T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİNLERE GÖMÜLÜ ANKRAJ PLAKALARININ ÇEKME DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Bilal KORKMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Nisan - 2017

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Bilal KORKMAZ tarafından yapılan "Zeminlere Gömülü Ankraj Plakalarının Çekme Davranışlarının Sayısal Olarak İncelenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

	Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan:	Doç Dr.	M. Salih KESKİN
Üye :	Doç Dr.	Taha TAŞKIRAN
Üye :	Prof. Dr.	M. Arslan TEKİNSOY

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 21/04/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, değerli katkıları ile çalışmalarıma yön veren, destek ve ilgisini esirgemeyen danışman hocam, Doç. Dr. Mehmet Salih KESKİN'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Değerli katkılarından dolayı, Sayın Prof. Dr. Mehmet Arslan TEKİNSOY ve Sayın Doç. Dr. Taha TAŞKIRAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerini esirgemeyen, başta Arş. Gör. İbrahim Behram UĞUR olmak üzere, tüm çalışma arkadaşlarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi katkıları ile her zaman yanımda hissettiğim değerli aileme ve Dr. Seda IŞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR ..... **I**

ÖZET.. ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

ÇİZELGE LİSTESİ ..... **VI**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VII**

EKLER LİSTESİ ..... **XII**

KISALTMA VE SİMGELER ..... **XIII**

1. GİRİŞ **1**

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **3**

2.1 Kuramsal Çalışmalar 3

2.1.1 Kum Zeminlerdeki Temeller 3

2.1.2 Doygun Kil Zeminlerdeki Temeller (Ø = 0) 20

2.2 Deneysel Çalışmalar 25

2.2.1 Dickin ve Leung (1990) 25

2.2.2 Dickin ve Leung (1992) 26

2.2.3 Geddes ve Diğerleri (1996) 28

2.2.4 Ilamparuthi ve Dickin (2001) 29

2.2.5 Ilamparuti ve Diğerleri (2002) 31

2.2.6 Dash ve Pise (2003) 34

2.2.7 Patra ve Diğerleri (2004) 36

2.2.8 Dickin ve Laman (2007) 36

2.2.9 Bildik ve Laman (2011) 37

2.2.10 Niroumand ve Diğerleri (2013) 39

2.2.11 Niroumand ve Kassim (2013) 42

2.2.12 Niroumand ve Kassim (2013[1]) 44

2.2.13 Niroumand ve Kassim (2014) 44

2.2.14 Niroumand ve Kassim (2014[1]) 45

2.2.15 Keskin (2015) 46

2.2.16 Demir ve Ok (2015) 47

3. MATERYAL VE METOD **49**

3.1 Sonlu Elemanlar Analizi 50

3.1.1 Geometrik Model (PLAXIS 2D) 50

3.1.2 Malzeme Özellikleri 52

4. BULGULAR VE TARTIŞMA **57**

4.1.1 Dairesel Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = 50 cm) 58
4.1.2 Dairesel Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = 75 cm) 61
4.1.3 Dairesel Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = 100 cm) 63
4.1.4 Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = L= 50 cm) 66
4.1.5 Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = L= 75 cm) 69
4.1.6 Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = L= 100 cm) 71
4.1.7 Şekil Faktörünün Çekme Kapasitesine Etkisi 74
4.2 Göçme Mekanizması (2D) 75
4.2.1 Gömülme Derinliğinin Göçme Mekanizmasına Etkisi 75
4.2.2 Zemin Sıkılığının Göçme Mekanizmasına Etkisi 77
4.1 Analiz Sonuçlarının Çekme Kapasitesi Kuramları İle Karşılaştırılması 78
4.1.1 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=50 cm)..... 79
4.1.2 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=75 cm)..... 81
4.1.3 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=100 cm)... 83
4.1.4 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=50 cm)..... 85
4.1.5 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=75 cm)..... 86
4.1.6 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=100 cm)... 87
4.2 3 Boyutlu Modellemenin Çekme Kapasitesine Etkisi 88
4.2.1 Geometrik Model (Plaxis 3D) 88
4.2.2 Malzeme Özellikleri 89
4.2.3 B = L= 50 cm Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (Plaxis 3D) 89
4.2.4 B = L= 75 cm Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (Plaxis 3D) 90
4.2.5 B = L= 100 cm Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi(Plaxis 3D) 91
4.3 Donatılı Analizler 91
4.3.1 Geometrik Modelin Kurulması ve Malzeme Parametleri 92
4.3.2 En Uygun Donatı Paremetrelerinin Belirlenmesi 93
4.3.3 Donatılı Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 97
4.4 Donatılı Durum İçin Göçme Mekanizması (Plaxis 3D) 99
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 101
6. KAYNAKLAR 105
EKLER LİSTESİ 109
ÖZGEÇMİŞ 123

ÖZET

ZEMİNLERE GÖMÜLÜ ANKRAJ PLAKALARININ ÇEKME DAVRANIŞLARININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal KORKMAZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

Bu çalışmada, kum zemine gömülü farklı kesitteki ankraj plakalarının çekme kapasitesinin; gömülme oranı (D_f/B = 1-2-3-4-5-6-7-8), kumun sıkılık durumu (ϕ=39°- 44°) ve geogrid kullanımı koşulları altında değişimi sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılmış ve analizler, "Hardening Soil" (pekleşen zemin) malzeme modeli kullanılarak 2 ve 3 boyutlu olarak gerçekleştirilmiş ve dairesel ankraj plakalarının nümerik analiz sonuçları, Meyerhof&Adams (1968), Vesic (1971) ve Balla (1961) teorilerinden elde edilen çekme kapasitesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Plaxis programının iki boyutlu (2D) versiyonunda kare olarak modellenemeyen ve eşdeğer daireye çevirilerek eksenel-simetri koşullarında çekme kapasitesi belirlenen kare ankrajlar, Plaxis programının üç boyutlu (3D) versiyonu kullanılarak kare olarak modellenmiş ve üç boyutlu modellemenin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Üç boyutlu analizlerde, kare ankraj plakalarının, donatılı zemin içerisindeki çekme kapasitesi incelenmiş ve sonuçlar donatısız durum ile karşılaştırılmıştır. Bu analizlerde donatı olarak "Geogrid" elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında gerçekleştirilen donatısız ve donatılı analizler sonucunda, teorik olarak elde edilemeyen gerilme-deplasman dağılışları ve göçme mekanizmaları belirlenmiş ve analiz edilen durumlar için çekme kapasitesine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, çekme kapasitesinin, büyük oranda, gömülme derinliğinin artmasına bağlı olarak artış gösterdiği, sıkı zeminde çekme kapasitesinin gevşek zemin durumuna göre daha büyük değere sahip olduğu ve geogrid kullanımının çekme kapasitesini donatısız duruma göre yaklaşık %20 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Ankraj Plakası, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Çekme Kapasitesi, PLAXIS, Geogrid

ABSTRACT

NUMERICAL ANALYSIS OF UPLIFT CAPACITY BEHAVIOUR OF PLATE ANCHORS EMBEDDED IN SOILS

MSc THESIS

Bilal KORKMAZ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2017

In this study, the effect of embedment ratio (H/B=1-2-3-4-5-6-7-8), the relative density of sand (ϕ=39°-44°) and different types of the plate anchors on the uplift capacity were investigated. PLAXIS computer program was used as finite element method and analyses were performed in both 2D and 3D under the "Hardening Soil", as a material model, and the results of numerical analysis for circular anchor plates were compared with the theoretical results of Meyerhof & Adams (1968), Vesic (1971) and Balla (1961). The square anchors, which can not be modeled as square anchors in the Plaxis 2D, were modeled as circle by conversion to equivalent circle, in order to determine uplift capacity. So that the effect of dimensional change on the uplift capacity was determined by comparison with the square anchors which modeled by Plaxis 3D. Also the uplift capacity of the square anchor plates in the reinforced soil was analyzed and the results were compared with the results of non-reinforced soil model. Here is a point that the geogrid element was modeled as a reinforcement in the analyses. In addition, the effects of using reinforcement, embedment depth and the density of a soil on the failure mechanism were investigated. As a result of the study, it was observed that the uplift capacity increased substantially with the increasing embedment depth, the uplift capacity at density soil has greater value and the geogrid usage increased the uplift capacity by 20% compared with the non-reinforced condition.

Key Words: Anchor Plates, Finite Element Method, Uplift Capacity, PLAXIS, Geogrid

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No **Sayfa**

Çizelge 2.1. m katsayısının Ø 'ye bağlı değişimi (Das 2009) 10

Çizelge 2.2. Vesic'in dairesel temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009) 15

Çizelge 2.3. Vesic'in sürekli temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009) 16

Çizelge 2.4. Laboratuar deney koşulları ve zemin parametreleri (Das 2009) 19

Çizelge 2.5. Kopma faktörü F_c'nin değişimi (Ø=0 koşulu altında) (Das 2009) 20

Çizelge 3.l. Hardening Soil Model parametreleri 53

Çizelge 3.2. Plaka malzeme parametreleri 53

Çizelge 4.1. B = 50 cm çaplı dairesel ankrajın analiz planı 59

Çizelge 4.2. Çekme kapasitesi değerleri (B = 50 cm) 59

Çizelge 4.3. B = 75 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı 61

Çizelge 4.4. Çekme kapasitesi değerleri (B = 75 cm) 62

Çizelge 4.5. B = 100 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı 64

Çizelge 4.6. Çekme kapasitesi değerleri (B = 100 cm) 64

Çizelge 4.7. Eşdeğer alanlar ve hesaplanan daire çapları 66

Çizelge 4.8. B = L= 50 cm çaplı kare ankraj için analiz planı 67

Çizelge 4.9. Çekme kapasitesi değerleri (B=L=50 cm) 67

Çizelge 4.10. B=L= 75 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı 69

Çizelge 4.11. Çekme kapasitesi değerleri (B=L= 75cm) 70

Çizelge 4.12. B=L= 100 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı 72

Çizelge 4.13. Çekme kapasitesi değerleri (B=L= 100 cm) 72

Çizelge 4.14. İlk donatı tabakası derinlikleri 93

Çizelge 4.15. Donatılar arası düşey mesafe "h" 95

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No **Sayfa**

Şekil 2.1. Çekme kuvveti altındaki sığ dairesel temelin kırılma yüzeyi (Das 2009) 3

Şekil 2.2. Ø ve $\frac{D_f}{B}$ değişimlerine karşılık gelen F_1+F_3 değerleri (Das 2009) 5

Şekil 2.3. Kopma faktörünün gömülme oranı ile değişimi (Das 2009) 6

Şekil 2.4. Çekme kuvveti altında sürekli temel (Das 2009) 7

Şekil 2.5. Nominal çekme katsayının, Ø ile olan değişimi (Das 2009) 8

Şekil 2.6. $(Df/B)_{cr}$ oranının Ø 'ye bağlı değişimi (Das 2009) 10

Şekil 2.7. F_q ve (D_f/B) 'nin içsel sürtünme açısı Ø ile olan değişimi (Das 2009) 11

Şekil 2.8. Kare ve Dairesel temellerin (F_q* - Ø) değişimi (Das 2009) 12

Şekil 2.9. Vesic'in genişleyen boşluk teorisi (Das 2009) 13

Şekil 2.10. Vesic Teorisinin sığ dairesel temele uygulanması (Das 2009) 14

Şekil 2.11 Vesic'in sığ dairesel temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009) 15

Şekil 2.12. Vesic'in sürekli temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009) 16

Şekil 2.13. Saeddy'nin kopma faktörü değişim grafiği (Das 2009) 17

Şekil 2.14. Dairesel temel için deney sonuçlarının karşılaştırılması (Das 2009) 19

Şekil 2.15. Çekme yükü altında, doygun kildeki sığ temel (Das 2009) 20

Şekil 2.16. Vesic'in kopma faktörü grafiği (Das 2009) 21

Şekil 2.17. Kopma faktörünün gömülme oranı ile olan değişimi 21

Şekil 2.18. Kopma faktörünün (Fc) gömülme oranı (D_f/B) ile değişimi (Das 2009) 23

Şekil 2.19. α' - β' grafiği 24

Şekil 2.20. Santrifüj deney düzenek şeması (Dickin ve Leung 1990) 26

Şekil 2.21. Çan kazığı (Dickin ve Leung 1992) 26

Şekil 2.22. Gevşek kumda, çekme yükü- deplasman değişimi (Dickin ve Leung 1992) 27

Şekil 2.23. Sıkı kumda, çekme yükü- deplasman değişimi (Dickin ve Leung 1992) 27

Şekil 2.24. Deney düzeneği şeması (Geddes ve ark. 1996) 28

Şekil 2.25. Grup verimi – S/B ilişkisi (Geddes ve ark. 1996) 29

Şekil 2.26. Grup verimi – S/B ilişkisi (Geddes ve ark. 1996) 29

Şekil 2.27. Deney şeması (Ilamparuti ve Dickin 2001) 30

Şekil 2.28. Çekme kapasitesi değişimi (Ilamparuti ve Dickin 2001) 31

Şekil 2.29. Sığ ankrajın kırılma yüzeyi (Ilamparuti ve ark. 2002) 32

Şekil 2.30. Derin ankrajın kırılma yüzeyi (Ilamparuti ve ark. 2002) 33

Şekil 2.31. Kopma faktörü – gömülme oranı (H/D) (Ilamparuti ve ark. 2002) 34

Şekil 2.32 Nihai çekme kapasitesinin değişimi (Gevşek Kum) (Dash ve Pise 2003) 35

Şekil 2.33. Nihai çekme kapasitesinin değişimi (Sıkı Kum) (Dash ve Pise 2003) 35

Şekil 2.34. Sıkı kumda kopma faktörünün karşılaştırılması (Dickin ve Laman 2007) 36

Şekil 2.35. Gevşek kumda kopma faktörünün karşılaştırılması (Dickin ve Laman 2007) 37

Şekil 2.36. Deney düzeneği (Bildik ve Laman 2011) 37

Şekil 2.37. Deney düzenek şeması (Bildik ve Laman 2011) 38

Şekil 2.38. Sıkı kumda kopma faktörü (Bildik ve Laman 2011) 39

Şekil 2.39. Gevşek kumda kopma faktörü (Bildik ve Laman 2011) 39

Şekil 2.40. Gevşek kumda, dairesel ankrajın sonuçları (Niroumand ve Diğ. 2013) 41

Şekil 2.41. Sıkı kumda, dairesel ankrajın sonuçları (Niroumand ve Diğ. 2013) 41

Şekil 2.42. Düzensiz ankrajın dönme adımları (Niroumand ve Kassim 2013) 42

Şekil 2.43. Düzensiz biçimli ankrajın şeması (Niroumand ve Kassim 2013) 43

Şekil 2.44. Çekme kapasitelerinin kıyaslanması (Niroumand ve Diğerleri 2014) 45

Şekil 2.45. Çekme kapasitelerinin kıyaslanması (Niroumand ve Diğerleri 2014[1]) 45

Şekil 2.46. Deney düzenek şeması (Keskin 2015)[1] 46

Şekil 2.47. Helisel ankraj (Demir ve Ok 2015) 48

Şekil 3.1. Sürekli sistemin sonlu elemanlara ayrılması (Keskin 2009) 49

Şekil.3.2. 2D model geometrisi (D_f = 8B) 51

Şekil 3.3. Donatılı zemin modeli (D_f = 5B) 52

Şekil 3.4. Sonlu elemanlar ağı (2D) 54

Şekil 3.5. Başlangıç gerilmeleri 55

Şekil 4.1. Taşıma gücü belirleme yöntemleri (Cerato 2005) (Keskin 2009) 58

Şekil 4.2. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B = 50 cm) 60

Şekil 4.3. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B = 50 cm) 60

Şekil 4.4. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B = 75 cm) 62

Şekil 4.5. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B = 75 cm) 63

Şekil 4.6. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B = 100 cm) 65

Şekil 4.7. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B = 100 cm) 65

Şekil 4.8. Şekil değiştirme durumları (Plaxis Manuel 2002) 66

Şekil 4.9. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 50 cm) 68

Şekil 4.10. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 50 cm) 68

Şekil 4.11. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 75cm) 70

Şekil 4.12. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 75cm) 71

Şekil 4.13. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B=L=100 cm) 73

Şekil 4.14. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 100 cm) 73

Şekil 4.15. Şekil faktörünün çekme kapasitesine etkisi (Gevşek Durum) 74

Şekil 4.16. Şekil faktörünün çekme kapasitesine etkisi (Sıkı Durum) 75

Şekil 4.17. Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=100 cm – Gevşek Zemin) 76

Şekil 4.18. Kare ankrajın göçme mekanizması (B=50 cm – Sıkı Zemin) 76

Şekil 4.19. Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=100 cm - D_f = 5B) 77

Şekil 4.20. Kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm - D_f = 5B) 78

Şekil 4.21. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 50 cm / MC Model) 79

Şekil 4.22. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 50 cm / HS Model) 80

Şekil 4.23. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 75 cm / MC Model) 81

Şekil 4.24. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 75 cm / HS Model) 82

Şekil 4.25. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 100 cm / MC Model) 83

Şekil 4.26. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 100 cm / HS Model) 84

Şekil 4.27. Dairesel ankrajın Balla teorisi ile karşılaştırılması (B = 50 cm) 85

Şekil 4.28. Dairesel ankrajın Balla teorisi ile karşılaştırılması (B = 75 cm) 86

Şekil 4.29. Dairesel ankrajın Balla teorisi ile karşılaştırılması (B = 100 cm) 87

Şekil 4.30. Kare ankrajın 3.D model geometrisi (D_f = 1B) 88

Şekil 4.31. Kare ankraj plakasının çekme kapasitesi (B=L=50cm) 89

Şekil 4.32. Kare ankraj plakasının çekme kapasitesi (B=L=75cm) 90

Şekil 4.33. Kare ankraj plakasının çekme kapasitesi (B=L=100cm) 91

Şekil 4.34. Donatılı zeminde kare ankrajın model geometrisi (D_f = 5B) 92

Şekil 4.35. Model geometrisinin şematik gösterimi (D_f = 5B) 93

Şekil 4.36. İlk donatı tabakası derinliklerine göre çekme kapasitesi (D_f = 5B) 94

Şekil 4.37. Çekme kapasitesi – u/B grafiği (D_f = 5B) 94

Şekil **4.38.** Donatılar arası düşey mesafenin çekme kapasitesine etkisi (D_f =5B) 95

Şekil 4.39. Çekme Kapasitesi - L/B ilişkisi (D_f =5B) 96

Şekil 4.40. Donatı uzunluğunun çekme kapasitesine etkisi (D_f =5B) 96

Şekil 4.41. Donatısı sayısının çekme kapasitesine etkisi (D_f =5B) 97

Şekil 4.42. Donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisi (B=L=50 cm - D_f =5B) 98

Şekil 4.43. Donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisi (B=L=75 cm - D_f =5B) 98

Şekil 4.44. Donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisi (B=L=100 cm - D_f =5B) 99

Şekil 4.45. Sıkı ve donatılı zeminde kare ankrajın göçme mekanizması (D_f=5B) 100

Şekil 4.46. Sıkı ve donatısız zeminde kare ankrajın göçme mekanizması (D_f=5B) 100

EKLER LİSTESİ

Ek No		Sayfa
EK 1.	Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=50 cm-Sıkı Zemin-D_f=3B)	109
EK 2.	Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=8B)	110
EK 3.	Kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=2B)	111
EK 4.	Kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm-Gevşek Zemin-D_f=6B)	112
EK 5.	Dairesel ankrajın kayma kontur eğrileri (B=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=1B)	113
EK 6.	Kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=8B)	114
EK 7.	Donatısız kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=75 cm-Sıkı Zemin-D_f=3B)	115
EK 8.	Donatısız kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm-Gevşek Zemin-D_f=7B)	116
EK 9.	Donatısız kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=1B)	117
EK 10.	Donatısız kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=5B)	118
EK 11.	Donatılı kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm-Sıkı Zemin-D_f=5B)	119
EK 12.	Donatılı kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=5B)	120
EK 13.	Donatılı kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=5B)	121
EK 14.	Donatılı kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=50 cm-Gevşek Zemin-D_f=5B)	122

KISALTMA VE SİMGELER

A	: Temel Alanı
B	: Sığ dairesel temel çapı
c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
D_f	: Sığ temel gömülme derinliği
D_r	: Kumun rölatif sıkılığı
D_f/B	: Gömülme oranı
$(D_f/B)_{cr}$	: Sığ temel kritik gömülme oranı
E_s	: Zemin elastisite modülü
E_{oed}	: Odometre yükleme rijitliği
E_{ur}	: Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği
E_{50}	: Üç eksenli yükleme rijitliği
F_c	: Kil zeminlerin kopma faktörü
K_0	: Sukünetteki yanal basınç katsayısı
F_q	: Kopma faktörü
K_u	: Nominal çekme katsayısı
m	: Zemin sürtünme açısına bağlı bir katsayı
n	: Kopma faktörü sabiti
P_o	: Vesic'in (1965) önerdiği temel çekme kapasitesi
P_1	: İlave zemin basıncı
p^{ref}	: Referans basınç değeri
Q_u	: Temel çekme yükü

R_f : Göçme oranı

r : Yenilme yayının yarıçapı

W : Temel ve zemin ağırlığı

α : Kırılma yüzeyi ile zemin yüzeyi arasında oluşan açı

Ø : İçsel sürtünme açısı

γ_{doy} : Doygun birim hacim ağırlık

γ_n : Doğal birim hacim ağırlığı

γ_k : Kuru birim hacim ağırlık

Ψ : Dilatasyon açısı

μ : Sıkışma faktörü

ν : Poisson oranı

1. GİRİŞ

Temel sistemleri, yaygın olarak, yapı ağırlığından ve üzerindeki örtü zemin yüklerinden kaynaklı büyük basınç gerilmeleri altında servis ömürlerini geçirmektedirler. Ancak yapının kullanım amacı, mimarisi ve konumuna bağlı olarak, servis ömrü boyunca, hem yapının kendisi hem de taşıyıcı sistemi, çekme kuvvetlerine ve devirme momentlerine maruz kalabilmektedir. Gelişen yapı teknolojilerinin inşasını mümkün kıldığı yüksek yapılar, rıhtım yapıları, petrol çıkarma platformları, petrol ve doğalgaz iletim hatları, haberleşme kuleleri, reklam panoları taşıyan direkler, deniz üst ve alt yapıları vb. özel yapıların projelendirilmesinde çekme kuvvetleri ve devirme momentleri dikkate alınarak hesaplar yapılmalıdır.

Ankraj plakaları ile oluşturulan temel sistemleri ile desteklenen yapılarda, plakanın çekme yükleri altında davranışını ve çekme kapasitesini etkileyen faktörleri belirlemek, yapının servis ömrü boyunca daha efektif çalışabilmesi açısından önemlidir. Geoteknik mühendisliğinde, temellerin çekme kapasitesi üzerine deneysel ve teorik çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle, ankraj plakaları veya çan kazıkları kullanılarak yapılan model laboratuar deneyler, çekme davranışını anlamada ve bu davranışı etkileyen faktörleri belirlemede faydalı olmuştur.

Genel olarak bir ankraj plakasının çekme kapasitesi, ankrajın kendi ağırlığı, kırılma yüzeyi boyunca oluşan sürtünme kuvveti ve bu yüzey içinde kalan zemin ağırlığının toplamı olarak ifade edilmektedir (Keskin 2015).

Bu çalışmada, kum zemine gömülü farklı ankraj tiplerinin çekme kapasitesinin; gömülme oranı (Df/B = 1-2-3-4-5-6-7-8), kumun sıkılık durumu (ϕ=39°- 44°), donatı kullanımı gibi koşullar altında değişimi, sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılmış ve analizler, “Hardening Soil” (pekleşen zemin) malzeme modeli kullanılarak 2 ve 3 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Dairesel ankraj plakalarının nümerik analiz sonuçları, Meyerhof&Adams (1968), Vesic (1971) ve Balla (1961) kuramlarından elde edilen çekme kapasitesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Plaxis programının iki boyutlu (2D) versiyonunda kare olarak modellenemeyen ve eşdeğer daireye çevirilerek eksenel-simetri koşullarında çekme kapasitesi belirlenen kare ankrajlar, Plaxis programının üç boyutlu (3D) versiyonu kullanılarak kare olarak modellenmiş ve üç boyutlu

modellemenin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Üç boyutlu analizlerde, kare ankraj plakalarının, donatılı zemin içerisindeki çekme kapasitesi incelenmiş ve sonuçlar donatısız durum ile karşılaştırılmıştır. Bu analizlerde donatı olarak "Geogrid" elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında gerçekleştirilen donatısız ve donatılı analizler sonucunda, kuramsal olarak elde edilemeyen gerilme-deplasman dağılışları ve göçme mekanizmaları belirlenmiş ve analiz edilen durumlar için, çekme kapasitesine etkileri incelenmiştir. Çalışma özetle giriş bölümünden sonra;

2. bölümde; konu ile ilgili deneysel ve teorik çalışmaları konu edinen geniş literatür çalışmasını,

3. bölümde; çalışmada kullanılan sonlu elemanlar yöntemine ait kuramını ve analizlerde kullanılan modellerin detaylı olarak gösterimini,

4. bölümde; analizler sonucunda elde edilen bulgular,

5. bölümde; elde edilen bulgular ışığında, sonuç ve öneriler kısmını,

kapsamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, yüzeysel (sığ) temellerin maruz kaldığı çekme kuvvetleri üzerine gerçekleştirilmiş olan kuramsal ve deneysel çalışmalara değinilmiştir.

2.1 Kuramsal Çalışmalar

Kum ve kil zeminlere inşa edilen temellerin nihai çekme kapasitesinin belirlenmesi amacıyla çeşitli kuramlar geliştirilmiştir. Bu kuramlar;

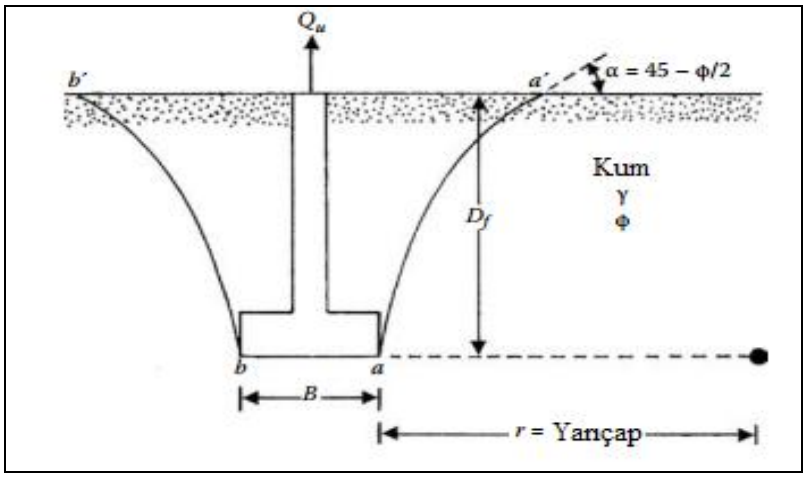
- Kum zeminlerdeki temeller
- Doymuş kil zeminlerdeki temeller (Ø = 0)

olmak üzere 2 başlık altında ele alınacaktır.

2.1.1 Kum Zeminlerdeki Temeller

2.1.1.1 Balla Kuramı (1961)

Balla (1961), sıkı zeminler üzerine yaptığı çeşitli model ve arazi deneyleri sonucunda, sığ dairesel temeller için kırılma yüzeyi ve mekaniğinin Şekil 2.1 'deki gibi olacağını ileri sürmüştür (Das 2009).



Şekil 2.1. Çekme kuvveti altındaki sığ dairesel temelin kırılma yüzeyi (Das 2009)

Çekme kuvveti altında kırılma yüzeyi, şekilde görüldüğü gibi r yarıçaplı daire olup, aa' ve bb' eğrileri dairenin yaylarını göstermektedir. Kırılma yüzeyi ile zemin üst yüzeyi arasında oluşan açı,

$$\alpha = 45 - \frac{Ø}{2} \tag{2.1}$$

ve dairenin yarıçapı da

$$r = \frac{D_f}{\sin(45 + \frac{Ø}{2})} \tag{2.2}$$

şeklindedir.

Burada, temelin nihai çekme kapasitesi, iki bileşenin toplamından oluşmaktadır. Bunlar;

a) Zeminin ağırlığı ve kırılma yüzeyi içinde kalan temelin ağırlığı

b) Kırılma yüzeyi boyunca oluşan kayma dayanımı

Böylece, "temel ile zeminin birim hacim ağırlıkları yaklaşık olarak eşittir" kabulü altında, Balla (1961) aşağıdaki eşitlik ile temelin nihai çekme kapasitesini Q_u, belirlemiştir (Das 2009).

$$Q_u = {D_f}^3 . \gamma . [F_1(Ø, \frac{D_f}{B}) + F_3(Ø, \frac{D_f}{B})] \tag{2.3}$$

Eşitlikte;

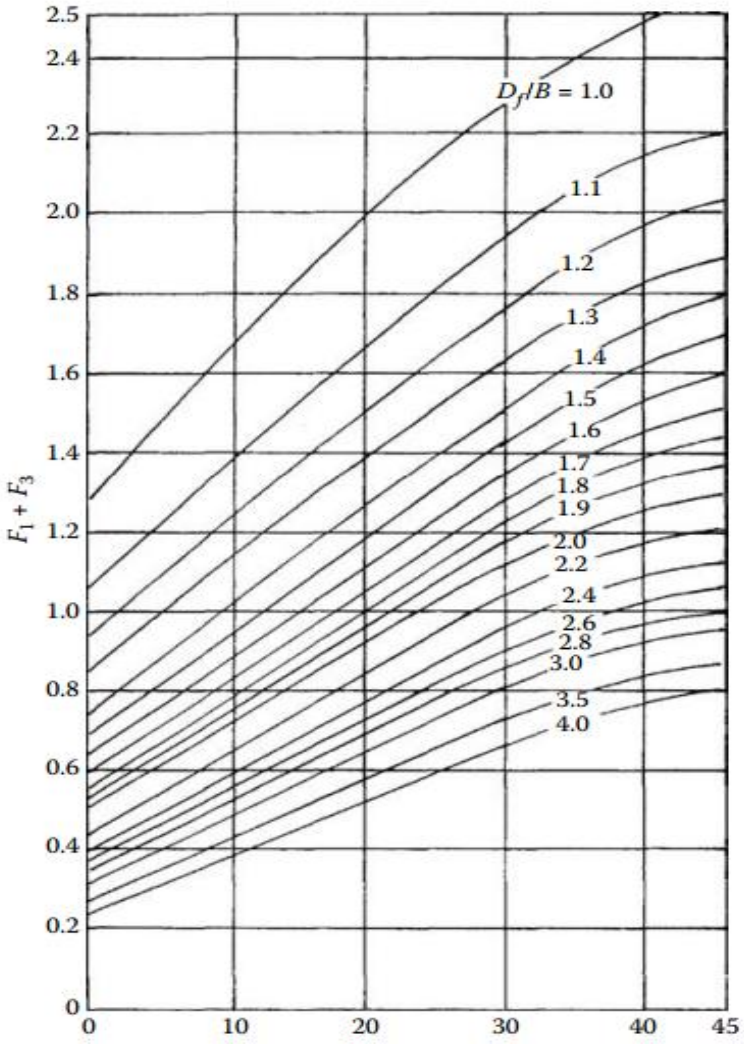
γ : Zeminin ve temelin birim hacim ağırlığı,

Ø: Zeminin içsel sürtünme açısı,

B: Sığ dairesel temelin çapını,

D_f: Gömülme derinliğini,

ifade etmekte ve Şekil 2.2. 'de grafik, farklı $\frac{D_f}{B}$ oranları ve Ø açılarına karşılık, $F_1(Ø, D_f/B) + F_3(Ø, D_f/B)$ toplamlarını vermektedir.



Şekil 2.2. Ø ve $\frac{D_f}{B}$ değişimlerine karşılık gelen F_1+F_3 değerleri (Das 2009)

Genel olarak, $\frac{D_f}{B} \leq 5$ durumunda, sıkı kuma inşaa edilen temelin nihai çekme kapasitesi, bu kuram ile oldukça uyumlu sonuçlar vermektedir. Ancak, gevşek ve orta sıkılıktaki kumlarda inşaa edilen temellere ait çekme kapasitelerini, olduğundan daha büyük vermektedir (Das 2009). Bu durum, güvenli bölgede kalmak açısından olumlu görünse de maliyet açısından olumsuzdur.

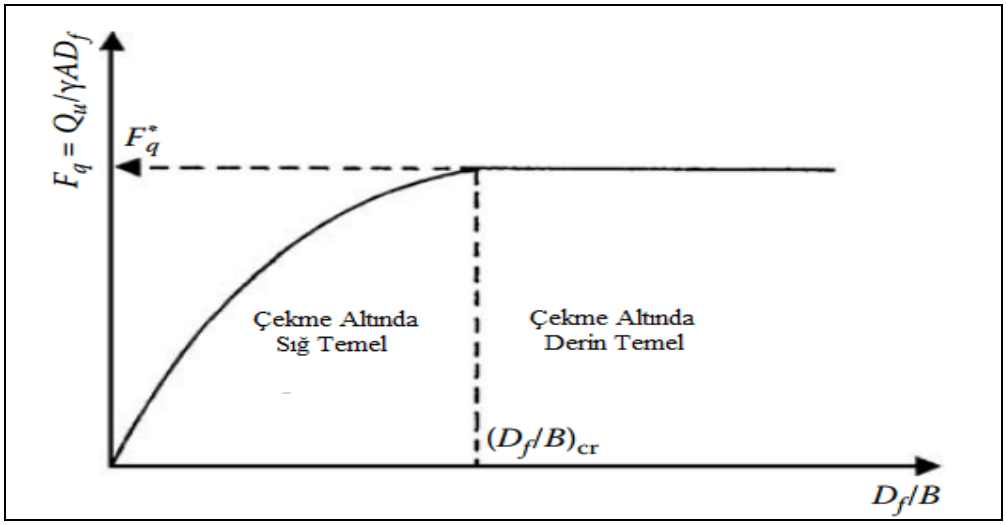
Balla (1961) kuramı sıkı, orta ve gevşek kum için $\frac{D_f}{B} > 5$ olduğu durumlarda, temelin nihai çekme kapasitesini, olduğundan daha büyük vermektedir. Bunun nedeni,

$\frac{D_f}{B}$ oranının 5'ten büyük olmasının, derin temel koşulu olup, kırılma yüzeyinin zemin üst yüzeyine ulaşamamasıdır (Das 2009).

