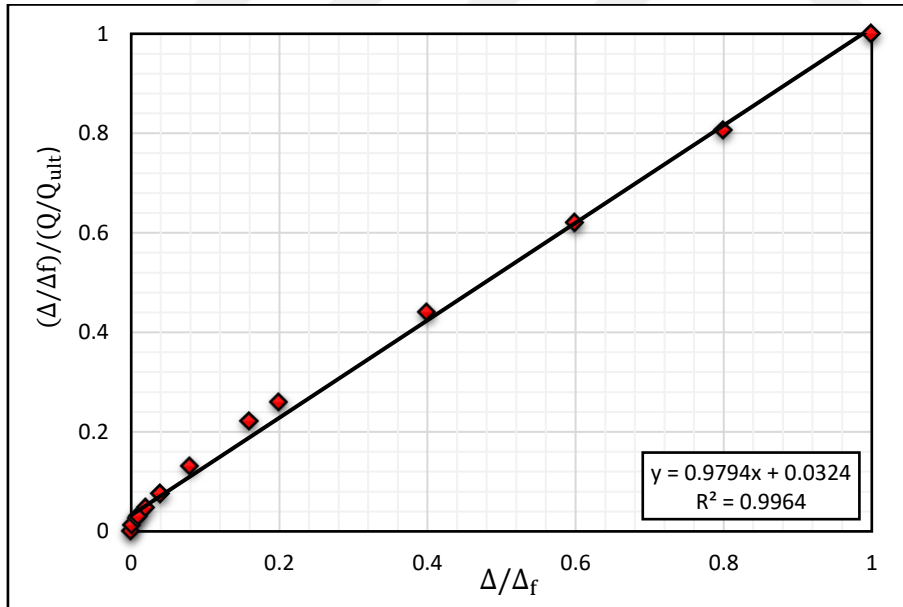


Şekil 5.28. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

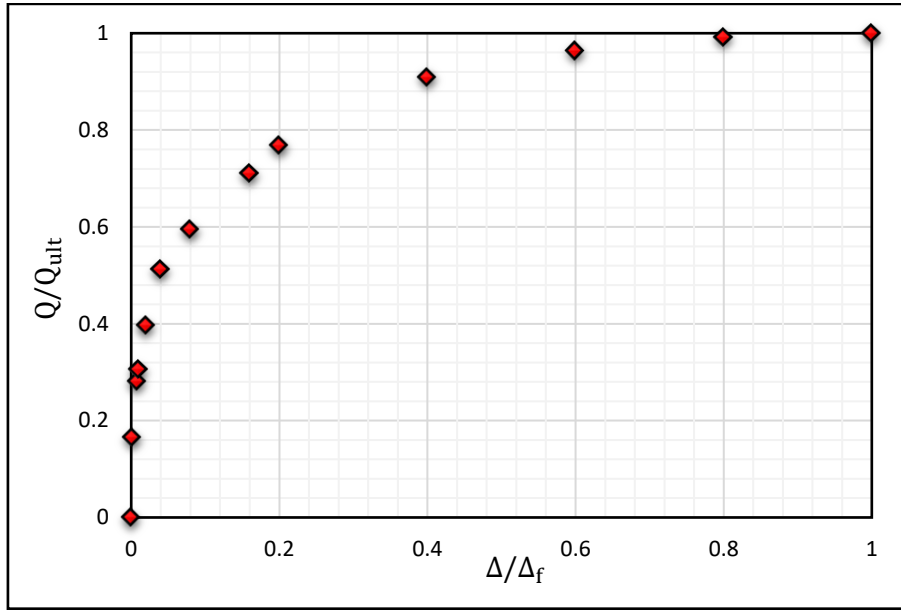


Şekil 5.29. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

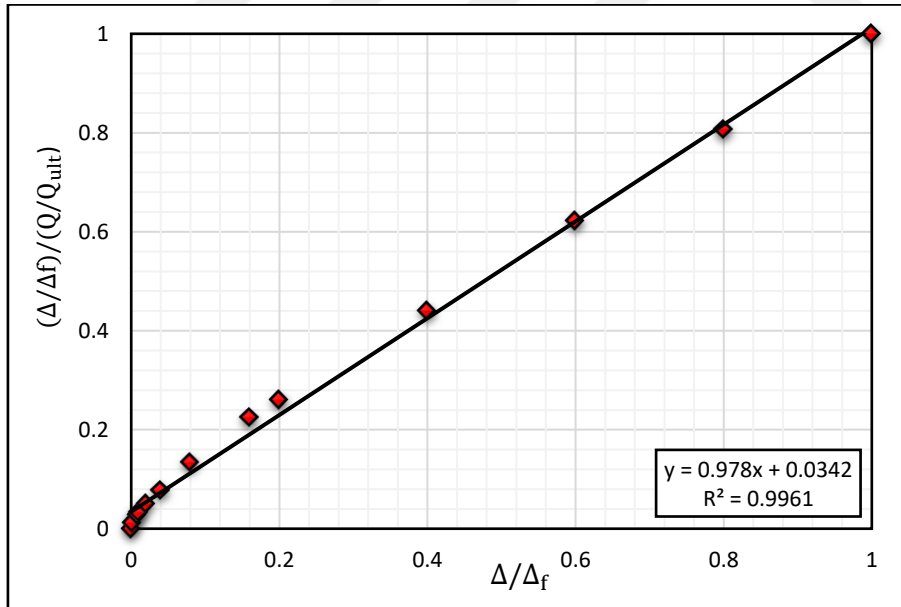


Şekil 5.30. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

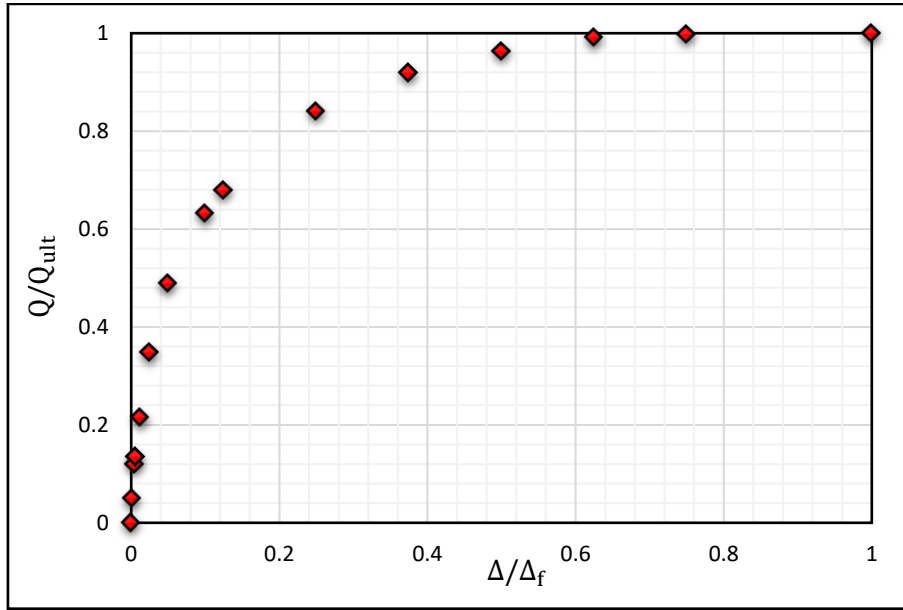


Şekil 5.31. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

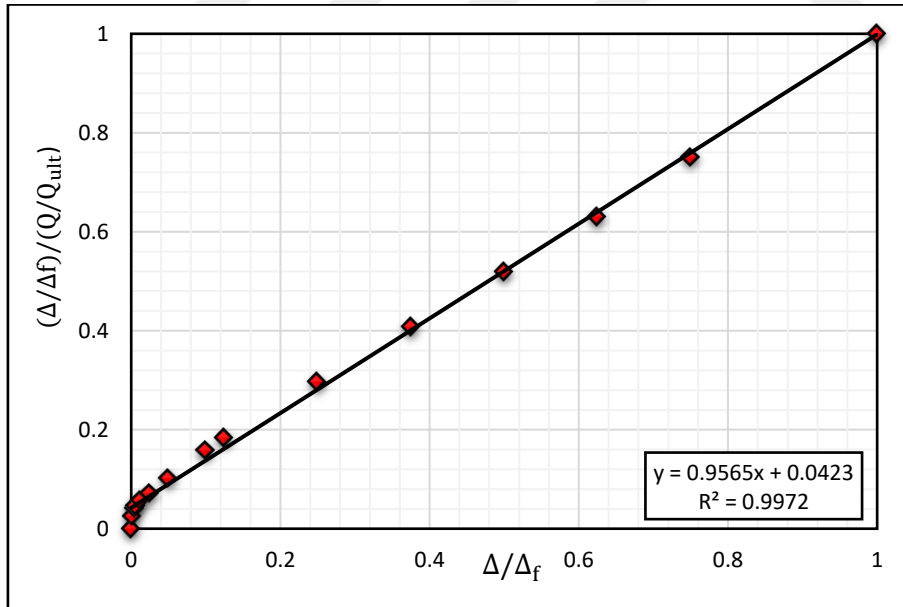


Şekil 5.32. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

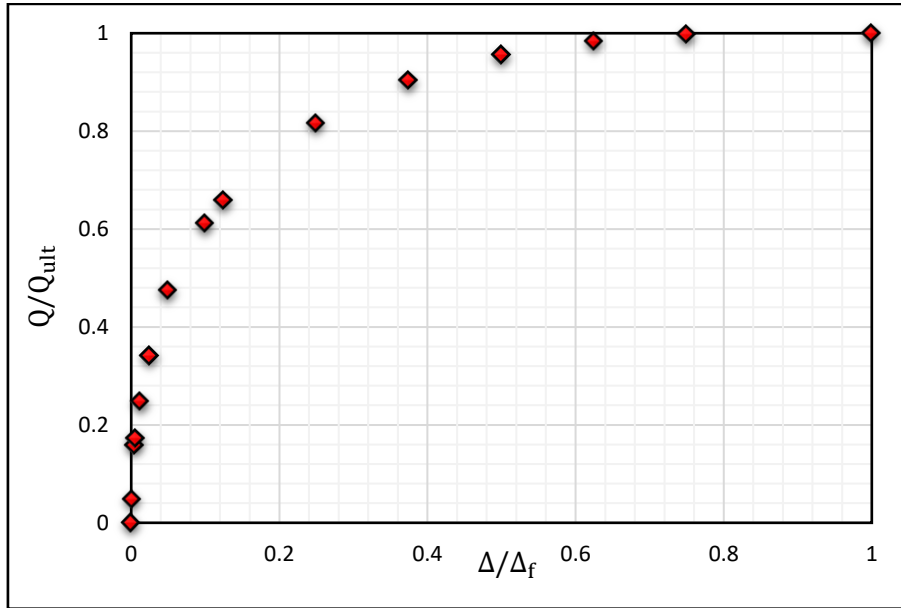


Şekil 5.33. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

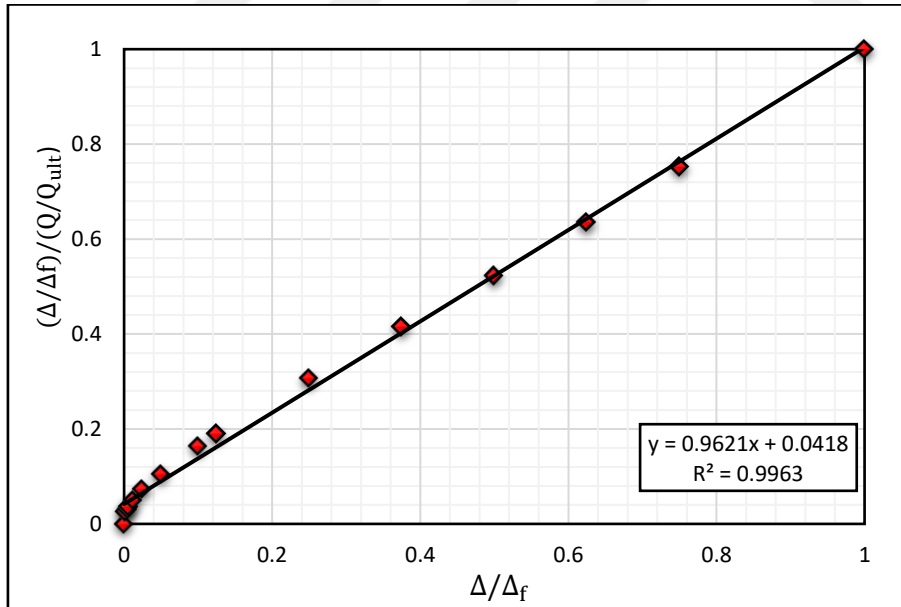


Şekil 5.34. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

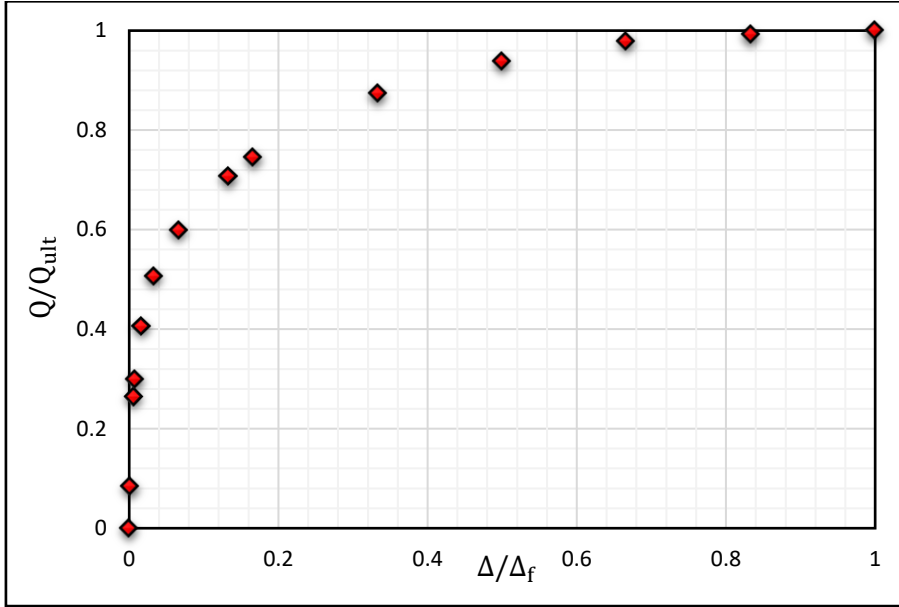


Şekil 5.35. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen daire ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

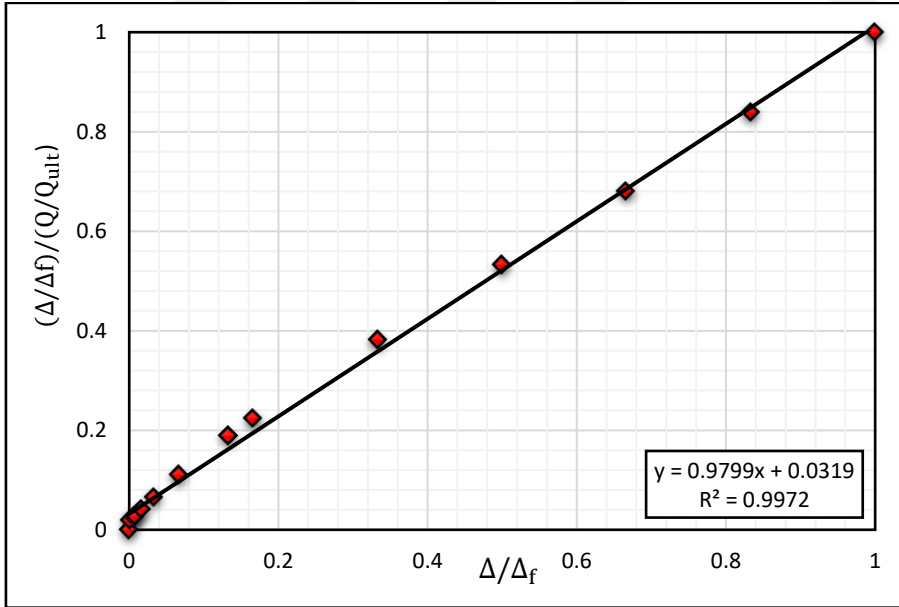


Şekil 5.36. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 2×2 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen daire ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