Derin temel koşuluna ulaşıldığı andaki gömülme derinliğini belirlemenin en basit yolu, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, boyutsuz bir değişken olan kopma faktörü F_q değerine karşılık $\frac{D_f}{B}$ grafiğini çizmektir. Burada kopma faktörü F_q, A temel kesit alanı olmak üzere;

$$Fq = \frac{Q_u}{\gamma . A . D_f} \tag{2.4}$$

şeklinde belirlenir.



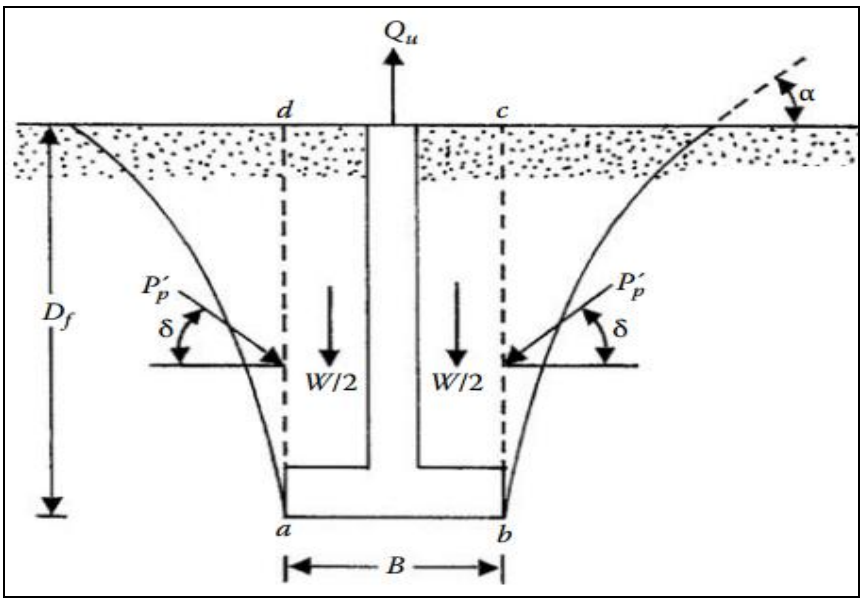
Şekil 2.3. Kopma faktörünün gömülme oranı ile değişimi (Das 2009)

Şekil 2.3'ten de görüldüğü gibi, $D_f/B = (D_f/B)_{cr}$ noktasına kadar, kopma faktörü Fq artmakta ve bu artış Fq= Fq* maksimum değerine kadar devam etmektedir. Bu değerden sonra, artan gömülme oranına rağmen Fq değeri pratik olarak sabit ve Fq* değerine eşit kabul edilmektedir (Das 2009).

2.1.1.2 Meyerhof ve Adams Kuramı (1968)

Sığ temeller için çekme kapasitesinin belirlenmesinde, Meyerhof ve Adams kuramı en gerçekçi yöntemlerden birisidir. Şekil 2.4'te B genişlikli, çekme kuvvetine

maruz, sürekli bir temel için, birim genişliğe gelen nihai çekme kapasitesi Q_u ve kırılma yüzeyinin zemin üst yüzü ile yaptığı açı α olarak gösterilmiştir. α açısının büyüklüğü, relatif kompaksiyon ve $(90° - \frac{Ø}{3})$ - $(90° - \frac{2Ø}{3})$ aralığında değişen zemin içsel sürtünme açısı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Das 2009).



Şekil 2.4. Çekme kuvveti altında sürekli temel (Das 2009)

Şekil 2.4'te abcd bölgesinin, statik açıdan, serbest cisim diyagramı ele alındığında, zemin ve temelin ağırlığı W, ad ve cb yüzeylerine etkiyen, yatayla δ açısı yapan pasif toprak basıncı da P_p' olarak gösterilir. Burada, δ açısı $\frac{2Ø}{3}$'e , α açısı ortalama değer olarak $90 - \frac{Ø}{2}$' ye ve zemin ile temelin birim hacim ağırlıklarının eşit olduğu, kabulleri altında;

$$W=\gamma.D_f.B \qquad (2.5)$$

$$P_p'=\frac{P_h'}{\cos\delta}=\frac{1}{2}x\frac{1}{\cos\delta}x(K_{ph}.\gamma.{D_f}^2) \qquad (2.6)$$

olarak yazılır.

P_h': Pasif toprak basıncının yatay bileşeni

K_{ph} : Pasif toprak basıncı katsayısının yatay bileşeni

Serbest cisim diyagramında, Σ Fy = 0 yazılarak,

$$Q_u = W + K_{ph}.\gamma.D_f^{\,2}.\tan\delta \qquad (2.7)$$

elde edilir.

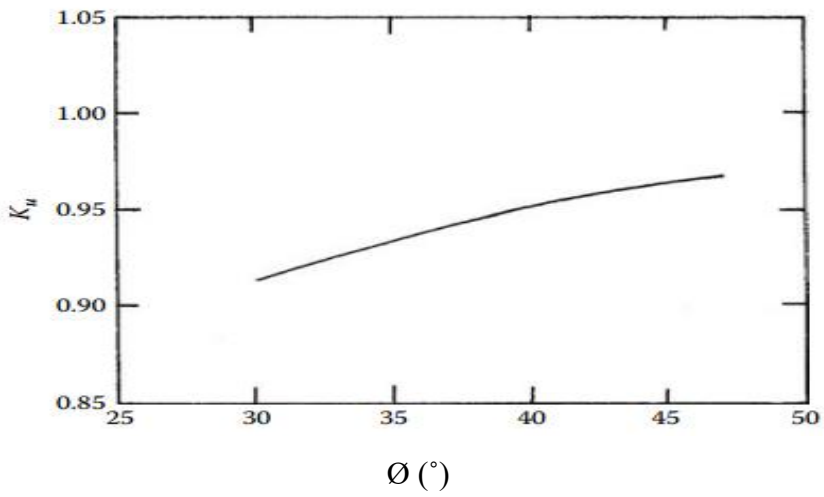
K_u, nominal çekme katsayısını göstermek üzere,

$K_u.\tan\emptyset = K_{ph}.\gamma.\tan\delta$ ilişkisi vardır (Caquot ve Kerisel (1949)).

Böylece 2.7 eşitliği;

$$Q_u = W + K_u.\gamma.D_f^{\,2}.\tan\emptyset \qquad (2.8)$$

şeklinde yazılarak, temelin nihai çekme kapasitesi belirlenir. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi K_u katsayısının, Ø ile olan değişimi gösterilmiştir. İçsel sürtünme açısının 30˚ ile 48˚ arasındaki tüm değerler için K_u = 0,95 alınabileceği ifade edilmiştir (Das 2009).



Şekil 2.5. Nominal çekme katsayının, Ø ile olan değişimi (Das 2009)

B genişlikli sürekli temelin nihai çekme kapasitesi, boyutsuz değişken olan kopma faktörü (F_q) cinsinden yazılırsa;

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma.A.D_f} \qquad (2.9)$$

ifadesini kullanabileceği gibi, (2.8) eşitliği yerine yazılarak,

$$F_q = \frac{W + K_u.\gamma.D_f^{\,2}.\tan\phi}{\gamma.A.D_f} = 1 + Ku.(D_f/B).\tan Ø \qquad (2.10)$$

birim uzunluğa gelen kopma faktörü belirlenir.

Dairesel temeller için de, 2.8 eşitliği aşağıdaki gibi düzenlenir:

$$Q_u = W + \frac{\pi}{2}.S_F.\gamma.B.D_f^{\,2}.K_u.\tan\phi \qquad (2.11)$$

W: Dairesel temel ile zeminin ağırlığı

B : Dairenin çapı

S_F : Şekil faktörü olup, $S_F = 1+m.(D_f/B)$ eşitliği ile hesaplanır.

Şekil faktörü, (2.11) eşitliğinde yerine yazılıp, dairesel temelin nihai çekme kapasitesi,

$$Q_u = \frac{\pi}{4}.B^2.D_f.\gamma + \frac{\pi}{2}.[1 + m.(\frac{D_f}{B})].\gamma.B.D_f^{\,2}.K_u.\tan\phi \qquad (2.12)$$

olarak elde edilir.

Dairesel temel için kopma faktörü de;

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma.A.D_f} = 1 + 2.[1+m.(\frac{D_f}{B})].(\frac{D_f}{B}).K_u.\tan Ø \qquad (2.13)$$

olarak belirlenir.

Benzer şekilde, BxL ebatlarındaki dikdörtgen temelin nihai çekme kapasitesi Q_u, (2.12) eşitliğindeki şekil faktörü dikdörtgen için düzenlenerek;

$$Q_u = B.L.D_f.\gamma + \gamma.D_f^{\,2}.\{2.[1+m.(\frac{D_f}{B})].B + L-B\}.K_u.\tan Ø \qquad (2.14)$$

elde edilir.

Dikdörtgen temelin kopma faktörü de;

$$F_q = \frac{Q_u}{B.L.D_f.\gamma} = 1+\{[1+2m.(\frac{D_f}{B})].(\frac{B}{L})+1\}.(\frac{D_f}{B}).K_u.\tan\text{Ø} \quad (2.15)$$

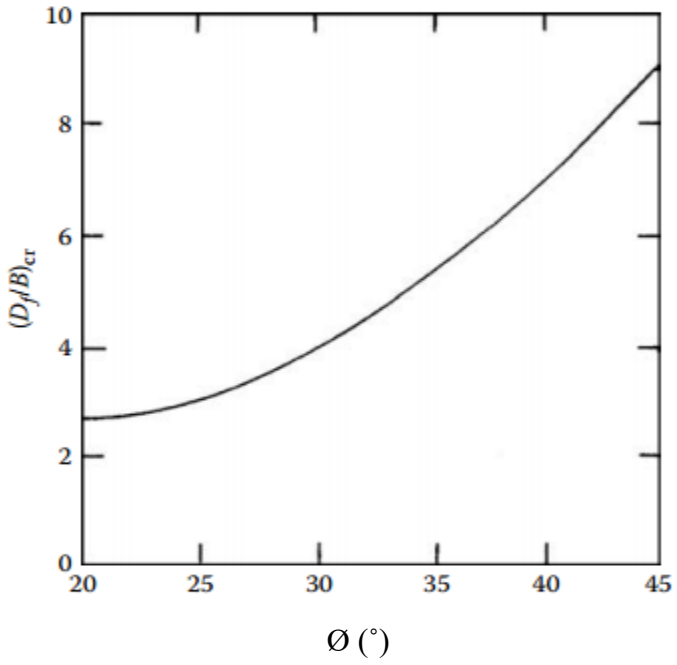
olarak yazılır.

Denklemlerde m olarak geçen ve zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişen katsayının değişimi, yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. m katsayısının Ø 'ye bağlı değişimi (Das 2009)

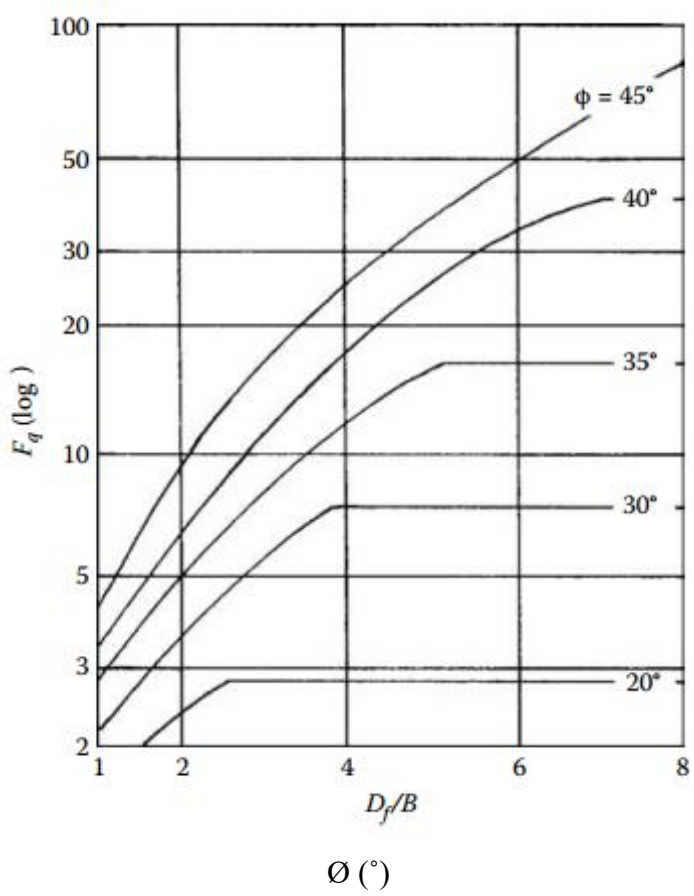
İçsel Sürtünme Açısı (Ø)	m
20	0,05
25	0,1
30	0,15
35	0,25
40	0,35
45	0,5
48	0,6

Meyerhof ve Adams (1968), kare ve dairesel temellerin $(Df/B)_{cr}$ oranlarının içsel sürtünme açısına (Ø) göre değişimlerinin Şekil 2.6' daki gibi olacağını önermiştir.



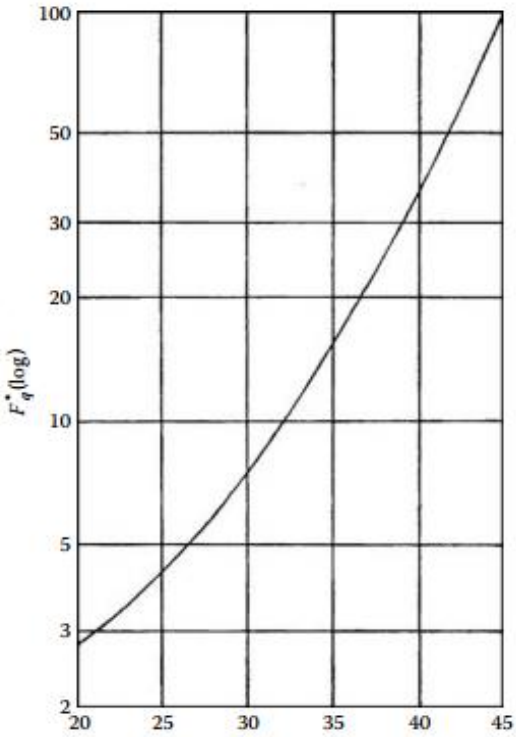
Şekil 2.6. $(Df/B)_{cr}$ oranının Ø 'ye bağlı değişimi (Das 2009)

Gömülme oranı, (D_f/B), kritik $(D_f/B)_{cr}$ 'ye eşit olduğu anda, kopma faktörü maksimum değerine ulaşır ($F_q=F_q^*$). Gömülme oranı, $(D_f/B)_{cr}$ 'yi aştığı durumlarda, kopma faktörü F_q^* olarak sabit kalır. F_q ve (D_f/B) 'nin içsel sürtünme açısı Ø ile olan değişimi Şekil 2.7 'de gösterilmiştir. Ayrıca maksimum kopma faktörünün (F_q^*), Ø ile değişimi de Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Ø (˚)

Şekil 2.7. F_q ve (D_f/B) 'nin içsel sürtünme açısı Ø ile olan değişimi (Das 2009)



Şekil 2.8. Kare ve Dairesel temellerin (F_q* - Ø) değişimi (Das 2009)

Deneysel çalışmalar sonucunda, kritik gömülme oranı $(D_f/B)_{cr}$, (L/B) oranı ile artış göstermektedir. Ayrıca Meyerhof (1973), belirli bir Ø değeri için,

$$\frac{(\frac{Df}{B})_{cr-sürekli}}{(\frac{Df}{B})_{cr-kare}} = 1{,}5 \tag{2.16}$$

olduğunu belirlemiştir.

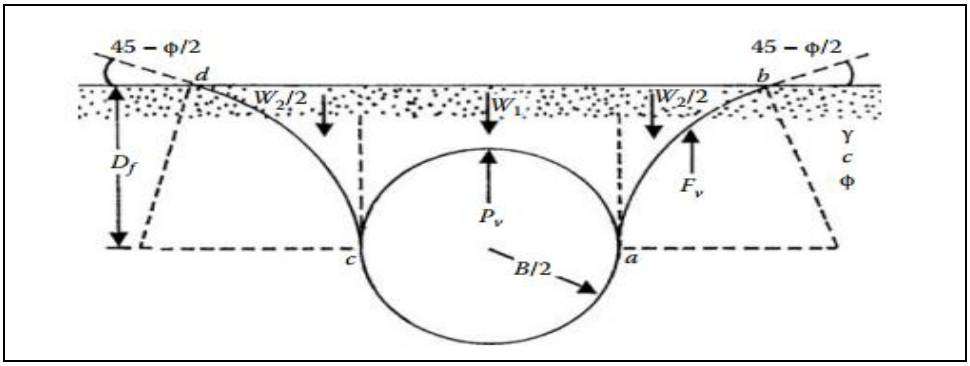
Öte yandan Das ve Jones (1982), laboratuar deneylerine dayanarak, dikdörtgen temellerin kirik gömülme oranı için, aşağıdaki ampirik bağıntıyı vermiştir.

$$(\frac{Df}{B})_{cr-dikd.} = (\frac{Df}{B})_{cr-kare} \times [0{,}133 \times (\frac{L}{B}) + 0{,}867] \leq 1{,}4 \times (\frac{Df}{B})_{cr-dikd.} \tag{2.17}$$

2.1.1.3 Vesic Kuramı (1971)

Vesic (1971); yarı sonsuz, homojen, izotropik bir katının (zemin) yüzeyine yakın, küresel boşluğun noktasal göçme yükü altındaki genişleme problemi üzerine çalışmıştır. Şekil 2.9 'dan görülebileceği üzere, gömülme oranı D_f 'in yeterince küçük

olduğu değerde, boşluğun üzerinde, zemini kesen nihai bir P_o kayma basıncı oluşur. Bu anda, küresel boşluğun çapı B olup, dc ve ab kayma yüzeyleri, küresel boşluğun a ve c noktalarında teğet oluşturur. Kırılma yüzeyinin, zemin üst yüzeyi ile yapacağı açı $\alpha = 45 - \frac{Ø}{2}$ olacaktır.



Şekil 2.9. Vesic'in genişleyen boşluk teorisi (Das 2009)

Şekil 2.9' da düşey yönde $\Sigma F_y = 0$ denge denklemi yazılarak, boşluğun nihai basıncı P_o belirlenebilir.

Killi ve granüler bir zemin için (c-Ø zemini) P_o;

$$P_o = c.\bar{F}_c + \gamma.D_f.\bar{F}_q \qquad (2.18)$$

Burada, $\bar{F}_c$ ve $\bar{F}_q$ aşağıdaki gibi olup; A1, A2, A3 ve A4 katsayıları da içsel sürtünme açısının fonksiyonlarıdır.

$$\bar{F}_c = 1.0 - \frac{3}{2}[\frac{(\frac{B}{2})}{D_f}] + A_1[\frac{D_f}{(\frac{B}{2})}] + A_2[\frac{D_f}{(\frac{B}{2})}]^2 \qquad (2.19)$$

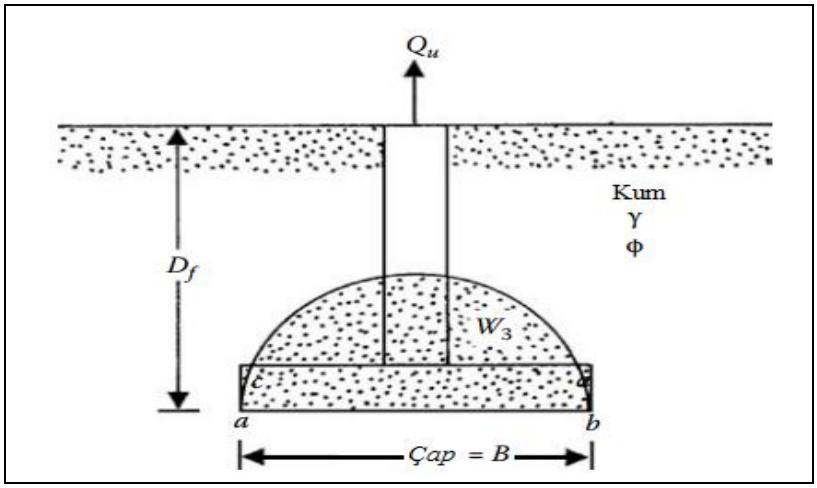
$$\bar{F}_q = A_3[\frac{D_f}{(\frac{B}{2})}] + A_4[\frac{D_f}{(\frac{B}{2})}] \qquad (2.20)$$

Granüler bir zemin için (c=0) P_o;

$$P_o = \gamma.D_f.\bar{F}_q \qquad (2.21)$$

olarak yazılmaktadır.

Vesic (1971), bu kuramını, sığ dairesel bir temelin nihai çekme kapasitesini bulmak üzere, Şekil 2.10'da gösterilen, D_f gömülme derinliğine sahip, B çaplı bir dairesel temele uygulamıştır (Das 2009).



Şekil 2.10. Vesic Teorisinin sığ dairesel temele uygulanması (Das 2009)

Zemin ile temelin birim hacim ağırlıkları, yaklaşık olarak, eşit ve yarı küresel boşluğun zeminle dolup, W_3 ağırlığını oluşturacağı kabulleri altında;

$$W_3 = \frac{2}{3} \times \pi \times (\frac{B}{2})^3 \times \gamma \tag{2.22}$$

şeklinde belirlemiştir.

Yarı küresel boşluğun dolup W_3 ağırlığını oluşturcağı varsayımı, var olan P_o basıncını P_1 kadar arttıracaktır. P_1 ;

$$P_1 = \frac{2}{3} \pi (\frac{B}{2}) \tag{2.23}$$

Eğer sığ dairesel temel, granüler bir zemine gömülü ise, (2.23) eşitliğine P_1 basıncı eklenmelidir. Böylece ;

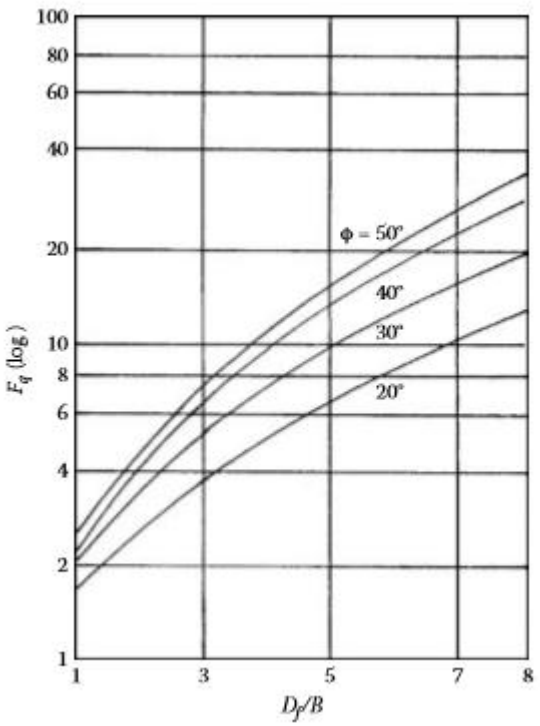
$$q_u = \frac{Q_u}{A} = \frac{Q_u}{\frac{\pi}{2} \times B^2} = p_o + p_1 = \gamma \times D_f \times \{1 + A_1 \times [\frac{D_f}{(\frac{B}{2})}] + A_2 \times [\frac{D_f}{(\frac{B}{2})}]^2\} = \gamma \times D_f \times F_{q\ \text{Kopma Fak.}} \tag{2.24}$$

olarak bulunur.

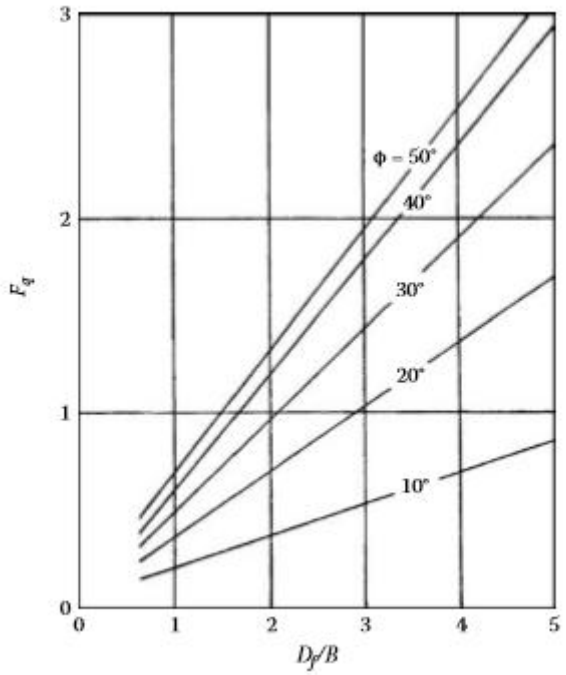
Çizelge 2.2 ‘de ve Şekil 2.11’ de, sığ dairesel temeller için, kopma faktörünün (F_q) değişimi verilmiştir. Ayrıca Vesic (1971), uzun silindir boşlukların genişleme örneklemesini kullanarak, kopma faktörünün değişimini belirlemiştir. Kopma faktörünün değerleri, Şekil 2.12 ve çizelge 2.3 ‘te gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Vesic’in dairesel temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009)

İçsel Sürtünme Açısı Ø (˚)	D_f/B				
	0,5	1	1,5	2,5	5
0	1	1	1	1	1
10	1,18	1,37	1,59	2,08	3,67
20	1,36	1,75	2,2	3,25	6,71
30	1,52	2,11	2,79	4,41	9,89
40	1,65	2,41	3,3	5,43	13
50	1,73	2,61	3,56	6,27	15,7



Şekil 2.11 Vesic’in sığ dairesel temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009)



Şekil 2.12. Vesic'in sürekli temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009)

Çizelge 2.3. Vesic'in sürekli temeller için kopma faktörü değişimi (Das 2009)

İçsel Sürtünme Açısı Ø (˚)	D_f/B				
	0,5	1	1,5	2,5	5
0	1	1	1	1	1
10	1,09	1,16	1,25	1,42	1,83
20	1,17	1,33	1,49	1,83	2,65
30	1,24	1,47	1,71	2,19	3,38
40	1,3	1,58	1,87	2,46	3,91
50	1,32	1,64	2,04	2,6	4,2

2.1.1.4 Saeddy Kuramı (1987)

Saeddy (1987), kuma gömülü dairesel temellerin nihai çekme kapasitesini belirlemek üzere, kırılma yüzeyinin logaritmik bir spiralin yayları şeklinde olacağını kabul ettiği bir kuram önermiştir. Buna göre, sığ temellerde kırılma yüzeyinin zemin yüzeyine ulaşacağını ve derin temellerde ($D_f > D_{f\ (cr)}$) ise kırılma yüzeyinin kiritik gömülme derinliğine ($D_{f\ (cr)}$) kadar ulaşabileceğini belirtmiştir.

Saeddy (1987)' e göre, temele çekme kuvveti uygulandığında, üzerindeki zemin sıkışıp kayma dayanımını arttıracak ve buna bağlı olarak da nihai çekme kapasitesi oluşacaktır. Buradan yola çıkarak Saeddy (1987), amprik bir bağıntıyla sıkışma faktörünü (μ) aşağıdaki gibi hesaplamıştır.

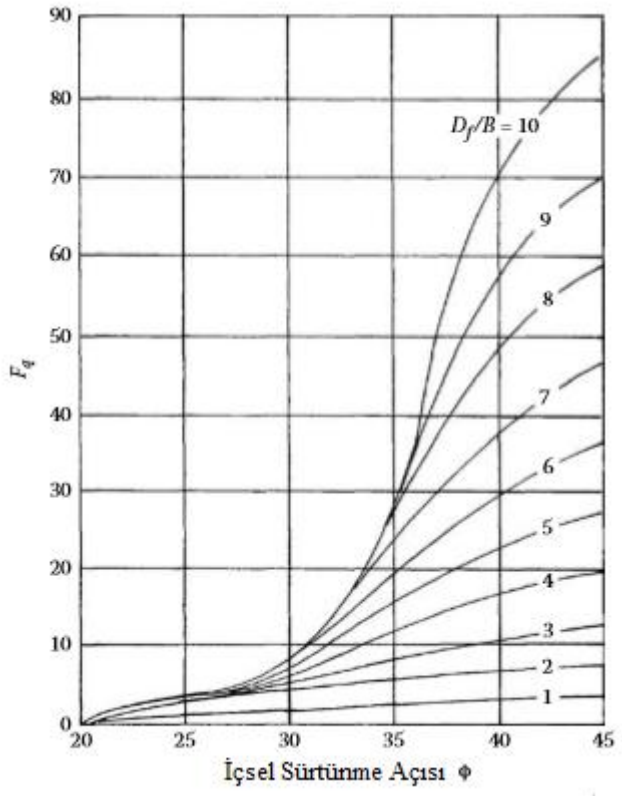
$$\mu = 1{,}044.D_r + 0{,}44 \tag{2.25}$$

D_r: Kumun rölatif kompaksiyon derecesi

Böylece gerçek çekme kapasitesi olarak nitelendirdiği ($Q_{u(actual)}$) 'i;

$$Q_{u(actual)} = (F_q.\gamma.D_f).\mu \tag{2.26}$$

olarak belirlemiştir. Kopma faktörünün değişimi şekil 2.13' te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Saeddy'nin kopma faktörü değişim grafiği (Das 2009)

2.1.1.5 İleri Sürülen Kuramların Karşılaştırılması

Önceki çalışmalar altbaşlıklarında ifade edilen kuramlar hakkında çeşitli genel gözlemler halinde sunulmuştur.

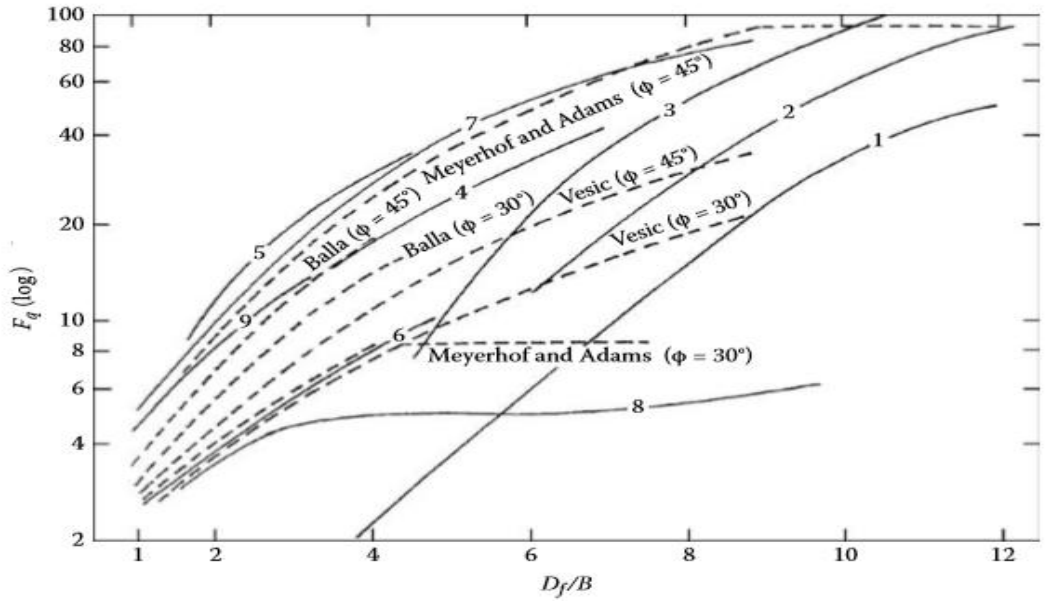
1. Dikdörtgen temellerin çekme kapasitesi üzerine çözüm sunan tek kuram Meyerhof ve Adams'ın (1968) geliştirdikleri kuramdır (Das 2009).

2. İleri sürülen kuramların çoğu, sığ temel koşulunu, D_f /B $_{(cr)}$ <5 olarak kabul etmiştir. Meyerhof ve Adams (1968) ise, kare ve dairesel temeller için kritik gömülme oranını, zeminin içsel sürtünme açısının bir fonksiyonu olarak tanımlamışlardır (Das 2009).

3. Balla (1961) kuramının, gevşek kumda, nihai çekme kapasitesini olduğundan daha büyük değerde verdiği deneylerle gözlemlenmiştir. Bu açıdan, Balla teorisi sıkı kumlarda daha rasyonel değerler vermektedir (Das 2009).

4. Vesic'in (1971) teorisi gevşek kumdaki sığ temellerin nihai çekme kapasitesini oldukça doğru değerlerde vermektedir. Oysa yapılan laboratuvar çalışmaları, sıkı kumdaki sığ temellerin nihai çekme kapasitesini, gerçek değerinden oldukça küçük değerlerde verdiğini göstermiştir (Das 2009).

Şekil 2.14' de, Balla (1961), Vesic (1971) ve Meyerhof-Adams (1968) kuramlarına göre, dairesel temelin nihai çekme kapasitesini belirlemek üzere, yapılan laboratuvar deney sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir. Grafiklerde, gevşek kum durumu (Ø=30˚) ile sıkı kum durumu (Ø=45˚) çizilmiştir. Deneylerde kullanılan zemin parametreleri ve deney koşulları da Çizelge 2.4' te sunulmuştur.



Şekil 2.14. Dairesel temel için deney sonuçlarının karşılaştırılması (Das 2009)

Çizelge 2.4. Laboratuar deney koşulları ve zemin parametreleri (Das 2009)

Eğri	Referans	Dairesel Temel Çapı B (mm)	Ø (°)	ɣ (kN/m^3)
1	Baker and Kondner	25,4	42	17,61
2	Baker and Kondner	38,1	42	17,61
3	Baker and Kondner	50,8	42	17,61
4	Baker and Kondner	76,2	42	17,61
5	Sutherland	38,1 - 152,4	45	
6	Sutherland	38,1 - 152,4	31	
7	Esquivel-Diaz	76,2	43	14,81 - 15,14
8	Esquivel-Diaz	76,2	33	12,73 - 12,89
9	Balla	61 - 119,4	Sıkı Kum	

Şekil 2.14’ de, deneysel ve kuramsal çalışmaların karşılaştırılmasındaki sonuçlara dayanarak, Meyerhof ve Adams (1968) kuramının, geniş ölçekli temeller için daha uygulanabilir olduğu ve nihai çekme kapasitesinin belirlenmesinde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu açıdan, Meyerhof ve Adams kuramı önerilmektedir. Ancak, yapılan deneysel çalışmalar, model temeller üzerine yapıldığından, gerçek bir temel tasarlanırken, edilirken ölçek etkisinin dikkate alınması gerekliliği unutulmamalıdır. Bunun yanısıra, içsel sürtünme açısı seçiminde uygun değer alınmalıdır (Das 2009).

2.1.2 Doygun Kil Zeminlerdeki Temeller (Ø = 0)

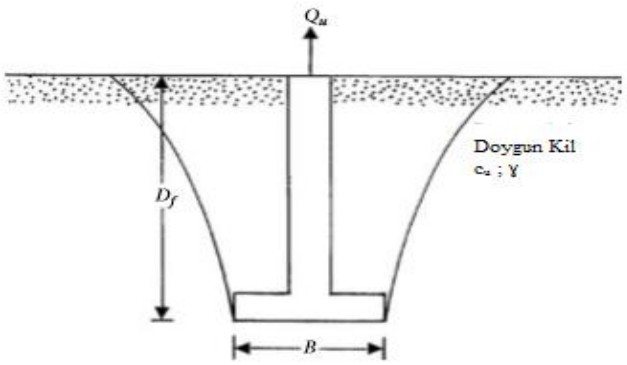
Bu başlık altında, suya doygun killerin nihai çekme kapasitesi üzerine yapılmış mevcut çalışmalar irdelenecektir.

Şekil 2.15' te suya doygun kil zeminde, D_f kadar gömülme derinliğine ve B genişliğine sahip temel görülmektedir. Zeminin, drenajsız kayma dayanımı (c_u) ve birim hacim ağırlığı (ɣ) olmak üzere; temel ile zeminin birim hacim ağırlıkları, yaklaşık olarak, eşit olduğu kabulü altında, nihai çekme kapasitesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$Q_u = A.(\gamma.D_f + c_u.F_c) \tag{2.27}$$

F_c : Kopma faktörü

A : Temelin enkesit alanı



Şekil 2.15. Çekme yükü altında, doygun kildeki sığ temel (Das 2009)

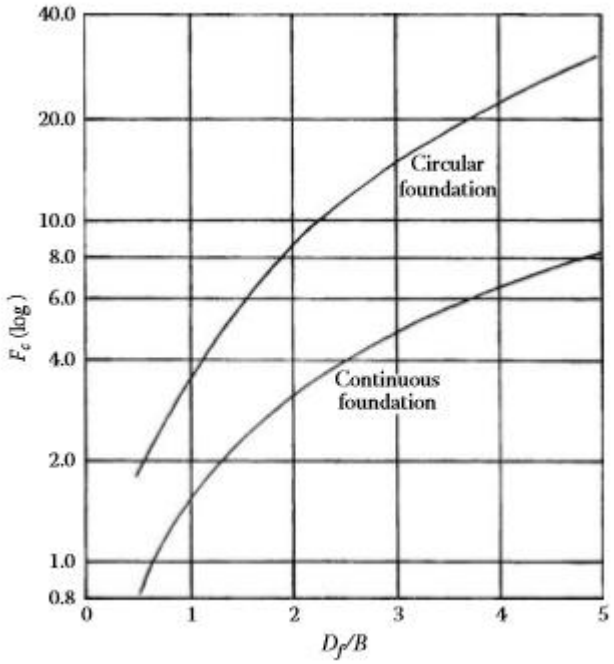
2.1.2.1 Vesic Kuramı (1971)

Çizelge 2.5' te, Vesic (1971), genişleyen boşluklar örneklemesini kullanarak, D_f/B gömülme oranına sahip temeller için, kopma faktörü F_c 'nin kuramsal değişimini vermiştir.

Çizelge 2.5. Kopma faktörü F_c'nin değişimi (Ø=0 koşulu altında) (Das 2009)

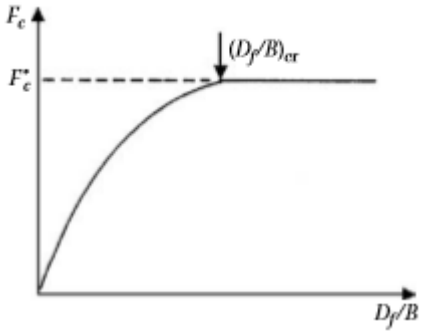
Temel Türü	D_f/B				
	0,5	1	1,5	2,5	5
Dairesel (B Çaplı)	1,76	3,8	6,12	11,6	30,3
Sürekli (B Genişlikli)	0,81	1,61	2,42	4,04	8,07

Ayrıca Şekil 2.16' da gömülme oaranına karşılık, kopma faktörünün değişimi gösterilmiştir. Laboratuvar deneylerine dayanarak, Vesic (1971) kuramının, nispeten daha yumuşak killerdeki sığ temeller için, sadece yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.16. Vesic'in kopma faktörü grafiği (Das 2009)

Genel olarak, kopma faktörü gömülme oranının artışı ile artar ve maksimum değere ulaşır. Daha sonraki gömülme oranı artışlarında, kopma faktörü eğrisi sabit kalır (Das 2009). Şekil 2.17' de bu artış ifade edilmiştir.



Şekil 2.17. Kopma faktörünün gömülme oranı ile olan değişimi

Kopma faktörünün değeri, maksimum değeri olan F_c* 'ye $D_f/B_{(cr)}$ değerinde ulaşmaktadır. $D_f/B > D_f/B_{(cr)}$ olduğunda derin temel koşulu oluşur. Bu durumda, nihai çekme yükü altında, bölgesel kayma yüzeyi temel etrafında oluşacaktır (Das 2009).

2.1.2.2 Meyerhof Teorisi (1973)

Çeşitli deneysel çalışma sonuçlarına göre Meyerhof (1973), nihai çekme kapasitesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$Q_u = A.(\gamma.D_f + c_u.F_c) \tag{2.28}$$

Kare ve dairesel temeller için kopma faktörü F_c;

$$F_c = 1{,}2.(\frac{D_f}{B}) \leq 9 \tag{2.29}$$

Şerit temeller için F_c;

$$F_c = 0{,}6.(\frac{D_f}{B}) \leq 8 \tag{2.30}$$

şeklindedir.

Eşitliklere göre, kare ve dairesel temeller için kritik gömülme oranı yaklaşık olarak, $D_f/B_{(cr)}$ = 7,5; şerit temeller için de $D_f/B_{(cr)}$ =13,5 olarak öngürülmektedir (Das 2009).

2.1.2.3 Modifiye Edilmiş Meyerhof Kuramı

Das (1978), drenajsız kayma dayanımları (c_u) 5,18 kN/m^2 – 172,5 kN/m^2 arasında değişen, suya doygun kilde, dairesel temeller üzerine yapılan model deneylerini derlemiştir. Şekil 2.18' de, ortalama F_c değerlerine karşılık, model deneylerden, kritik gömülme oranı boyunca elde edilen D_f/B, grafiği gösterilmiştir. Şekilden kopma faktörünün;

$$F_c = n.(\frac{D_f}{B}) \leq 8 \approx 9 \tag{2.31}$$

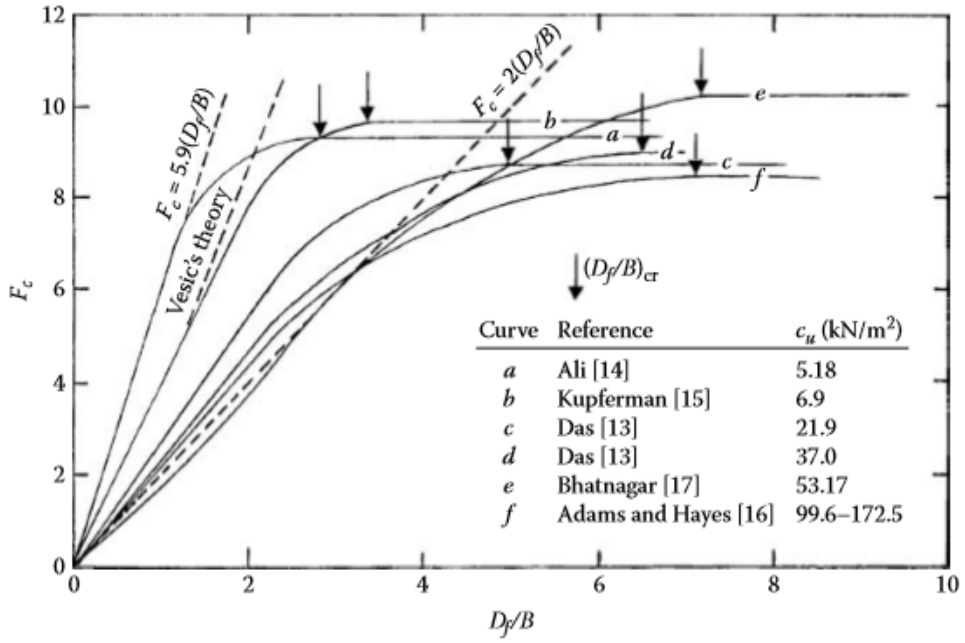
olduğu görülebilmektedir.

n: Büyüklüğü 5,9 – 2.0 arasında değişen ve drenajsız kohezyon fonksiyonunu gösteren denklem sabitidir.

n sabiti, c_u 'nun bir fonksiyonu ve tüm durumlarda $F_c=F_c^*$, yaklaşık $8 \approx 9$ olduğundan, kritik gömülme oranının da $(D_f/B_{(cr)})$ c_u'nun fonksiyonu olacağı açıktır. Das (1978), ayrıca kare ve dikdörtgen temeller için de aşağıdaki bağıntıları sunmuştur.

$$(\frac{Df}{B})_{cr-kare} = 0{,}107.c_u + 2{,}5 \leq 7 \tag{2.32}$$

$$(\frac{D_f}{B})_{cr-dik.} = (\frac{D_f}{B})_{cr-kare}[0{,}73 + 0{,}27.(\frac{L}{B})] \leq 1{,}55.(\frac{D_f}{B})_{cr-kare} \tag{2.33}$$



Şekil 2.18. Kopma faktörünün (Fc) gömülme oranı (D_f/B) ile değişimi (Das 2009)

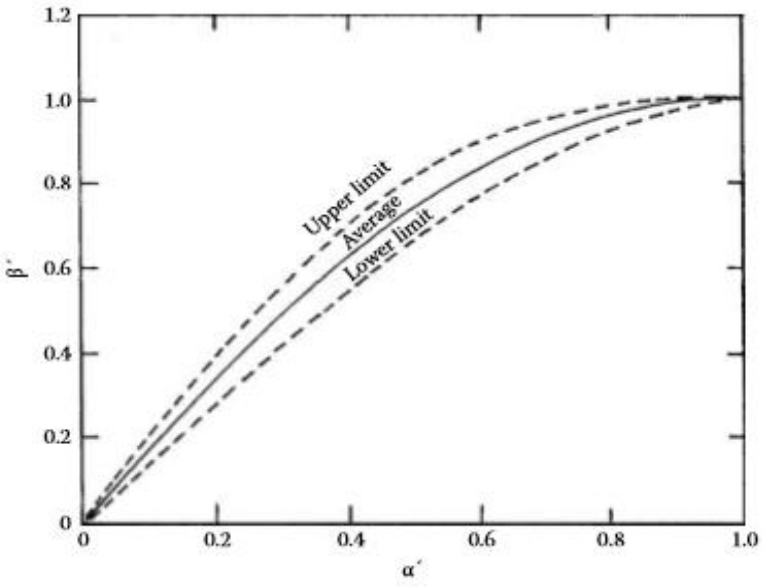
Yukarıdaki bulgulara göre, Das (1978), sığ ve derin temellerin kopma faktörünü belirlemek üzere, ampirik bir yöntem önermiştir. Bu yönteme göre, boyutsuz iki faktör olan α' ve β' katsayıları, aşağıdaki gibi tanımlamıştır. Ayrıca şekil 2.19'daki grafikte, α' ve β' katsayılarının alt, üst limitleri ve ortalama değerleri gösterilmiştir

$$\alpha' = \frac{(\frac{D_f}{B})}{(\frac{D_f}{B})_{cr}} \tag{2.34}$$

$$\beta' = \frac{F_c}{F_c^*} \tag{2.35}$$

Fc*'nin değeri, dikdörtgen temeller için, aşağıdaki amprik bağıntı ile bulunabilmektedir.

$$F^*_{c-dik.} = 7{,}56 + 1{,}44.(\frac{B}{L}) \tag{2.36}$$



Şekil 2.19. α' - β' grafiği

Das'ın (1980) nihai çekme kapasitesini bulmak üzere belirlerdiği yöntemin adımları aşağıda sıralanmıştır.

1. Drenajsız kohezyon değeri c_u belirlenir.
2. Kritik gömülme oranı $D_f/B_{(cr)}$ belirlenir. (Denklem 2.32 ve 2.33)
3. Temel için D_f/B oranı belirlenir.
4. Eğer $D_f/B \leq D_f/B_{(cr)}$ ise; sığ temeldir ve nihai çekme kapasitesi,

$$Q_u = A.\{\beta'.[7{,}56 + 1{,}44.(\frac{B}{L})].c_u + \gamma.D_f\} \tag{2.37}$$

olur. Burada A; temelin alanını gösterir.

5. Eğer $D_f/B > D_f/B_{(cr)}$ ise; derin temeldir ve nihai çekme kapasitesi,

$$Q_u = A.\{[7{,}56 + 1{,}44.(\frac{B}{L})].c_u + \gamma.D_f\} \quad (2.38)$$

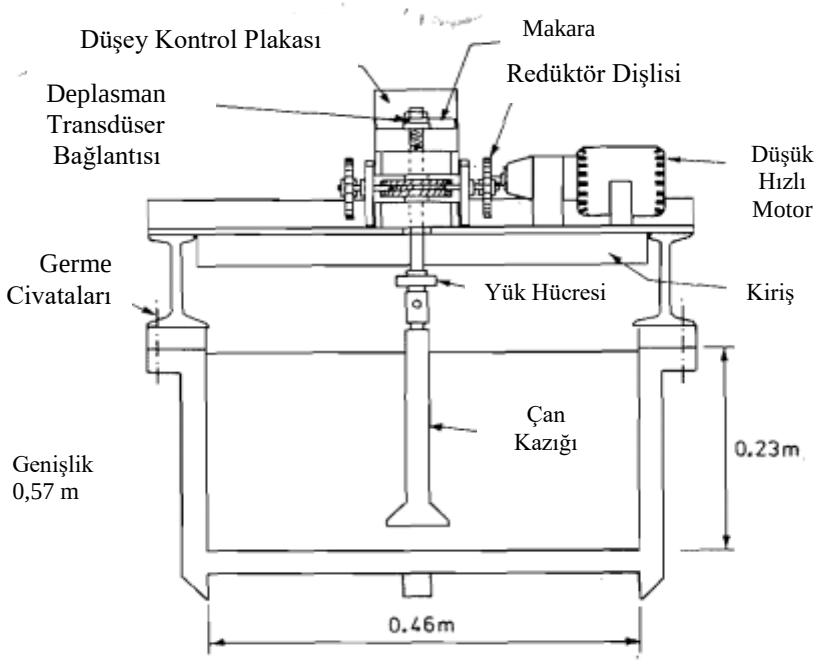
olur.

Bu yöntem, nihai çekme kapasitesinin belirlenmesinde, iyi sonuçlar vermektedir. Denklemlerde yer alan β' katsayısı da Şekil 2.19'dan enterpolasyon yapılarak bulunabilir.

2.2 Deneysel Çalışmalar

2.2.1 Dickin ve Leung (1990)

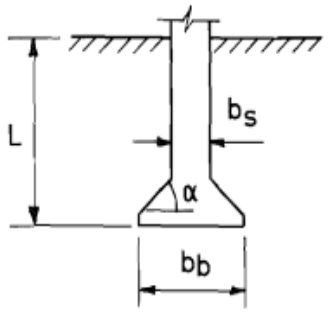
Dickin ve Leung (1990), kum zemine gömülü, çan kazıklar (genişletilmiş uçlu) üzerine yaptığı çekme deneylerinde, dolgu sıkılığının, gömülme derinliğinin ve kazık çapının çekme kapasitesine etkilerini incelemişlerdir. Karşılaştırma amaçlı düz uçlu kazıklar üzerine de çekme testleri rapor edilmiştir. Sıkı kumdaki deneyler, daha önce yapılan deneylerle, gözle görülür bir uyum göstermiştir. Fakat gevşek kumlardaki deneylerde, daha önce yapılan deney sonuçlarından, oldukça düşük değerler tespit edilmiştir. Sıkı kum durumunda, santrifüj deneylerden çıkarılan amprik denklemler ile sonlu elemanlar kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında, mantıklı değerler gözlemlenmesine rağmen, hem sıkı hem de gevşek durumda, çan kazıklı ankrajlar için birçok kuramsal olarak tahmin edilebilen değerlerin üzerinde sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak, çan kazıklarının çekme kapasitesi, önemli ölçüde, gömülme oranı ve kum sıkılığı gibi parametrelere dayanmaktadır. Şekil 2.20' de deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Santrifüj deney düzenek şeması (Dickin ve Leung 1990)

2.2.2 Dickin ve Leung (1992)

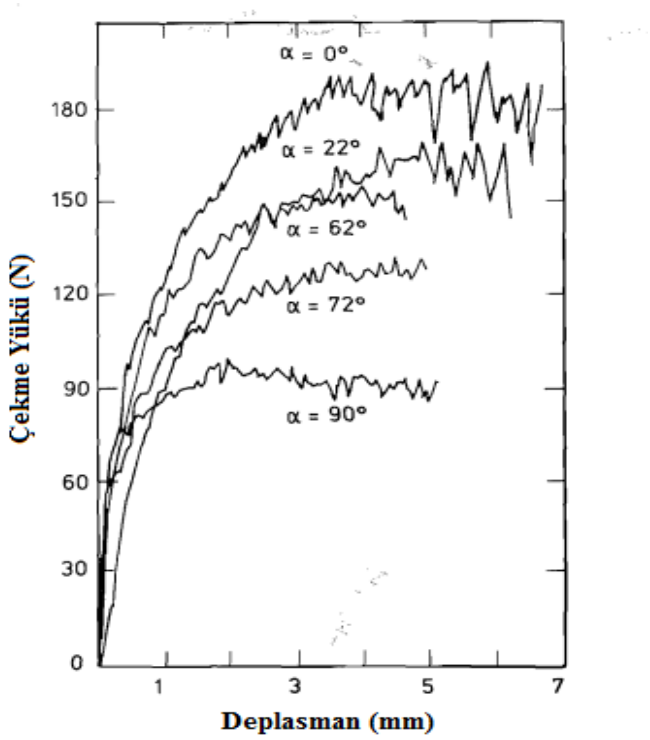
Dickin ve Leung (1992), kum zemine gömülü bir çan kazığının çekme kapasitesine, kazığın çapı ve çan kısmının açısına ait etki, santrifüj deneylerle incelenmiştir. Buna göre, hem çan açısındaki hem de kazık çap oranındaki (b_s/b_b) artışların, nihai çekme kapasitesini ve kırılma deformasyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.21-Şekil 2.22). Bu durum, çan kazıkları ile ankraj plakaları arasındaki farklılığı ortaya koymaktadır (Dickin ve Leung 1992).



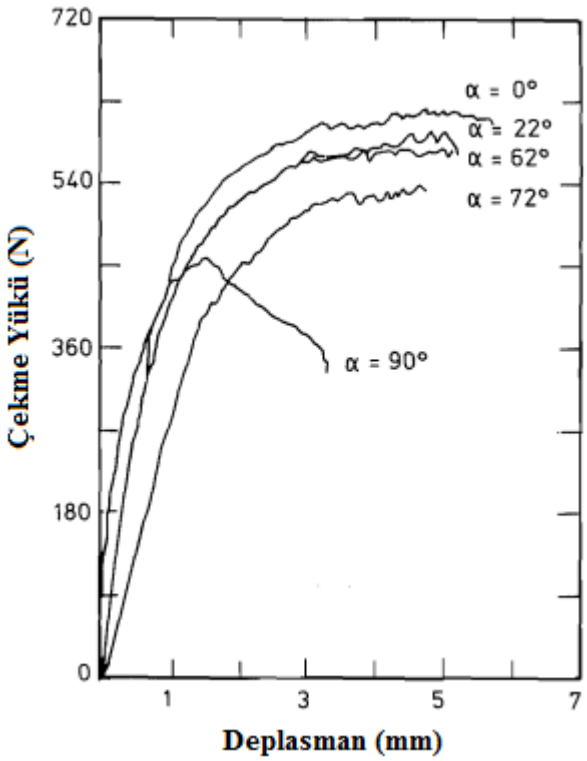
Şekil 2.21. Çan kazığı (Dickin ve Leung 1992)

Kırılma mekanizması açısından, çan kazıkları ile ankraj plakaları arasındaki bu farklılık, temel tiplerinin, farklı karakteristik davranışlara sahip olduğunu gösterir. Çan

kazıklarında, nispeten daha düşük çekme kapasitesinin gözlemlenmesi, çan eğimi nedeniyle, zemin hareketinin azalmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.22 –Şekil 2.23).



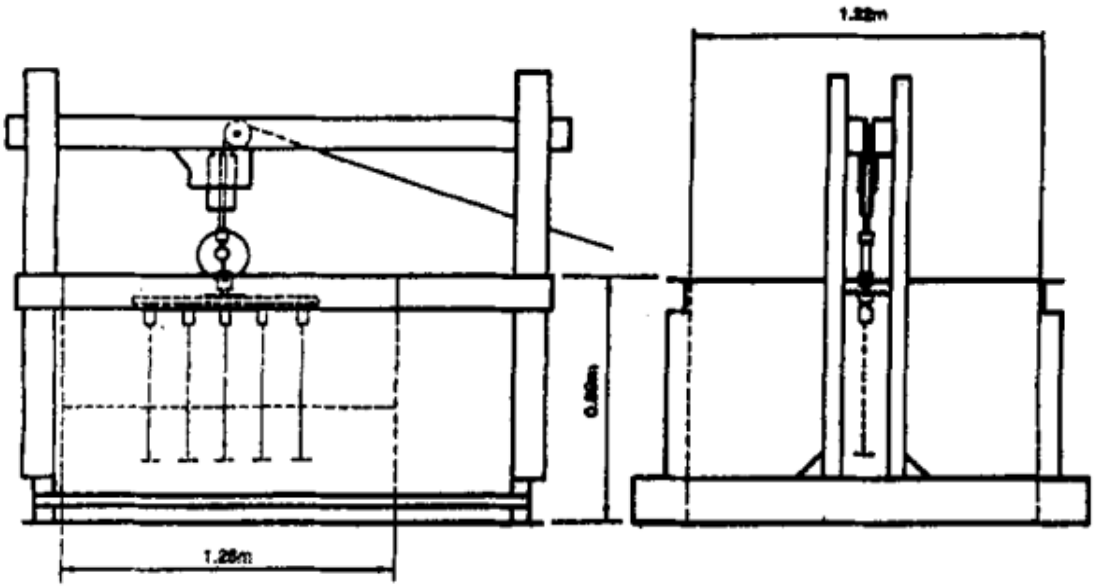
Şekil 2.22. Gevşek kumda, çekme yükü- deplasman değişimi (Dickin ve Leung 1992)



Şekil 2.23. Sıkı kumda, çekme yükü- deplasman değişimi (Dickin ve Leung 1992)

2.2.3 Geddes ve Diğerleri (1996)

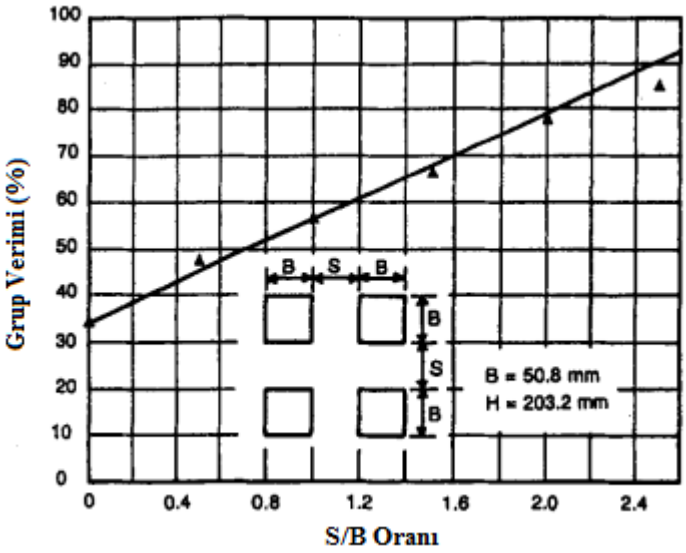
Geddes ve arkadaşları (1996), kum zemine gömülü ve farklı konfigürasyonlarda, bir grup kare ankraj plakasının çekme kapasitesini belirlemek üzere, dikey yönlü çekme kuvvetinin uygulandığı model deneyler yapmışlardır. Deneyler, sığ temel koşulunu oluşturacak, sabit sıkılığa sahip kuru kum içinde, tek bir gömülme derinliği (H/B = 4) altında yapılmıştır. Şekil 2.24'te deney düzeneği gösterilmiştir.



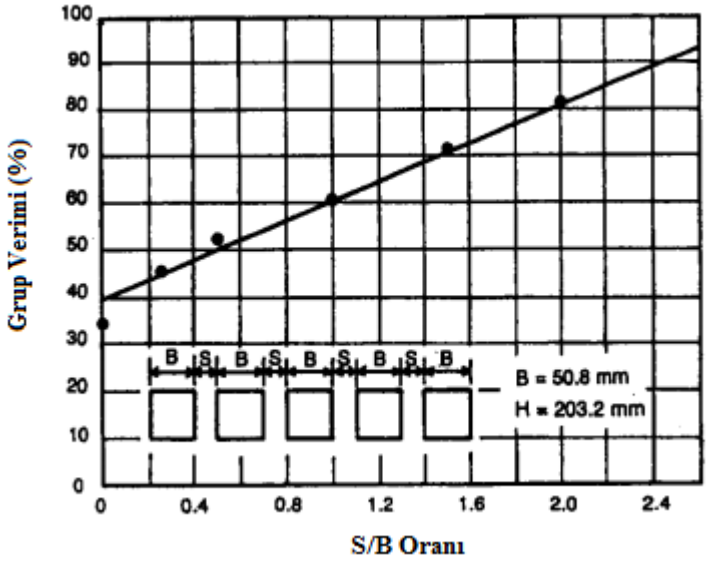
Şekil 2.24. Deney düzeneği şeması (Geddes ve ark. 1996)

Deneylerde;

- Ankraj plakalarının çekme kapasitesi, plakalar arası mesafe kritik bir değere kadar arttıkça artış göstermiştir.
- Farklı ankraj plaka sayıları ve konfigürasyonları ile yapılan çekme sonuçlarından elde edilen tüm yük-şekil değiştirme eğrileri, deneylerdeki maksimum yük noktalarına göre, tek bir eğriye indirgenebimektedir.
- Ankrajların grup verimliliği, ankrajlar arası mesafenin, ankraj boyutlarına olan oranının (S/B), nispeten küçük artışları için bile artış göstermektedir (Şekil 2.25 – Şekil 2.26).



Şekil 2.25. Grup verimi – S/B ilişkisi (Geddes ve ark. 1996)

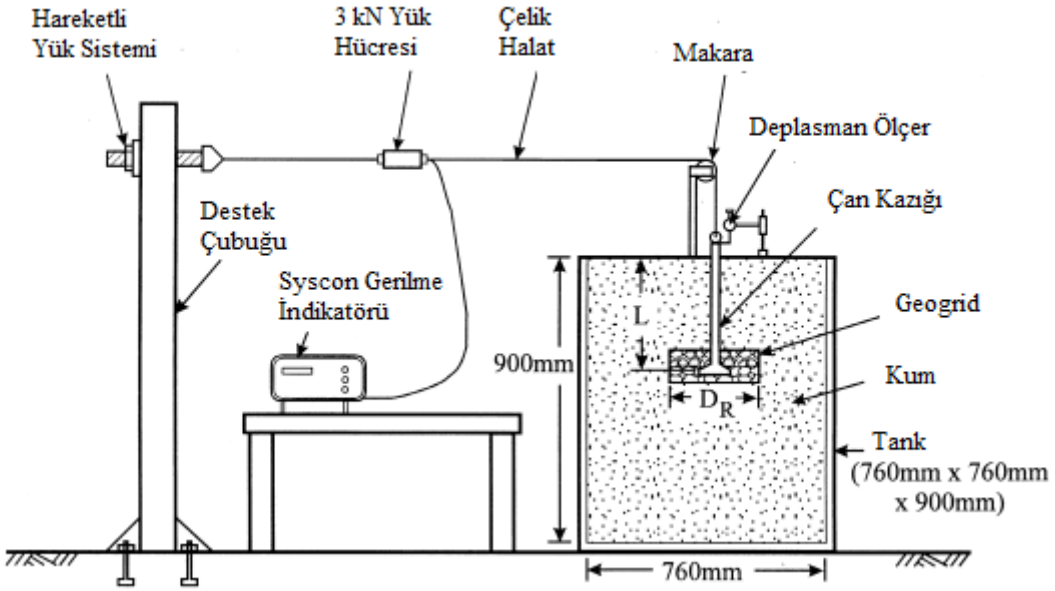


Şekil 2.26. Grup verimi – S/B ilişkisi (Geddes ve ark. 1996)

2.2.4 Ilamparuthi ve Dickin (2001)

Ilamparuthi ve Dickin (2001), zemin güçlendirmesinin, farklı sıkılıklardaki kum zemine gömülü, farklı boyutlarındaki çan kazıklarının çekme kapasitesine olan etkileri incelemişlerdir. Bu amaçla, birkaç kombinasyonlu georid güçlendirmesinin etkileri karşılaştırılmış ve silindirik çakıl dolgulu, geogrid hücreli bölüme gömülü çan kazığının, beklendiğinden daha fazla fayda sağladığı bulunmuştur. Çekme kapasitesi,

geogrid hücresinin çapı, kum sıkılığı, çan kazığının çapı ve gömülme derinliği ile artış göstermektedir.

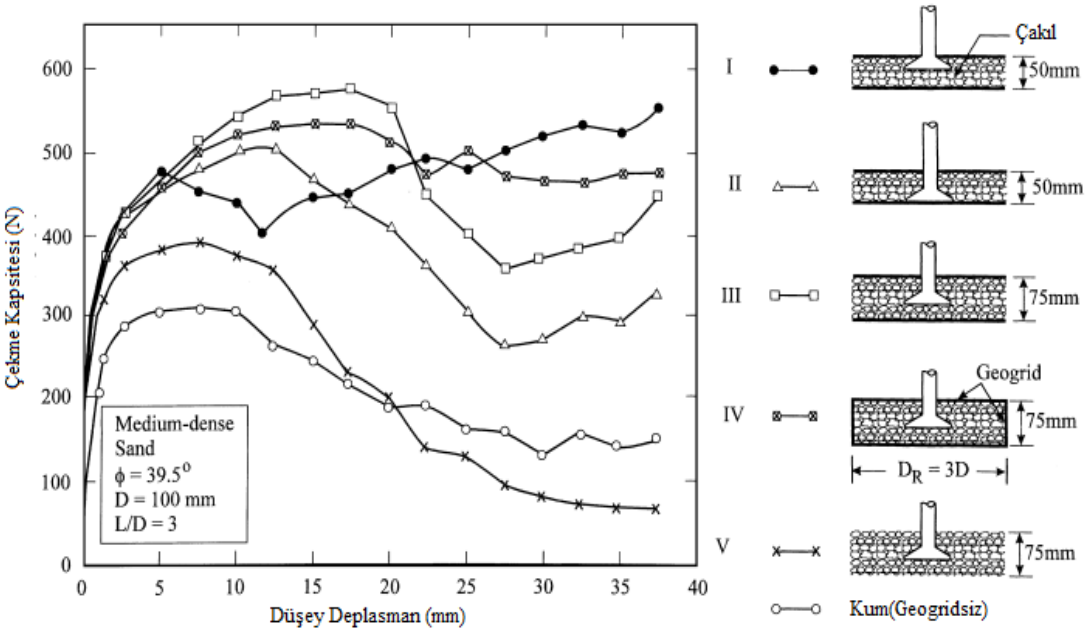


Şekil 2.27. Deney şeması (Ilamparuti ve Dickin 2001)

Üç farklı çapta, 3 farklı kum sıkılığında, geogrid güçlendirmeli ve geogridsiz halde çan kazıkları üzerine yapılan bu çalışmaya göre;

- Geogrid güçlendirilmesi, sığ durumdaki çan kazıklarının çekme kapasitesini arttıran en etkili yöntemdir. Burada, geogrid hücresinin, kenetlenmeyi artıracak yönde uygun dolgu malzemesi ile beslenilmesi de önem arz etmektedir.

- Gevşek kuma gömülü, geogrid güçlendirmeli, sığ ankraj kazığının, geogridsiz aynı koşullara göre, çekme kapasitesi yedi kat artış göstermektedir. Sıkı kuma gömülü ve nispeten daha derine gömülü ankraj kazığında ise, çekme kapasitesinde, %25 oranında artış görülmüştür. Şekil 2.28'de çekme kapasitesinin farklı kazık şekillerindeki değişimi verilmiştir.