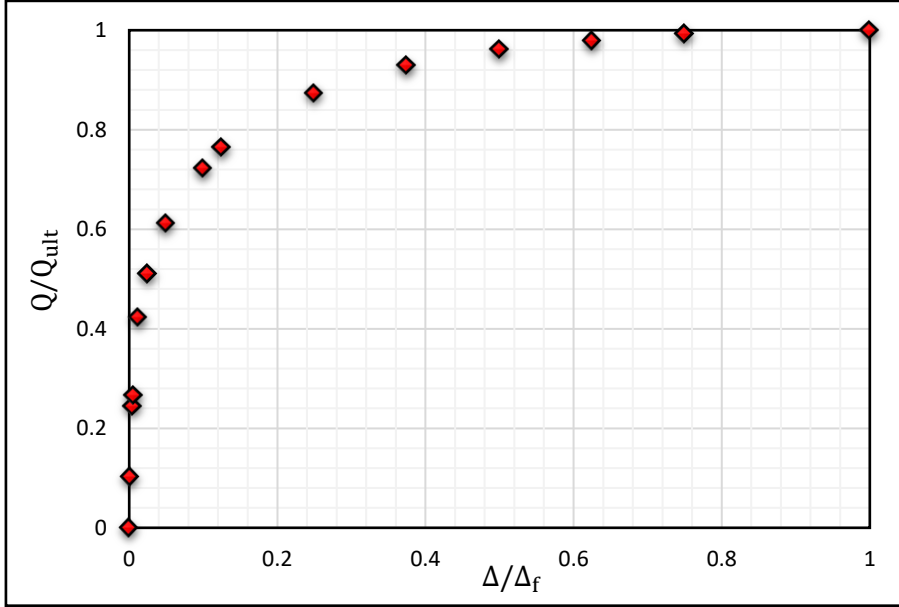


Şekil 5.37. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

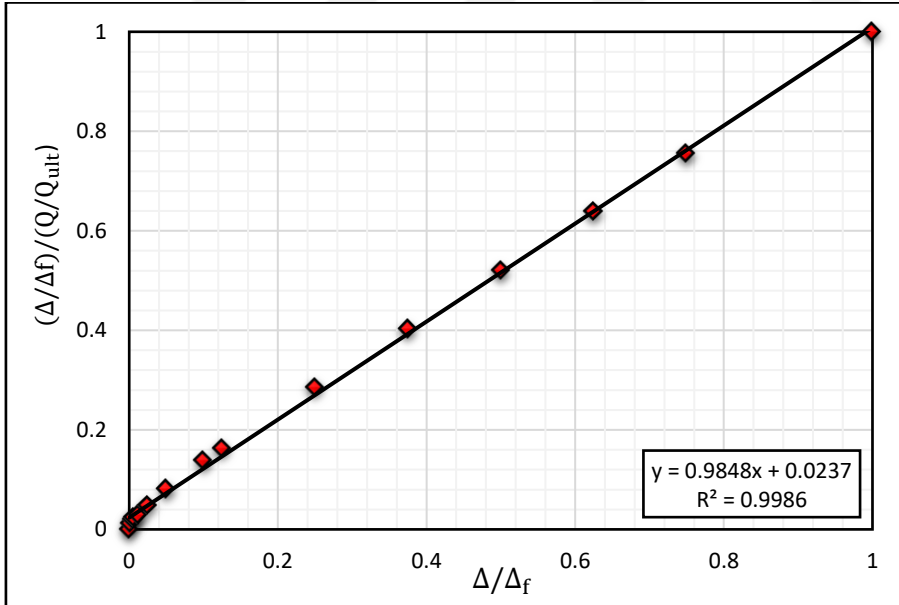


Şekil 5.38. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

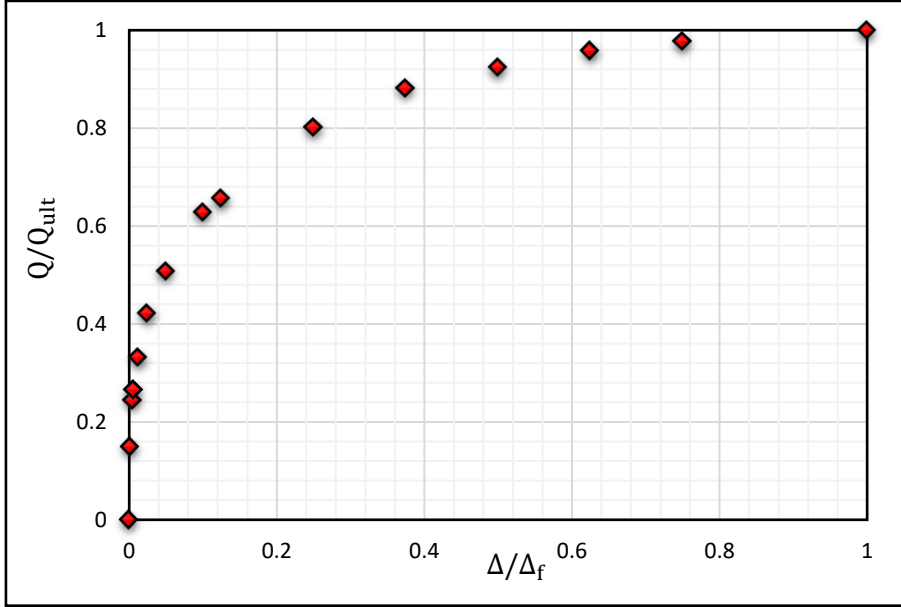


Şekil 5.39. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

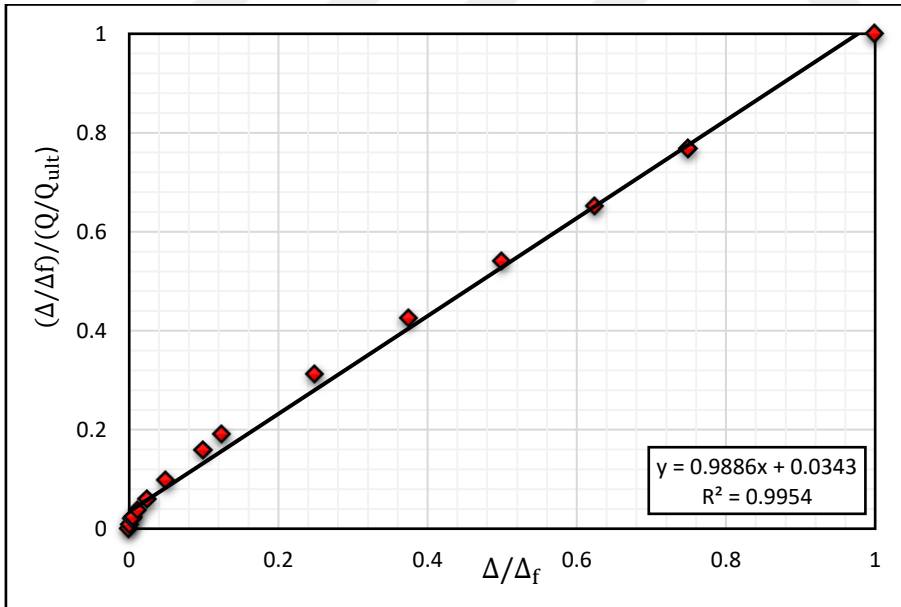


Şekil 5.40. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

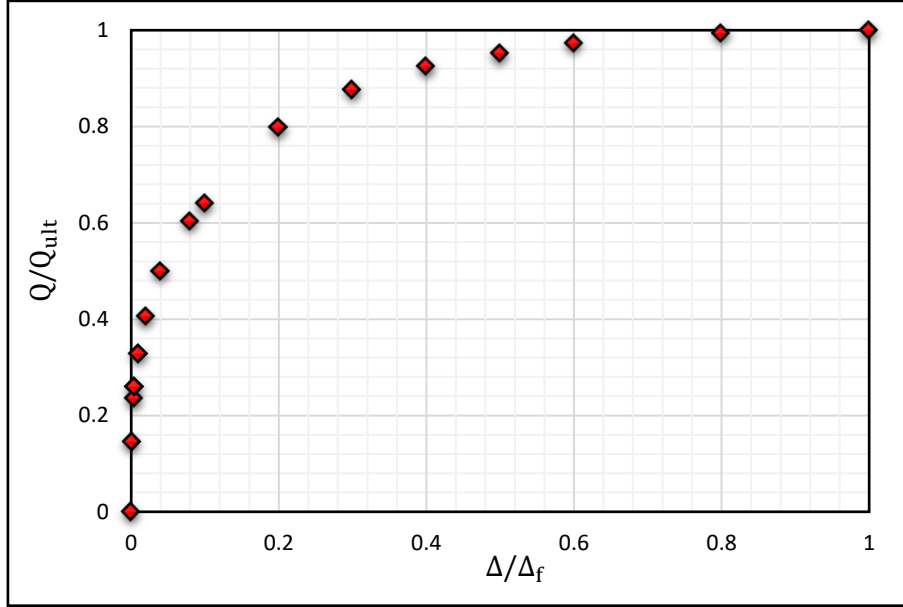


Şekil 5.41. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

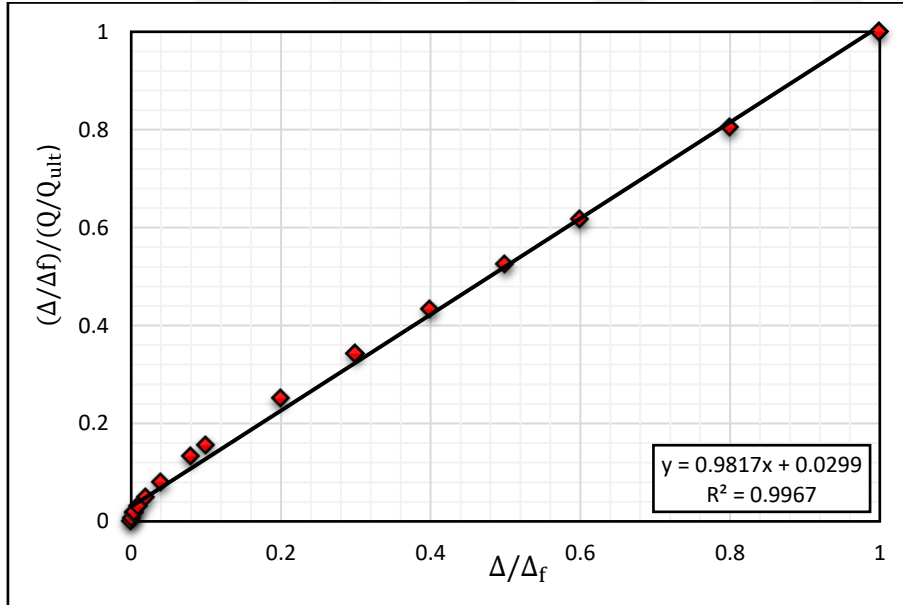


Şekil 5.42. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

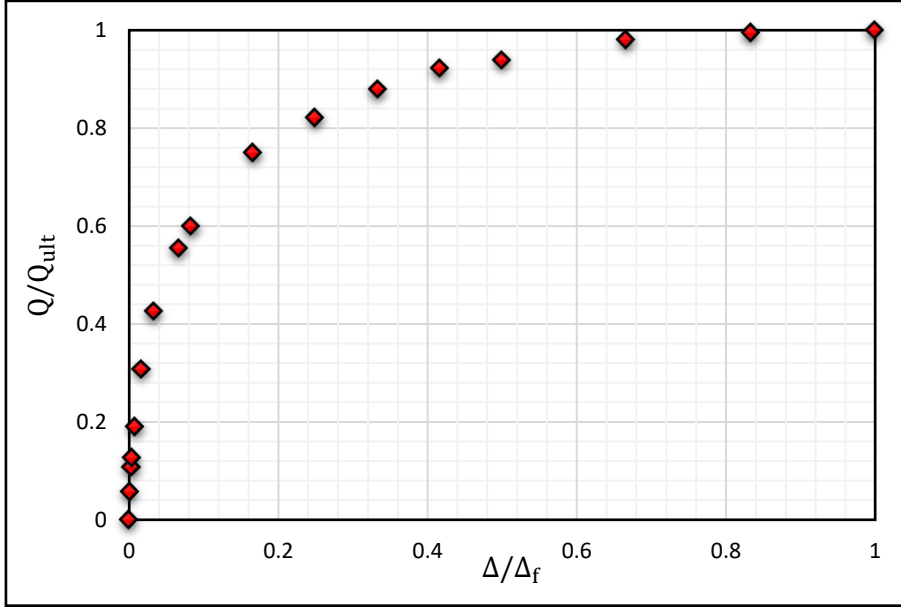
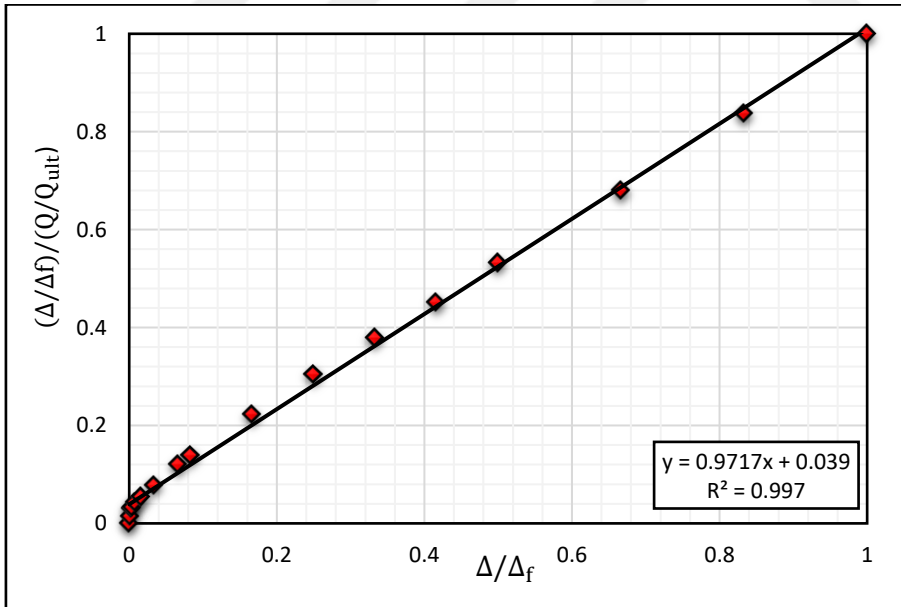


Şekil 5.43. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

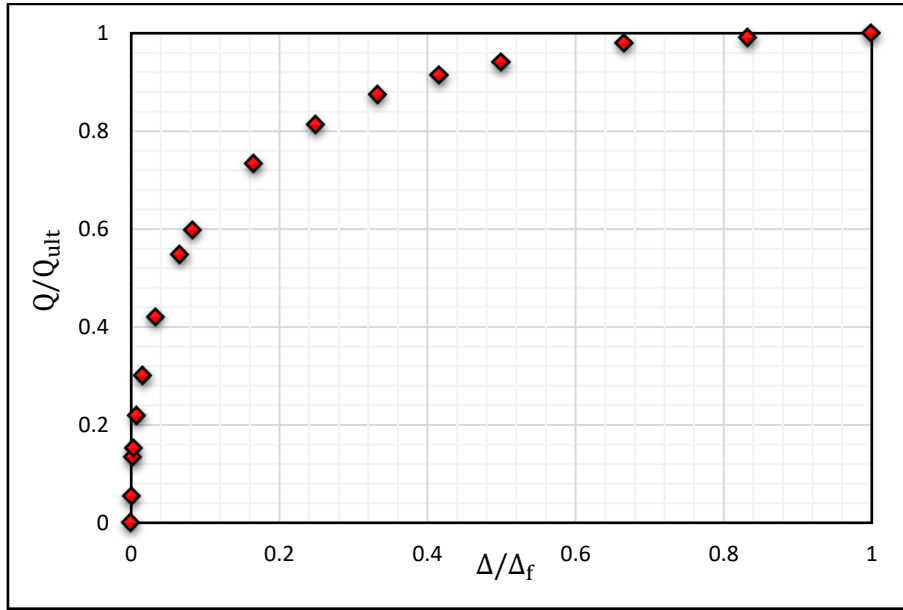


Şekil 5.44. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

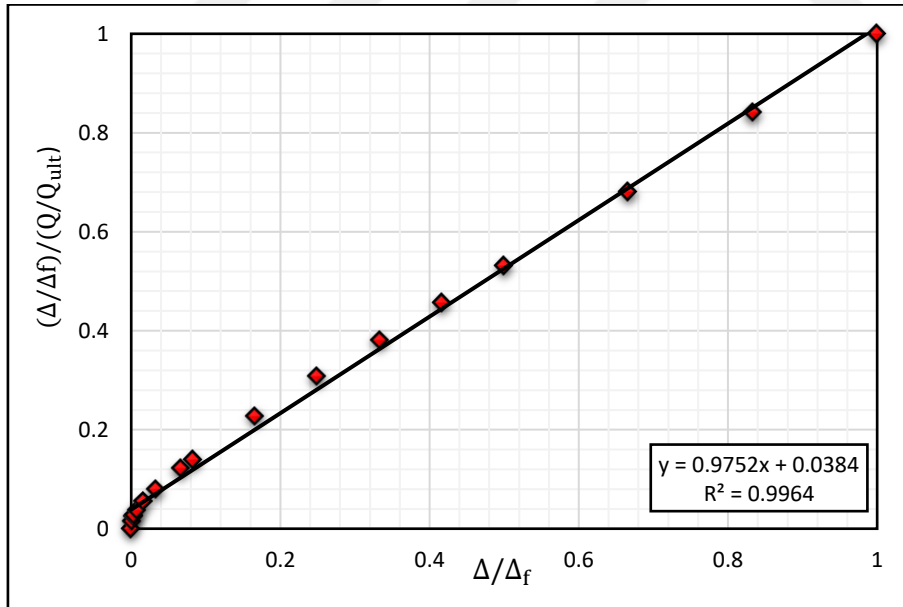
EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

Şekil 5.45. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiğiŞekil 5.46. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

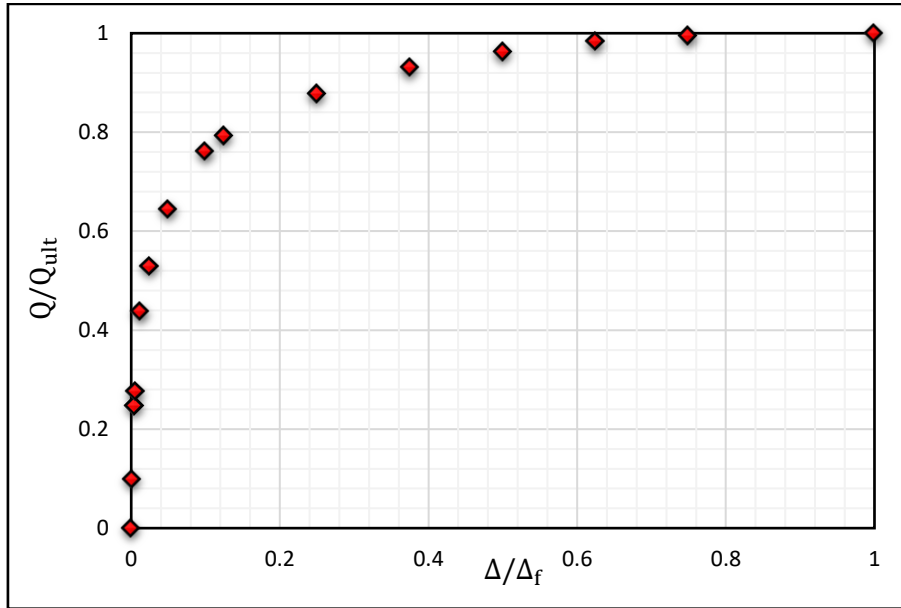


Şekil 5.47. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

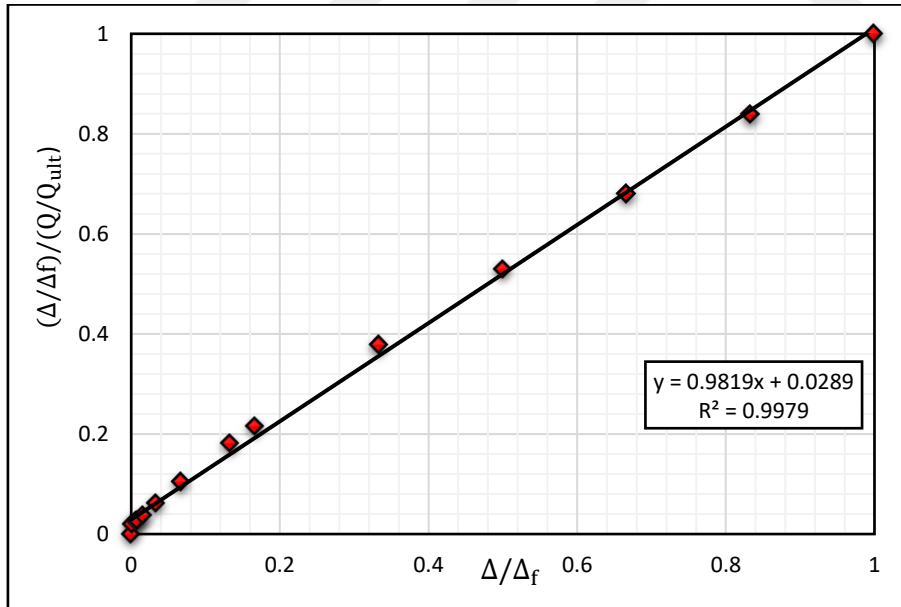


Şekil 5.48. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

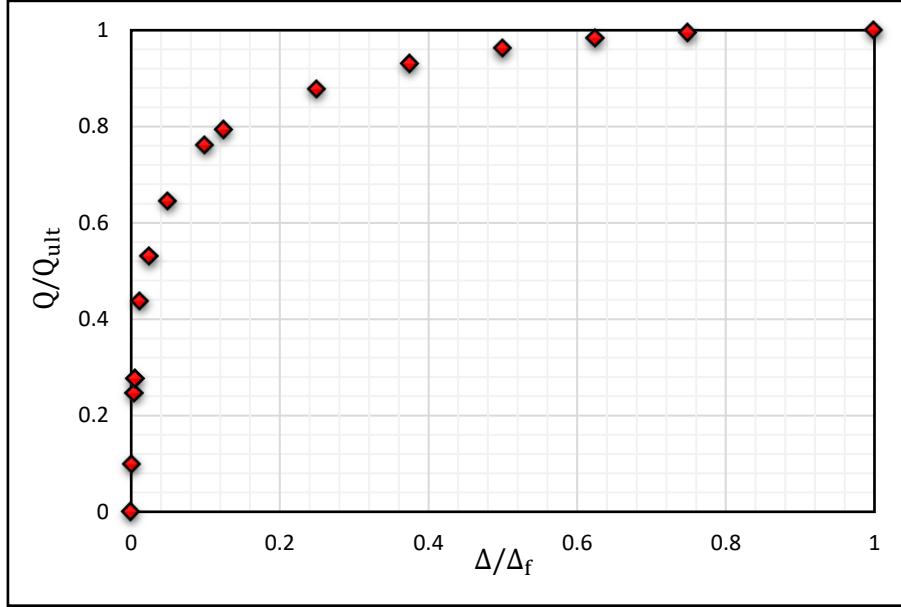
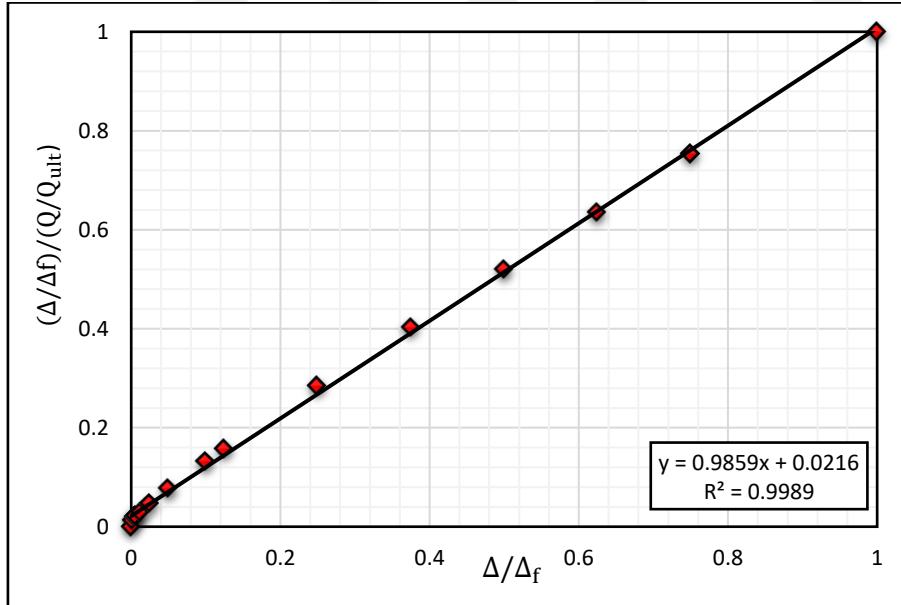


Şekil 5.49. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

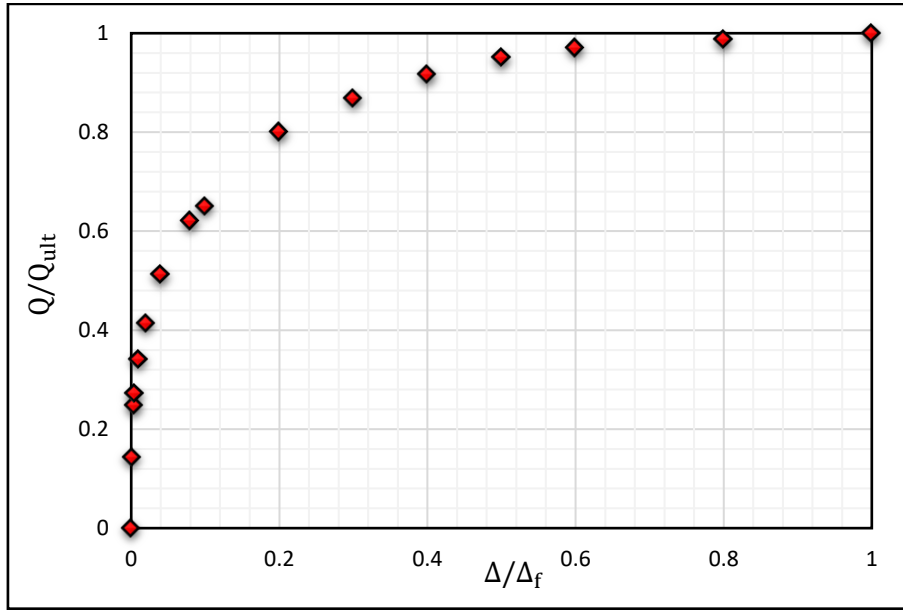


Şekil 5.50. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

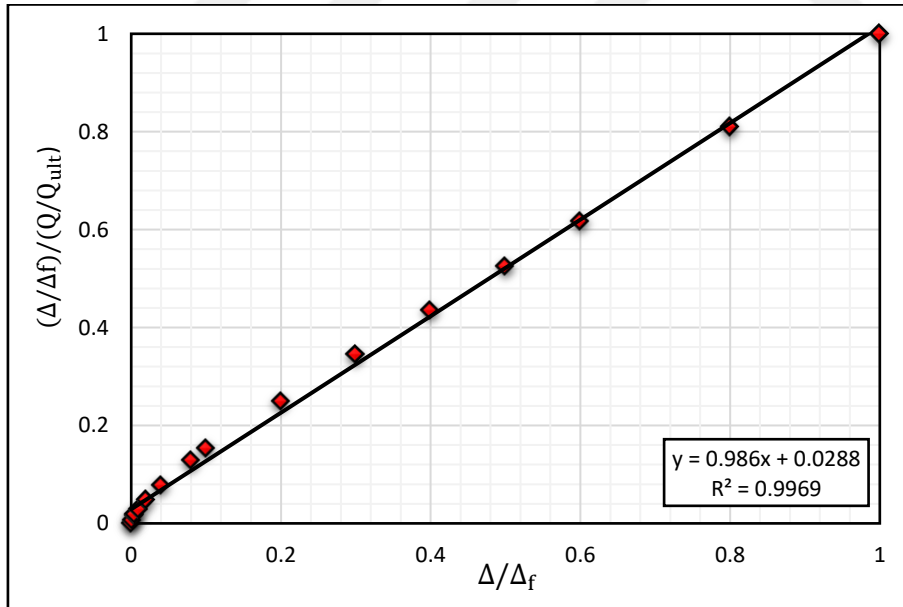
EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