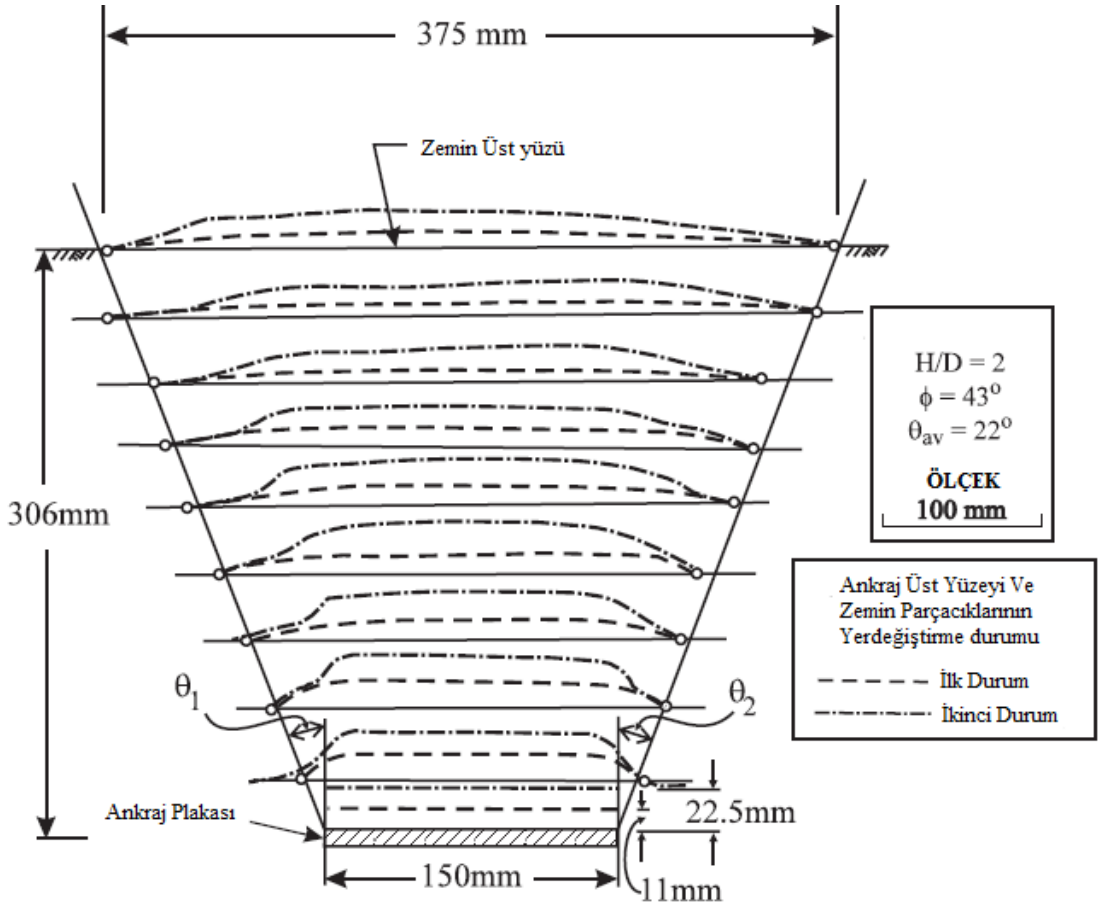


Şekil 2.28. Çekme kapasitesi değişimi (Ilamparuti ve Dickin 2001)

2.2.5 Ilamparuti ve Diğerleri (2002)

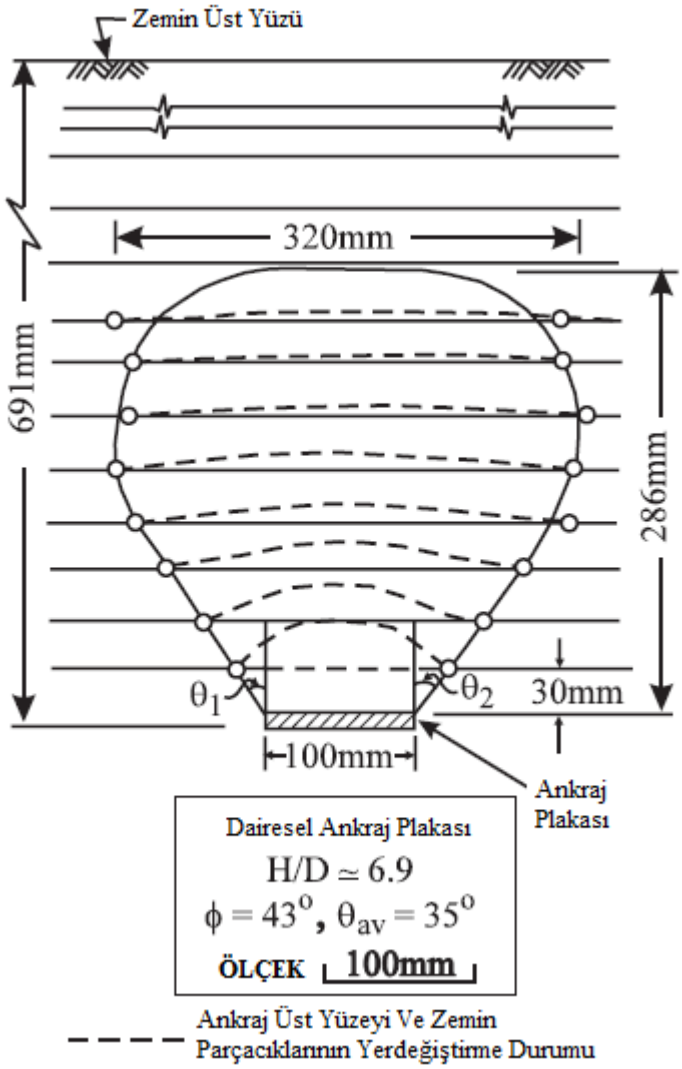
Ilamparuti ve arkadaşları (2002), kuma gömülü dairesel ankraj plakalarının çekme altında davranışlarını incelemek üzere, deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deney, nispeten daha büyük ölçekli modelde, gevşek, orta gevşek ve sıkı kuru kum durumunda yapılmıştır. Deneyde 40 cm'e kadar olan dairesel ankraj çapları kullanılmıştır.

- Çekme kapasitesi, ankraj çapından, gömülme oranından ve kumun sıkılığından büyük oranda etkilenmektedir. Zemin kütlesi içerisinde, gömülme oranına bağlı olarak gerçekleşen 2 tip kırılma meydana gelmektedir. Sıkı kumda, gömülme oranına göre, sığ temel şartını oluşturan durum için, kırılma mekanizması koninin gövdesi şeklinde olup, uygulama noktası Ø/2 'dir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29. Sığ ankrajın kırılma yüzeyi (Ilamparuti ve ark. 2002)

Sıkı kumda, gömülme oranına göre, derin temel şartını oluşturan durum için, kırılma mekanizması balon şeklinde olup, uygulama noktası 0.8Ø 'dir (Şekil 2.30).

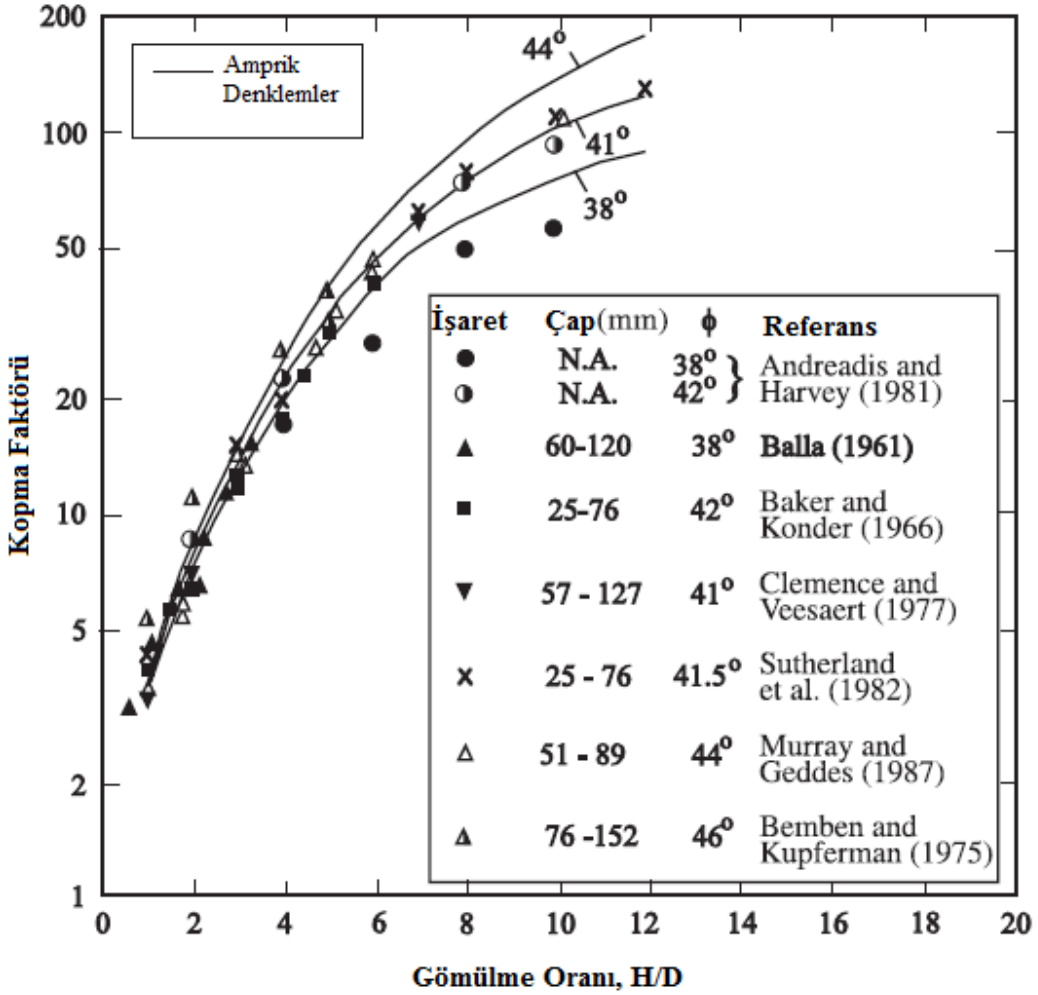


Şekil 2.30. Derin ankrajın kırılma yüzeyi (Ilamparuti ve ark. 2002)

- Yükleme-şekil değiştirme ilişkisi, sığ ve derin durumlar için farklılık göstermektedir.

- Kritik gömülme oranı, kum sıkılığının artışıyla birlikte artış göstermektedir. Deney sonucunda, çapları 10 cm ile 15 cm aralığında değişen ankrajlar için, gevşek kum, orta kum ve sıkı kum için önerilen gömülme oranları sırasıyla, 4,8 – 5,9 – 6,8 olarak önerilmiştir. Bu değerler, Meyerhof ve Adams (1968) kuramı ile uyumlu olup, diğer kuramlara göre farklılıklar göstermektedir.

- Gömülme oranı 12'den küçük (H/D < 12) dairesel ankrajlar için, kopma faktörünün tespiti için, amprik bir denklem oluşturulmuş ve bulunan değerler, literatürde rapor edilmiş olan, değerler ile uyum göstermiştir (Şekil 2.31).



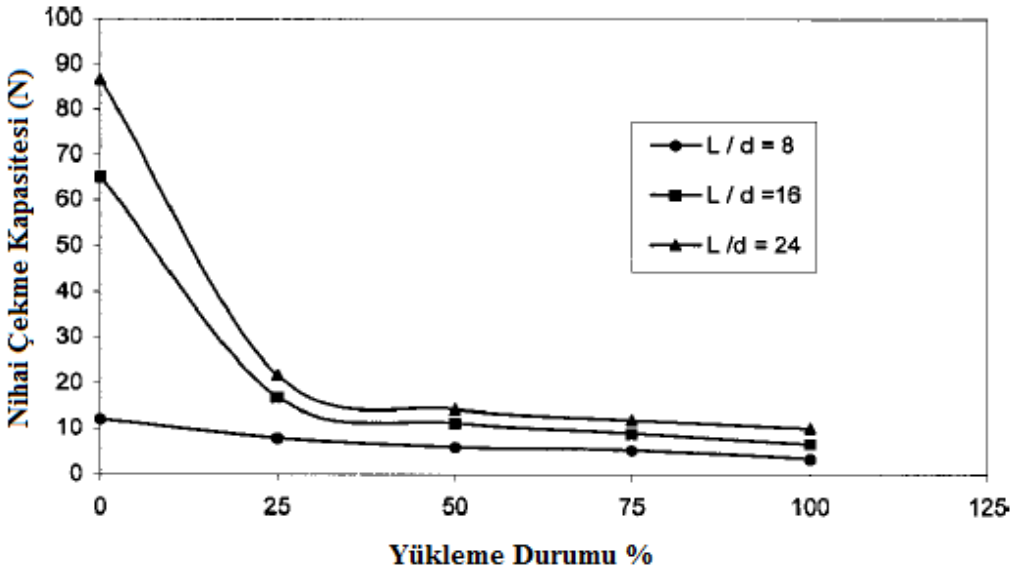
Şekil 2.31. Kopma faktörü – gömülme oranı (H/D) (Ilamparuti ve ark. 2002)

2.2.6 Dash ve Pise (2003)

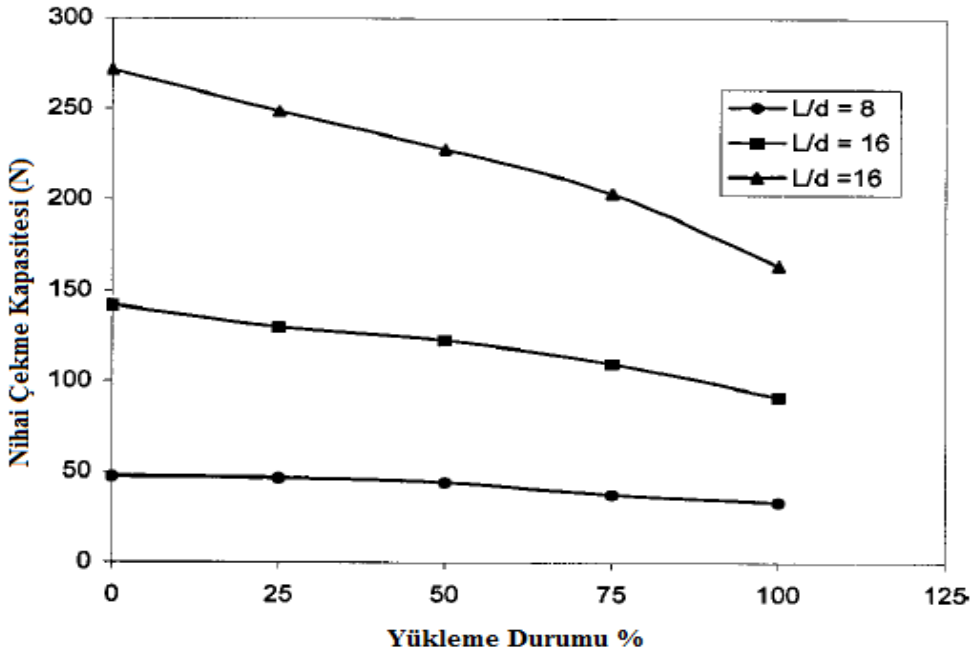
Dash ve Pise (2003), basınç yüklerinin çekme kapasitesi üzerine etkisini incelemek üzere, çeşitli parametleri göz önünde bulundurarak, kum zemine gömülü, içi boş çelik kazıklar üzerine 36 adet model deney yapmışlardır. Deneyde kullanılan çelik kazıkların çapı 25 mm ve et kalınlığı 2 mm olup, gevşek ve sıkı kum koşulları için, kum-kazık arası sürtünme açısı 21˚-29˚ 'dir. 8-16-24 gömülme oranlarındaki kazıklara, %0 - %25 - %50 - %75 - %100 oranlarında statik basınç yükleri etkitilmiş ve sonrasında çekme testleri yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre, basınç yükleri, kazıkların çekme kapasitesini etkileyen önemli bir parametredir. Basınç yüklerinin var olması ve artışı, nihai çekme kapasitesinde düşüşler meydana getirmektedir. Özellikle gevşek kumlarda bu düşüş

daha da artmaktadır. Nihai çekme kapasitesindeki düşüş, basınç yükünün %100 olduğu durumda maksimum olmaktadır. Nihai çekme kapasitesindeki bu düşüş, var olan basınç yükleri altında, zemin-kazık arasındaki sürtünme açısındaki (δ) azalmadan kaynaklanabilir (Dash ve Pise 2003). Şekil 2.32 ve Şekil 2.33' te sıkı ve gevşek kum durumları için nihai çekme kapasitesinin basınç yüklemesi ile olan değişimleri verilmiştir.



Şekil 2.32 Nihai çekme kapasitesinin değişimi (Gevşek Kum) (Dash ve Pise 2003)



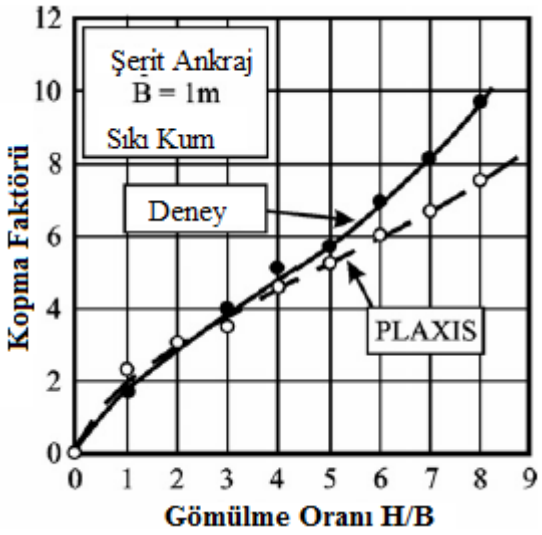
Şekil 2.33. Nihai çekme kapasitesinin değişimi (Sıkı Kum) (Dash ve Pise 2003)

2.2.7 Patra ve Diğerleri (2004)

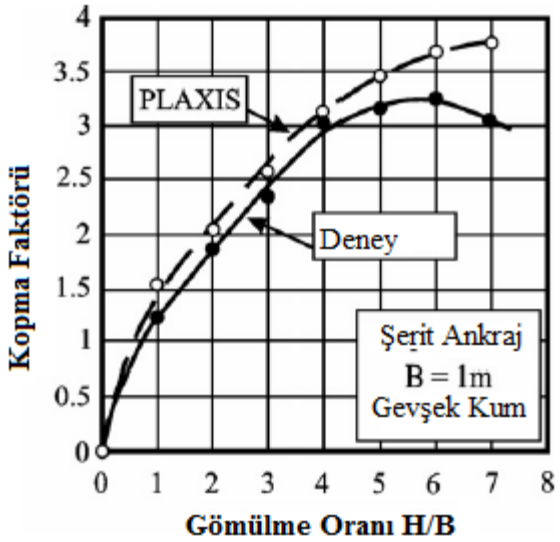
Patra ve arkadaşları (2004), tabakalı ve homojen kum tabakasına gömülü geniş tabanlı ankraj plakasının, eksenel ve eğik çekme yükleri altındaki çekme kapasitesini incelemişlerdir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme oranı ve taban genişliğinin artışı ile artmıştır. Eğik çekme yükü altında, çekme kapasitesinin, eğimli yüklemeden etkilendiği ve gömülme oranı, kum sıkılığı, taban genişliğinin artışı ile artış gösterdiği görülmüştür.

2.2.8 Dickin ve Laman (2007)

Dickin ve Laman (2007), kohezyonsuz zemine gömülü 1 m genişliğindeki şerit ankrajların çekme kapasitesini, hem sonlu elemanlar yöntemi hem de model deneyler yaparak incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda, hem sonlu elemanlar yönteminde hem de model deneylerde, çekme kapasitesinin gömülme oranı ve kum sıkılığı ile birlikte artış gösterdiği görülmüştür (Dickin ve Laman 2007). Şekil 2.34 ve Şekil 2.35' te, sıkı ve gevşek kum durumları için, kopma faktörünün, sonlu elemanlar ve model deneyler yönünden karşılaştırıldığı değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.34. Sıkı kumda kopma faktörünün karşılaştırılması (Dickin ve Laman 2007)



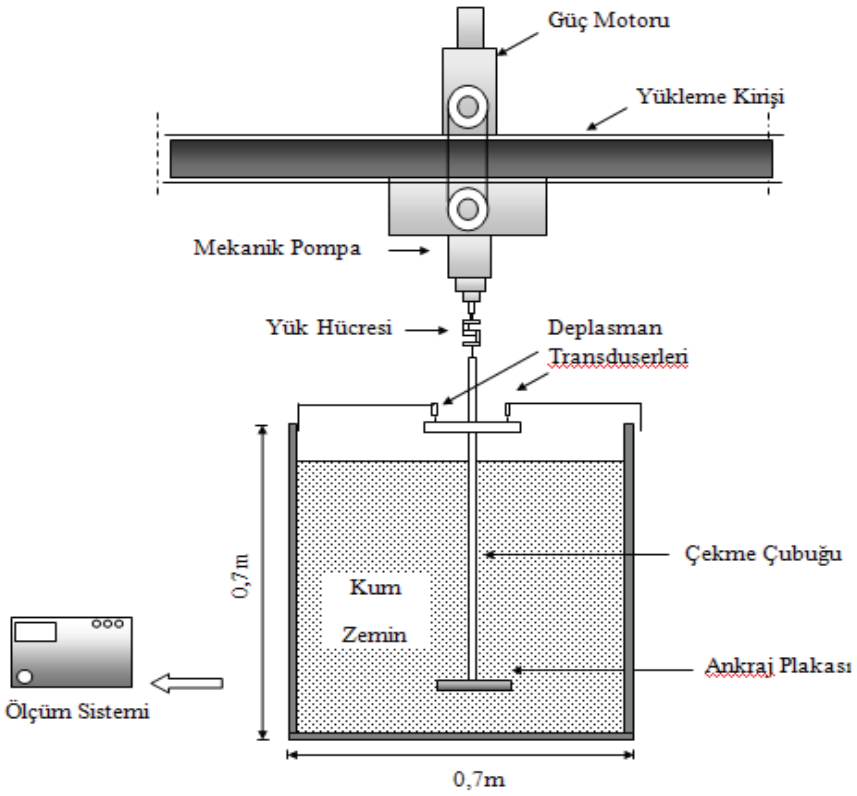
Şekil 2.35. Gevşek kumda kopma faktörünün karşılaştırılması (Dickin ve Laman 2007)

2.2.9 Bildik ve Laman (2011)

Bildik ve Laman (2011), kohezyonsuz zemine gömülü ankraj plakaların çekme kapasitesini belirlemek üzere model deneyler yapmışlardır. Deneylerde, kare ve dikdörtgen ankraj plakaları kullanılmış ve gömülme derinliğinin, ankraj geometrisinin ve kum sıkılığının çekme kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Deneyde kullanılan düzeneğin şeması ve görünüşü Şekil 2.36 ve Şekil 2.37' de gösterilmiştir.



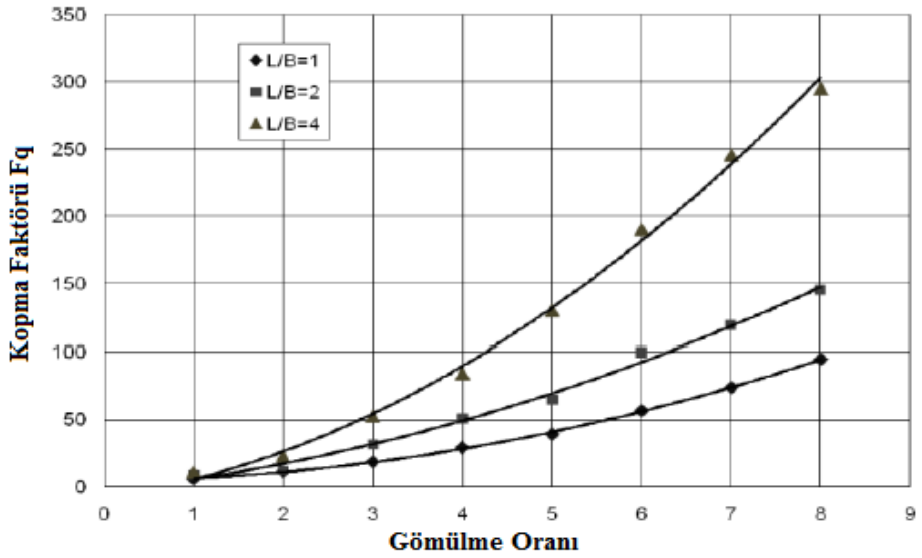
Şekil 2.36. Deney düzeneği (Bildik ve Laman 2011)



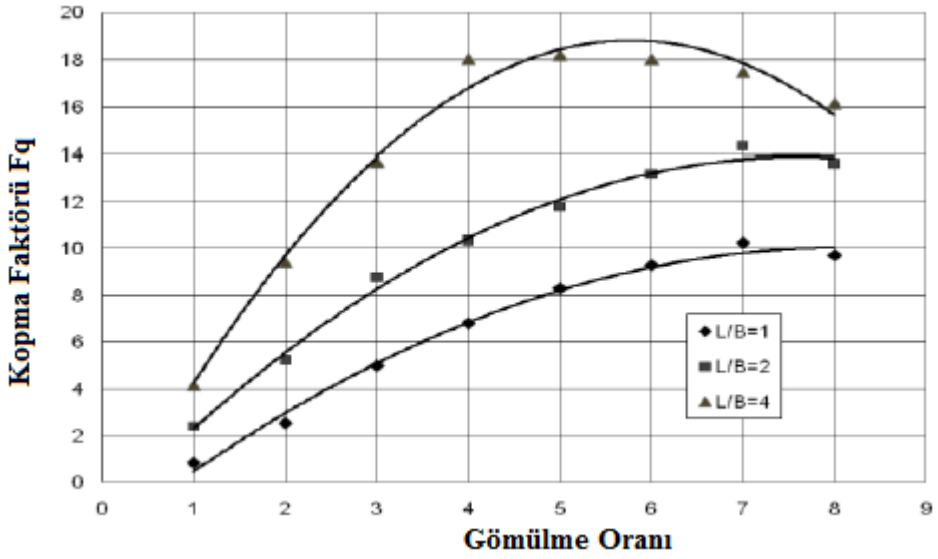
Şekil 2.37. Deney düzenek şeması (Bildik ve Laman 2011)

Deneyden elde edilen sonuçlara göre;

- Sıkı ve gevşek kum durumları için, kopma faktörü-gömülme oranı eğrilerinden, genel bir denklem elde edilmiştir ($F_q=X\times(H/B)^2+Y\times(H/B)+Z$).
- Ankraj geometrisi, gömülme oranı ve kum sıkılığı gibi parametreler, ankrajların çekme kapasitesini etkileyen esas parametrelerdir.
- Sıkı ve gevşek kum durumunda, kopma faktörü, gömülme oranı artışı ile parabolik artış gösterir. Bununla beraber, sıkı kumda, kopma faktörü eğrisi konveks, gevşek kum da ise konkav durumdadır (Şekil 2.38 ve Şekil 2.39).



Şekil 2.38. Sıkı kumda kopma faktörü (Bildik ve Laman 2011)



Şekil 2.39. Gevşek kumda kopma faktörü (Bildik ve Laman 2011)

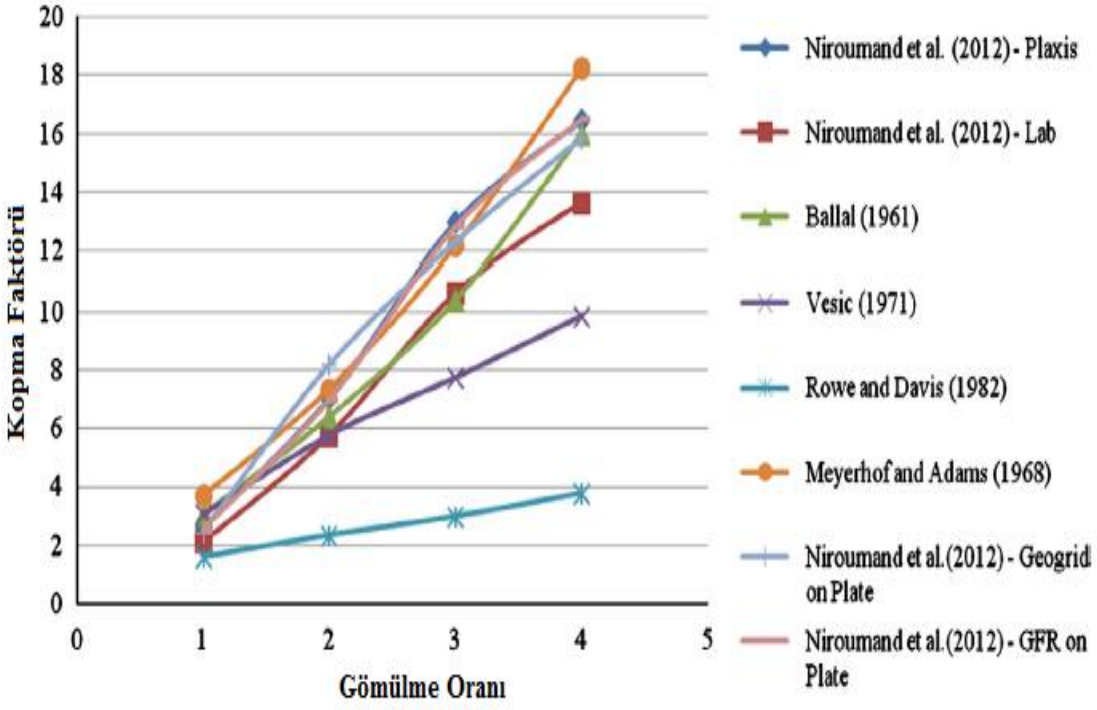
2.2.10 Niroumand ve Diğerleri (2013)

Niroumand ve arkadaşları (2013), güçlendirilmiş kohezyonsuz zemine gömülü simetrik ankraj plakasının çekme kapasitesini incelemiştir. Karşılaştırma açısından, güçlendirilmemiş zeminde de deneyler yapılmıştır. Güçlendirmede, geogrid ve GFR (Grid Fixed Reinforcement) malzemeleri kullanılmıştır. Burada GFR; fiber polimer olan FRP' den yapılmış yeni bir bağlama şekline sahip bir malzemedir. Mevcut analizde, kum sıkılığının, geogrid ve GFR tabakalarının gömülme derinliğinin, tabakaların

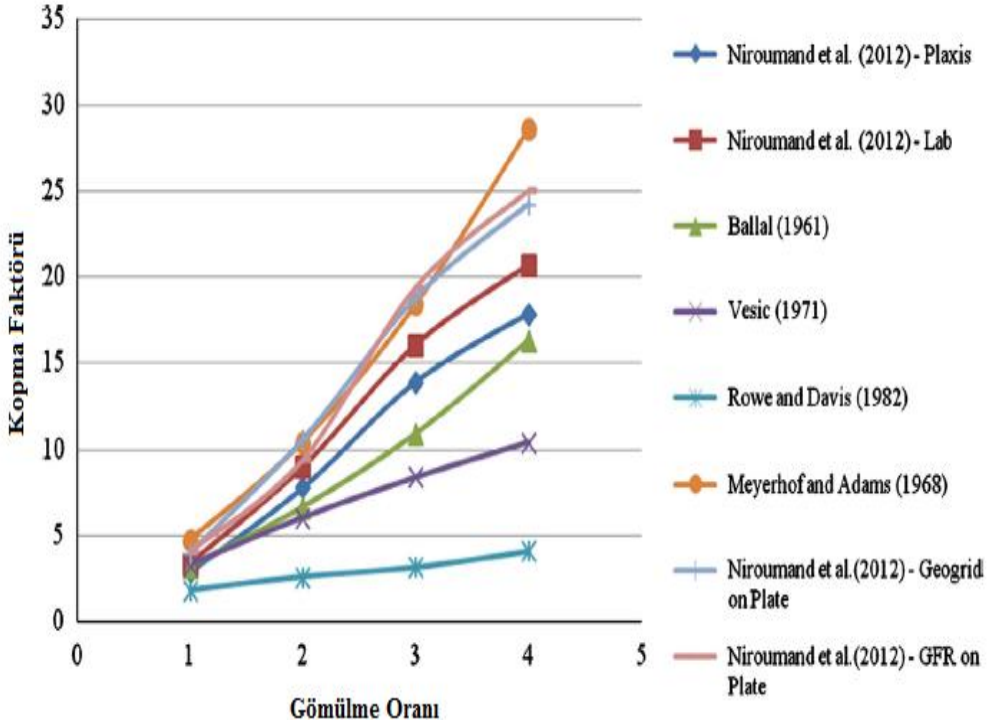
sayısının ve ankraj plakasına olan yakınlığının, çekme kapasitesine etkisi irdelenmiştir (Şekil 2.40 – Şekil 2.41).

Deney sonuçlarına göre;

- GFR kullanarak yapılan güçlendirmenin, dairesel ankrajın çekme kapasitesini önemli ölçüde geliştirmiştir.
- Direkt olarak ankraj üst yüzüne yerleştirilen tek bir GFR tabakası, geogrid ile güçlendirilmiş durumdan, çekme kapasitesini artırmada daha etkili olmuştur.
- Tek tabaka geogrid ile güçlendirilen zemindeki simetrik ankrajın çekme kapasitesi, geogridsiz aynı simetrik ankrajın çekme kapasitesine göre %19 daha fazla artmıştır. Bununla birlikte tek tabaka GFR kullanımı ise %29 oranında, çekme kapasitesinde artış sağlamıştır.
- Uygun derinliğe konulmak şartıyla, tek tabaka geogrid kullanımı, birden fazla tabakanın sağladığı çekme kapasitesinden daha etkili bir çekme kapasitesi sağlamıştır. Öte yandan, tek tabaka geogrid ve GFR ile yapılan güçlendirme ise ankrajın çekme kapasitesini daha da arttırmıştır.
- Genel olarak, hem gevşek hem de sıkı kumda, GFR kullanımı, simetrik ankrajın çekme kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca, geogrid ile birlikte GFR kullanımı, istenilen çekme kapasitesini sağlamak için gereken gömülme derinliği (L/D) değerini azaltmaktadır.
- Deney sonuçları ve sonlu elemanlar (PLAXIS) ile yapılan analiz sonuçları uyum göstermektedir.