Şekil 5.51. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiğiŞekil 5.52. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

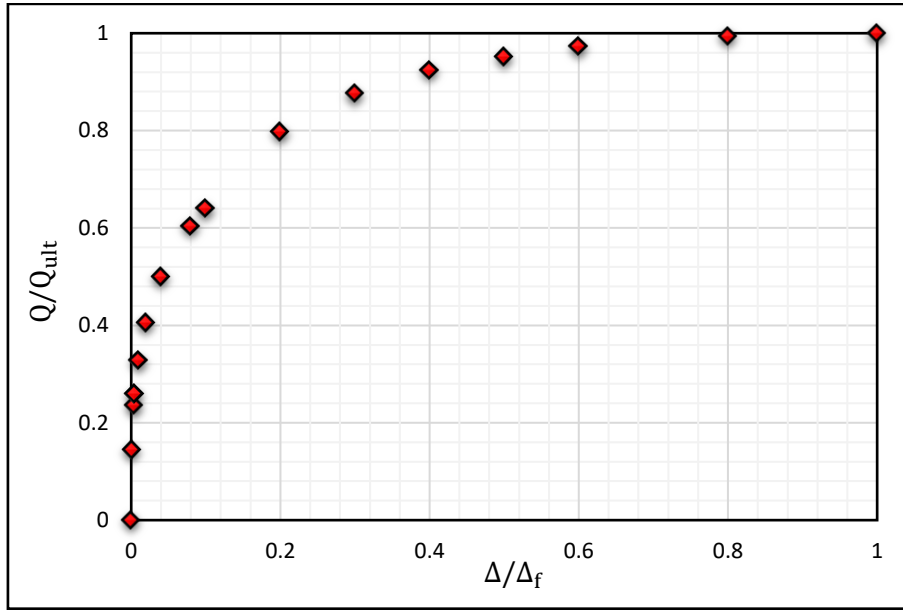


Şekil 5.53. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

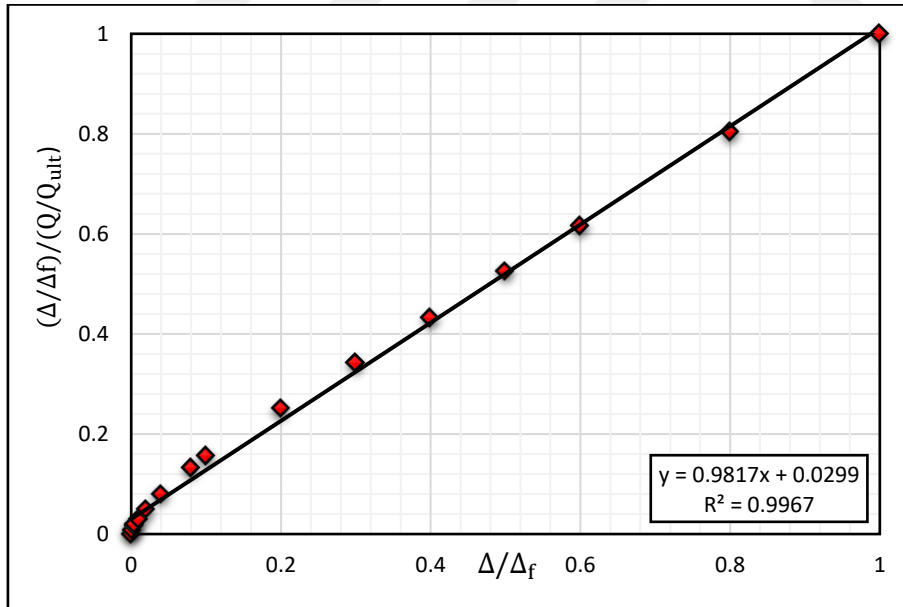


Şekil 5.54. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

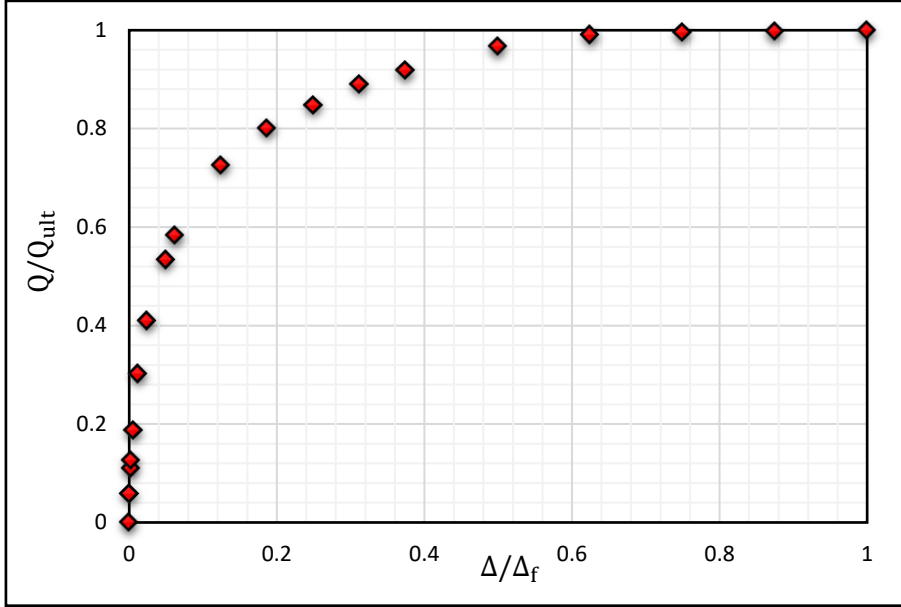


Şekil 5.55. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

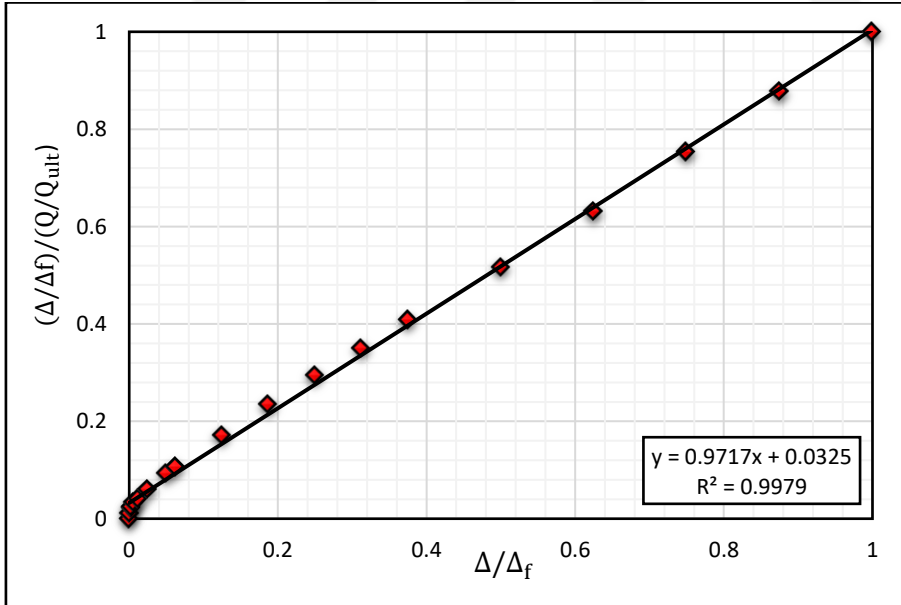


Şekil 5.56. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

E-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

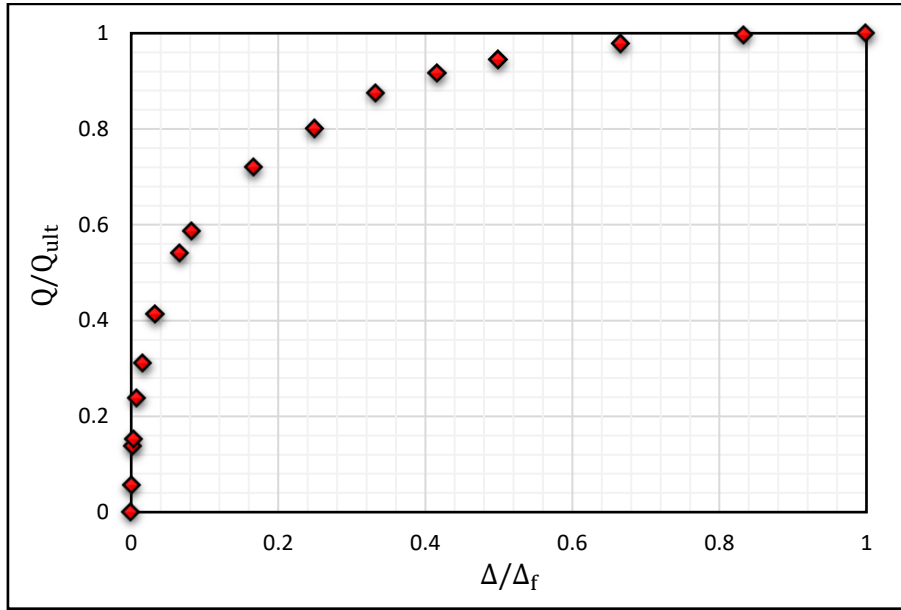


Şekil 5.57. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

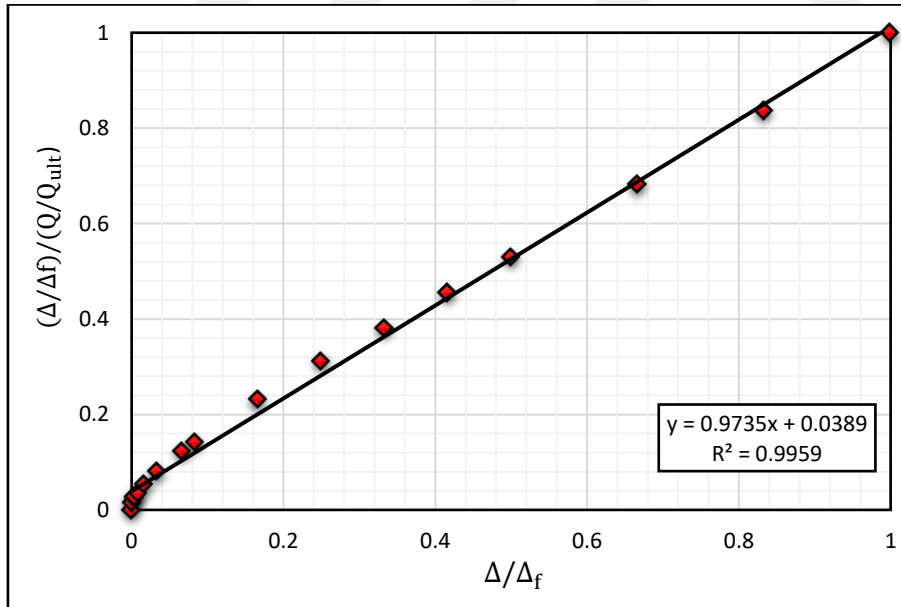


Şekil 5.58. 450mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

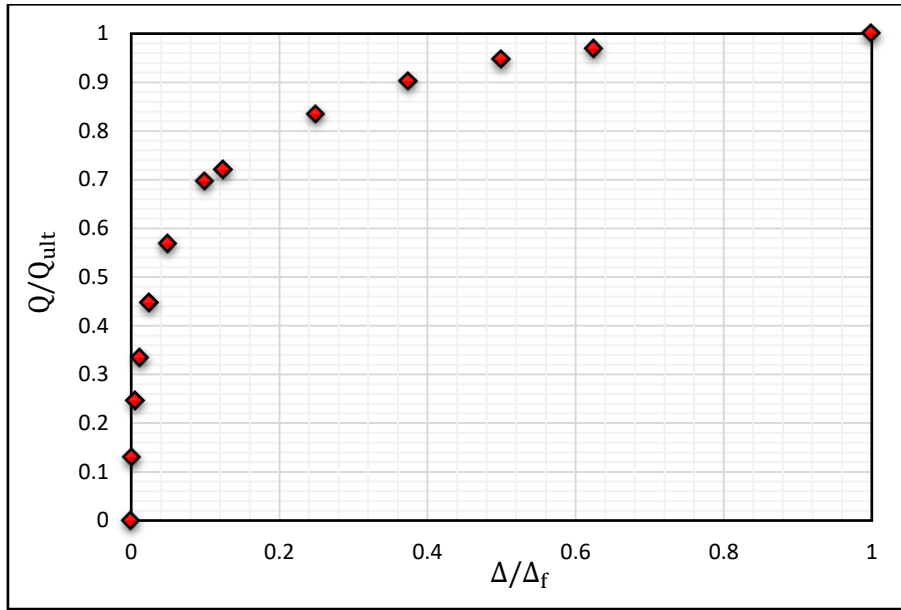


Şekil 5.59. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

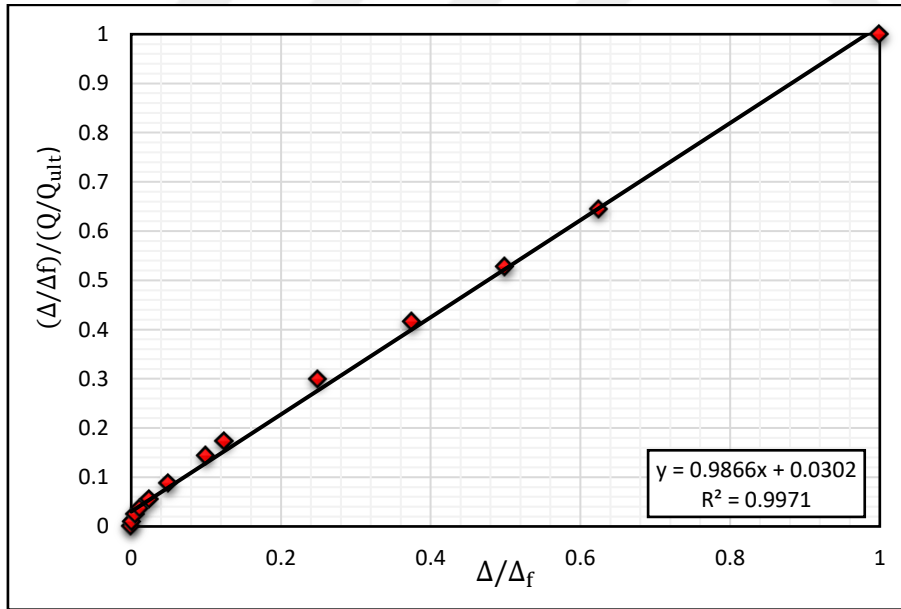


Şekil 5.60. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 100 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

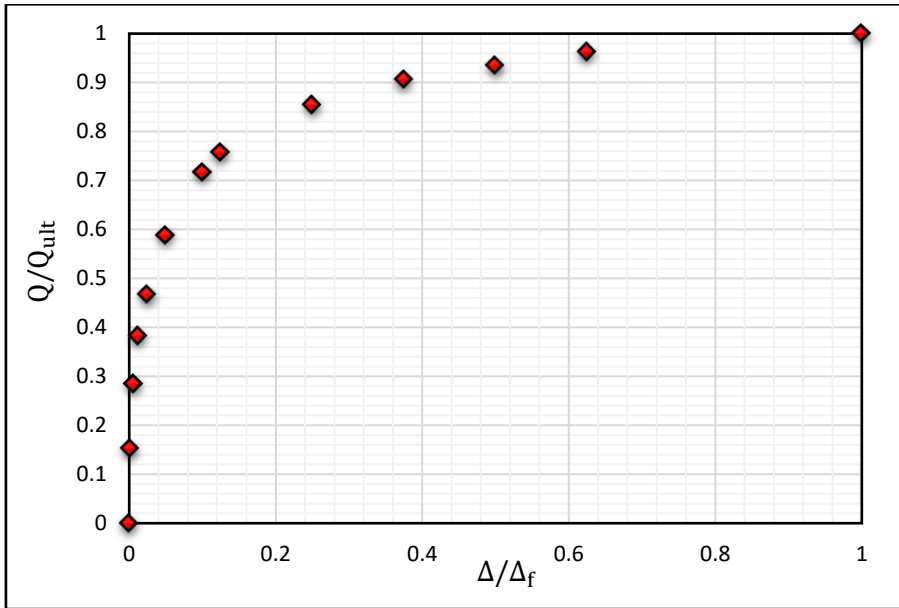


Şekil 5.61. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

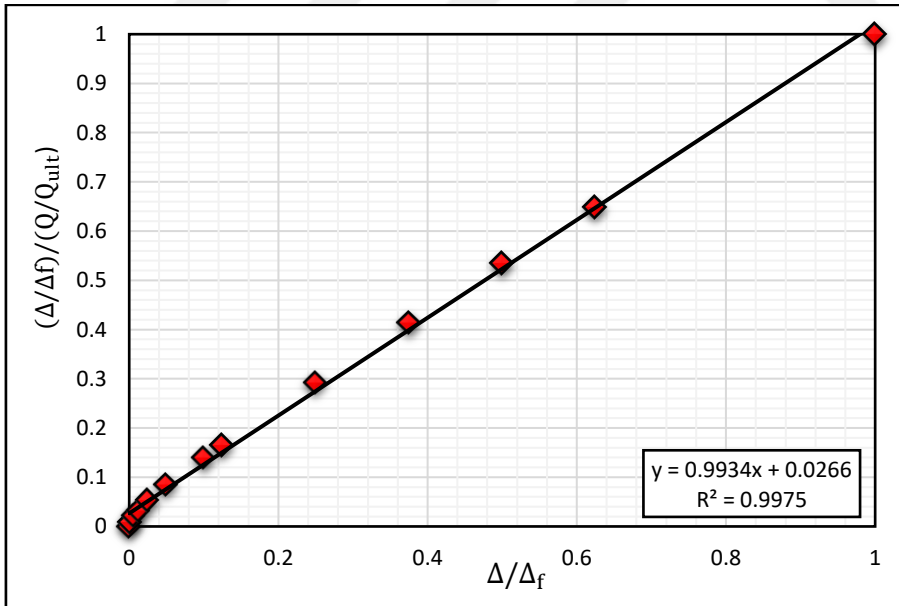


Şekil 5.62. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5.(devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

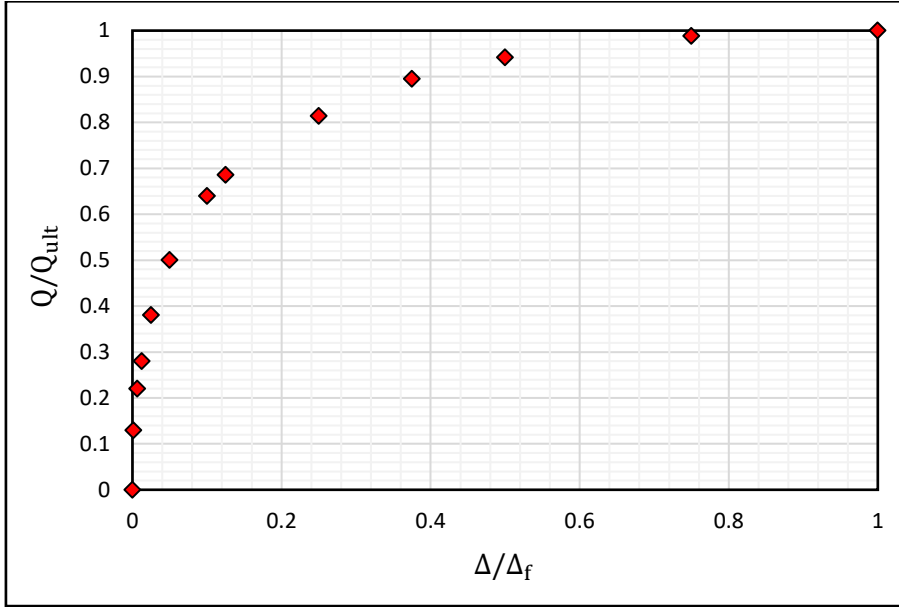


Şekil 5.63. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

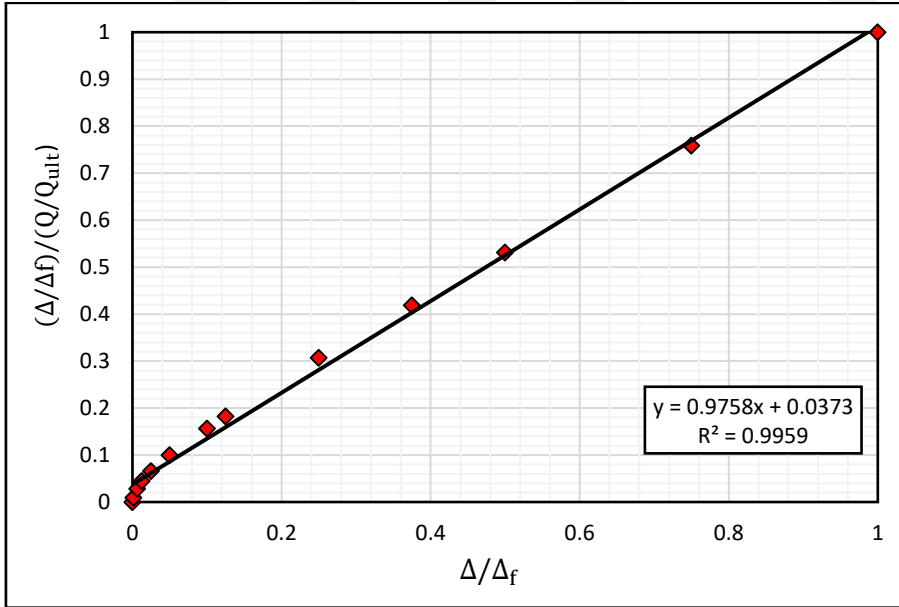


Şekil 5.64. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

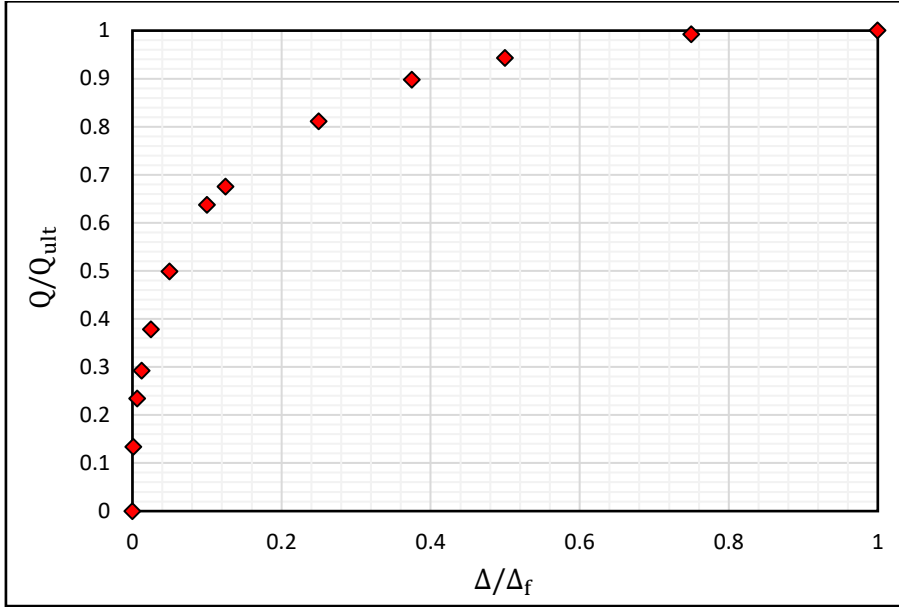


Şekil 5.65. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

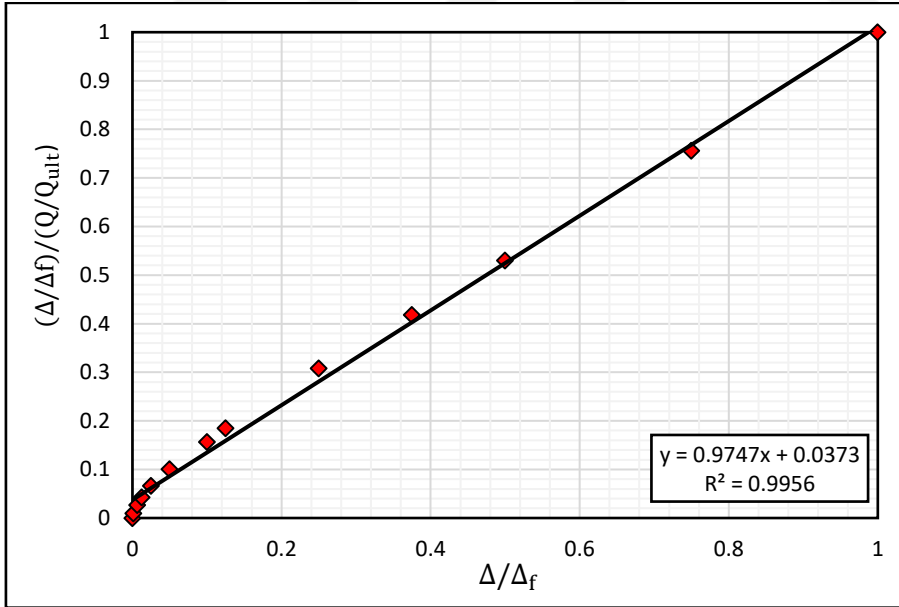


Şekil 5.66. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

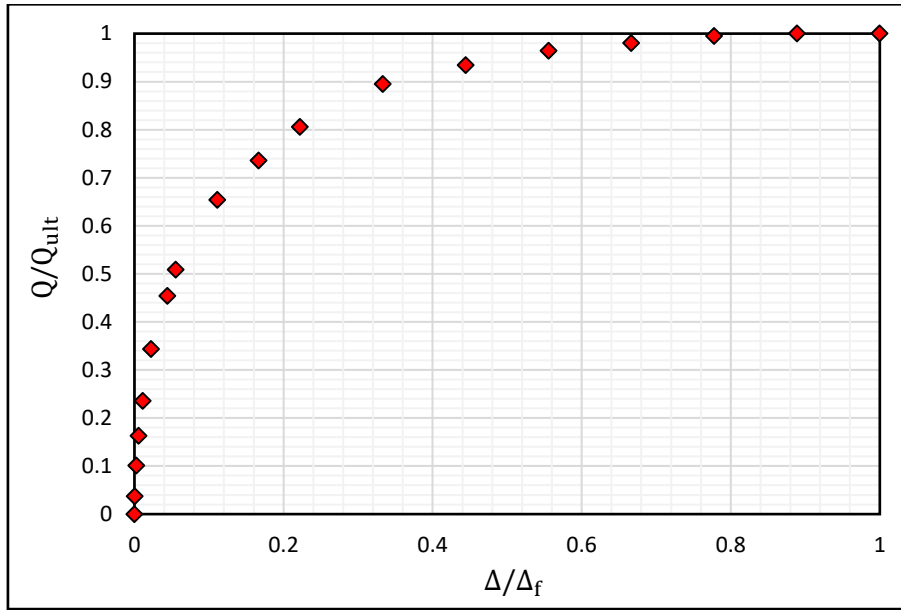


Şekil 5.67. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

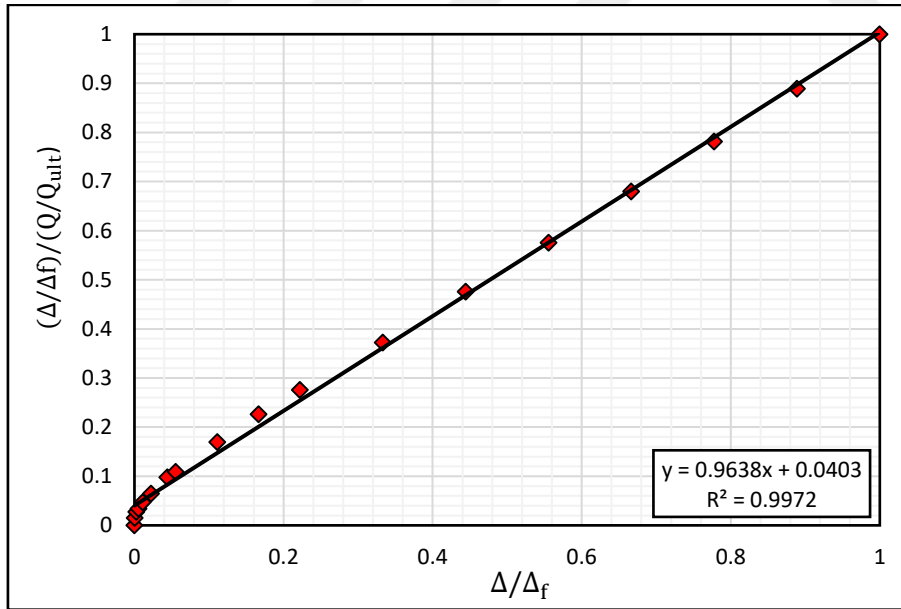


Şekil 5.68. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

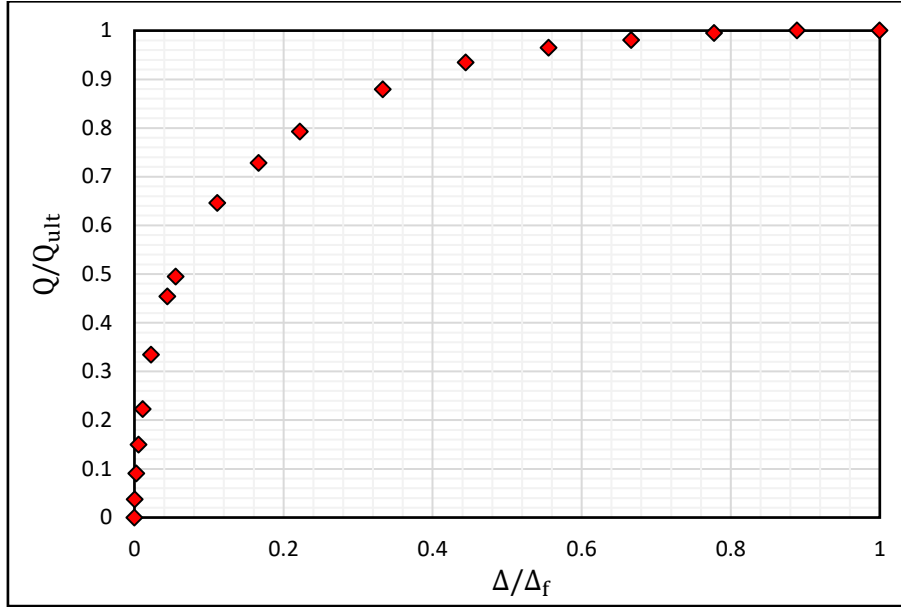


Şekil 5.69. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

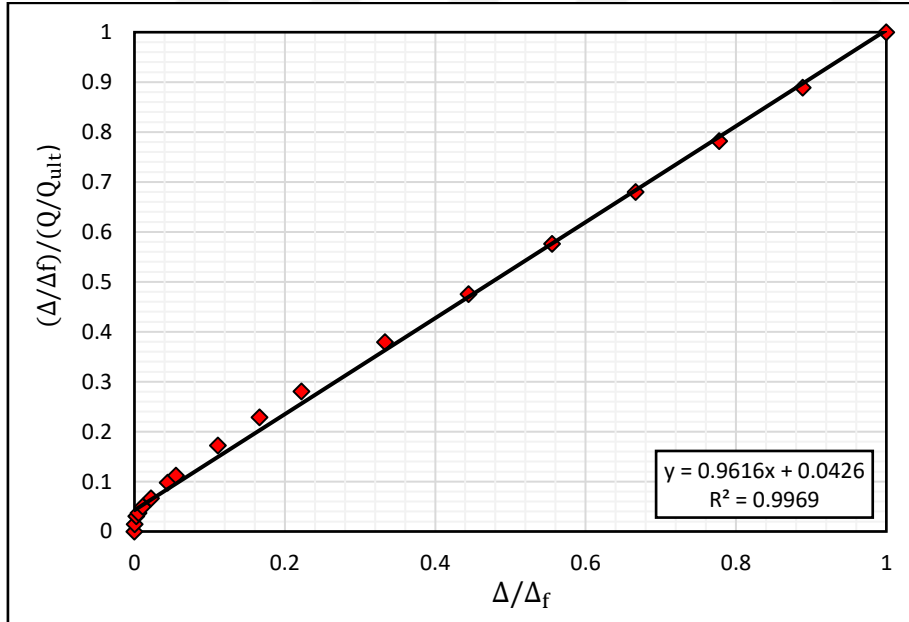


Şekil 5.70. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

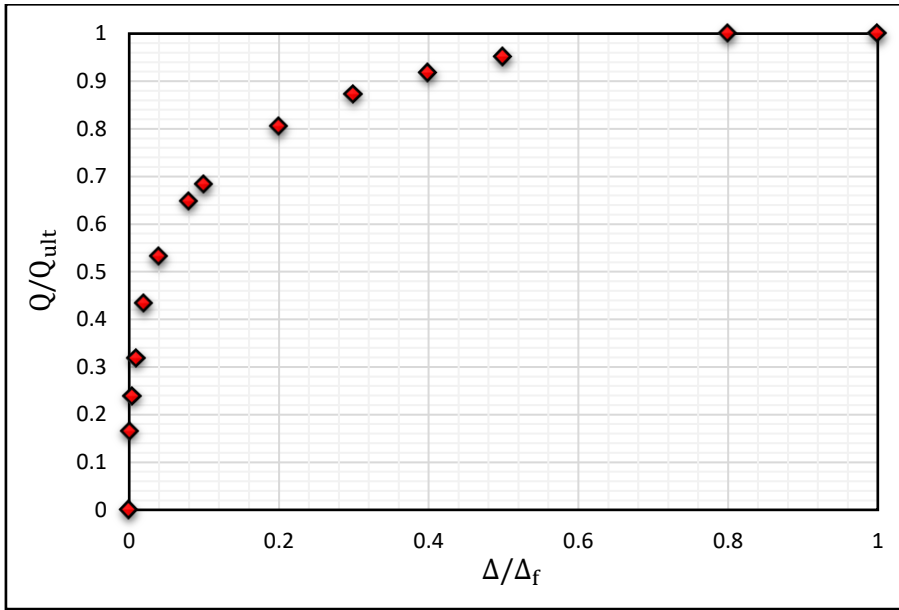


Şekil 5.71. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

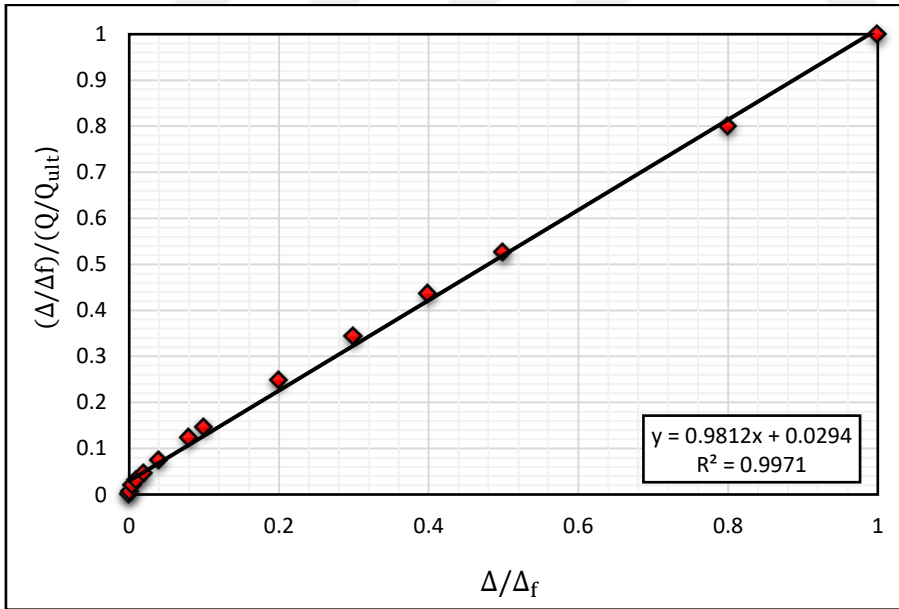


Şekil 5.72. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 3×3 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