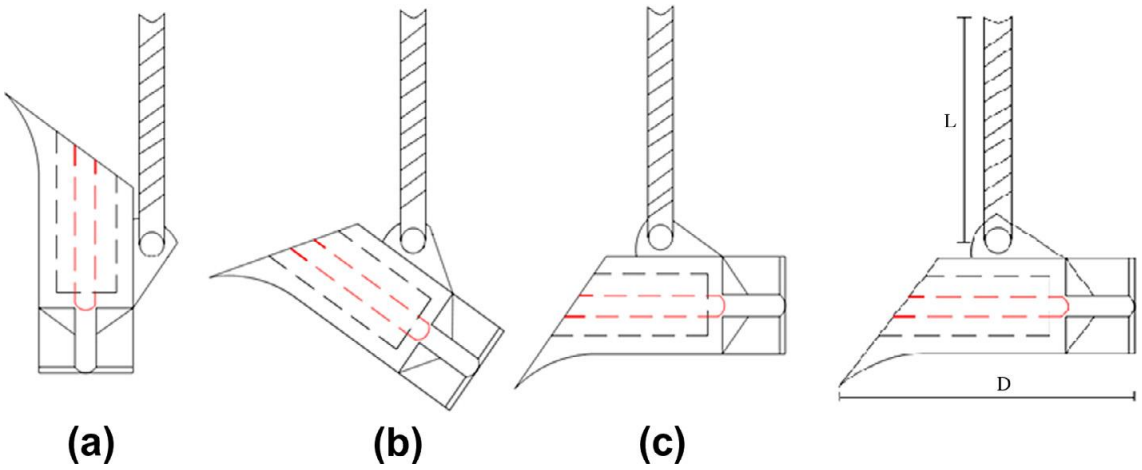
Şekil 2.40. Gevşek kumda, dairesel ankrajın sonuçları (Niroumand ve Diğ. 2013)



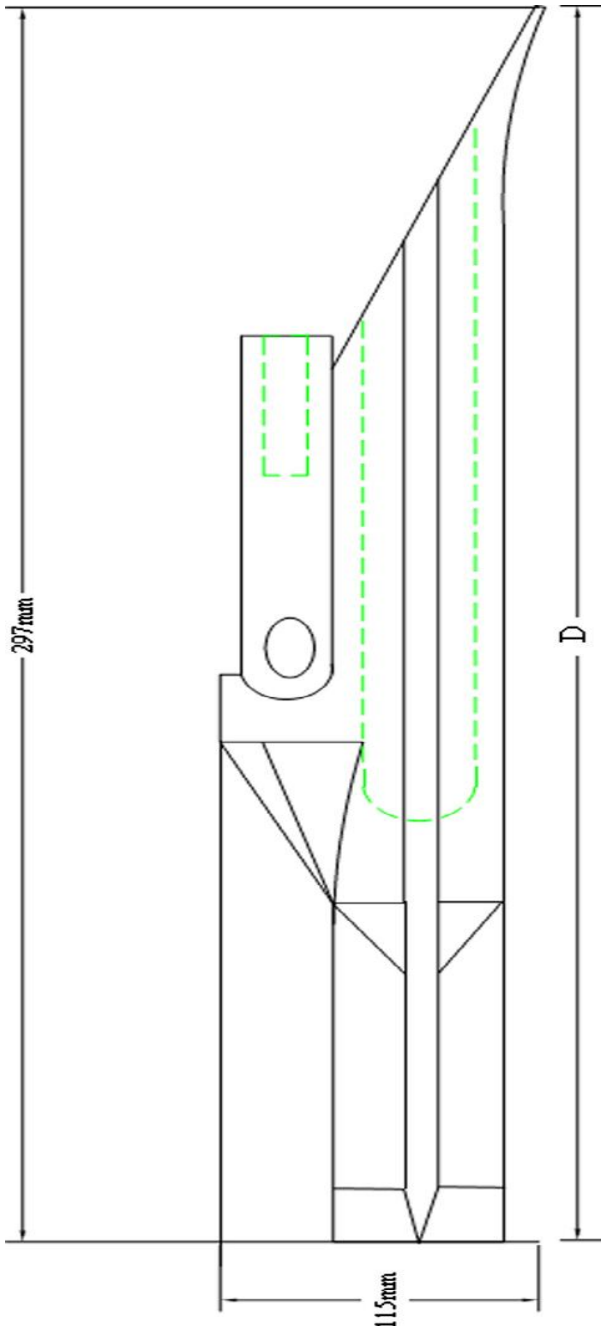
Şekil 2.41. Sıkı kumda, dairesel ankrajın sonuçları (Niroumand ve Diğ. 2013)

2.2.11 Niroumand ve Kassim (2013)

Niroumand ve Kassim (2013), bu çalışmada, düzensiz biçimli ankrajın çekme kapasitesini incelemişlerdir. Çekme kapasitesi üzerine yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan düzenli forma sahip ankrajlar yerine, düzensiz biçimli ankraj kullanılması istisnai bir durumdur. Şekil 2.42' de dönme adımları ve Şekil 2.43'te düzensiz ankrajın şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.42. Düzensiz ankrajın dönme adımları (Niroumand ve Kassim 2013)



Şekil 2.43. Düzensiz biçimli ankrajın şeması (Niroumand ve Kassim 2013)

Deney sonuçlarına göre, ankrajın çekme kapasitesi, gömülme oranı ve kum sıkılığının artışı ile artış göstermektedir. Aynı şekilde kopma faktörü de, gömülme oranı ve kum sıkılığının artışı ile artış göstermektedir.

2.2.12 Niroumand ve Kassim (2013[1])

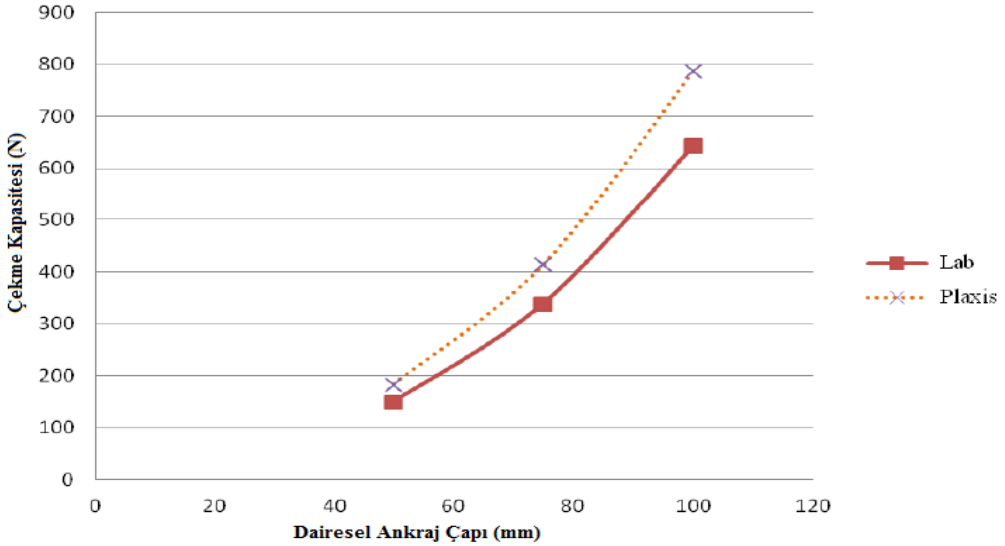
Niroumand ve Kassim (2013[1]), simetrik ankraj plakalarının çekme kapasitesini, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kohezyonsuz zeminde, model deneyler ve sonlu elemanlar analizi (PLAXIS) ile incelemişlerdir. Güçlendirme işleminde, geogrid tabakaları kullanılmıştır.

Deneyde elde edilen sonuçlara göre;

- Geogrid tabakaları ile yapılan güçlendirme, ankrajın çekme kapasitesinde önemli ölçüde artış sağlamıştır.
- Uygun yere konulmak suretiyle, tek tabaka geogrid kullanımı, birden fazla tabakanın sağladığı çekme kapasitesinden daha etkili bir çekme kapasitesi sağlamıştır.
- Genel olarak, hem gevşek hemde sıkı kumda, geogrid kullanımı, simetrik ankrajın çekme kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca , geogrid kullanımı, istenilen çekme kapasitesini sağlamak için gereken gömülme derinliği (L/D) değerini azaltmaktadır.
- Deney sonuçları ve sonlu elemanlar (PLAXIS) ile yapılan analiz sonuçları uyum göstermektedir.

2.2.13 Niroumand ve Kassim (2014)

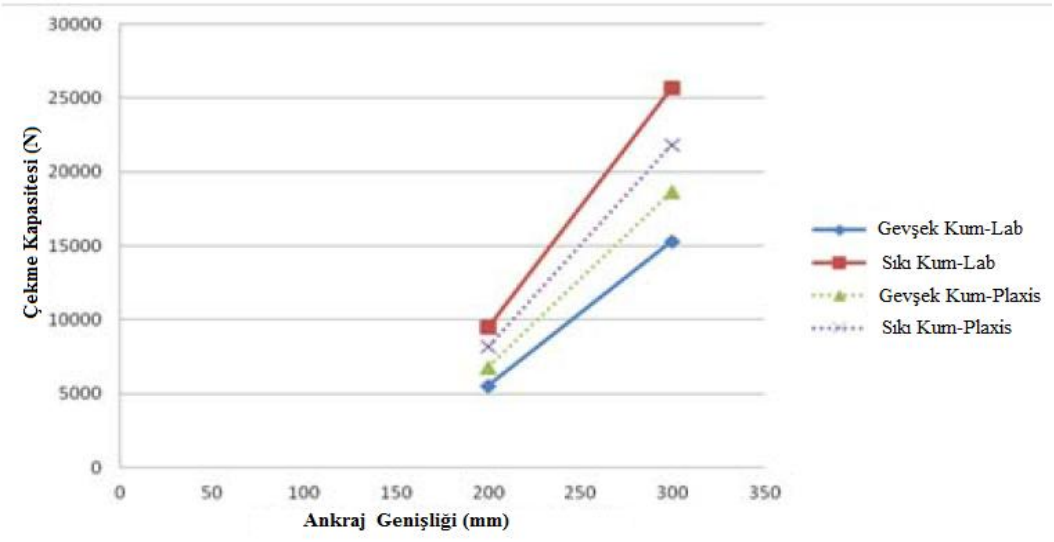
Niroumand ve Kassim (2014), simetrik ankraj olarak kullandıkları, gevşek kuma gömülü dairesel ankrajın, çekme kapasitesini hem model deneylerle hem de sonlu elemanlar analizi (PLAXIS) ile incelemişlerdir. Deneylerde 50 mm, 75 mm ve 100 mm çaplarında ankrajlar kullanılmıştır. Deney sonuçları, sonlu elemanlar analizi ile elde edilen çekme kapasitesi değeri, model deney ile elde edilen değerlerden daha yüksek çıktığını göstermiştir (Şekil 2.44).



Şekil 2.44. Çekme kapasitelerinin kıyaslanması (Niroumand ve Diğerleri 2014)

2.2.14 Niroumand ve Kassim (2014[1])

Niroumand ve Kassim (2014[1]), simetrik ankraj olarak kullandıkları, kohezyonsuz zemine gömülü dikdörtgensel ankrajın, çekme kapasitesini hem model deneylerle hem de sonlu elemanlar analizi (PLAXIS) ile incelemişlerdir. Deneylerde 50 mm, 75 mm ve 100 mm çaplarında ankrajlar kullanılmıştır. Deney sonuçları, hem sıkı hem de gevşek kumda, sonlu elemanlar analizi ile elde edilen çekme kapasitesi değerlerinin, model deney ile elde edilen değerlerden daha yüksek çıktığını göstermiştir (Şekil 2.45).

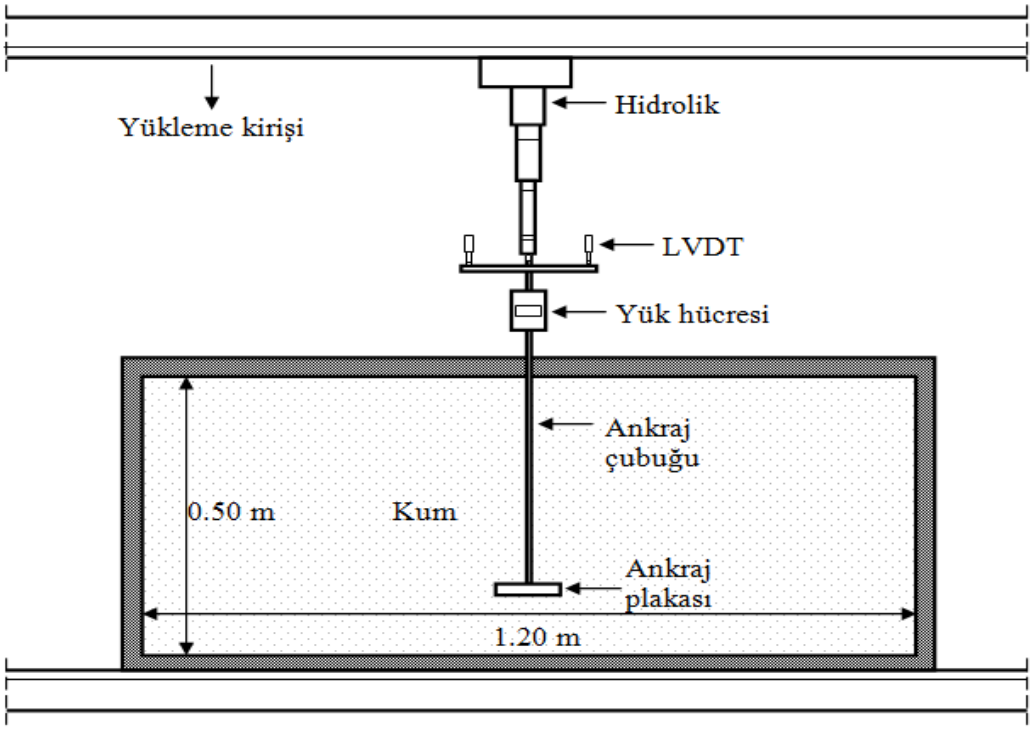


Şekil 2.45. Çekme kapasitelerinin kıyaslanması (Niroumand ve Diğerleri 2014[1])

2.2.15 Keskin (2015)

Keskin (2015), güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kum zemine gömülü kare ankraj plakaların çekme kapasitesini, hem model deneyler ile hem de sonlu elemanlar analizi (PLAXIS) ile incelemiştir. Kum zeminin güçlendirilmesinde, geogrid malzemesi kullanılmıştır.

Çalışmada; ilk geogrid donatı derinliği, düşey eksende yerleştirilen geogrid donatıları arası mesafe, geogrid donatı sayısı ve uzunluğu gibi parametrelerin, çekme kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Şekil 2.46' da deney düzeneğinin şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.46. Deney düzenek şeması (Keskin 2015)[1]

Deneyden elde edilen sonuçlara göre;

- Güçlendirilmemiş kum zeminde, hem model deneylerde hemde sonlu elemanlar analizinde, kopma faktörünün ankrajın gömülme derinliği ve kum sıkılığı ile birlikte artış gösterdiği görülmüştür.

- Geogrid ile güçlendirilmiş durumda, ankrajın çekme performansı önemli ölçüde gelişim göstermiştir. Bu da, geogrid donatısının, yanal ve düşey deplasmanları azaltmak suretiyle olmaktadır.

- Geogrid donatılarının düzenlenmesine bağlı olarak, çekme kapasitesi, geogridsiz duruma göre %70 oranında arttırabilir.

- Optimum geogrid kullanımı, u/B = 0 ve h/B = 0,5 derğerlerinde oluşmaktadır. Burada u; geogrid donatısının derinliği, B; ankraj genişliği, h; geogrid donatıları arası mesafedir.

- Çalışmada, 2 adet donatıdan fazla donatı kullanımının, çekme kapasitesinin artışına katkı sağlamamıştır. Böylece bu deney için, optimum donatı sayısı olarak bulunmuştur.

- Optimum donatı uzunluğu L=3B olarak saptanmıştır. 3B'den büyük uzunluklarda, taşıma kapasitesi yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.

- Model deneyler ile sonlu elemanlar analizi arasındaki sonuçlar ve irdelenen parametrelerin kritik değerleri bakımından, tatmin edici bir uyum vardır. Fakat sonlu elemanlar analizinden elde edilen, çekme kapasitesi oranı, UCR, model deneyden elde edilen değerden daha az çıkmıştır. Burada, $UCR = \frac{T_{ur}}{T_u}$ olarak tanımlanmaktadır ve T_{ur}; güçlendirilmiş zeminin nihai çekme kapasitesi, T_u; güçlendirilmemiş zeminin nihai çekme kapasitesidir.

2.2.16 Demir ve Ok (2015)

Demir ve Ok (2015), 50 mm çaplı helisel ankraj plakasının, tabakalı zemindeki (kum-kil) çekme davranışını, model deneyler ve sonlu elemanlar yöntemi (PLAXIS) kullanarak analiz etmiştir. Şekil 2.47' de helisel ankrajın resimleri verilmiştr.



Şekil 2.47. Helisel ankraj (Demir ve Ok 2015)

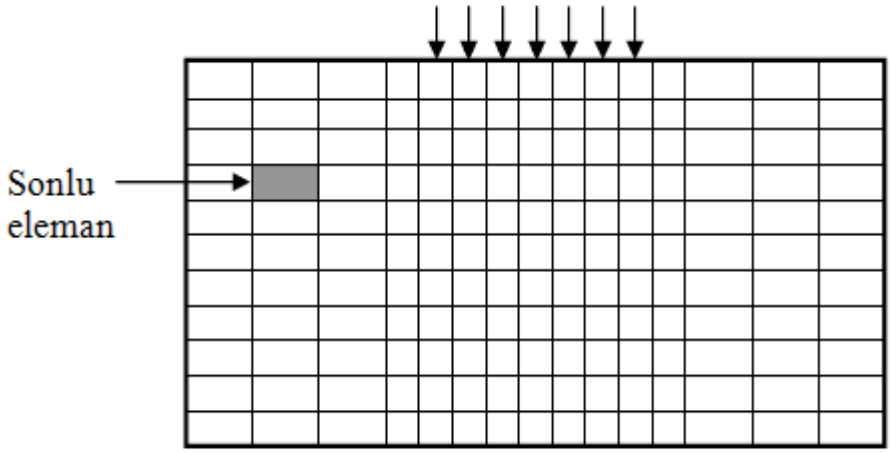
Araştırmadan elde edilen sonuçlar;

- Ankrajın gömülü olduğu kum tabakanın sıkılığının artması, çekme kapasitesi ve kopma faktörünü arttırmıştır.
- Relatif sıkılık yüzdesi, %40' tan %60' a çıktığında, kopma faktörü değeri %7,29, %80' e çıktığında ise %12,78 kadar artış göstermiştir.
- Plaxis' ten elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları arasında bir uyum olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOD

Zeminler; heterojen, anizotrop, non-liner özelliklerinin yanında, zaman ve ortama bağlı olarak değişim gösteren yapıları nedeni ile, oldukça karmaşık yapılara sahiptirler. Zeminlerin mühendislik davranışlarını belirlemek üzere geliştirilen pek çok kuram, zeminlerin karmaşık yapılarını basitleştirmek maksadı ile, çeşitli kabuller yapılarak geliştirilmiştir. Bu kabuller genellikle, zemini homojen, izotrop ve liner-elastik varsayan kabullerdir. Yapılan kabuller altında geliştirilen teoriler ile yapılan analizler, zemin yapısını tam anlamı ile parametreleştirip hesaplara dahil edemediklerinden, eksik kalmıştır.

Sonlu elemanlar yönteminin geliştirilmesi ve gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte, mühendislik alanında uygulanmak üzere geliştirilen CAD (Computer Aided Design) uygulamaları, gerek malzeme davranışı, gerekse de dış ortam etkilerini optimuma yakın şekilde modelleme ve analiz etme imkânı vermektedir. Sonlu elemanlar yönteminin esası, matematiksel olarak verilen mevcut kuramlar ile çözülemeyen problemleri, sonlu elemanlara bölüp, her ayrık eleman için, belirli koşullar ve kısıtlamalar altında çözümler yapıp, elde edilen çözümleri integre etmek sureti ile, sürekli problemin çözümünü yaklaşık olarak belirlemektir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Sürekli sistemin sonlu elemanlara ayrılması (Keskin 2009)

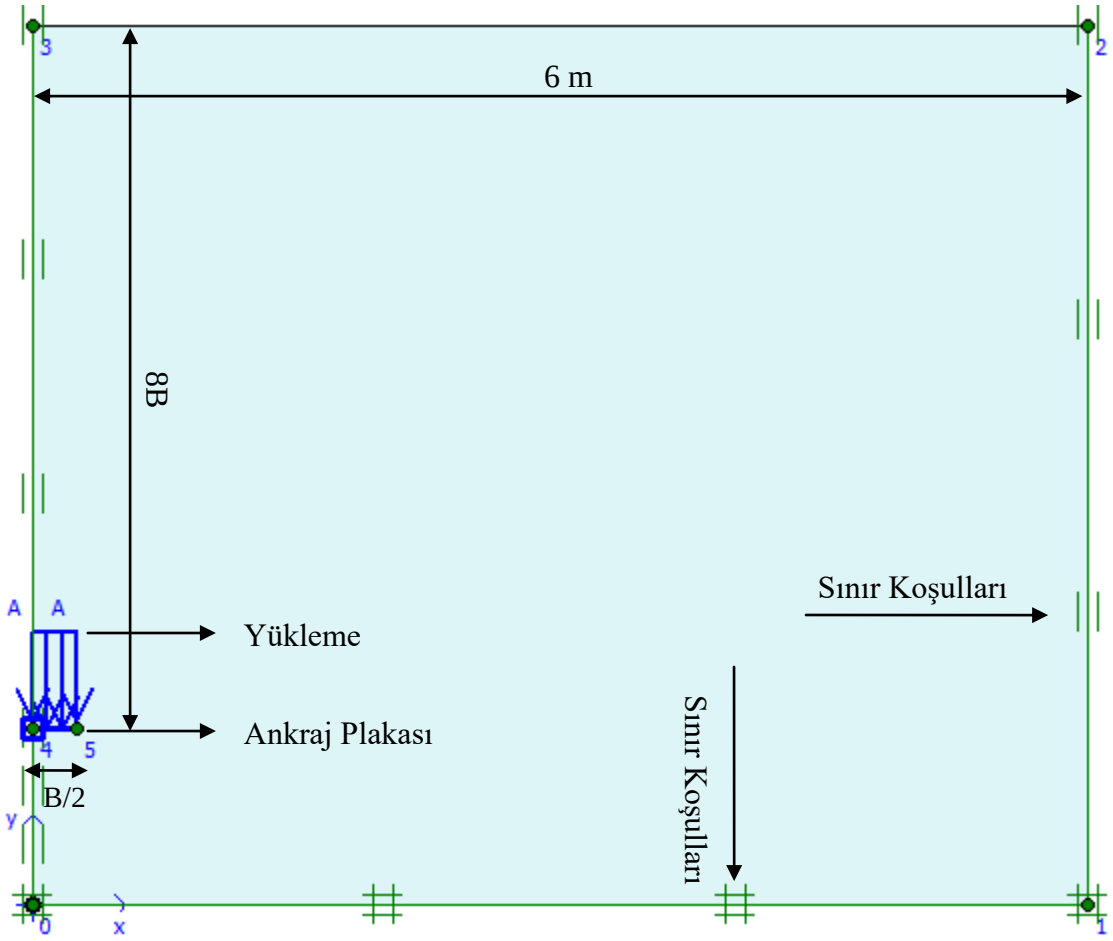
Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemine giriş yapılacak, analizlerde kullanılacak olan Plaxis bilgisayar programının çalışma prensibleri ve kullanılan malzeme modellerine değinilerek, kare ve dairesel ankraj plakalarının farklı boyut ve zemin koşulları için Plaxis programında gerçekleştirilen analizlerin sonuçları sunulacaktır.

3.1 Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizleri ile kare ve dairesel ankraj plakalarının, 3 farklı boyut (B), sekiz farklı gömülme derinliği (D_f) ile gevşek ve sıkı zemin durumları için çekme kapasitesinin değişimi araştırılmıştır. Analizler ayrıca donatılı ve donatısız zemin durumları için de yapılmıştır. Donatısız zemin durumunda, 8 farklı gömülme derinliği için analiz yapılmış, donatılı zemin durumunda ise belirli bir gömülme derinliği için, donatının çekme kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Analizleri gerçekleştirmek üzere, kurulan geometrik model ile malzeme modelinin parametreleri alt başlıklar halinde sunulacaktır.

3.1.1 Geometrik Model (PLAXIS 2D)

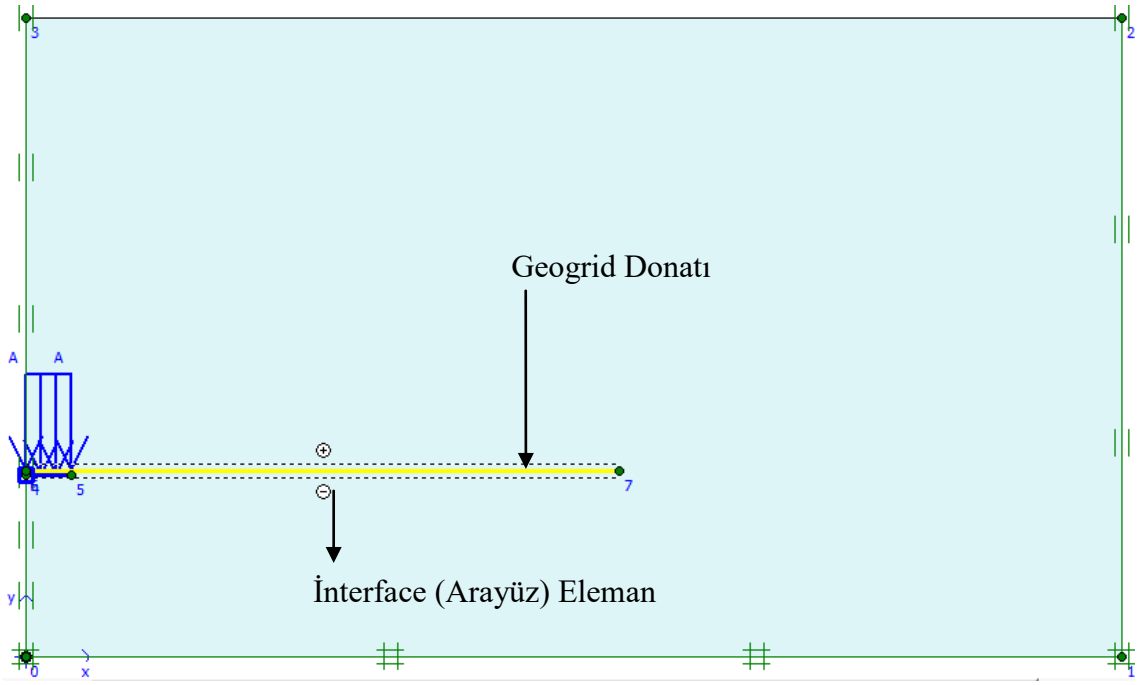
Geometrik model, Plaxis bilgisayar programında 2 boyutlu ve ankraj plakalarının geometrileri göz önüne alınarak “eksenel simetri” koşullarında oluşturulmuştur. Duyarlılık açısından, daha etkin çözümler yapmak üzere, zemin ortamı 15 düğüm noktalı üçgen elemanlarla modellenmiştir. Şekil 3.2’ de 8B derinlikli modelin geometrisi gösterilmiştir. Model genişliği 12 m ve yüksekliği de, gömülme oranlarına göre, 1B-8B arasında değişmektedir. Eksenel simetri avanajından faydanalanarak, model ebatlarının yarısı için, analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil.3.2. 2D model geometrisi (D_f = 8B)

Şekil 3.2' de gösterilen sınır koşulları, Plaxis programının sağladığı standart sınır koşulları olup, sadece düşey yönde harekete izin veren koşullardır. Diğer bir ifade ile standart sınır koşulları; yatay yönde ($U_{hx} = 0$) sıfır deplasman; düşey yönde ise ($U_{hy} \neq 0$) deplasman serbestliğine sahiptir.

Ayrıca Şekil 3.2., donatısız geomerik modeli; Şekil 3.3' te donatılı (geogrid) geometrik modeli ifade etmektedir.



Şekil 3.3. Donatılı zemin modeli (D_f = 5B)

3.1.2 Malzeme Özellikleri

3.1.2.1 Zemin Modeli

Analizlerde zemin modeli olarak "Hardening Soil Model" (pekleşen zemin) kullanılmıştır. Hardening Soil Model (HSM), geleneksel "Mohr – Coulomb" (MC) modelinin lineer olmayan gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) eğrisi yerine hiperbolik gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) eğrisini baz almaktadır. HSM 'nin bir diğer avantajı da zeminin gerilme bağımlı davranışını da modelleyebilmesidir. Mohr – Coulomb (MC) modelinde zeminin davranışı, tek bir elastisite modülü için modellenirken, Hardening Soil (HS) modelinde ise zeminin rijitliği, gerilme seviyesine bağlı olarak, modellenmektedir (Keskin 2009). Çizelge 3.l' de HS modeli için kullanılan, deneysel olarak belirlenen, parametreler gösterilmiştir.

Çizelge 3.l. Hardening Soil Model parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Gevşek Zemin Değerleri	Sıkı Zemin Değerleri
Doygun birim hacim ağırlık	$\gamma_{\delta o \psi}$	kN/m³	16,4	18
Birim hacim ağırlık	γ_n	kN/m³	15,4	17
Referans basınç değeri	p^{ref}	kN/m²	100	100
Üç eksenli yükleme rijitliği	E_{50}	kN/m²	21600	30000
Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği	E_{ur}	kN/m²	64800	90000
Ödometre yükleme rijitliği	E_{oed}	kN/m²	21600	30000
Rijitlik üs değeri	m	-	0.50	0.5
Kohezyon	c	kN/m²	0.50	0.5
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(°)	39	44
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	9	14
Poisson oranı	ν	-	0.25	0,25
Sukünetteki yanal basınç katsayısı	K_0	-	0,43	0,33
Göçme oranı	R_f	-	0.90	0,9

3.1.2.2 Ankraj Plakası

Analizlerde çekme kuvveti uygulanacak temel plakaları kiriş eleman ile modellenmiştir. Kiriş elemanın malzeme parametreleri Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Plaka malzeme parametreleri

Temel Ebatları	EA (kN/m)	EI (kNm^2/m)	Plaka Kalınlığı d (m)
Daire (D=50 cm) - Kare (B=L=50 cm)	$1,05 \times 10^7$	8750	0,1
Daire (D=75 cm) - Kare (B=L=75 cm)	$1,575 \times 10^7$	13125	0,1
Daire (D=100 cm) - Kare (B=L=100 cm)	$2,1 \times 10^6$	1750	0,1

3.1.2.3 Geogrid Elemanı

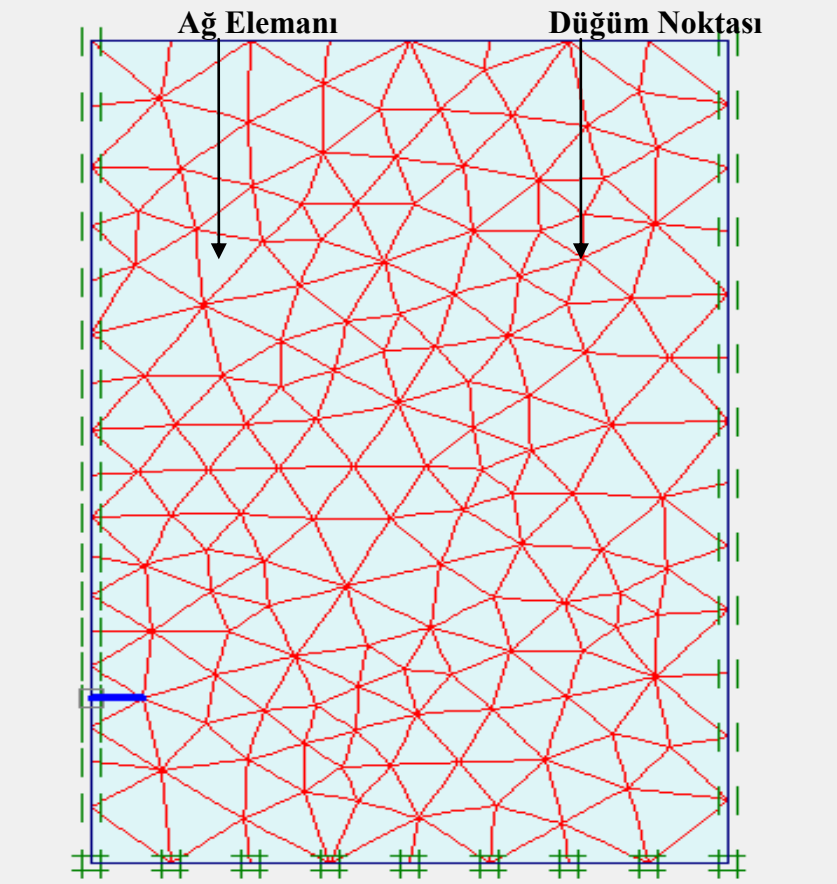
Donatılı zemin analizlerinde donatı elemanı olarak kullanılan geogrid, Plaxis'de mevcut geogrid eleman ile modellenmiştir. Geogrid elemanın rijitlik (EA) değeri 10^6 kN/m olarak seçilmiştir.

3.1.2.4 Arayüz Elemanı

Arayüz eleman, geogrid ile zemin arasındaki etkileşimi ifade etmektedir. Arayüz eleman çin kullanılan mukavemet azaltma faktörü R_{inter} = 0,70 olarak alınmıştır.