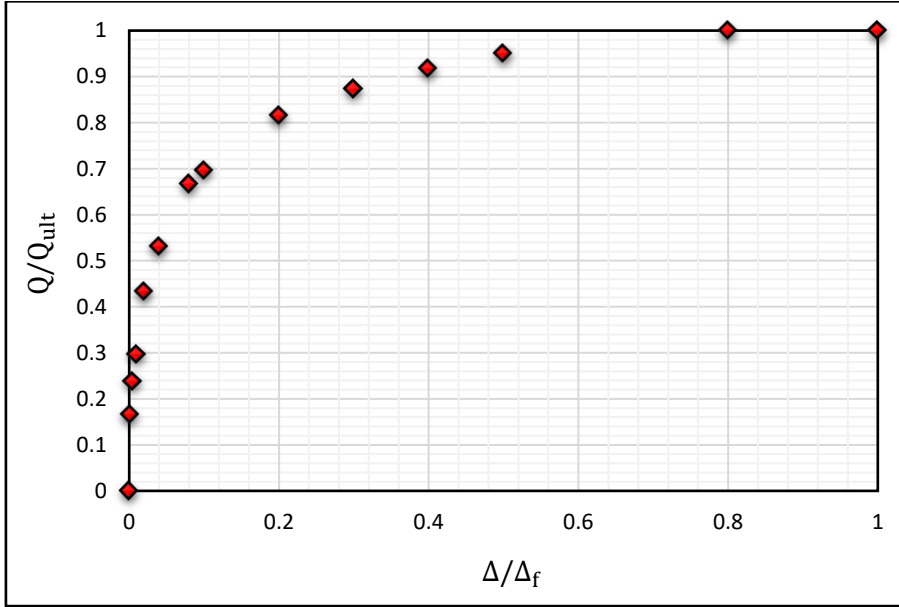


Şekil 5.73. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

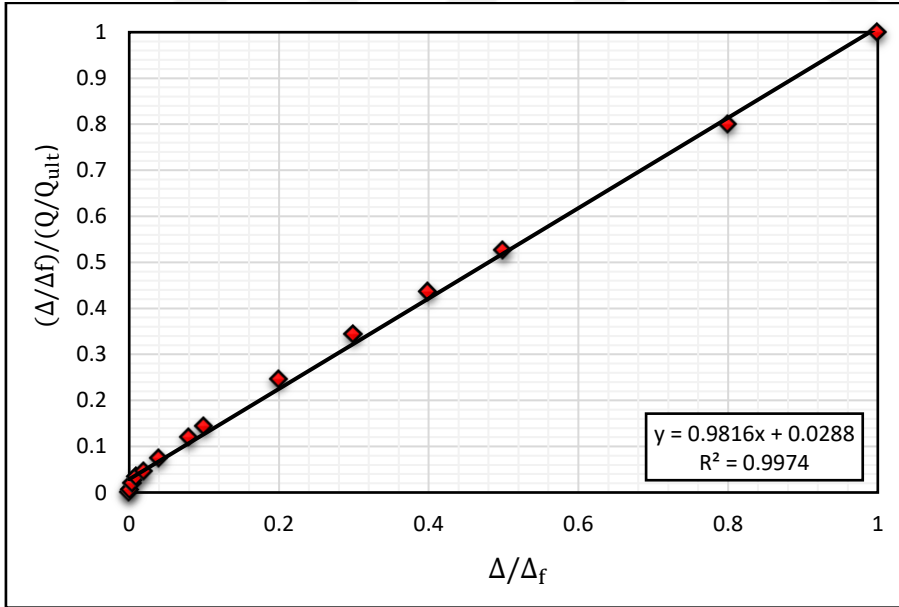


Şekil 5.74. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

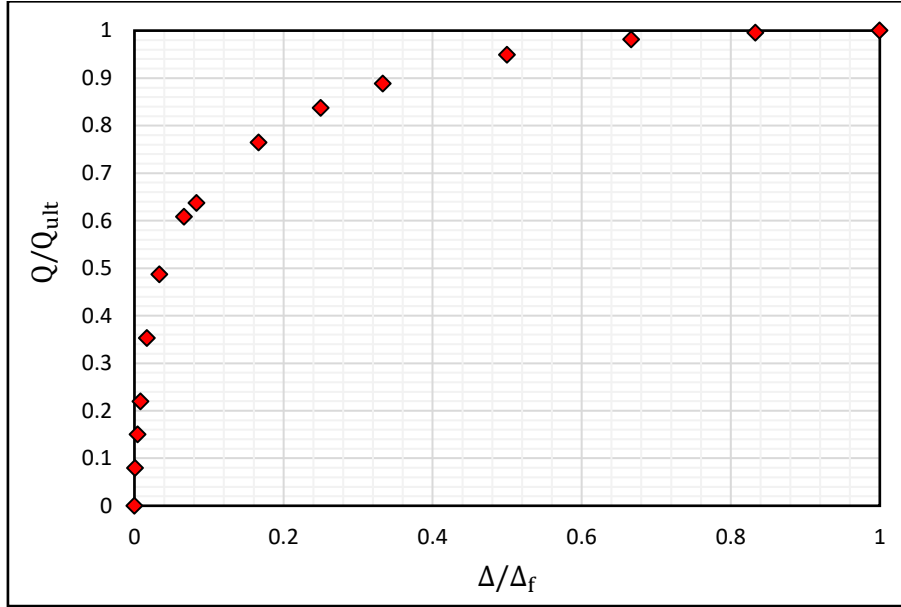


Şekil 5.75. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

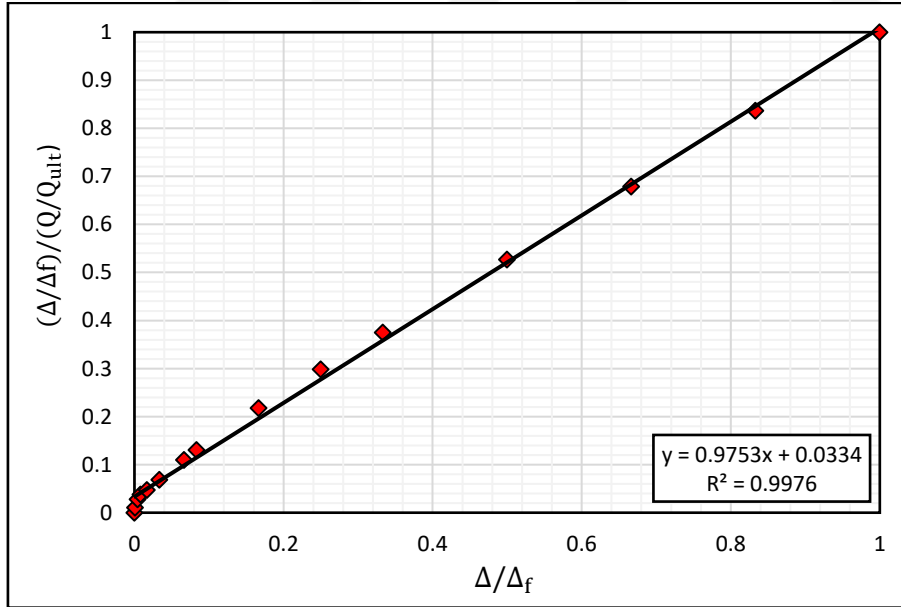


Şekil 5.76. 200 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

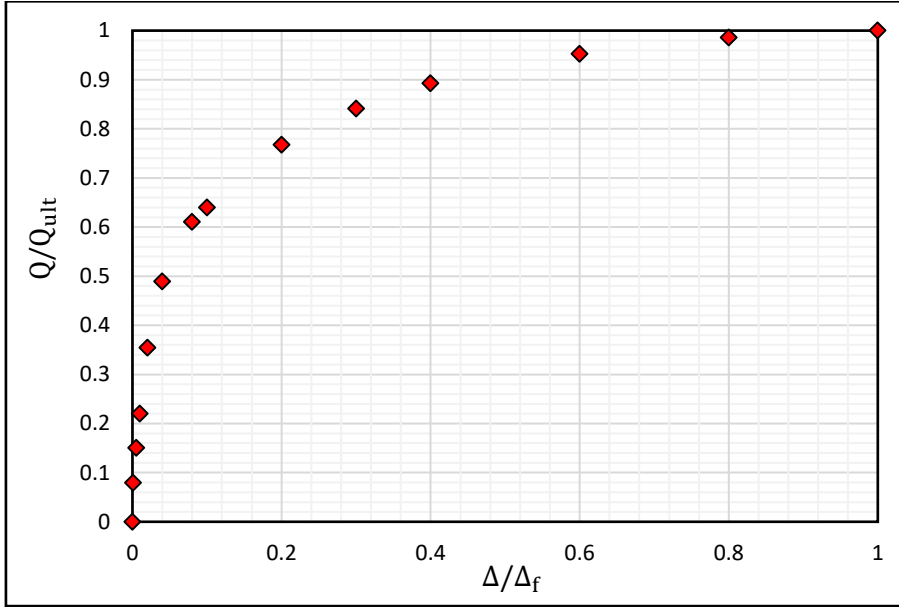


Şekil 5.77. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

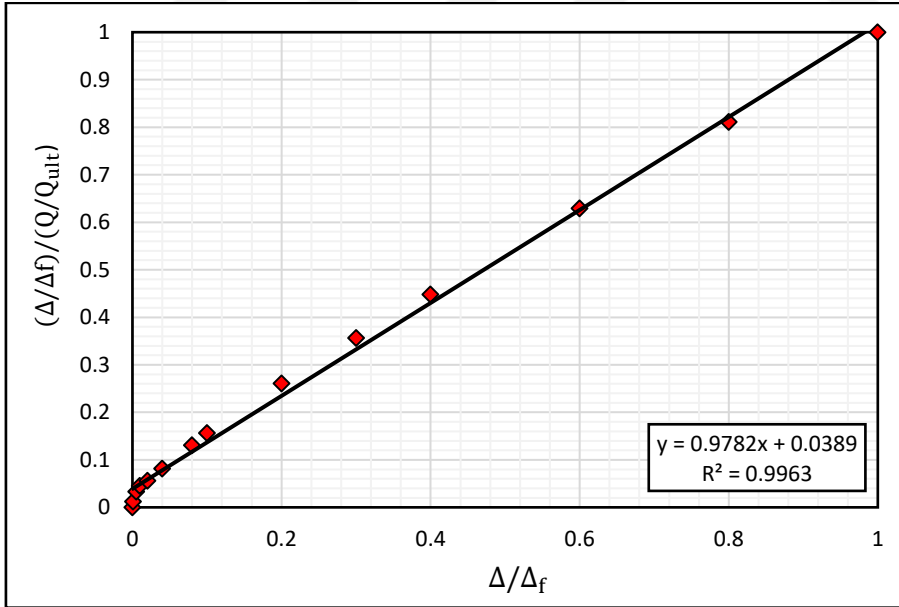


Şekil 5.78. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

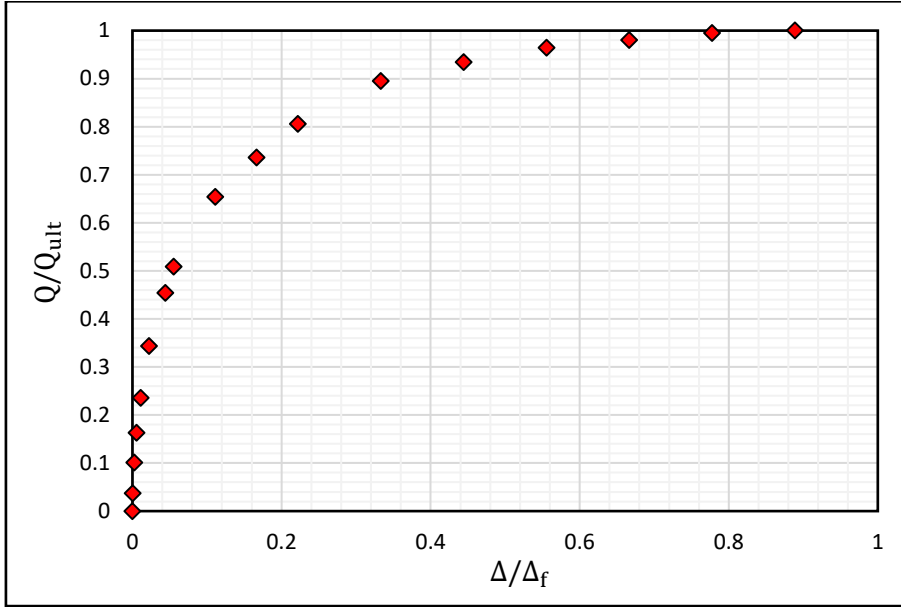
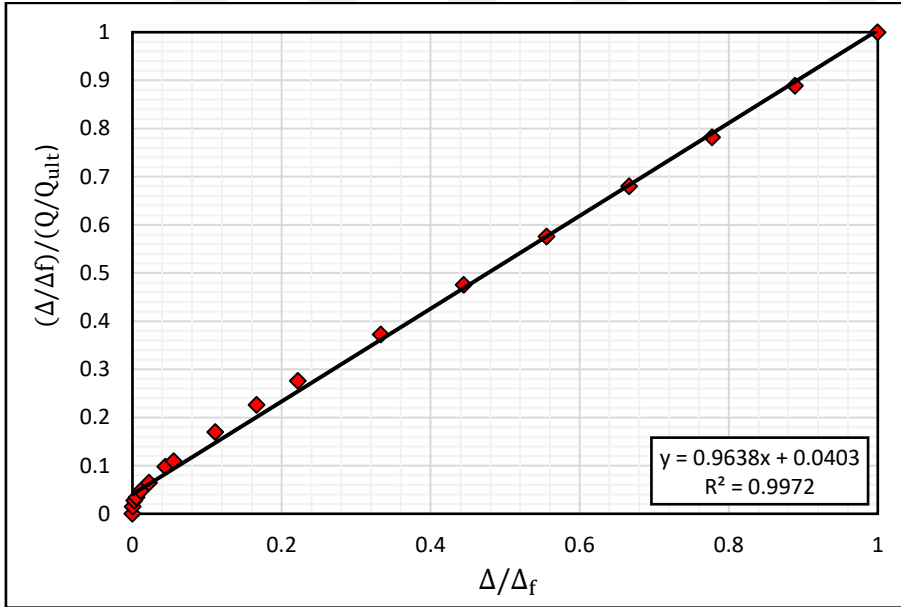


Şekil 5.79. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

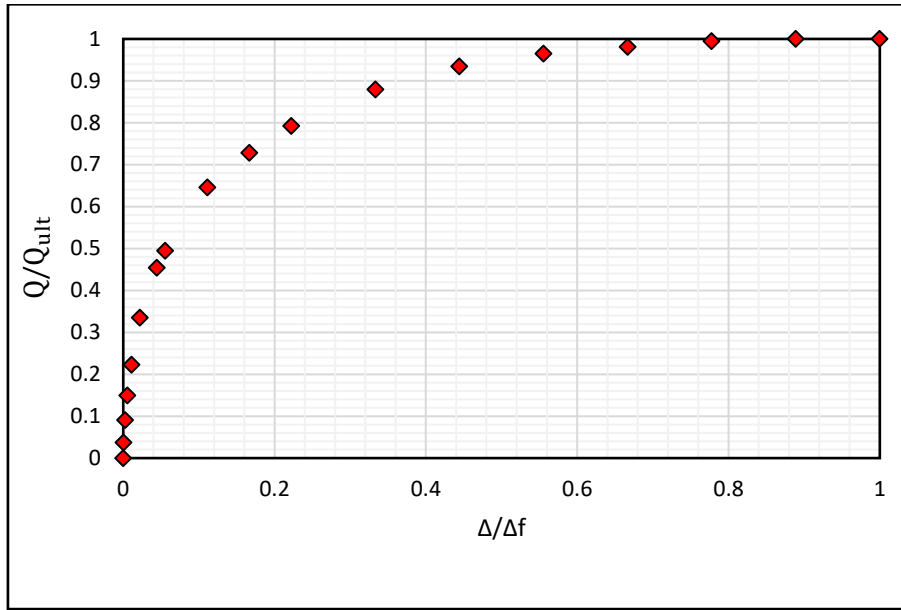


Şekil 5.80. 300 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

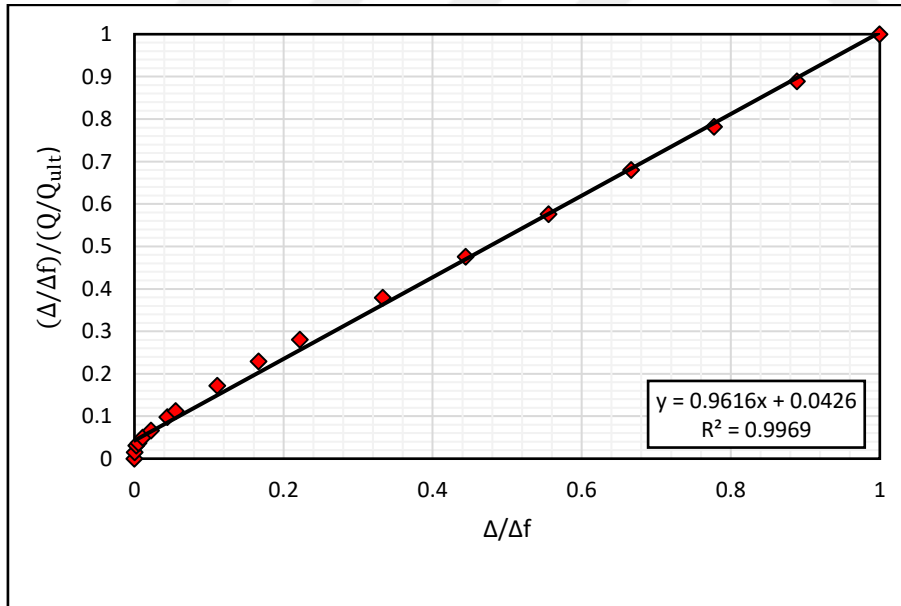
EK-5.(devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri

Şekil 5.81. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiğiŞekil 5.82. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen kare ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

EK-5. (devam) Ankrajların hiperbolik ve lineerleştirilmiş deplasman yük grafikleri



Şekil 5.83. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın hiperbolik deplasman yük grafiği

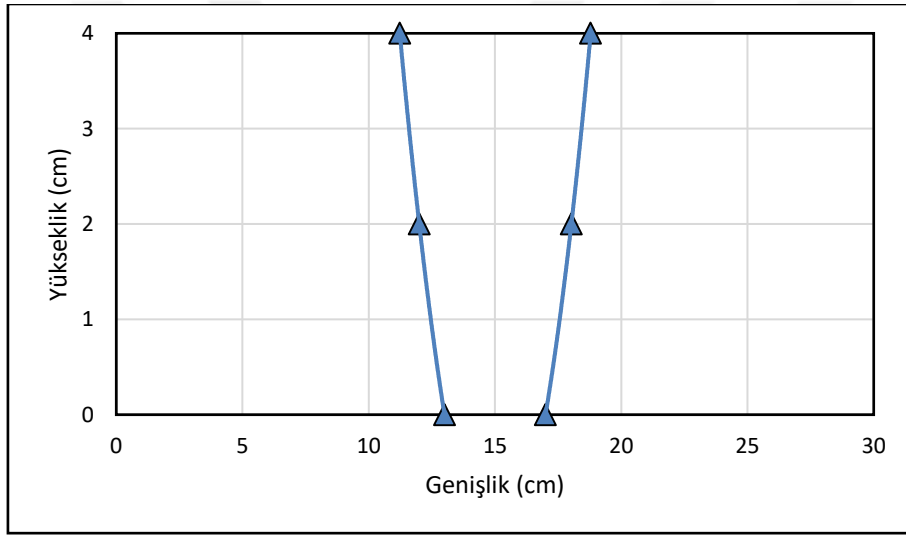


Şekil 5.84. 450 mm gömülme derinliğinde hücre sayısı 5×5 ve yüksekliği 150 mm olan hücresel yapı elemanı ile güçlendirilen dairesel ankrajın lineerleştirilmiş deplasman yük grafiği

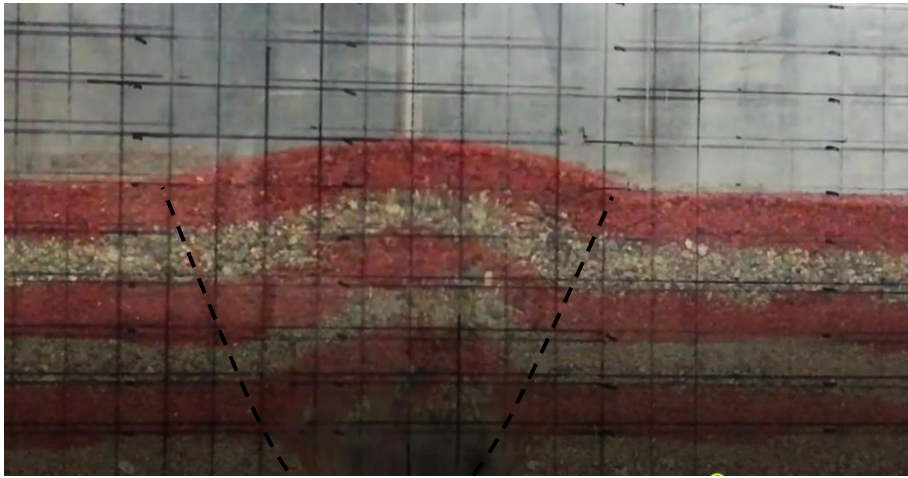
EK-6. Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri



Şekil 6.1. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan gözlemlenen yenilme yüzeyi

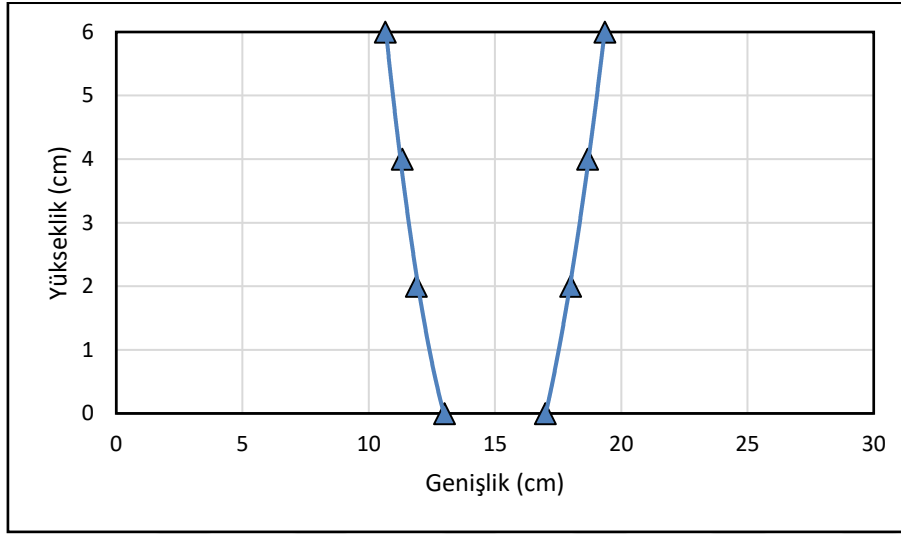


Şekil 6.2. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan ölçülen yenilme yüzeyi

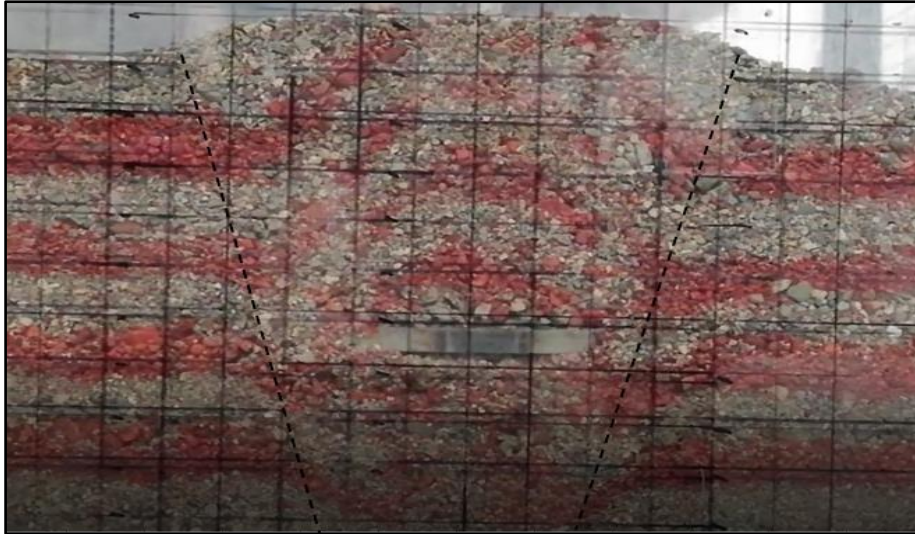


Şekil 6.3. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan gözlemlenen yenilme yüzey

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

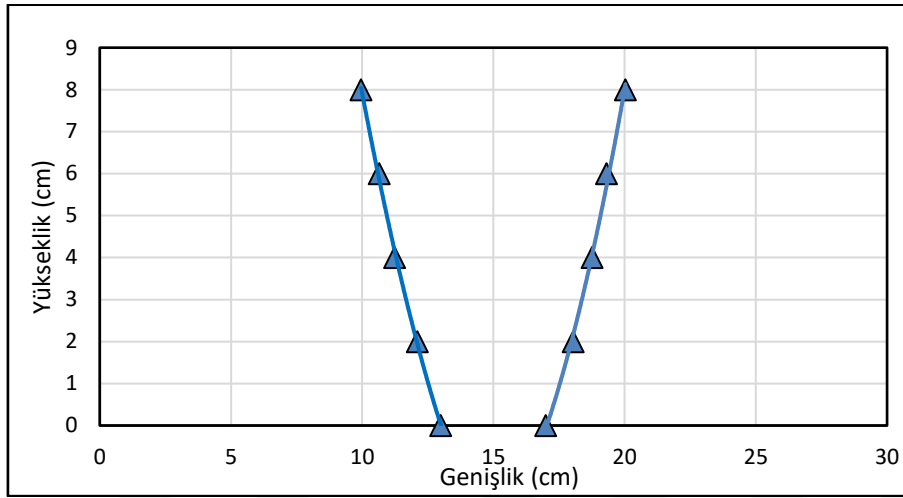


Şekil 6.4. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan ölçülen yenilme yüzeyi

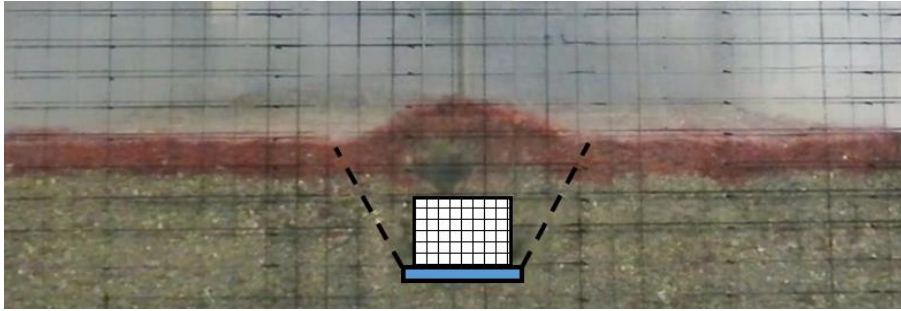


Şekil 6.5. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan gözlemlenen yenilme yüzeyi

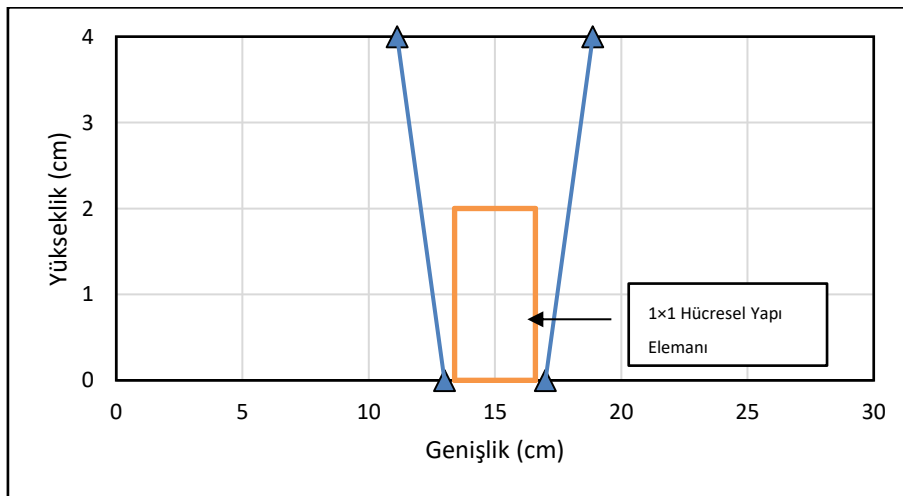
EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri



Şekil 6.6. $H/B=2.25$, $D_r=65\%$ olan ölçülen yenilme yüzeyi

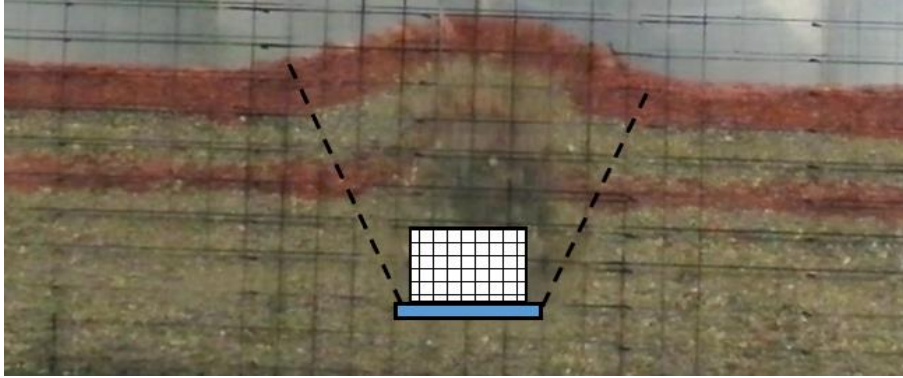


Şekil 6.7. $H/B=1$, $D_r=65\%$ olan 1×1 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