3.1.2.5 Sonlu Elemanlar Ağı

Analizlerde sonlu elemanlar ağı, orta (medium) olarak modellenmiştir. Şekil 3.4' te, ağı oluşturan elemanlar ve düğüm noktaları, gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Sonlu elemanlar ağı (2D)

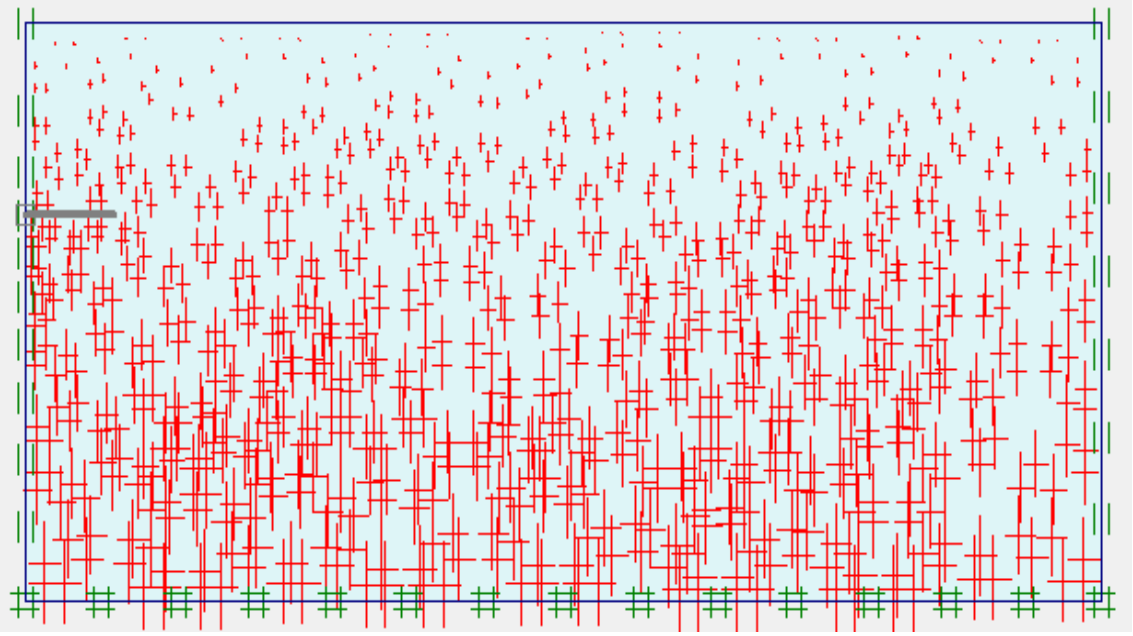
3.1.2.6 Başlangıç Gerilmelerinin Oluşturulması

Başlangıç gerilmeleri örselenmemiş zeminin denge durumunu ifade etmektedir. Zemin ağırlığından meydana gelen bu gerilmelerin, geoteknik problemlerinde belirlenmesi ve buna göre çözümler yapılması gerekmektedir. Plaxis programında, başlangıç gerilmeleri, K_0 işlemi ve ağırlık yüklemesi (gravity loading) ile belirlenmektedir. K_0 işlemi, sadece zemin yüzeyinin, yatay ve bu yüzeye paralel su seviyesi olduğu durumlarda geçerlidir. Diğer tüm durumlarda ağırlık yüklemesi yöntemi kullanılır (Keskin 2009).

K_0 değeri, normal konsolide zeminlerde, Jacky tarafından önerilen, içsel sürtünme açısına bağlı, ampirik bir bağıntıyla hesaplanabilmektedir (Keskin 2009).

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

Şekil 3.13' te başlangıç gerilmeleri oluşturulan zemin ortamı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Başlangıç gerilmeleri

3.1.2.7 Analizlerde Çözüm Aşamaları

Analizlerde çözüm iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada zemin ağırlığından dolayı oluşan başlangıç gerilmeleri oluşturulmuş, ikinci aşamada ise, varsa donatı, temel ve çekme yükü aktif hale getirilerek plastik çözüm yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, kare ve dairesel ankraj plakalarının üç farklı genişlik (B), sekiz farklı gömülme derinliği (D_f) ile gevşek ve sıkı zemin durumları için çekme kapasiteleri incelenmiş ve analizlerin sonuçları sunulmuştur. Plaxis 2.D ortamında kare olarak modellenemeyen ve eşdeğer daireye çevirilerek, eksenel-simetri koşullarında çekme kapasitesi belirlenen kare ankrajlar, Plaxis 3.D programı ile 3 boyutlu olarak modellenmiş ve 3 boyutlu modellemenin değişiminin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Plaxis 3.D programı ile, kare ankraj plakalarının, donatılı zemin içerisindeki çekme kapasitesi analiz edilmiş ve sonuçlar donatısız durum ile karşılaştırılmıştır. Çekme yükü – deplasman eğrilerinden çekme kapasitesi belirlemede çeşitli yöntemler mevcuttur. Aşağıda bu yöntemlere maddeler halinde değinilmiştir ve bu çalışmada çekme kapasitesi değerleri "teğet kesiştirme yöntemi" ile belirlenmiştir.

- 0.1B yöntemi: Sınırlandırılmış bir deplasman değerine karşılık gelen yük değerinin seçilmesi şeklindedir (Briaud ve Jeanjean 1994) (Keskin 2009). (B; temel genişliği)

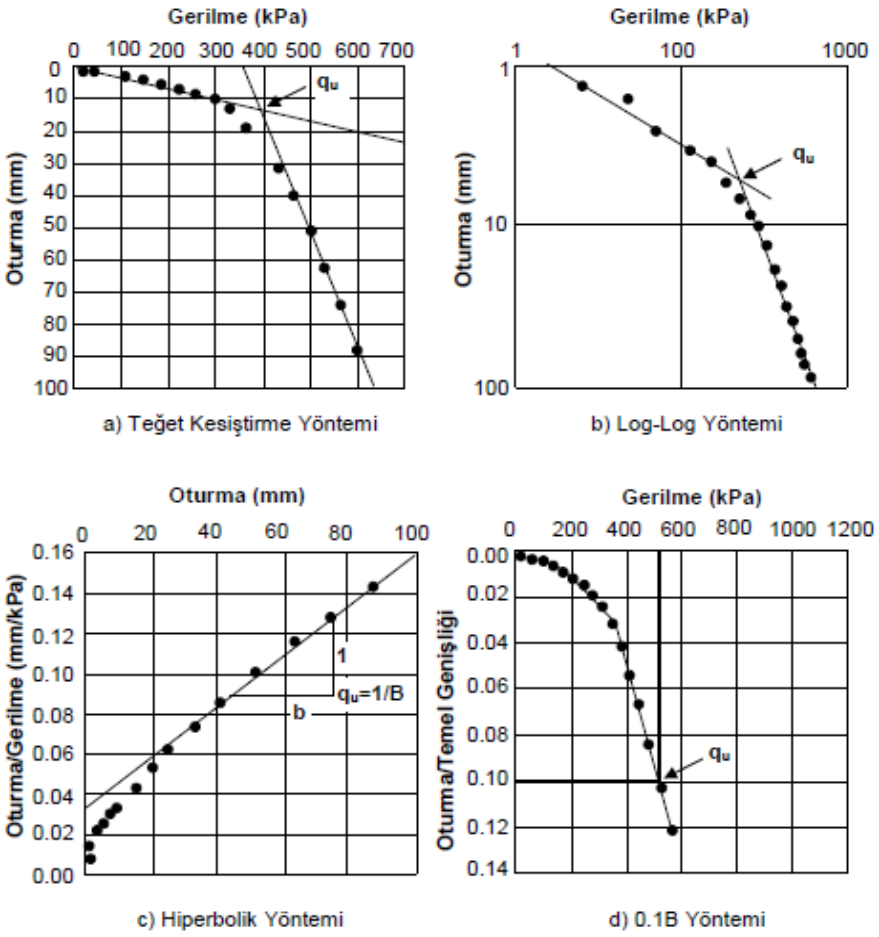
- Teğet kesiştirme yöntemi: Deplasman değerlerinde, belirgin bir değişimin görüldüğü noktaya karşılık gelen, yük değerinin seçilmesi şeklindedir (Trautmann ve Kulhawy 1988) (Keskin 2009).

- Log – Log yöntemi: Çekme yükü – Deplasman değerlerinde düzeltme yapılarak, kesişme noktasına karşılık gelen, yük değerinin seçilmesi şeklidedir (DeBeer 1970) (Keskin 2009).

- Hiperbolik yöntem: Çekme yükü – Deplasman eğrisine uygun bir model seçilerek, tahmini bir asimptot değere karşılık gelen, yük değerinin seçilmesi şeklindedir (Keskin 2009).

Çekme yükü belirlenirken bu yöntemlerden tek birinin kullanılması doğru bir yaklaşım olacaktır. Lutenegger ve Adams (1998), sıkı kuma oturan kare temeller üzerine yaptıkları deneyler sonucunda, "taşıma gücü – oturma" eğrilerinden, bu yöntemleri kullanarak, taşıma gücü değerlerini belirlemiş ve bu yöntemler arasındaki

ilişkiyi; Log-Log Yöntemi < Teğet Kesiştirme Yontemi < 0.1B Yöntemi < Hiperbolik Yöntem (Şekil 4.1.), olarak belirlemişlerdir.



Şekil 4.1. Taşıma gücü belirleme yöntemleri (Cerato 2005) (Keskin 2009)

4.1.1 Dairesel Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = 50 cm)

B = 50 cm çaplı ve d = 10 cm kalınlıklı dairesel ankraj plakasına Çizelge 4.1' de gösterilen, farklı zemin durumları ve farklı gömülme derinlikleri için çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi ile ilgili varyasyonlara göre, analiz edilmiştir.

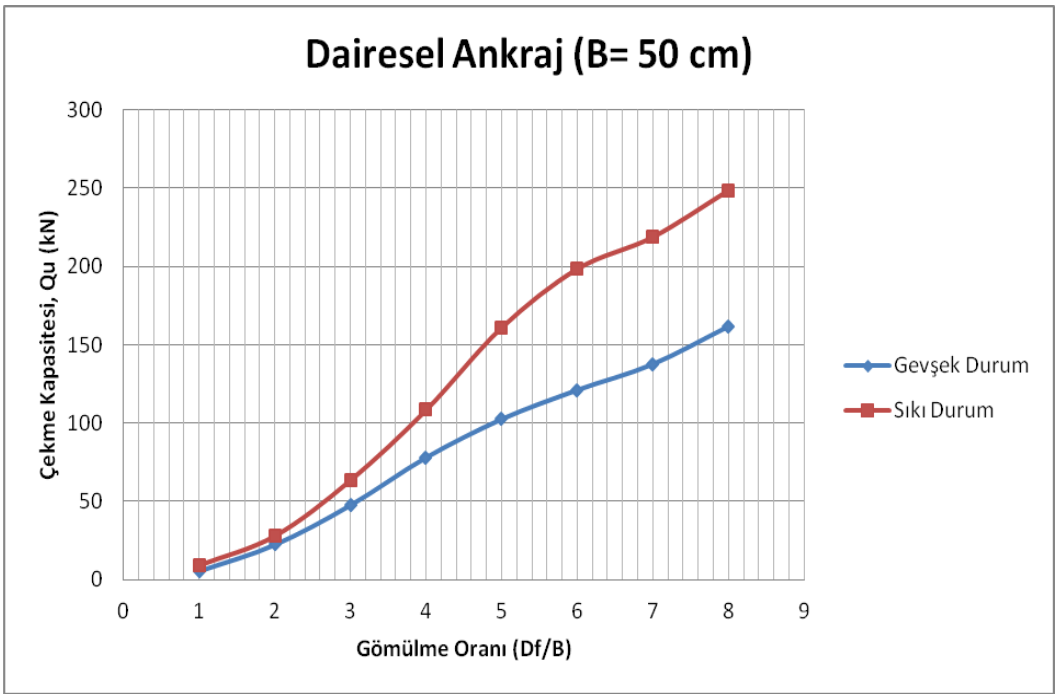
Çizelge 4.1. B = 50 cm çaplı dairesel ankrajın analiz planı

Dairesel Ankraj Plakası (B=50 cm)		
	Zemin Durumu	
	Gevşek Durum	Sıkı Durum
	(γ_n = 15,4 kN/m^3 - γ_d=16,4 kN/m^3)	(γ_n = 16 kN/m^3 - γ_d=17 kN/m^3)
Gömülme Derinliği (Df)	1B	1B
	2B	2B
	3B	3B
	4B	4B
	5B	5B
	6B	6B
	7B	7B
	8B	8B

Şekil 4.2' de çekme kapasitesinin değişimleri ve Çizelge 4.2'de de çekme kapasitesinin değerleri gösterilmiştir. Görüleceği üzere, çekme kapasitesi, derinlik artışı ile birlikte artmış ve aynı derinlikte, sıkı durumdaki çekme kapasitesinin, gevşek durumdaki çekme kapasitesinden ortalama %50 daha fazla olduğu görülmüştür.

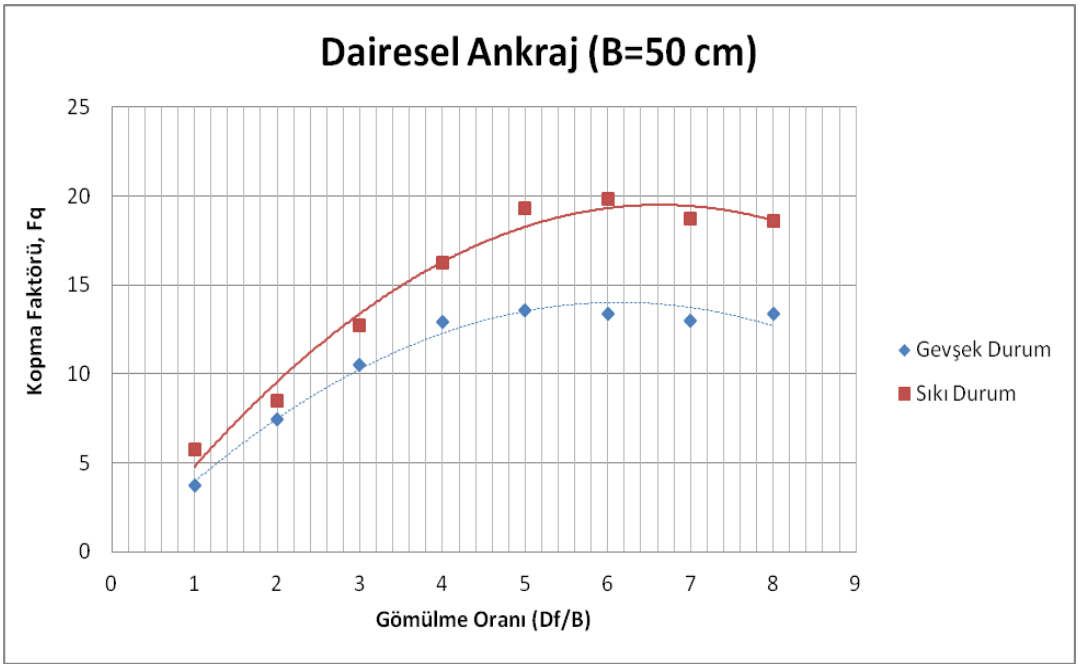
Çizelge 4.2. Çekme kapasitesi değerleri (B = 50 cm)

Dairesel Ankraj (B= 50 cm)						
Gevşek Durum				**Sıkı Durum**		
D_F (m)	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q
0,5	28,59	5,6	3,71	48,75	9,56	5,73
1,0	114,56	22,45	7,43	144,3	28,28	8,47
1,5	243,51	47,73	10,52	325,25	63,75	12,73
2,0	398,78	78,16	12,92	553,93	108,57	16,26
2,5	523,95	102,69	13,58	822,02	161,12	19,31
3,0	618,73	121,27	13,37	1012,74	198,5	19,82
3,5	702,99	137,79	13,02	1116,7	218,87	18,73
4,0	825,69	161,84	13,38	1267,97	248,52	18,61



Şekil 4.2. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B = 50 cm)

Aynı şekilde, boyutsuz bir parametre olan kopma faktörünün (F_q) değişimleri de Şekil 4.3' te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B = 50 cm)

Kopma faktörü, beklenen bir sonuç olarak, sıkı zemin durumunda gevşek zemin durumuna oranla, daha yüksek olmak ile birlikte, artan gömülme oranlarında, kopma faktörü değerlerinin her iki zemin durumunda da azalış gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni, gömülme oranındaki doğrusal artışa rağmen, çekme kapasitesinde (Q_u) aynı doğrusal artışın olmamasıdır.

4.1.2 Dairesel Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = 75 cm)

B = 75 cm çaplı ve d = 10 cm kalınlıklı dairesel ankraj plakasına Çizelge 4.3' te gösterilen, farklı zemin durumları ve farklı gömülme derinlikleri için, çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi ile ilgili varyasyonlara göre analiz edilmiştir.

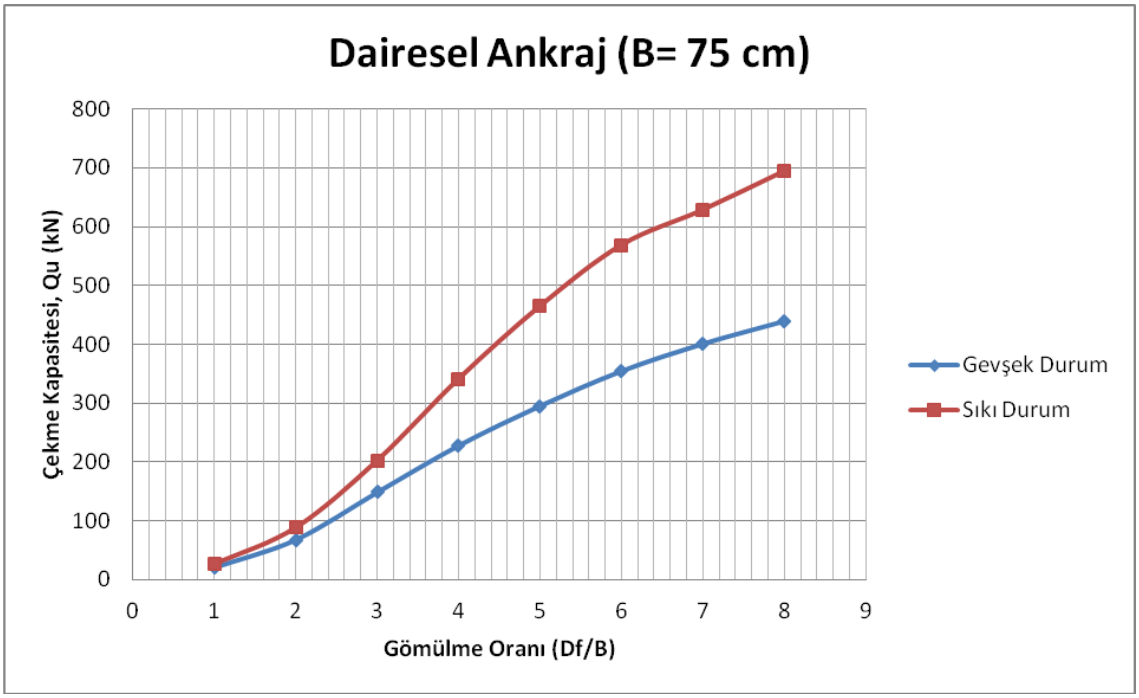
Çizelge 4.3. B = 75 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı

Dairesel Ankraj Plakası (B=75 cm)		
	Zemin Durumu	
	Gevşek Durum	Sıkı Durum
	(γ_n = 15,4 kN/m^3 - γ_d=16,4 kN/m^3)	(γ_n = 16 kN/m^3 - γ_d=17 kN/m^3)
Gömülme Derinliği (Df)	1B	1B
	2B	2B
	3B	3B
	4B	4B
	5B	5B
	6B	6B
	7B	7B
	8B	8B

Şekil 4.4' te çekme kapasitesinin değişimleri ve Çizelge 4.4'te de çekme kapasitesinin değerleri gösterilmiştir. Görüleceği üzere, çekme kapasitesi derinlik artışı ile birlikte artmış ve aynı derinlikte, sıkı durumdaki çekme kapasitesinin, gevşek durumdaki çekme kapasitesinden ortalama %46 daha fazla olduğu görülmüştür.

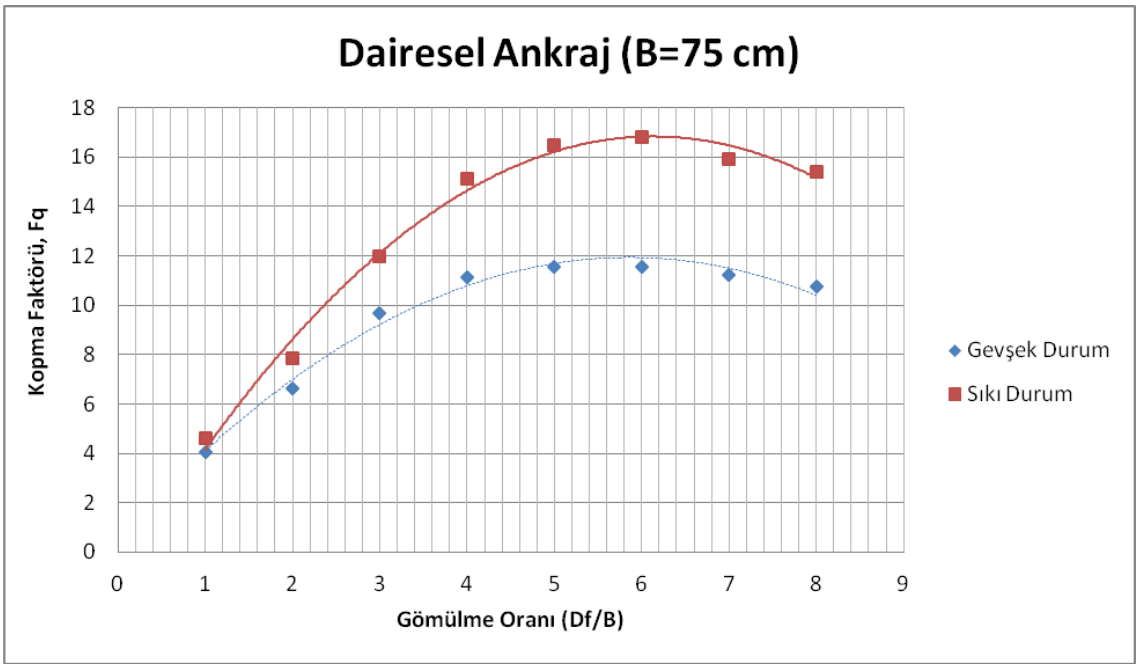
Çizelge 4.4. Çekme kapasitesi değerleri (B = 75 cm)

Dairesel Ankraj (B= 75 cm)						
Gevşek Durum				Sıkı Durum		
D_F (m)	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q
0,75	46,89	20,73	4,06	58,75	25,97	4,61
1,5	153,5	67,85	6,65	199,84	88,33	7,84
2,25	335,73	148,39	9,69	458	202,44	11,98
3	515	227,63	11,15	772	341,22	15,14
3,75	667,26	294,93	11,56	1051,57	464,79	16,5
4,5	801	354,04	11,56	1286,2	568,5	16,82
5,25	906	400,45	11,21	1421,44	628,28	15,93
6	992,7	438,77	10,75	1570,2	694,03	15,4



Şekil 4.4. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B = 75 cm)

Aynı şekilde, boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü (F_q) değişimleri Şekil 4.5' te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B = 75 cm)

Kopma faktörü, beklenen bir sonuç olarak, sıkı zemin durumunda gevşek zemin durumuna oranla daha yüksek olmak ile birlikte, artan gömülme oranlarında, kopma faktörü değerlerinin, her iki zemin durumunda da, azalış gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni, gömülme oranındaki doğrusal artışa rağmen, çekme kapasitesinde (Q_u) aynı doğrusal artışın olmamasıdır.

4.1.3 Dairesel Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = 100 cm)

B = 100 cm çaplı ve d = 10 cm kalınlıklı dairesel ankraj plakasına, Çizelge 4.5'te gösterilen, farklı zemin durumları ve farklı gömülme derinlikleri için, çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi ile ilgili varyasyonlara göre analiz edilmiştir.

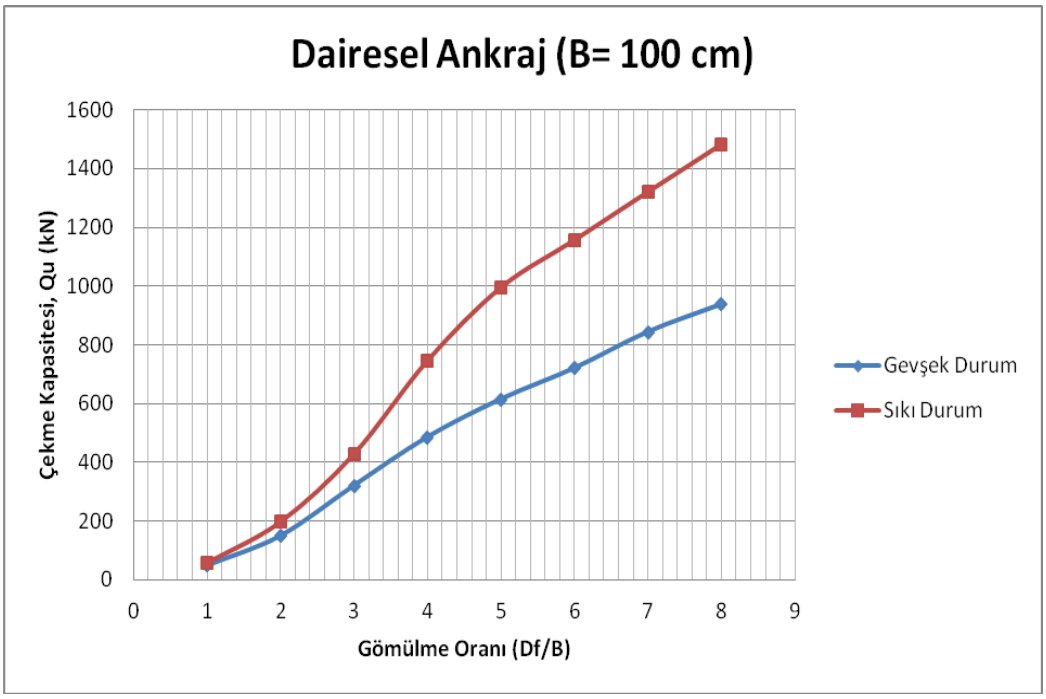
Çizelge 4.5. B = 100 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı

Dairesel Ankraj Plakası (B=100 cm)		
	Zemin Durumu	
	Gevşek Durum	Sıkı Durum
	(γ_n = 15,4 kN/m^3 - γ_d=16,4 kN/m^3)	(γ_n = 16 kN/m^3 - γ_d=17 kN/m^3)
Gömülme Derinliği (Df)	1B	1B
	2B	2B
	3B	3B
	4B	4B
	5B	5B
	6B	6B
	7B	7B
	8B	8B

Şekil 4.6‘ da çekme kapasitesinin değişimleri, Çizelge 4.6’da da çekme kapasitesinin değerleri gösterilmiştir. Görüleceği üzere; çekme kapasitesi, derinlik artışı ile birlikte artmış ve aynı derinlikte, sıkı durumdaki çekme kapasitesinin, gevşek durumdaki çekme kapasitesinden ortalama %47 daha fazla olduğu görülmüştür.

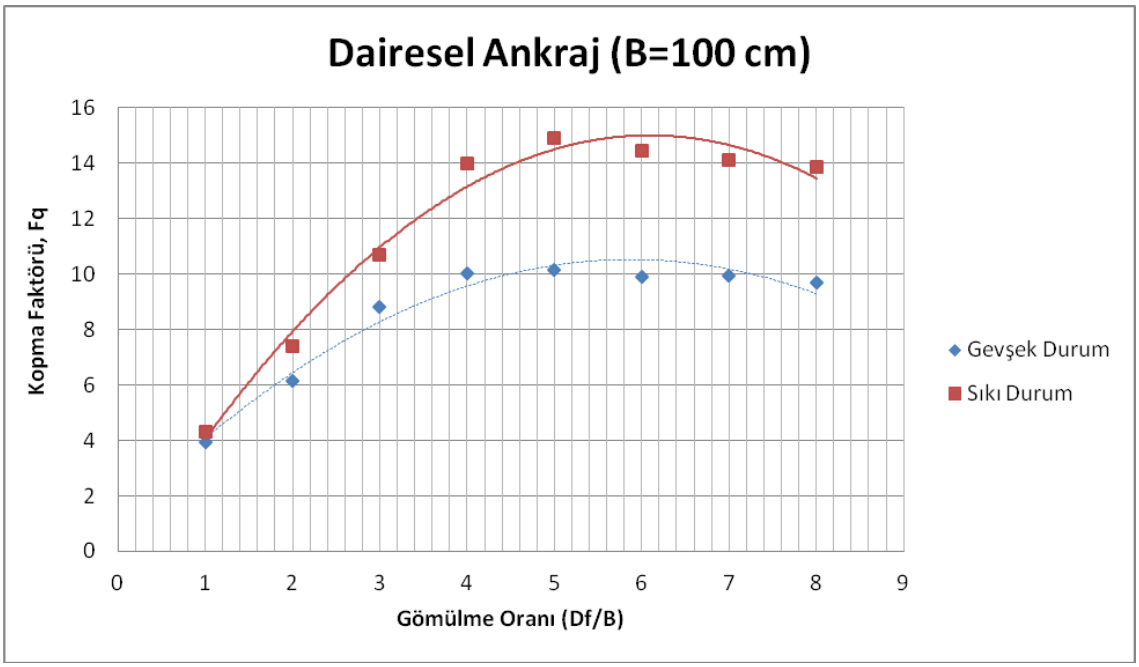
Çizelge 4.6. Çekme kapasitesi değerleri (B = 100 cm)

Dairesel Ankraj (B= 100 cm)						
Gevşek Durum				**Sıkı Durum**		
D_F (m)	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q
1	60,6	47,57	3,93	73,2	57,46	4,3
2	189,4	148,68	6,15	251,47	197,4	7,39
3	407,3	319,73	8,81	545	427,83	10,68
4	617,9	485,05	10,03	950,15	745,87	13,97
5	782,43	614,21	10,16	1267,5	994,99	14,9
6	916,78	719,67	9,92	1473,32	1156,56	14,44
7	1074	843,09	9,96	1682,12	1320,46	14,13
8	1193,59	936,97	9,68	1887,95	1482,04	13,87



Şekil 4.6. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B = 100 cm)

Aynı şekilde, boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü (F_q) değişimleri Şekil 4.7' de gösterilmiştir.

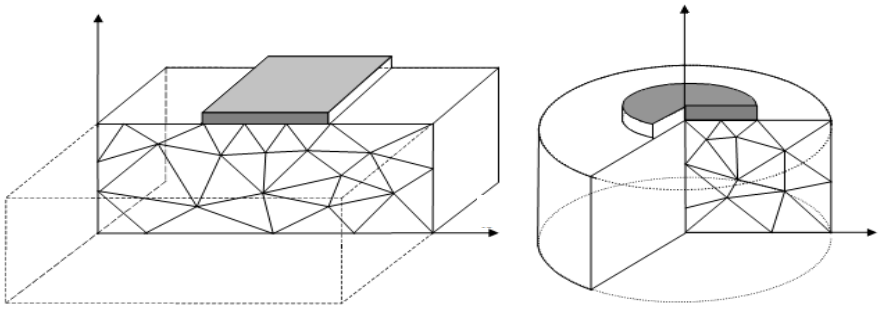


Şekil 4.7. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B = 100 cm)

Kopma faktörü, yine diğer analizlere benzer olarak, sıkı zemin durumunda gevşek zemin durumuna oranla, daha yüksek olmak ile birlikte, artan gömülme oranlarında, kopma faktörü değerlerinin her iki zemin durumunda da azalış gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni, gömülme oranındaki doğrusal artışa rağmen, çekme kapasitesinde (Q_u) aynı doğrusal artışın olmamasıdır.

4.1.4 Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = L= 50 cm)

B=L= 50 cm boyutlarında ve d= 10 cm kalınlığında kare ankraj plakasının çekme kapasitesini belirlemek üzere, Plaxis 2.D 'de analizler gerçekleştirilmiştir. Plaxis 2.D, "Düzlem Şekil Değiştirme" modülünde, kare ankrajı, z boyutunda birim genişlik kabulü ile, şerit ankraj gibi çözüm yapmaktadır. Programın, "Eksenel Şekil Değiştirme" modülünde ise, Şekil 4.8' de görüldüğü gibi, eksenel simetriden dolayı, kare ankraj plakasının modellenemeyeceği görülmektedir. Bu yüzden kare ankraj plakaları, eşdeğer alan varsayımı ile dairesel ankraj olarak modellenmiştir. Çizelge 4.7' de eşdeğer alan ve bu alanlara göre belirlenen daire çapları sunulmuştur.



(a) Düzlem Şekil Değiştirme (b) Eksenel Şekil Değiştirme

Şekil 4.8. Şekil değiştirme durumları (Plaxis Manuel 2002)

Çizelge 4.7. Eşdeğer alanlar ve hesaplanan daire çapları

Kare Ankraj	**EşdeğerAlan (BxL) m^2**	**Daire Çapı (m)** $D = \sqrt{\frac{4 \times B \times L}{\pi}}$
B = L= 50 cm	0,2500	0,564
B = L= 75 cm	0,5625	0,846
B = L= 100 cm	1,0000	1,128

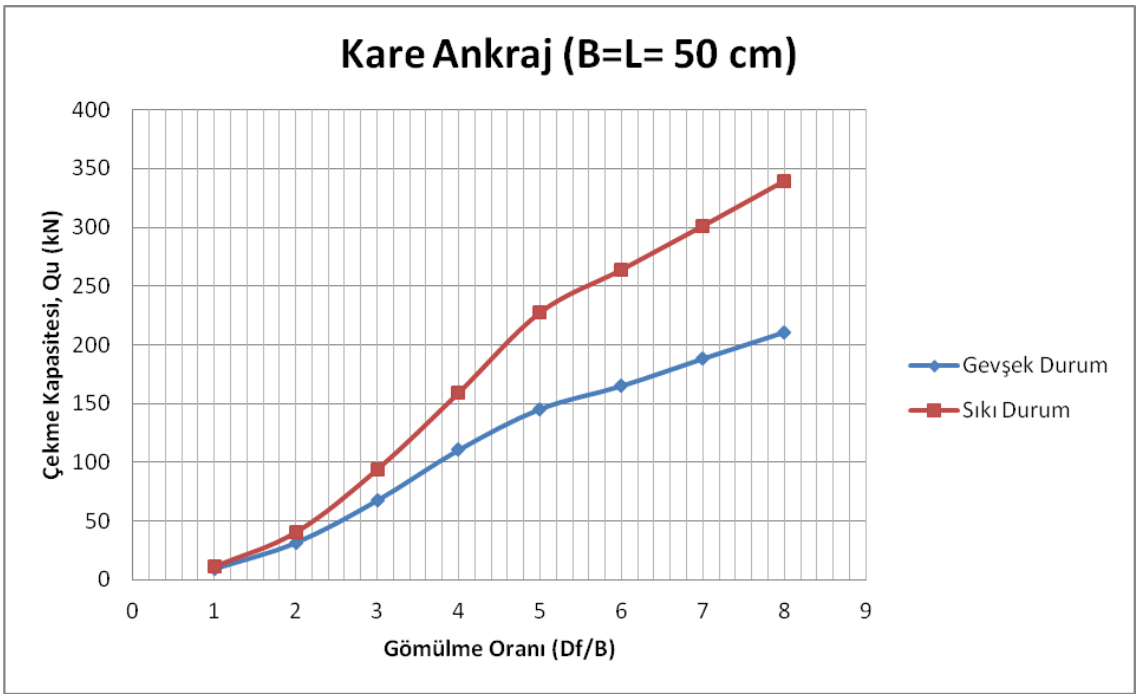
Daire çapları belirlendikten sonra, Çizelge 4.8' de gösterilen analiz planı ile kare ankrajın, eşdeğer alan varsayımı ile, çekme kapasitesi belirlenmiştir. Şekil 4.9' da görüleceği üzere, çekme kapasitesi (Q_u), gevşek zemin durumuna oranla, sıkı durumunda daha yüksek ve gömülme oranının artışı ile birlikte, ortalama %46 artmaktadır. Çizelge 4.9' da da çekme kapasitesinin değerleri sunulmuştur.

Çizelge 4.8. B = L= 50 cm çaplı kare ankraj için analiz planı

Kare Ankraj Plakası (B=L=50 cm)		
	Zemin Durumu	
	Gevşek Durum	Sıkı Durum
	(γ_n = 15,4 kN/m^3 - γ_d=16,4 kN/m^3)	(γ_n = 16 kN/m^3 - γ_d=17 kN/m^3)
Gömülme Derinliği (Df)	1B	1B
	2B	2B
	3B	3B
	4B	4B
	5B	5B
	6B	6B
	7B	7B
	8B	8B

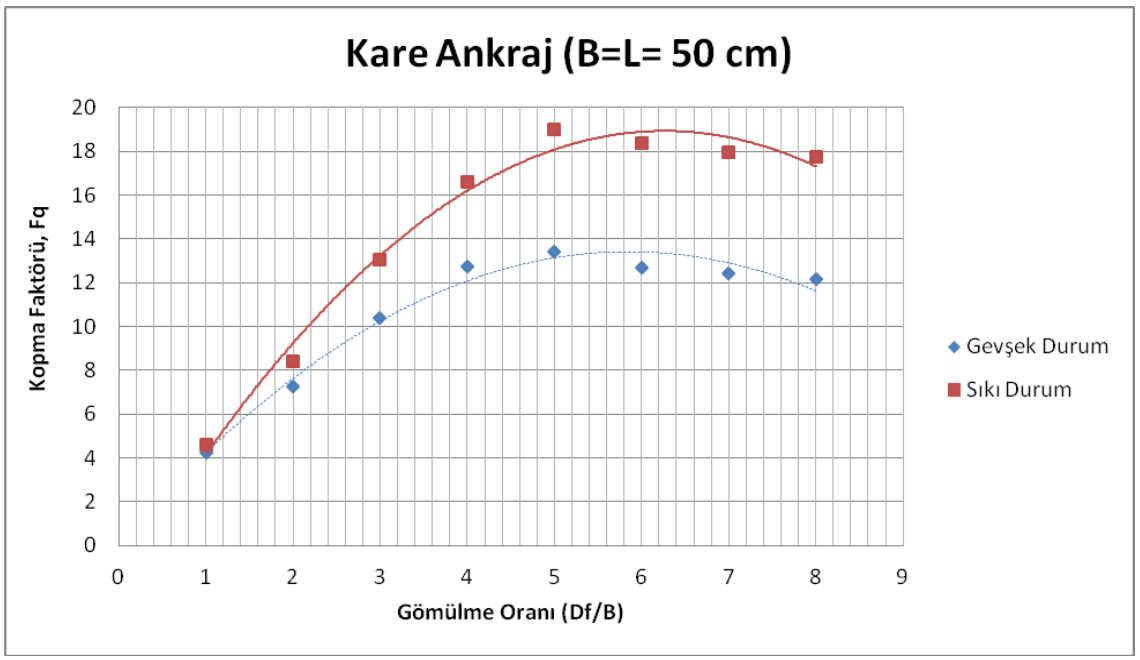
Çizelge 4.9. Çekme kapasitesi değerleri (B=L=50 cm)

Kare Ankraj (B=L= 50 cm)						
Gevşek Durum				**Sıkı Durum**		
D_F (m)	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q
0,564	36,94	9,23	4,25	44,38	11,09	4,63
1,128	126,07	31,50	7,26	161,25	40,29	8,41
1,692	270,28	67,52	10,37	375,63	93,84	13,06
2,256	442,59	110,57	12,74	637,20	159,19	16,61
2,820	581,96	145,39	13,40	910,67	227,51	19,00
3,384	660,80	165,09	12,68	1056,69	264,00	18,37
3,948	753,83	188,33	12,40	1206,10	301,32	17,97
4,512	843,85	210,82	12,14	1358,86	339,49	17,72



Şekil 4.9. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 50 cm)

Benzer şekilde, boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü (F_q) değişimleri Şekil 4.10' da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 50 cm)

Kopma faktörü, sıkı zemin durumunda gevşek zemin durumuna oranla daha yüksek olmak ile birlikte, artan gömülme oranlarında, kopma faktörü değerlerinin her iki zemin durumunda da azalış gösterdiği görülmüştür.

4.1.5 Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = L= 75 cm)

B=L= 75 cm boyutlarında ve d = 10 cm kalınlıklı kare ankraj plakasına, eşdeğer alan varsayımı altında, Çizelge 4.10' da gösterilen, farklı zemin durumları ve farklı gömülme derinlikleri için çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi ile ilgili varyasyonlara göre analiz edilmiştir.

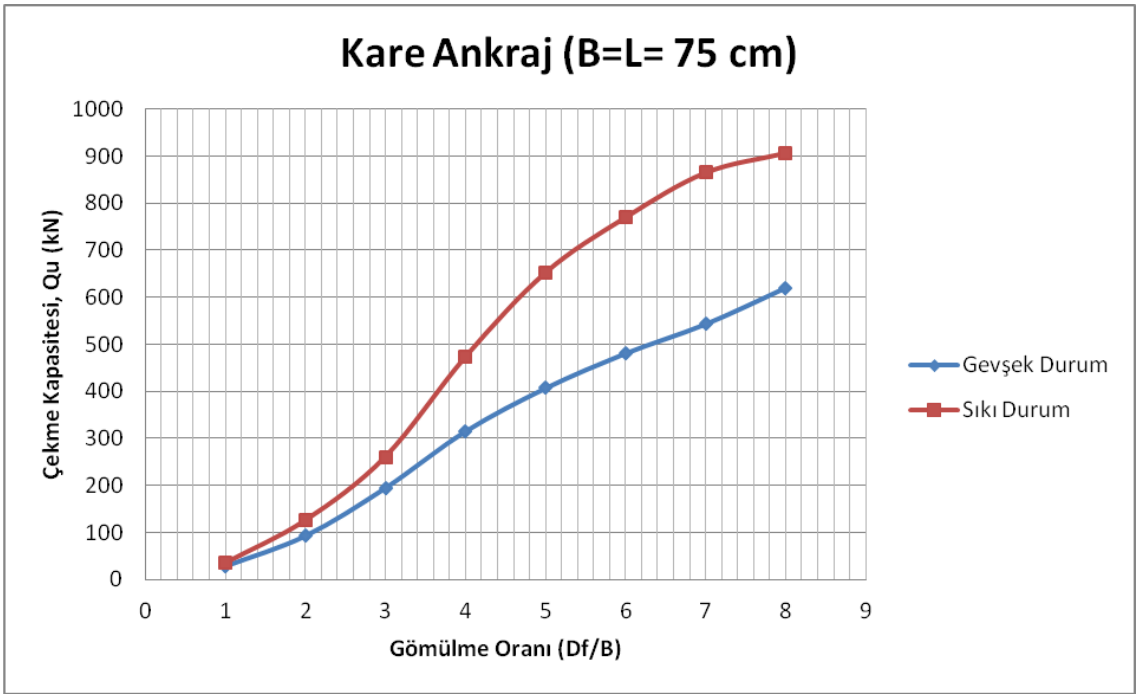
Çizelge 4.10. B=L= 75 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı

Kare Ankraj Plakası (B=L= 75 cm)		
	Zemin Durumu	
	Gevşek Durum	Sıkı Durum
	(γ_n = 15,4 kN/m^3 - γ_d=16,4 kN/m^3)	(γ_n = 16 kN/m^3 - γ_d=17 kN/m^3)
Gömülme Derinliği (Df)	1B	1B
	2B	2B
	3B	3B
	4B	4B
	5B	5B
	6B	6B
	7B	7B
	8B	8B

Şekil 4.11' de çekme kapasitesinin değişimleri ve Çizelge 4.11'de de çekme kapasitesinin değerleri gösterilmiştir. Görüleceği üzere, çekme kapasitesi derinlik artışı ile birlikte artmış ve aynı derinlikte, sıkı durumdaki çekme kapasitesinin, gevşek durumdaki çekme kapasitesinden ortalama %45 daha fazla olduğu görülmüştür.

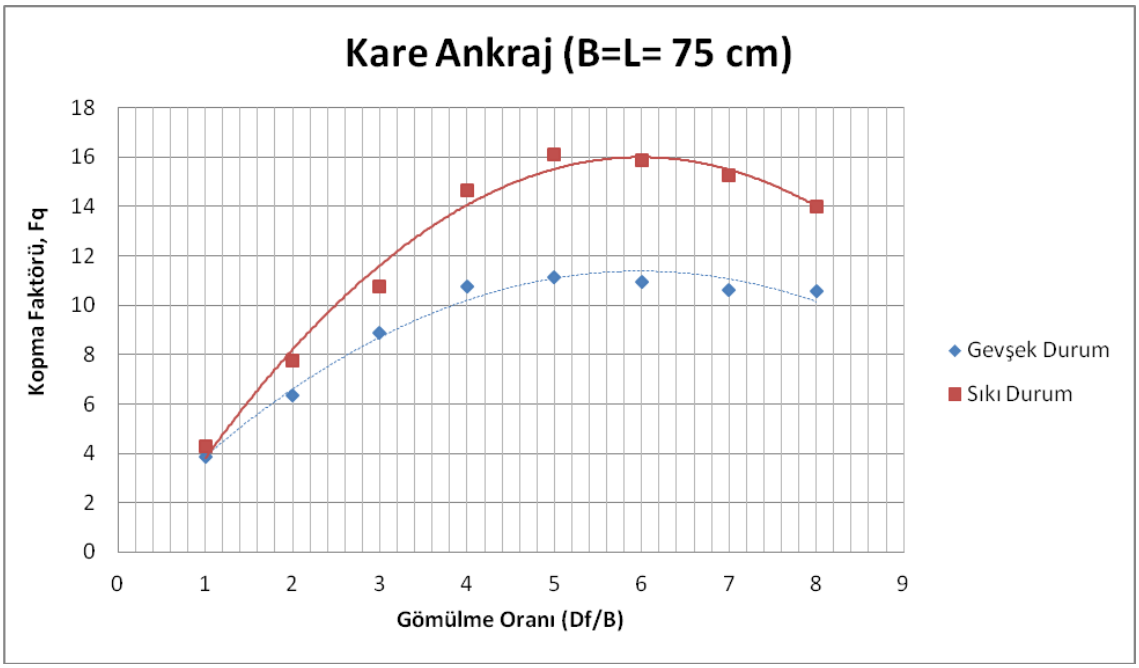
Çizelge 4.11. Çekme kapasitesi değerleri (B=L= 75cm)

Kare Ankraj (B=L= 75 cm)						
Gevşek Durum				Sıkı Durum		
D_F (m)	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q	Gerilme (kN/m^2)	T_u (kN)	F_q
0,846	50,31	28,28	3,86	61,87	34,78	4,30
1,692	165,31	92,93	6,34	223,24	125,49	7,76
2,538	346,40	194,72	8,86	463,55	260,57	10,74
3,384	560,78	315,22	10,76	841,64	473,10	14,63
4,230	723,91	406,92	11,11	1159,70	651,89	16,13
5,076	856,13	481,25	10,95	1368,78	769,42	15,86
5,922	966,73	543,42	10,60	1538,24	864,68	15,28
6,768	1103,84	620,49	10,59	1612,19	906,25	14,01



Şekil 4.11. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 75cm)

Aynı şekilde, boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü (F_q) değişimleri Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 75cm)

Kopma faktörü; sıkı zemin durumunda, gevşek zemin durumuna oranla daha yüksek olmak ile birlikte, artan gömülme oranlarında, kopma faktörü değerlerinin, her iki zemin durumunda da azalış, gösterdiği görülmüştür.

4.1.6 Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B = L= 100 cm)

B=L= 100 cm ebatlarında ve d = 10 cm kalınlıklı kare ankraj plakasına, eşdeğer alan varsayımı altında, Çizelge 4.12' de gösterilen, farklı zemin durumları ve farklı gömülme derinlikleri için, çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi ile ilgili varyasyonlara göre analiz edilmiştir.

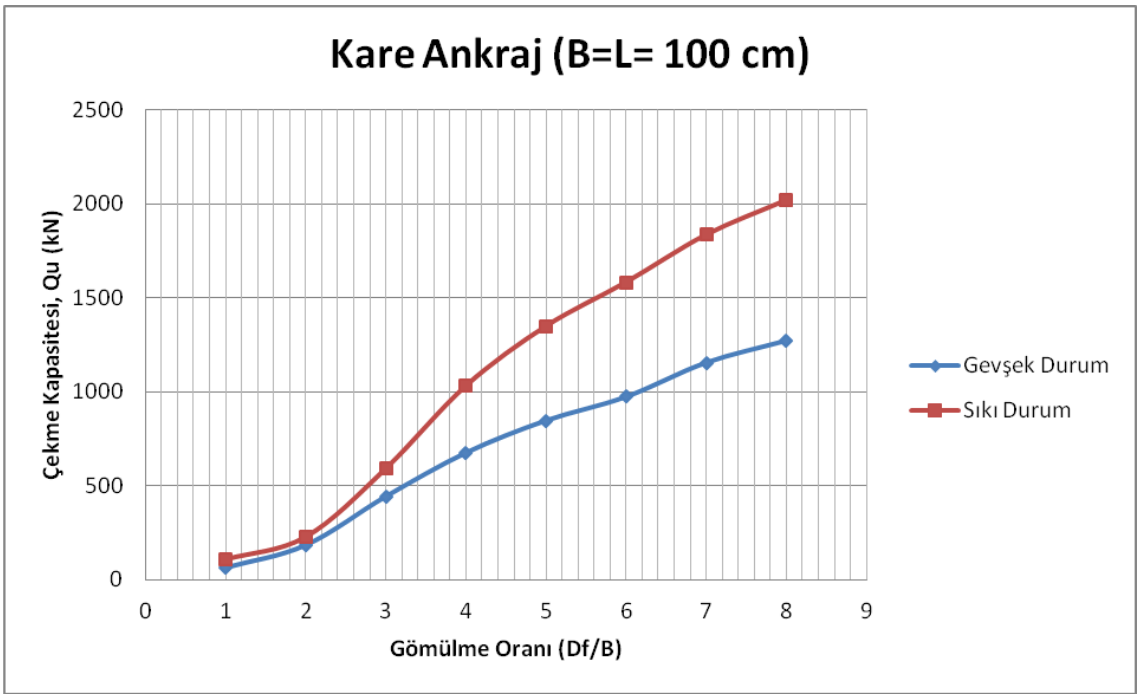
Çizelge 4.12. B=L= 100 cm çaplı dairesel ankraj için analiz planı

Kare Ankraj Plakası (B=L= 100 cm)		
	Zemin Durumu	
	Gevşek Durum	Sıkı Durum
	(γ_n = 15,4 kN/m^3 - γ_d=16,4 kN/m^3)	(γ_n = 16 kN/m^3 - γ_d=17 kN/m^3)
Gömülme Derinliği (Df)	1B	1B
	2B	2B
	3B	3B
	4B	4B
	5B	5B
	6B	6B
	7B	7B
	8B	8B

Şekil 4.13‘ de çekme kapasitesinin değişimleri ve Çizelge 4.13’te de çekme kapasitesinin değerleri gösterilmiştir. Görüleceği üzere, çekme kapasitesi derinlik artışı ile birlikte artmış ve aynı derinlikte, sıkı durumdaki çekme kapasitesinin, gevşek durumdaki çekme kapasitesinden ortalama %52 daha fazla olduğu görülmüştür.

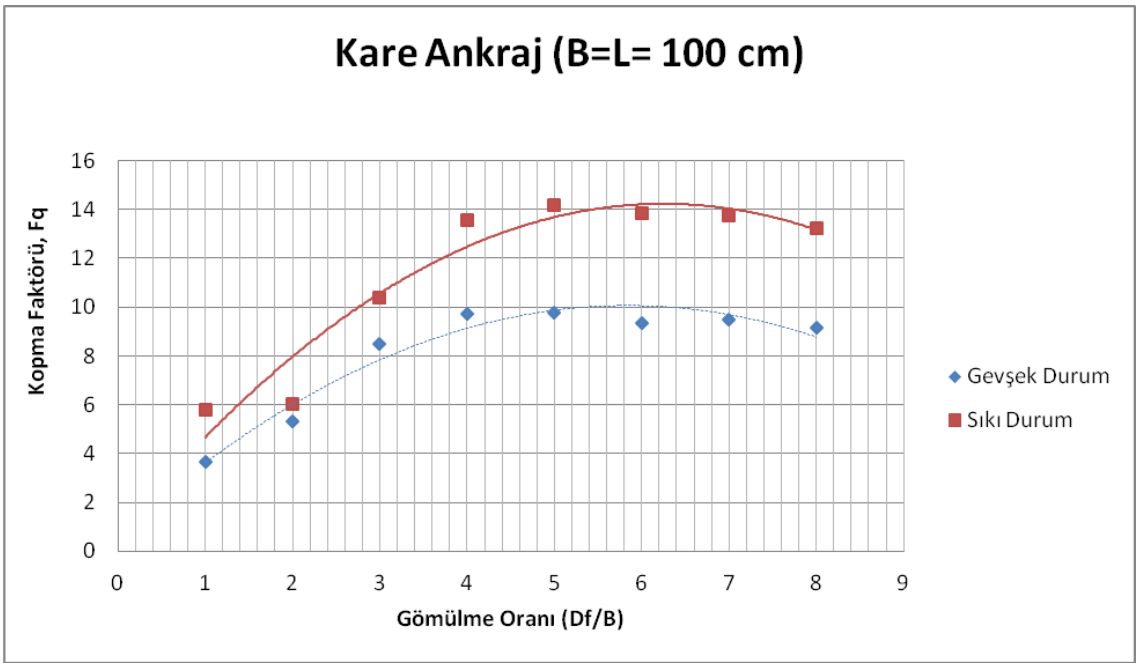
Çizelge 4.13. Çekme kapasitesi değerleri (B=L= 100 cm)

Kare Ankraj (B=L= 100 cm)						
Gevşek Durum				**Sıkı Durum**		
D_F (m)	Gerilme (kN/m^2)	Tu (kN)	Fq	Gerilme (kN/m^2)	Tu (kN)	Fq
1,128	64,03	63,98	3,69	110,29	110,22	5,79
2,256	191,19	184,00	5,30	230,00	229,85	6,03
3,384	442,99	442,69	8,50	592,91	592,51	10,37
4,512	675,77	675,32	9,73	1033,12	1032,43	13,55
5,640	847,50	846,93	9,76	1349,94	1349,04	14,17
6,768	973,96	973,31	9,34	1583,69	1582,63	13,85
7,896	1156,00	1155,22	9,51	1836,01	1834,78	13,76
9,024	1272,49	1271,64	9,16	2019,63	2018,27	13,25



Şekil 4.13. Çekme kapasitesi – Gömülme oranı ilişkisi (B=L=100 cm)

Aynı şekilde, boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü (F_q) değişimleri Şekil 4.14' te gösterilmiştir.

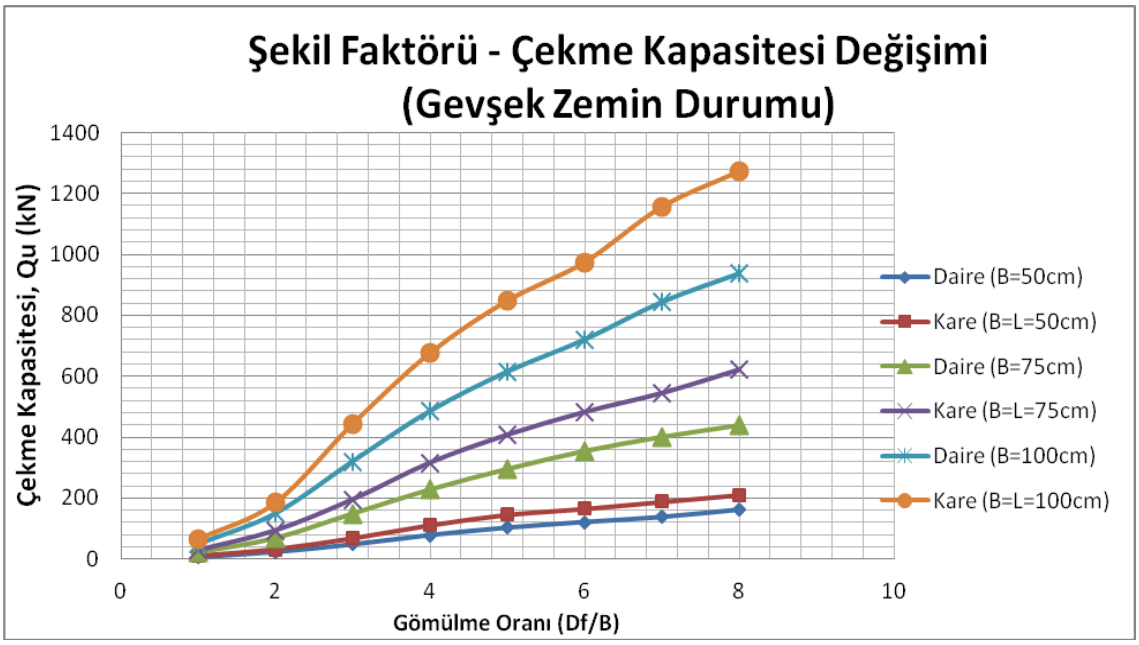


Şekil 4.14. Kopma faktörü – Gömülme oranı ilişkisi (B=L= 100 cm)

Kopma faktörü, sıkı zemin durumunda, gevşek zemin durumuna oranla daha yüksek olmak ile birlikte, artan gömülme oranlarında, kopma faktörü değerlerinin her iki zemin durumunda da azalış gösterdiği görülmüştür.

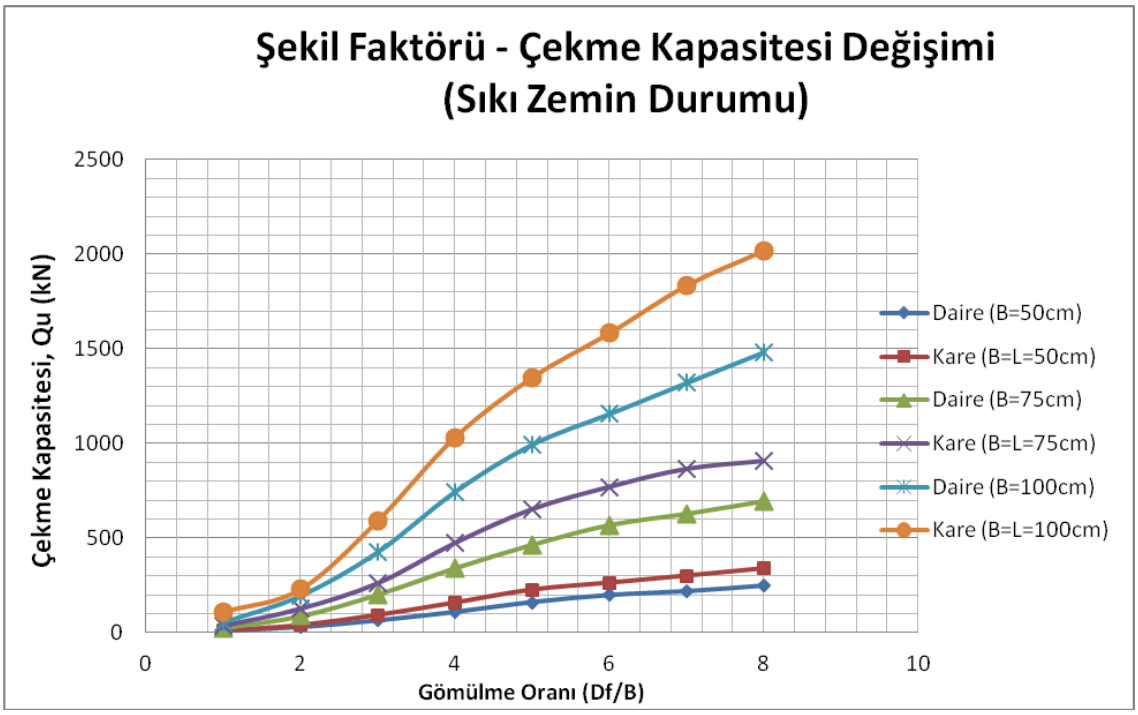
4.1.7 Şekil Faktörünün Çekme Kapasitesine Etkisi

Şekil 4.15' de gevşek zemin durumu için, şekil faktörü değişiminin çekme kapasitesine olan etkisi gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, ankraj plakalarının kesit alanı arttıkça çekme kapasitesi artmaktadır. Ayrıca "eksenel-simetri" koşullarında modellenen, kare ankraj plakasının, dairesel ankrajlara göre, daha yüksek çekme kapasitesi değerleri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.15. Şekil faktörünün çekme kapasitesine etkisi (Gevşek Durum)

Sıkı zemin durumunda şekil faktörünün çekme kapasitesine olan etkisi, gevşek durumdakine benzer olup ve Şekil 4.16' da gösterilmektedir.



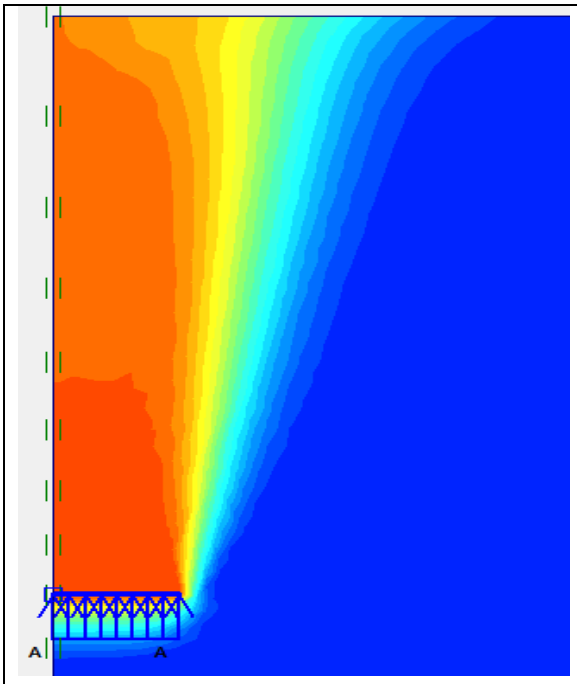
Şekil 4.16. Şekil faktörünün çekme kapasitesine etkisi (Sıkı Durum)

4.2 Göçme Mekanizması (2D)

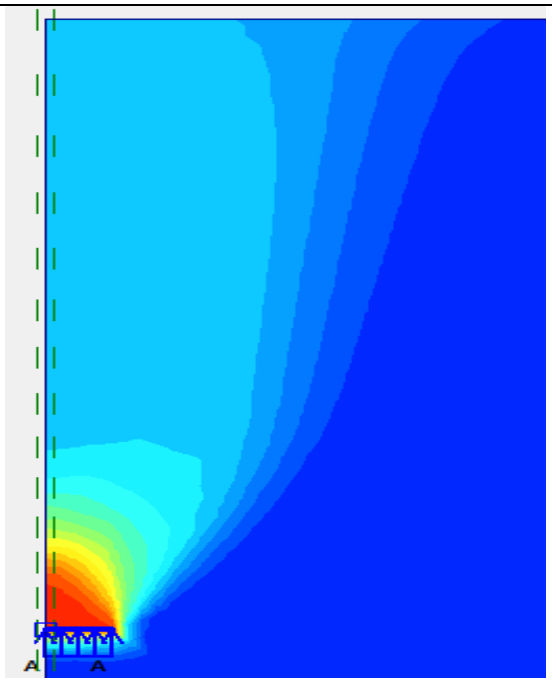
Bu bölümde, gömülme oranının (D_f/B) ve zemin durumunun (sıkı veya gevşek) mekanizmasını nasıl etkilediği ele alınacaktır.

4.2.1 Gömülme Derinliğinin Göçme Mekanizmasına Etkisi

Şekil 4.17-a' da gömülme oranı (D_f/B) 3 iken, sığ temel koşulları oluşmakta ve kırılma mekanizması zemin üst yüzeyine kadar ulaşmaktadır. Şekil 4.17-b' de ise gömülme oranı (D_f/B) 7 iken, derin temel koşulu oluşarak, kırılma mekanizmasının zemin üst yüzeyine ulaşmasının ve üst yüzeyde oluşan etkisinin azaldığı gözlenmektedir. Benzer bir sonuç Şekil 4.18-a ve Şekil 4.18-b' de görülmektedir.

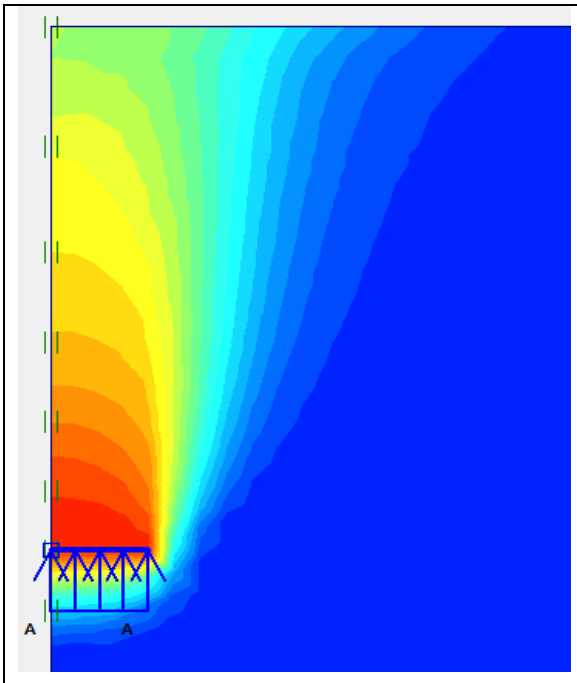


a. D_f = 3B

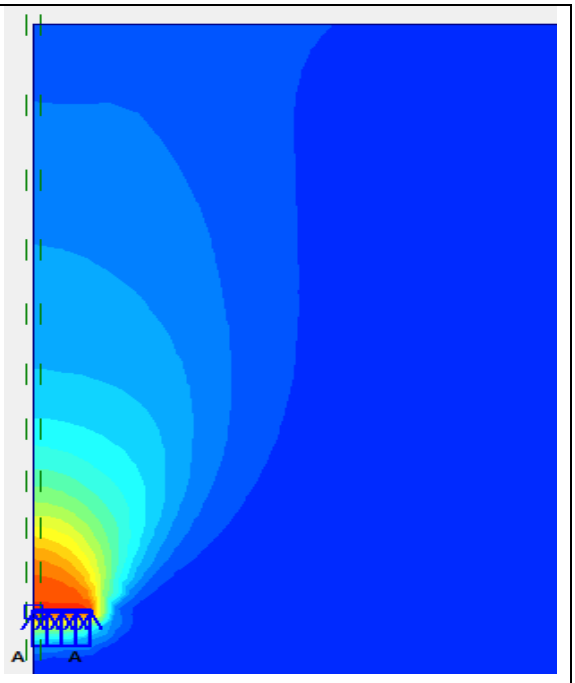


b. D_f = 7B

Şekil 4.17. Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=100 cm – Gevşek Zemin)



b. D_f = 3B

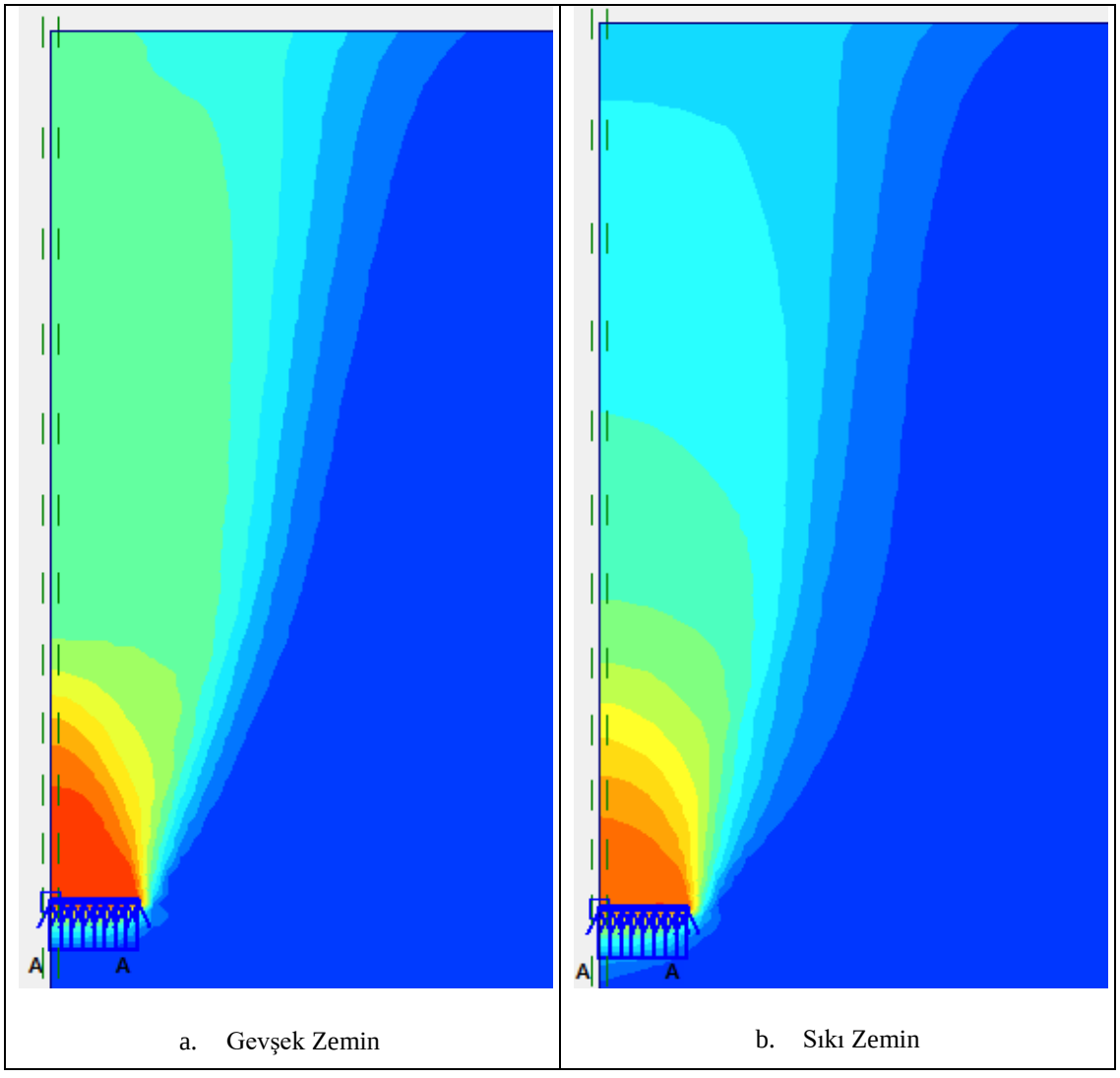


a. D_f = 7B

Şekil 4.18. Kare ankrajın göçme mekanizması (B=50 cm – Sıkı Zemin)