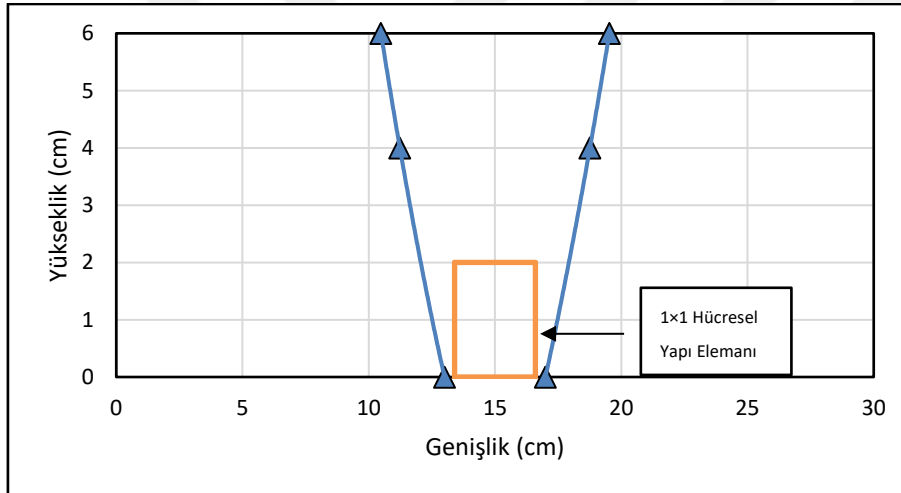


Şekil 6.8. $H/B=1$, $D_r=65\%$ olan 1×1 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

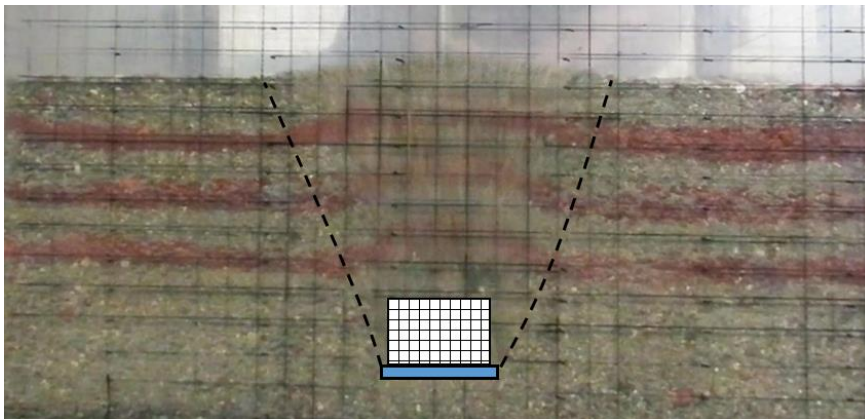
EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyi



Şekil 6.9. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan 1×1 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

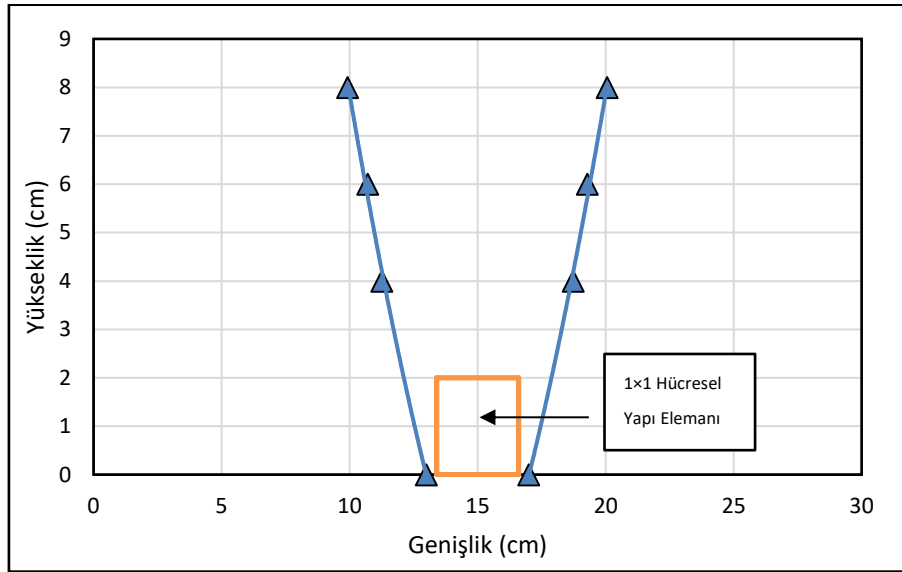


Şekil 6.10. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan 1×1 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

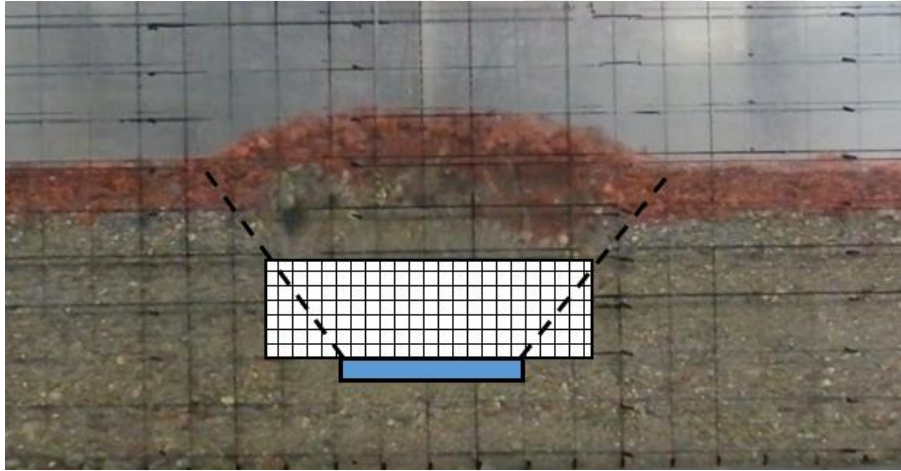


Şekil 6.11. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 1×1 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

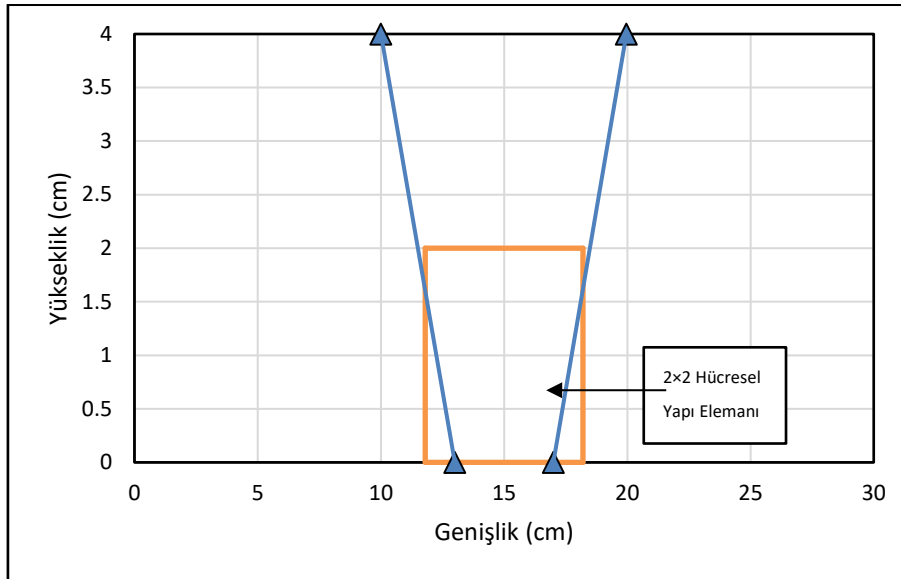


Şekil 6.12. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 1x1 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

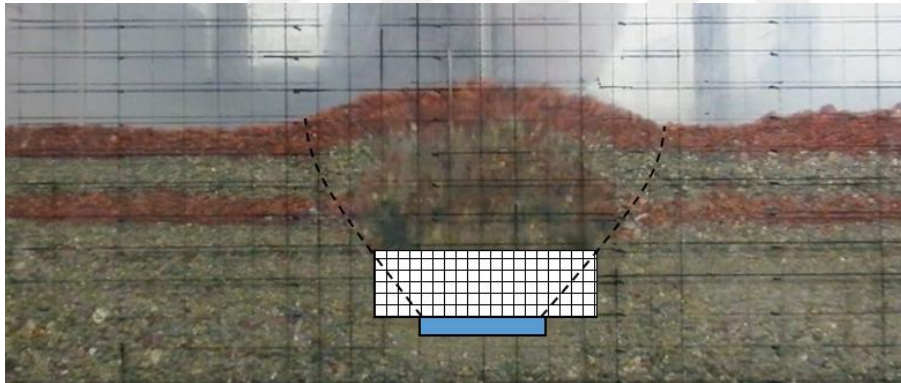


Şekil 6.13. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan 2*2 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

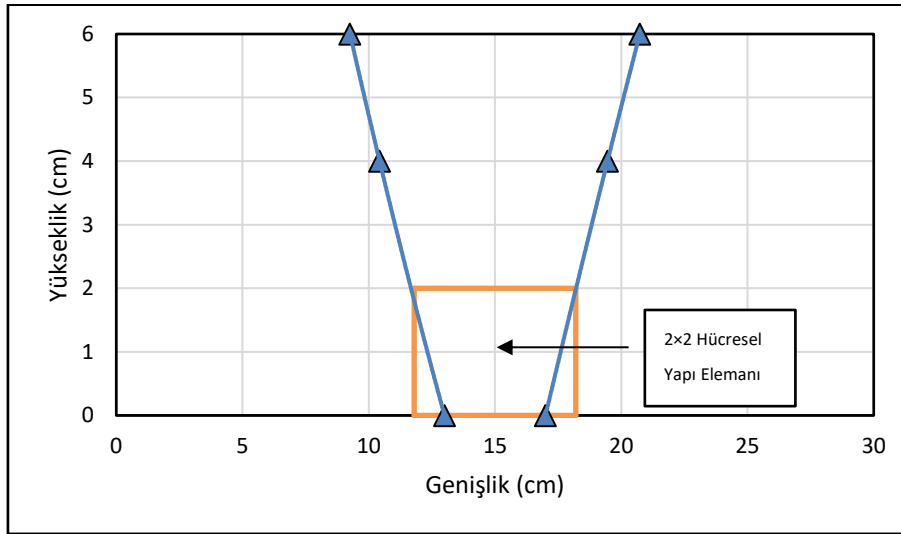


Şekil 6.14. $H/B=1$, $D_r=65\%$ olan 2×2 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

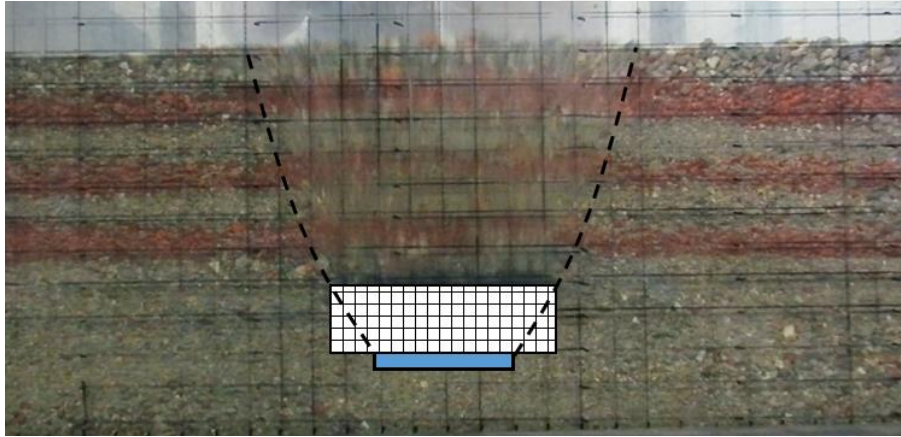


Şekil 6.15. $H/B=1.5$, $D_r=65\%$ olan 2×2 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

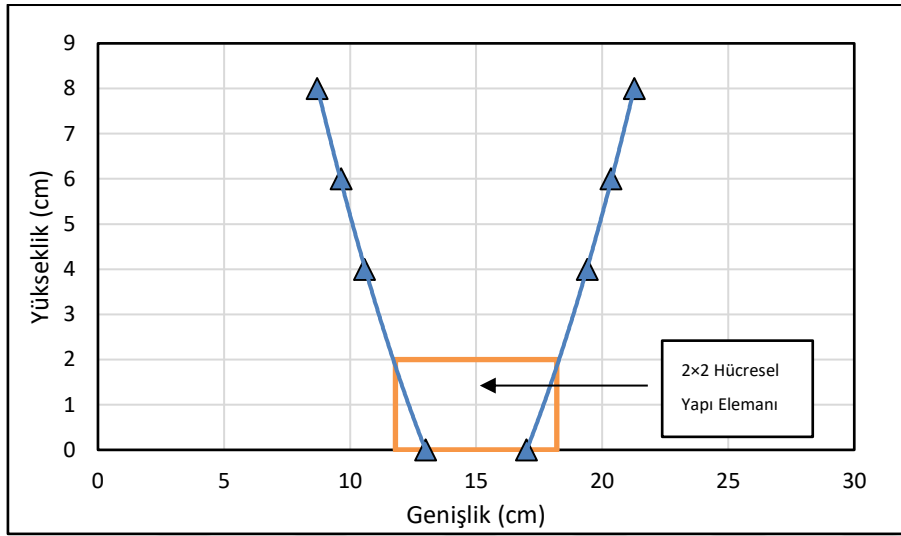


Şekil 6.16. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan 2×2 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

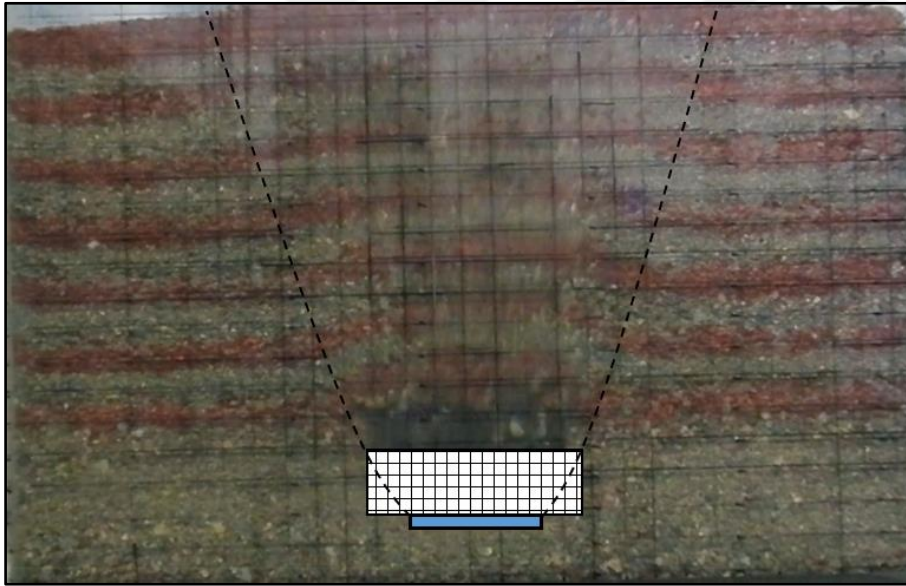


Şekil 6.17. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 2×2 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

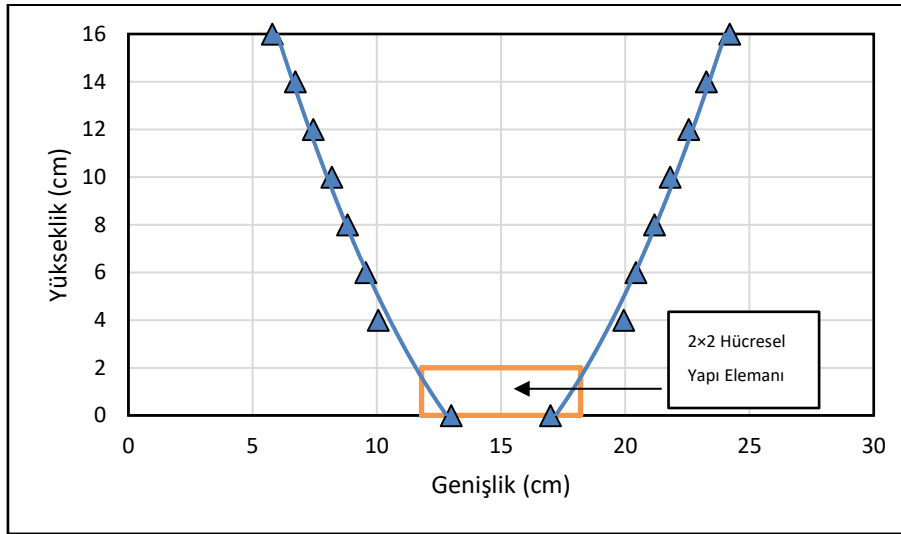


Şekil 6.18. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 2×2 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

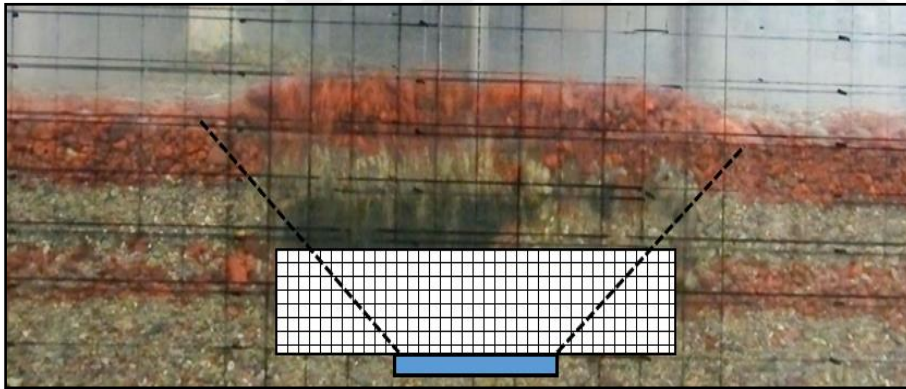


Şekil 6.19. $H/B=4$, $D_r=\%65$ olan 2×2 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

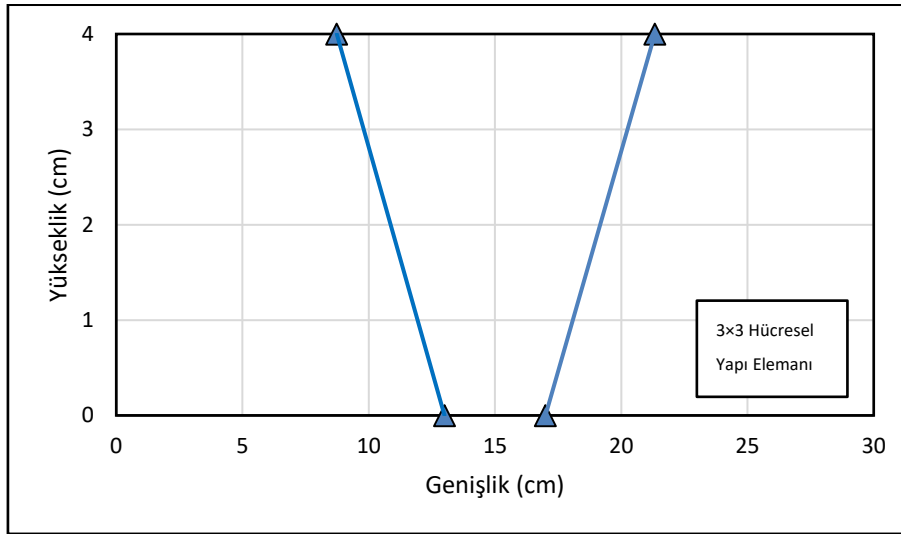


Şekil 6.20. $H/B=4$ $D_r=\%65$ olan 2×2 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

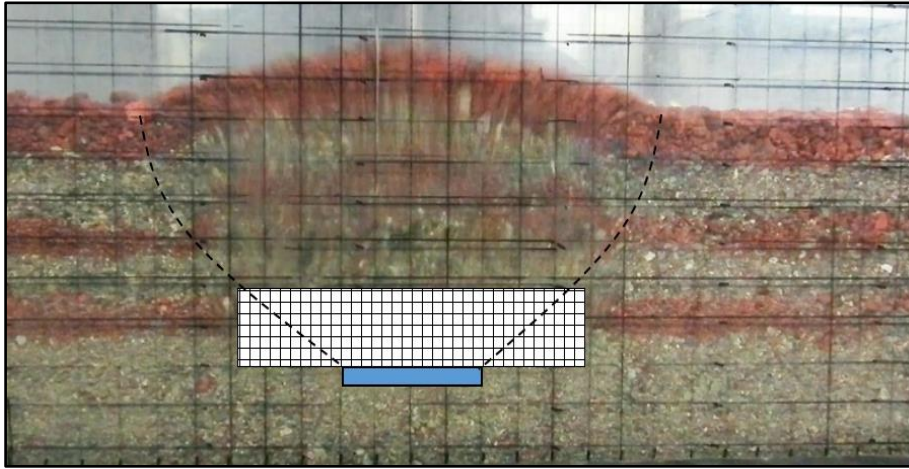


Şekil 6.21. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan 3×3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

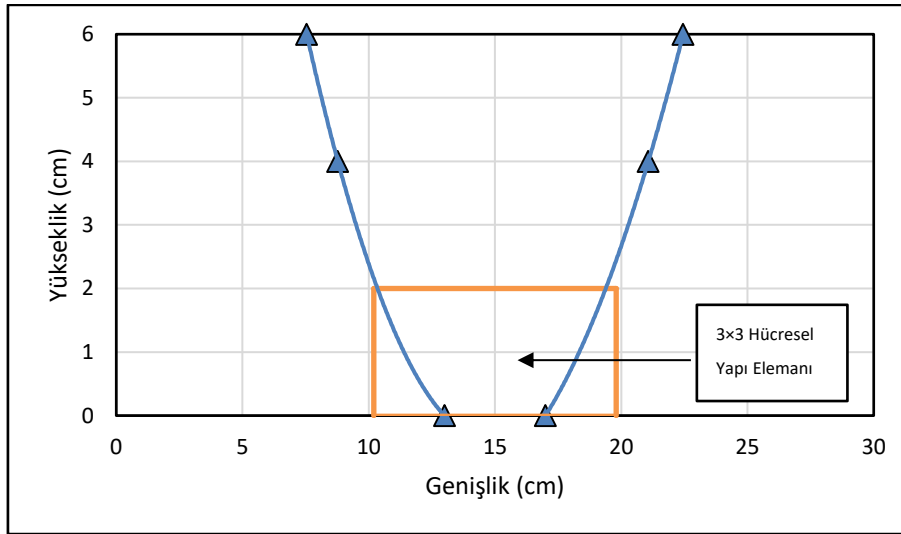


Şekil 6.22. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan 3x3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi



Şekil 6.23. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan 3x3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

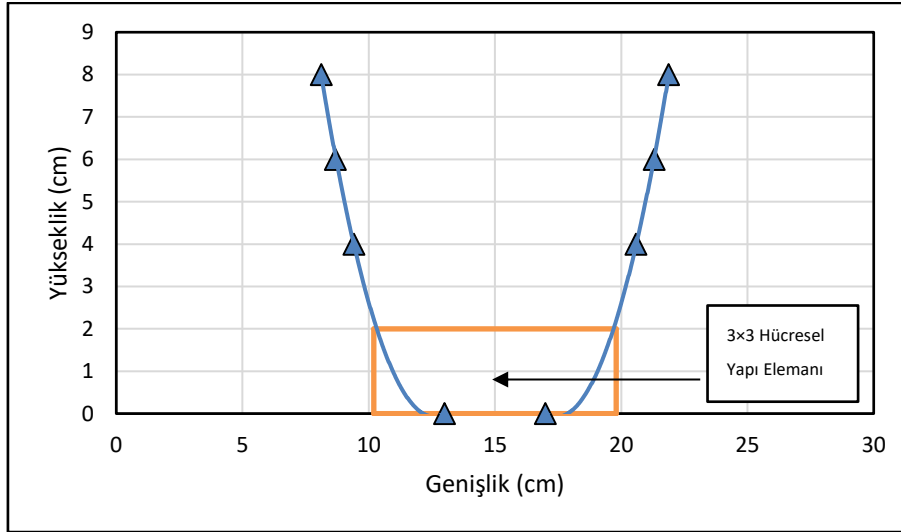


Şekil 6.24. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan 3×3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

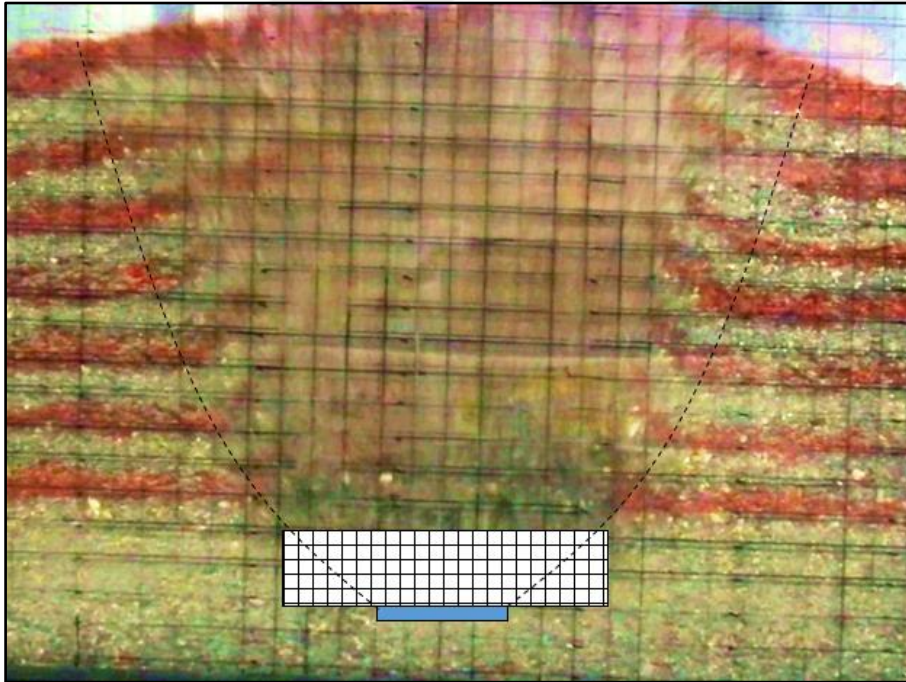


Şekil 6.25. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 3×3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

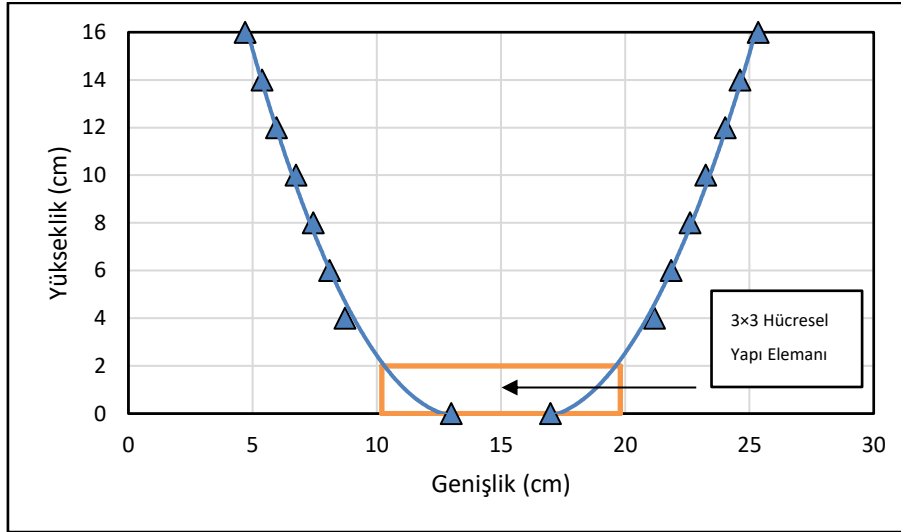


Şekil 6.26. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 3×3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

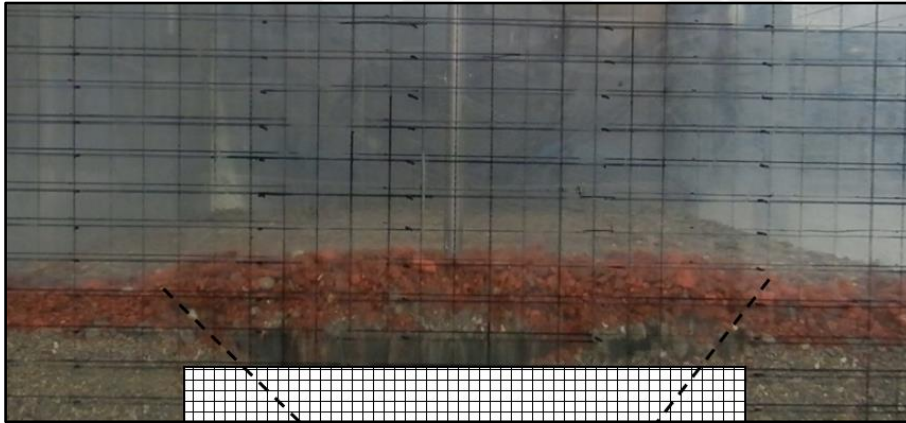


Şekil 6.27. $H/B=4$, $D_r=\%65$ olan 3×3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

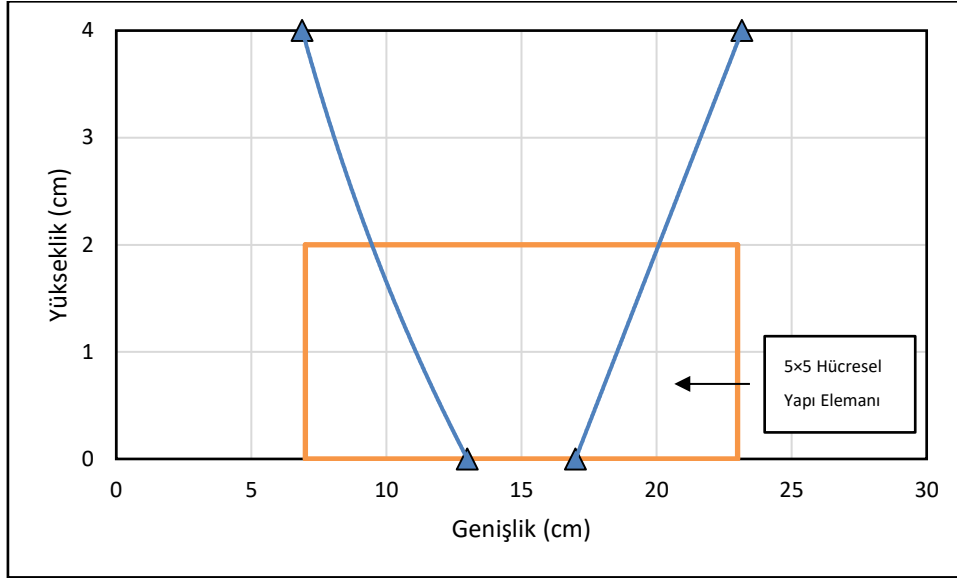


Şekil 6.28. $H/B=4$, $D_r=\%65$ olan 3x3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

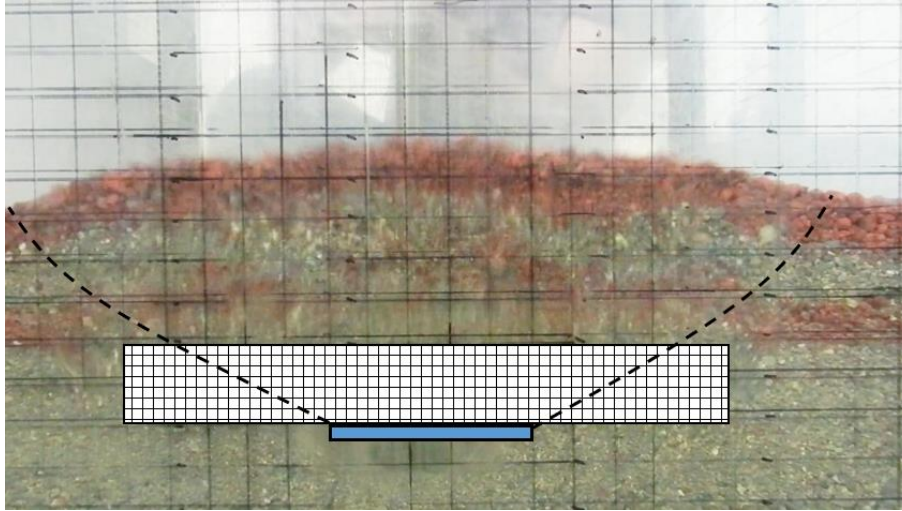


Şekil 6.29. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan 5x5 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

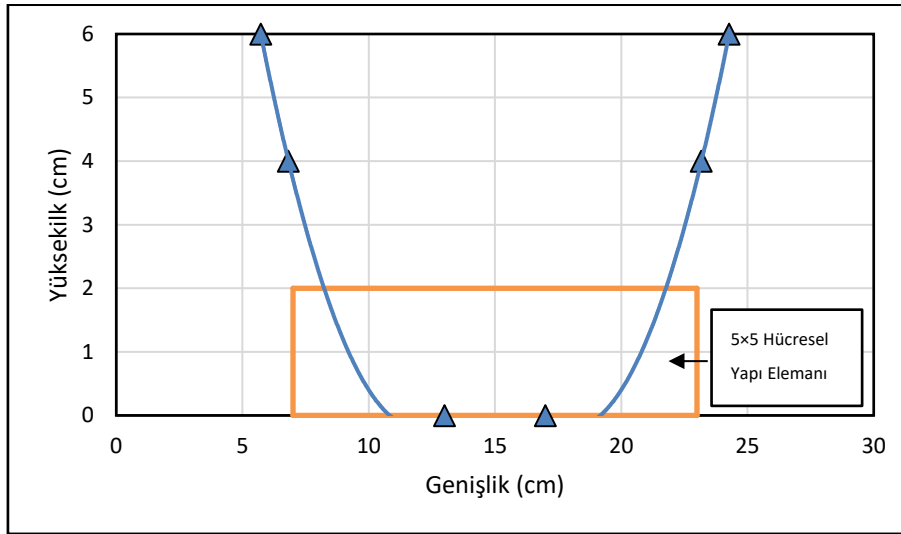


Şekil 6.30. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan 5×5 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

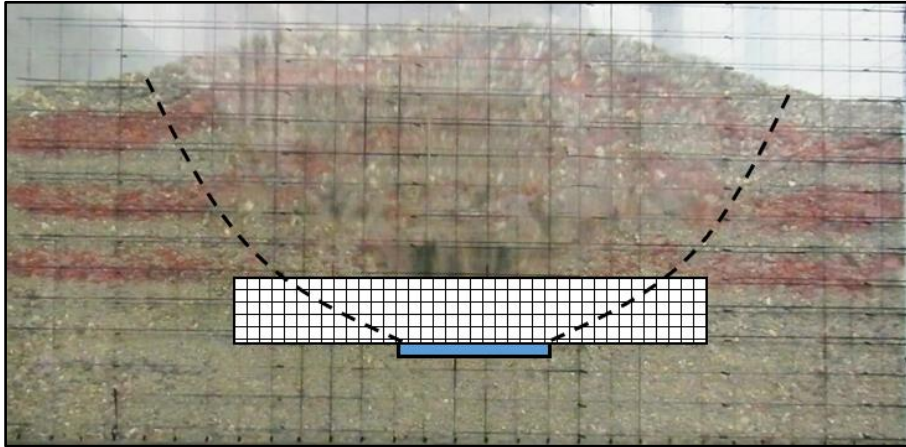


Şekil 6.31. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan 5×5 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

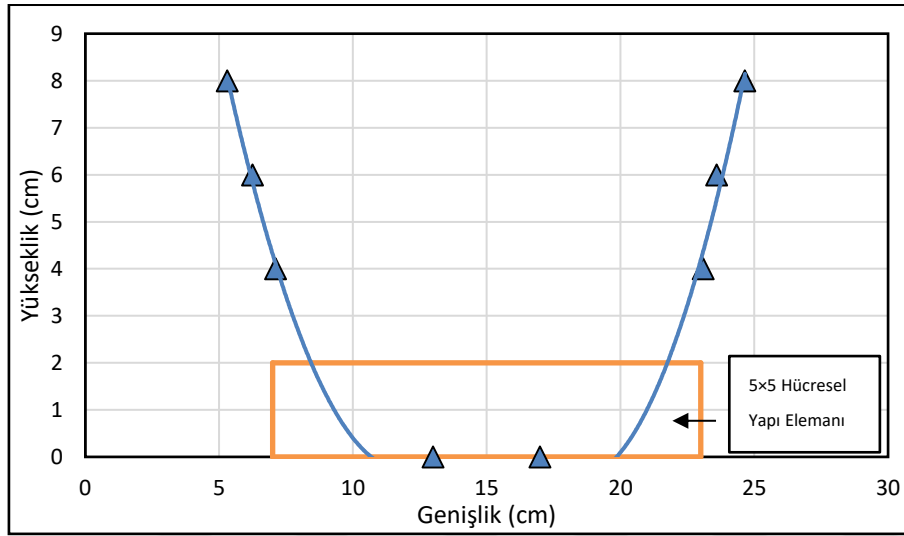


Şekil 6.32. $H/B=1.5$, $D_r=\%65$ olan 5×5 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

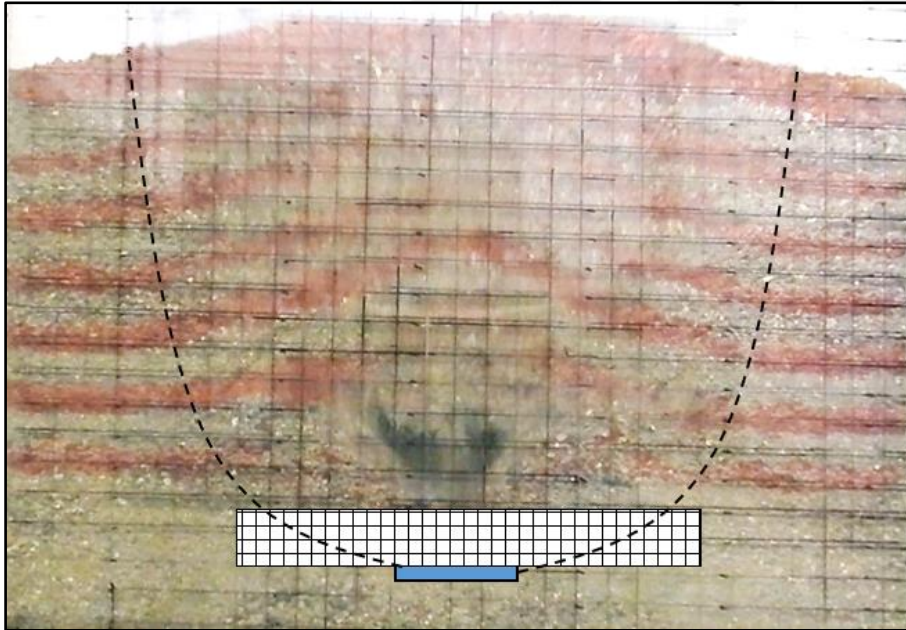


Şekil 6.33. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 5×5 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

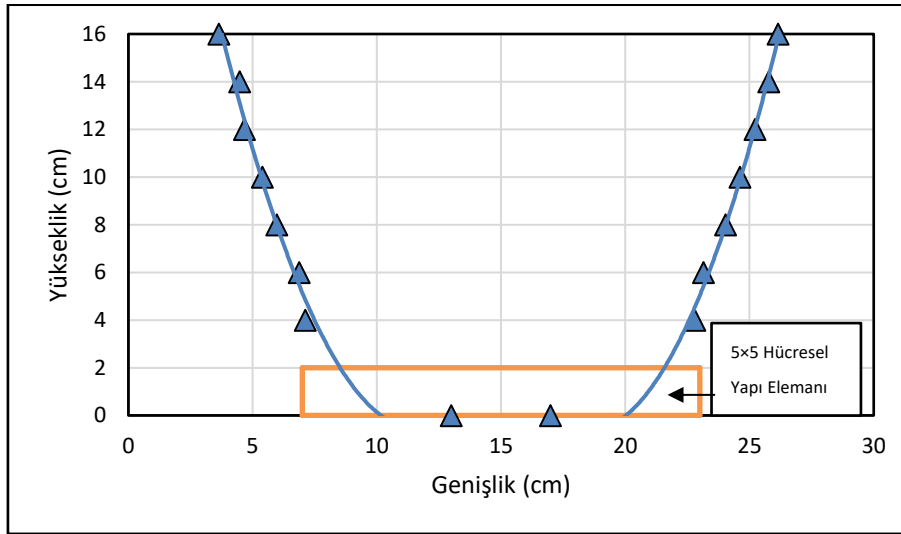


Şekil 6.34. $H/B=2.25$, $D_r=\%65$ olan 5×5 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi



Şekil 6.35. $H/B=4$, $D_r=\%65$ olan 5×5 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

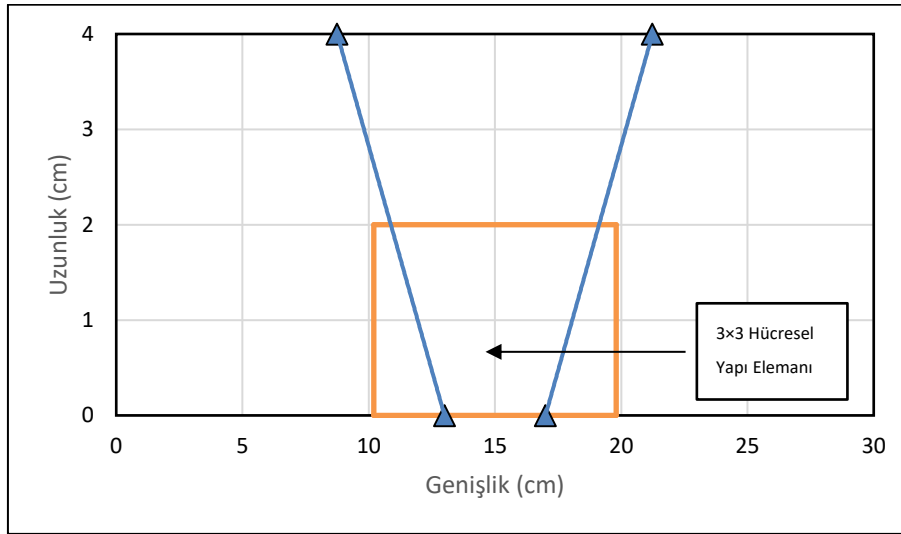


Şekil 6.36. $H/B=4$, $D_r=\%65$ olan 5×5 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

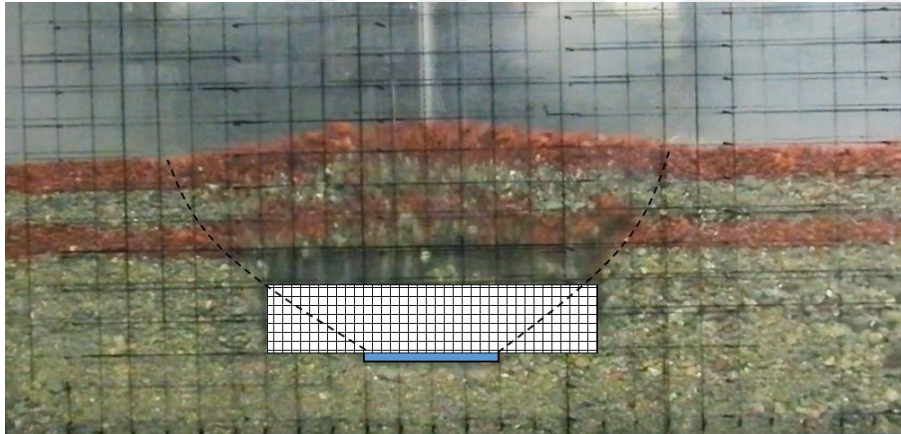


Şekil 6.37. $H/B=1$, $D_r=\%25$ olan 3×3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

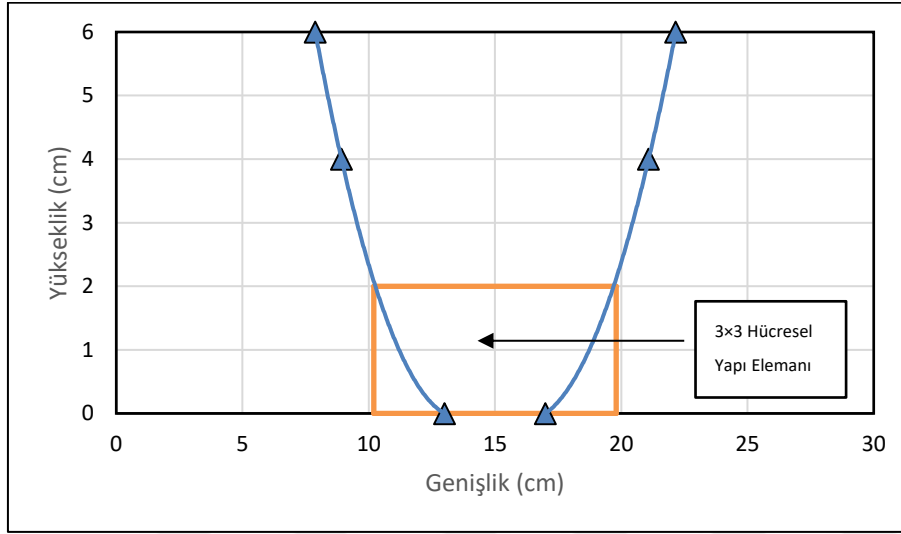


Şekil 6.38. $H/B=1$, $D_r=\%25$ olan 3×3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

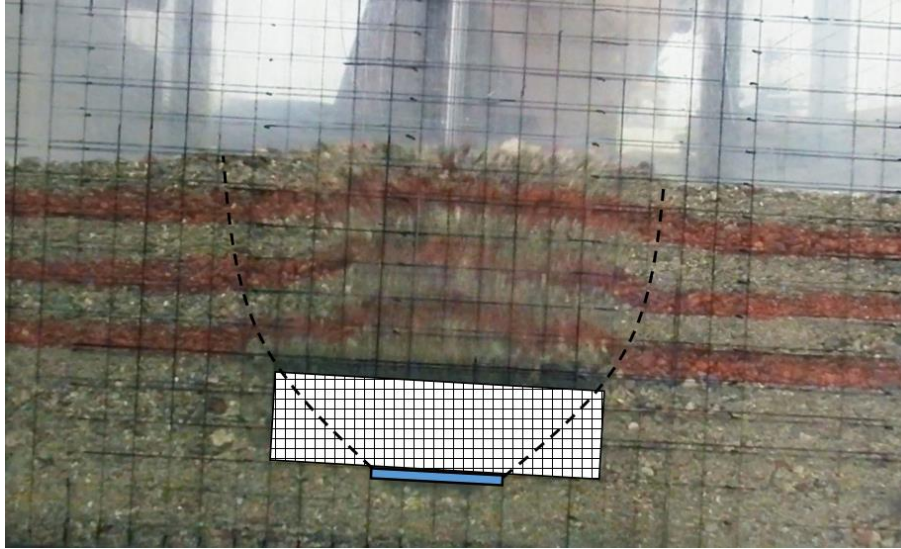


Şekil 6.39. $H/B=1.5$, $D_r=\%25$ olan 3×3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

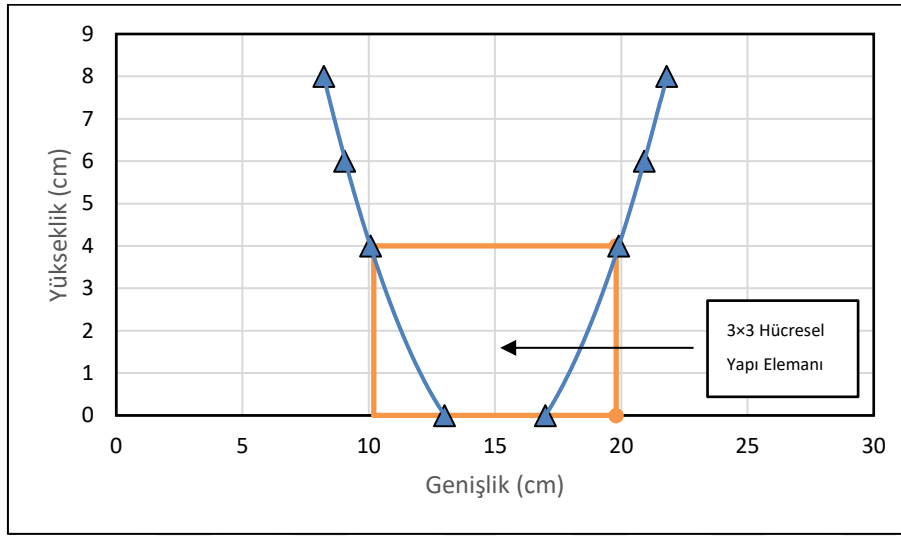


Şekil 6.40. $H/B=1.5$, $D_r=\%25$ olan 3x3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

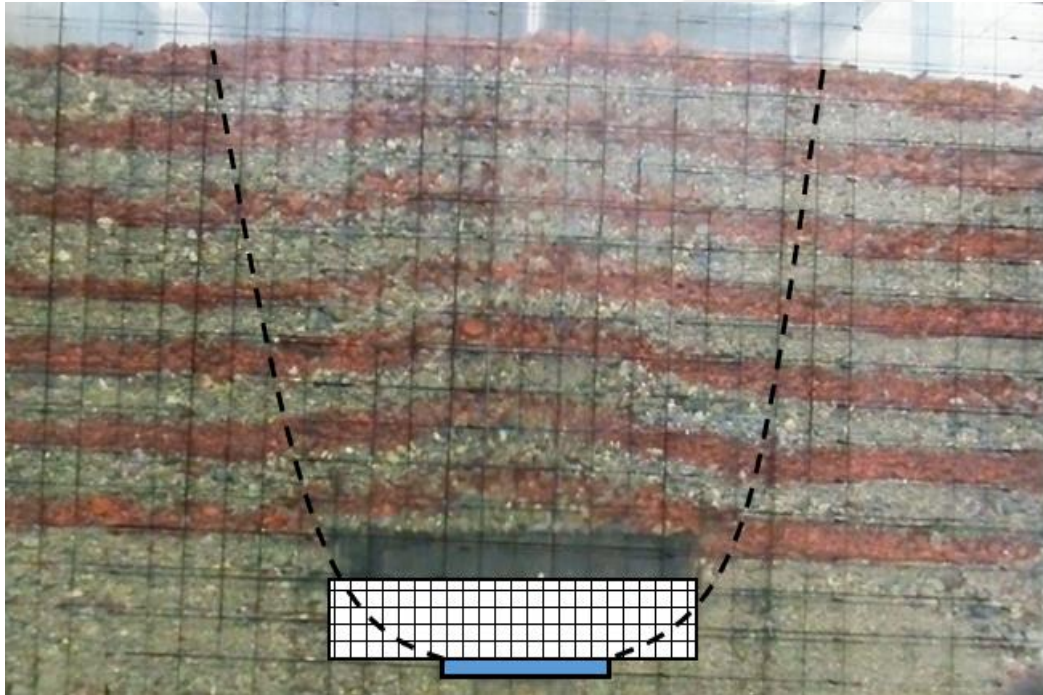


Şekil 6.41. $H/B=2.25$, $D_r=\%25$ olan 3x3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

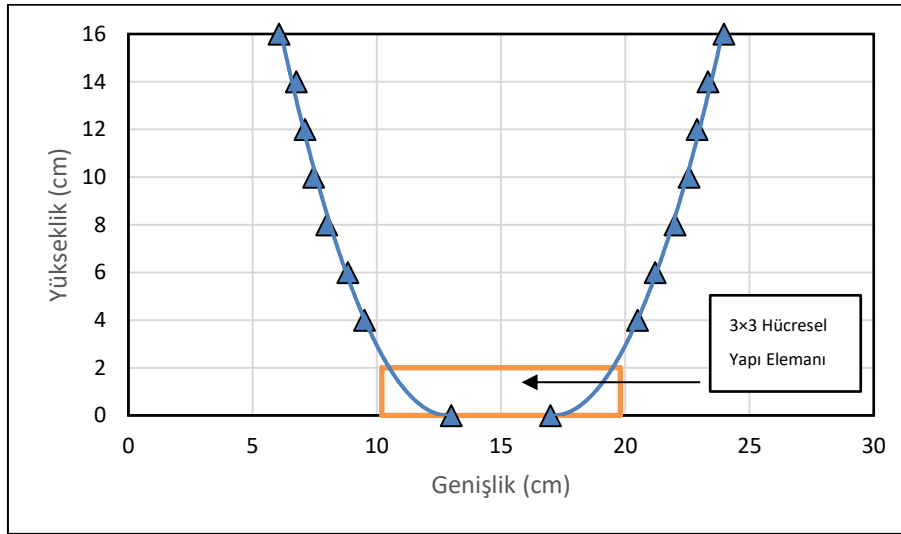


Şekil 6.42. $H/B=2.25$, $D_r=\%25$ olan 3×3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

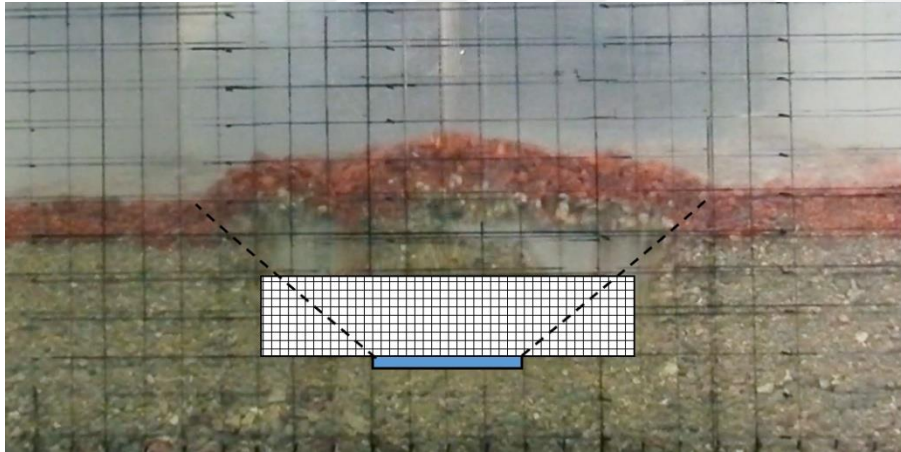


Şekil 6.43. $H/B=4$, $D_r=\%25$ olan 3×3 hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

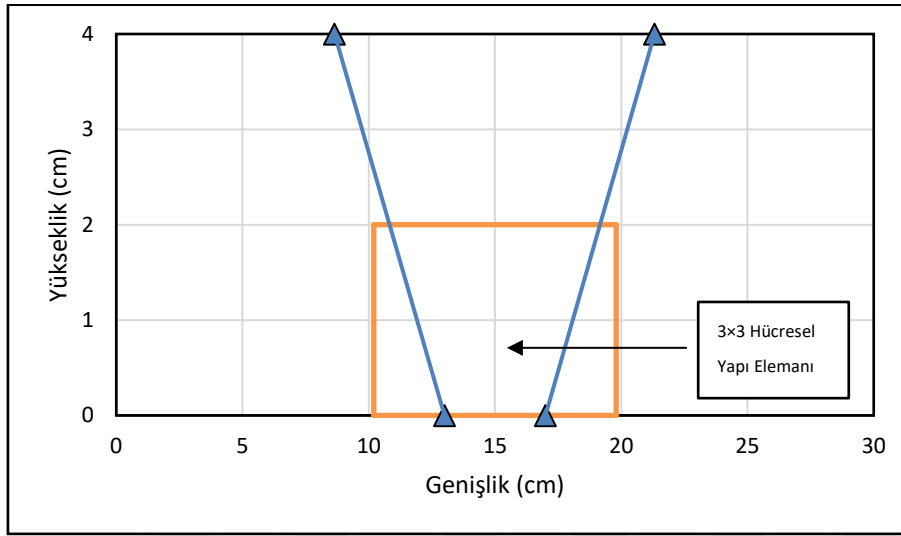


Şekil 6.44. $H/B=4$, $D_r=\%25$ olan 3×3 hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

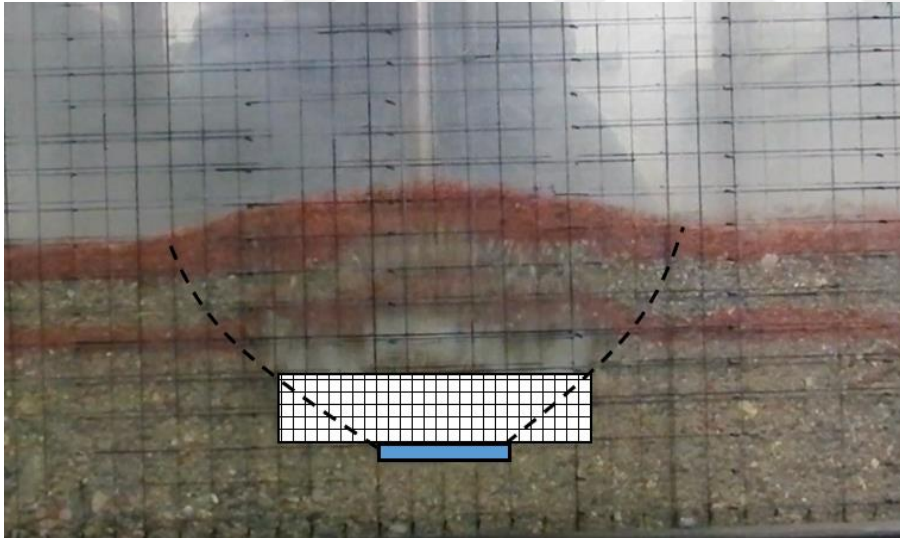


Şekil 6.45. $H/B=1$ $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

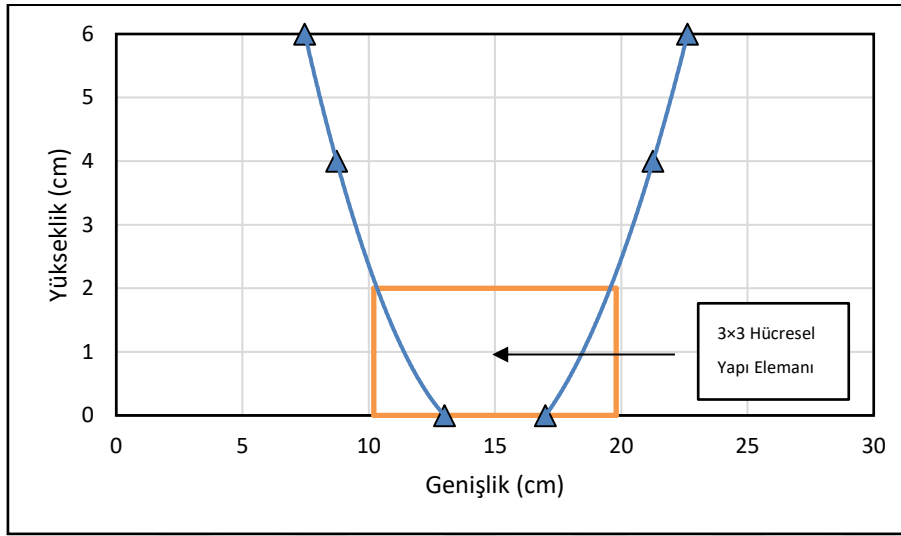


Şekil 6.46. $H/B=1$, $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

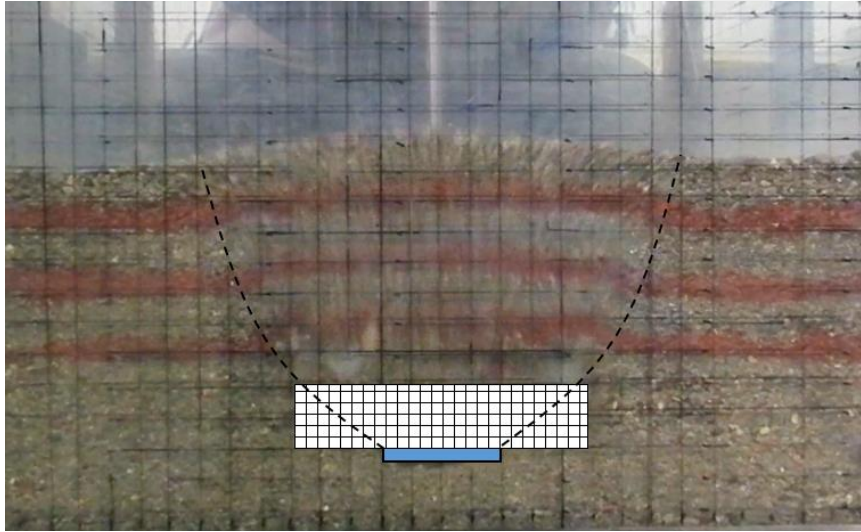


Şekil 6.47. $H/B=1.5$ $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

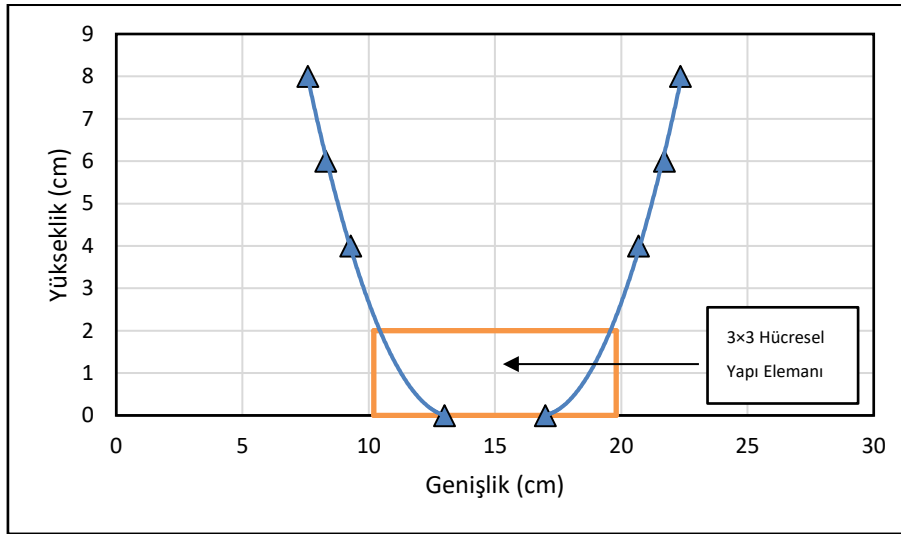


Şekil 6.48. $H/B=1.5$ $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

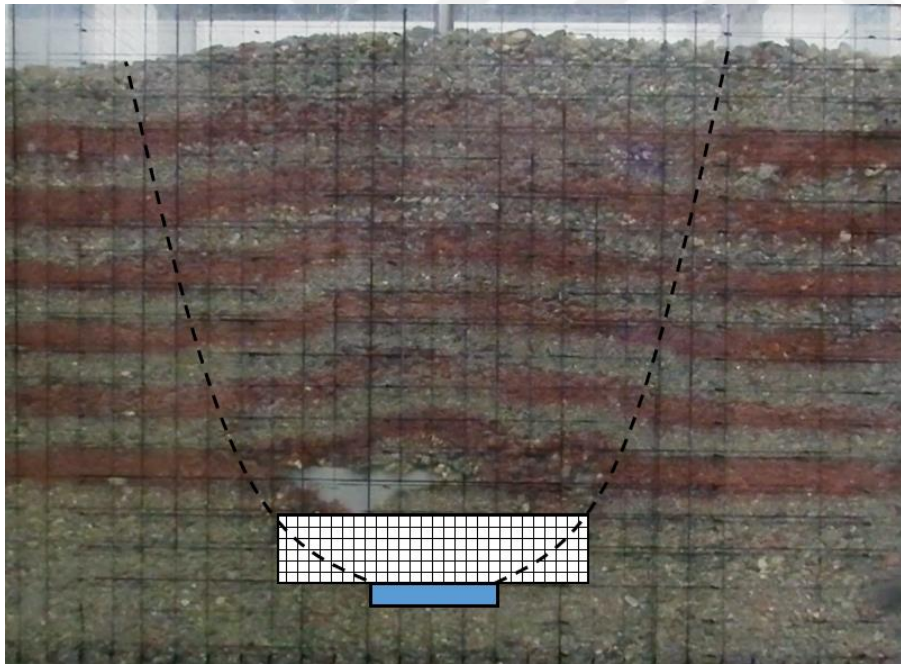


Şekil 6.49. $H/B=2.25$ $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri

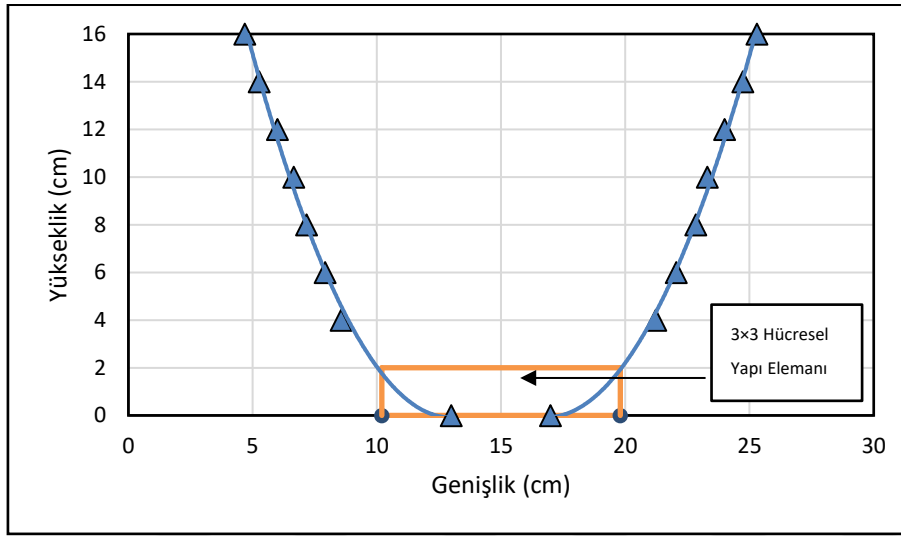


Şekil 6.50. $H/B=2.25$ $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi



Şekil 6.51. $H/B=4$ $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA hücresel eleman için gözlemlenen yenilme yüzeyi

EK-6. (devam) Minyatür olarak modellenen hücresel elemanların gözlemlenen ve ölçülen yenilme yüzeyleri



Şekil 6.52. $H/B=4$ $D_r=\%65$ olan 3×3 NPA hücresel eleman için ölçülen yenilme yüzeyi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YÜNKÜL, Kaan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 13.07.1992, Sivas
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 582 32 04
 e-mail : kaanyunkul@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2015
Lise	Sivas Selçuk Anadolu Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Yüncül, K., and Gürbüz, A. (2018). *Determination of Effect of Cellular Elements (Geocell) on the Uplift Capacity of Horizontal Anchors*. International Congress on Engineering and Architecture, ENAR 2018, Antalya, Turkey, 49-62.

Yüncül, K., ve Gürbüz, A. (2018). *Hücreli Dolguların Kullanım Alanları ve Çalışma Mekanizması*. 1. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu, ISAS 2018, Antalya, Türkiye 2, 354-360.

Hobiler

Spor yapmak, Kitap okumak, Türk ve Dünya tarihi,



GAZİ GELECEKTİR..