4.2.2 Zemin Sıkılığının Göçme Mekanizmasına Etkisi

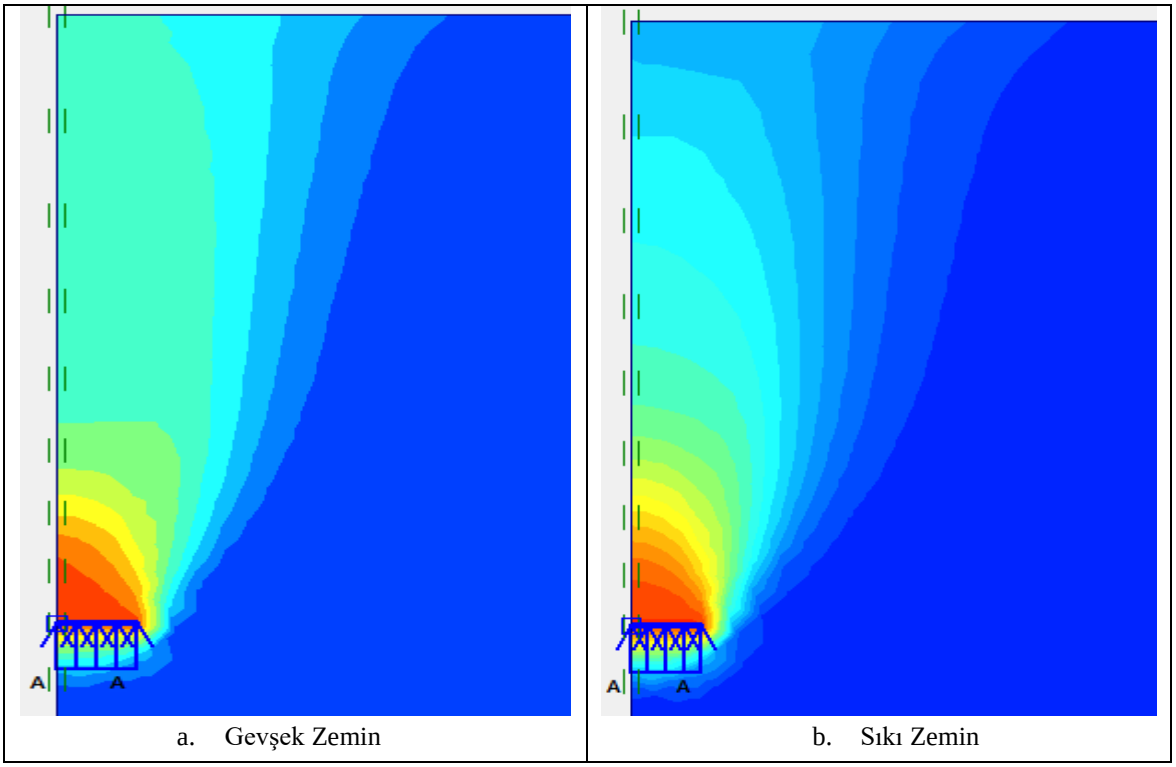
Şekil 4.19-a ve Şekil 4.19-b' de gömülme oranları aynı olan, dairesel ankrajların, göçme mekanizması gösterilmiştir. Sıkı durumdaki kırılma mekanizması, gevşek zemin durumuna göre, hem zemin üst yüzeyine daha az ulaşmakta ve kırılma etkisi, yüzeyde nispeten, daha az görülmektedir. Benzer bir sonuç Şekil 4.20-a ve Şekil 4.20-b' de gösterilmektedir.



a. Gevşek Zemin

b. Sıkı Zemin

Şekil 4.19. Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=100 cm - D_f = 5B)



a. Gevşek Zemin b. Sıkı Zemin

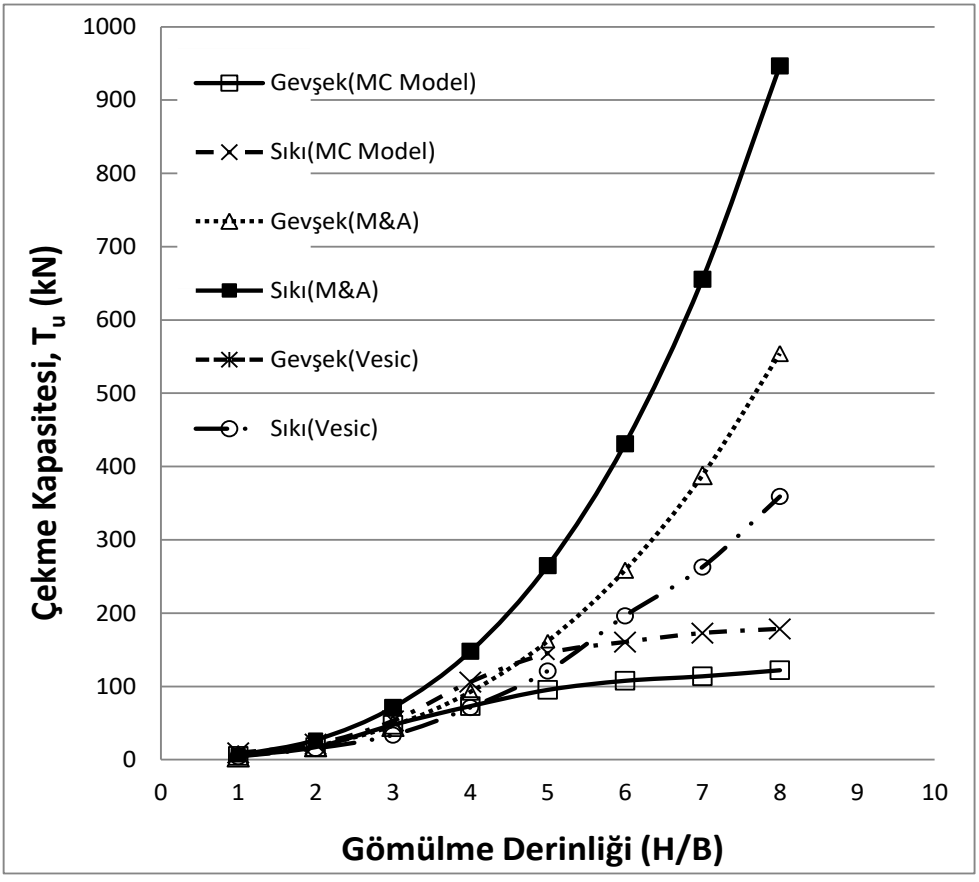
Şekil 4.20. Kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm - D_f = 5B)

4.1 Analiz Sonuçlarının Çekme Kapasitesi Kuramları İle Karşılaştırılması

Bu bölümde, dairesel ankraj plakalarının, nümerik analiz sonuçları, Meyerhof&Adams (1968), Vesic (1971) ve Balla (1961) kuramlarından elde edilen çekme kapasitesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Nümerik analizler, Mohr Coulomb ve Hardening Soil malzeme modelleri altında yapılmış ve ayrıca malzeme modellerine göre elde edilen sonuçların da, adı geçen kuramlar ile kıyaslanabilme imkanı sağlanmıştır. Meyerhof&Adams (1968) ve Vesic (1971) kuramlarında, gömülme oranı (D_f/B = 1-2-3-4-5-6-7-8) olacak şekilde, çekme kapasitesi değerlerini belirleme imkanı sağladığı için sekiz farklı gömülme oranı için, karşılaştırılma yapılabilmiştir. Balla (1961) kuramında ise gömülme oranı (D_f/B = 1-2-3-4) olacak şekilde, hesaplama imkanı sağlanabilmiş ve dört farklı gömülme oranı için, karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca analizler; sıkı ve gevşek kum durumları ile, üç farklı çap (B = 50 cm -75 cm - 100 cm) için, ayrı ayrı hesaplanmış ve adı geçen kuramlar ile kıyaslanmıştır.

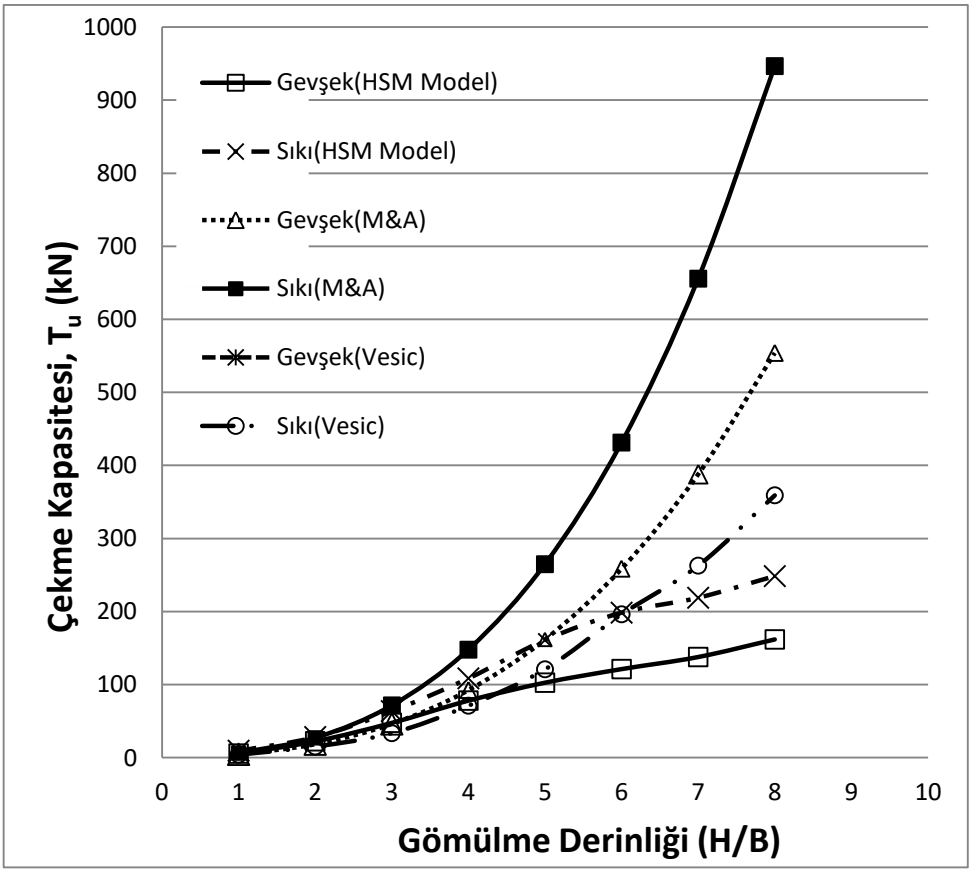
4.1.1 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=50 cm)

Şekil 4.21' de B = 50 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, Mohr Coulomb malzeme modeli altında, hem sıkı hem de gevşek kum durumu için, elde edilen analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) teorileri ile kıyaslanmıştır. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre, daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi gömülme oranı arttıkça artmaktadır. Plaxis analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramlarından elde edilen sonuçlar arasında, sığ temel koşullarına ($D_f/B \leq 5$) kadar uyum görülmektedir. Fakat derin temel koşulu oluştuğunda ($D_f/B > 5$), bu uyum, giderek bozulmaktadır. Özellikle M&A (1968) kuramından elde edilen sonuçlar, derin temel koşullarında, çekme kapasitesini oldukça büyük belirlemektedir.



Şekil 4.21. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 50 cm / Mohr Coulomb Model)

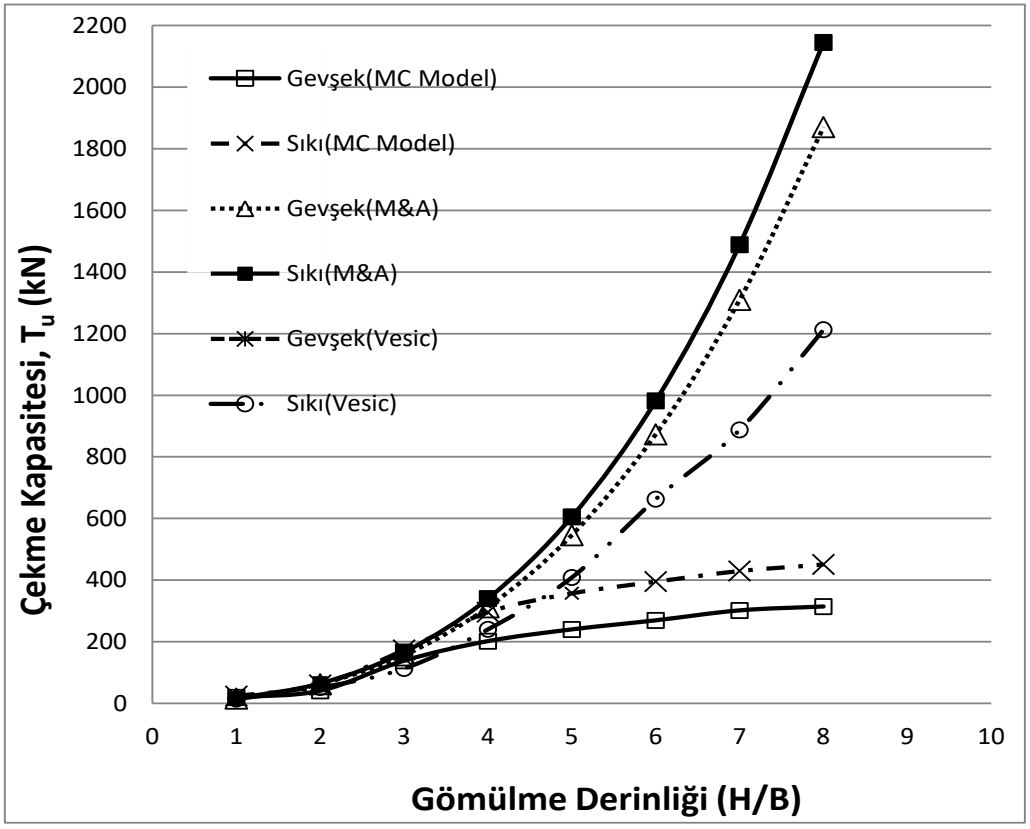
Şekil 4.22' de ise B = 50 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, Hardening Soil malzeme modeli altında, hem sıkı hemde gevşek kum durumu için, elde edilen analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramları ile kıyaslanmıştır. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre, daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi gömülme oranı arttıkça artmaktadır. Plaxis analiz sonuçları, M&A ve Vesic (1971) kuramlarından elde edilen sonuçlar arasında, sığ temel koşullarına ($D_f/B \leq 5$) kadar uyum görülmektedir. Fakat derin temel koşulu oluştuğunda ($D_f/B > 5$), bu uyum, giderek bozulmaktadır. Özellikle M&A (1968) kuramından elde edilen sonuçlar, derin temel koşullarında, çekme kapasitesini oldukça büyük belirlemektedir. Ayrıca Hardening Soil Model ile yapılan plaxis analiz sonuçları, Mohr Coulomb ile yapılan Plaxis analiz sonuçlarından çok ciddi farklılıklar olmamak ile birlikte daha büyüktür.



Şekil 4.22. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 50 cm / Hardening Soil Model)

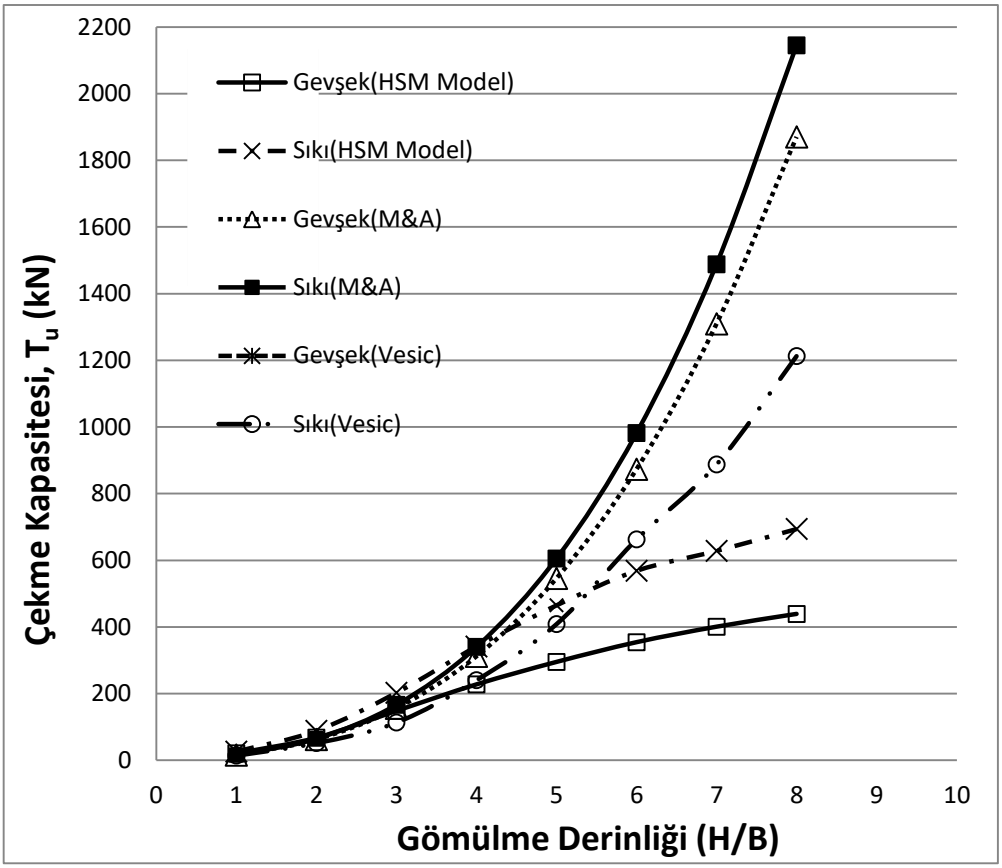
4.1.2 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=75 cm)

Şekil 4.23' te B = 75 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, Mohr Coulomb malzeme modeli altında, hem sıkı hem de gevşek kum durumu için, elde edilen analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramları ile kıyaslanmıştır. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi, gömülme oranı arttıkça artmaktadır. Ayrıca çap artışının da çekme kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Plaxis analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramlarından elde edilen sonuçlar arasında, sığ temel koşullarına ($D_f/B \leq 5$) kadar uyum görülmektedir. Fakat derin temel koşulu oluştuğunda ($D_f/B > 5$), bu uyum, giderek bozulmaktadır. Özellikle M&A (1968) kuramından elde edilen sonuçlar, derin temel koşullarında, çekme kapasitesini oldukça büyük belirlemektedir.



Şekil 4.23. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 75 cm / Mohr Coulomb Model)

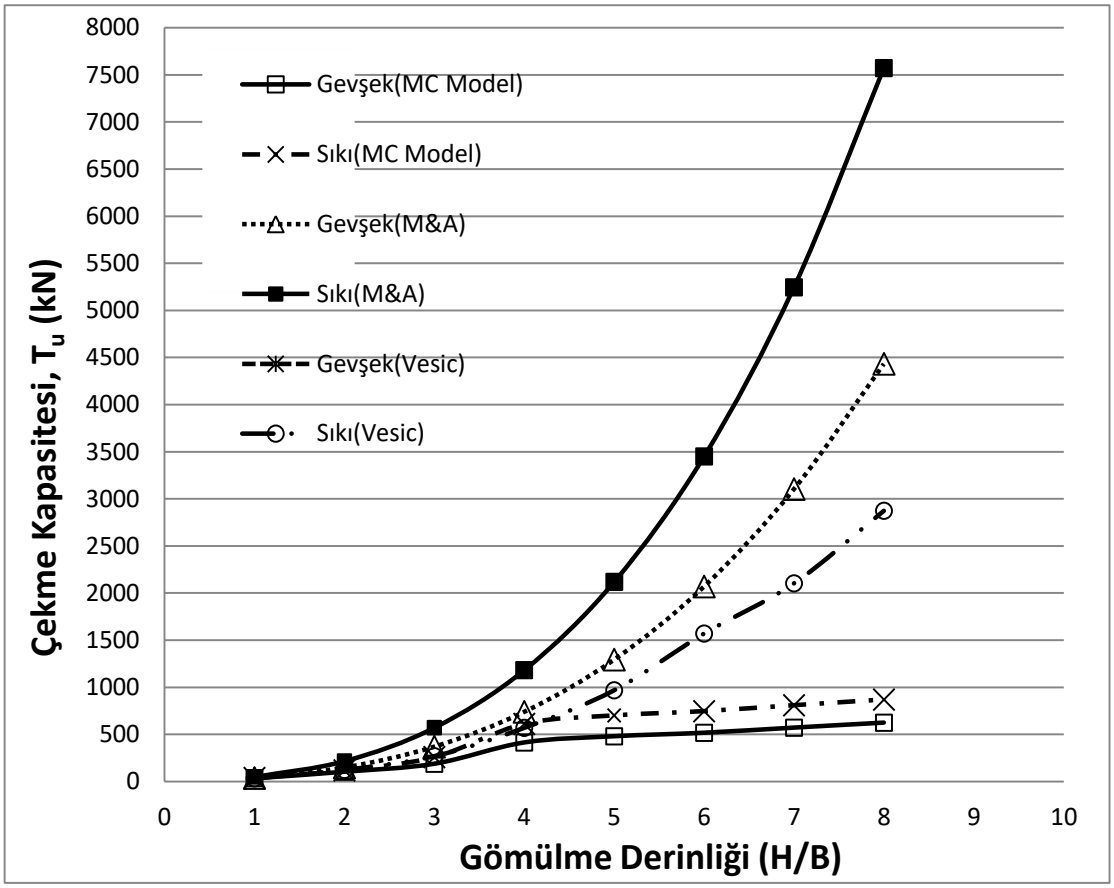
Şekil 4.24' te ise B = 75 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, Hardening Soil malzeme modeli altında hem sıkı hemde gevşek kum durumu için, elde edilen analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramları ile kıyaslanmıştır. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi, gömülme oranı arttıkça artmaktadır. Ayrıca çap artışının da çekme kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Plaxis analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramlarından elde edilen sonuçlar arasında, sığ temel koşullarına ($D_f/B \leq 5$) kadar uyum görülmektedir. Fakat derin temel koşulu oluştuğunda ($D_f/B > 5$), bu uyum, giderek bozulmaktadır. Özellikle M&A (1968) kuramından elde edilen sonuçlar, derin temel koşullarında, çekme kapasitesini oldukça büyük belirlemektedir. Ayrıca Hardening Soil Model ile yapılan plaxis analiz sonuçları, Mohr Coulomb ile yapılan Plaxis analiz sonuçlarından çok ciddi farklılıklar olmamak ile birlikte daha büyüktür.



Şekil 4.24. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 75 cm / Hardening Soil Model)

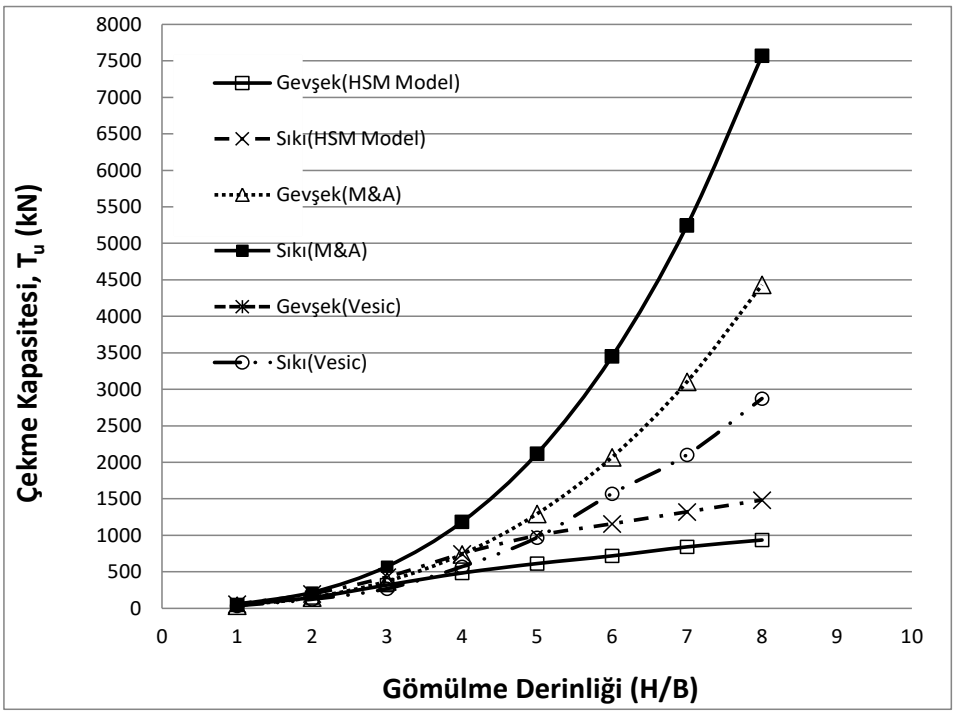
4.1.3 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=100 cm)

Şekil 4.25' te B = 100 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, Mohr Coulomb malzeme modeli altında, hem sıkı hemde gevşek kum durumu için elde edilen analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramları ile kıyaslanmıştır. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri gevşek duruma göre daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi, gömülme oranı arttıkça artmaktadır. Ayrıca çap artışının da, çekme kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Plaxis analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramlarından elde edilen sonuçlar arasında, sığ temel koşullarına ($D_f/B \leq 5$) kadar uyum görülmektedir. Fakat derin temel koşulu oluştuğunda ($D_f/B > 5$), bu uyum, giderek bozulmaktadır. Özellikle M&A (1968) kuramında elde edilen sonuçlar, derin temel koşullarında, çekme kapasitesini oldukça büyük belirlemektedir.



Şekil 4.25. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 100 cm / Mohr Coulomb Model)

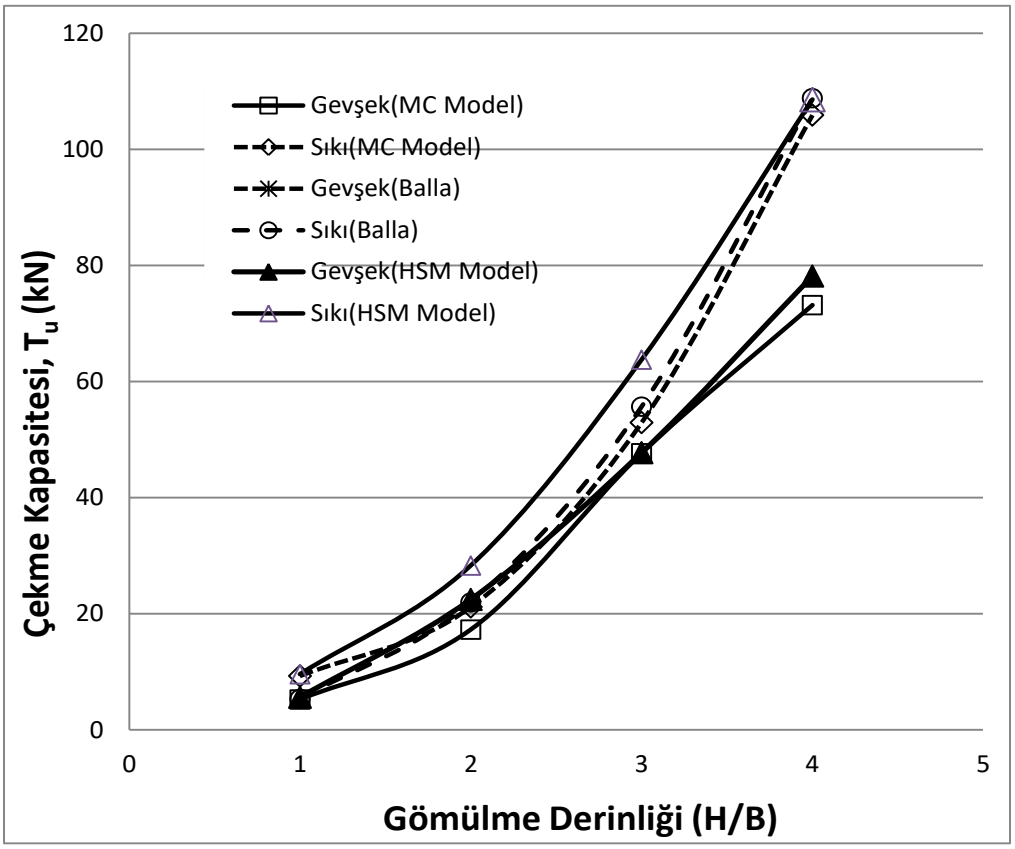
Şekil 4.26' da ise B = 100 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, Hardening Soil malzeme modeli altında, hem sıkı hemde gevşek kum durumu için elde edilen, analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramları ile kıyaslanmıştır. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi, gömülme oranı arttıkça artmaktadır. Ayrıca çap artışının da çekme kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Plaxis analiz sonuçları, M&A (1968) ve Vesic (1971) kuramlarından elde edilen sonuçlar arasında, sığ temel koşullarına ($D_f/B \leq 5$) kadar uyum görülmektedir. Fakat derin temel koşulu oluştuğunda ($D_f/B > 5$), bu uyum, giderek bozulmaktadır. Özellikle M&A (1968) kuramından elde edilen sonuçlar, derin temel koşullarında, çekme kapasitesini oldukça büyük belirlemektedir. Ayrıca Hardening Soil Model ile yapılan Plaxis analiz sonuçları, Mohr Coulomb ile yapılan plaxis analiz sonuçlarından çok ciddi farklılıklar olmamak ile birlikte daha büyüktür.



Şekil 4.26. Dairesel ankrajın teoriler ile karşılaştırılması (B = 100 cm / Hardening Soil Model)

4.1.4 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=50 cm)

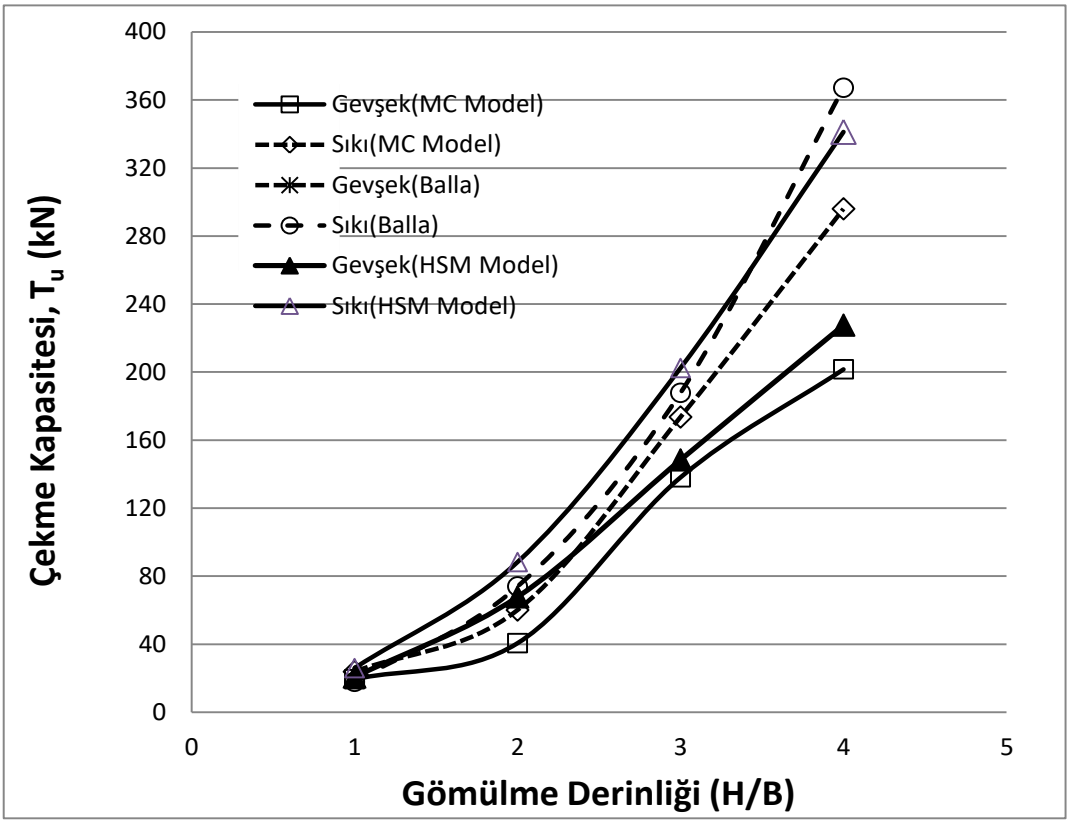
Şekil 4.27' de B = 50 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, hem Mohr-Coulomb hem de Hardening Soil malzeme modelleri altında, çekme kapasitesi analizlerinden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların Balla (1961) kuramı ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre, daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi, gömülme oranı arttıkça artmaktadır. Balla (1961) kuramından sığ temel koşullarında ($D_f/B \leq 5$) iyi sonuçlar verdiği ve Plaxis analiz sonuçları ile yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca Hardening Soil Modelde yapılan analiz sonuçlarının, Mohr- Coulomb'a oranla, daha yüksek olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.27. Dairesel ankrajın Balla teorisi ile karşılaştırılması (B = 50 cm)

4.1.5 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=75 cm)

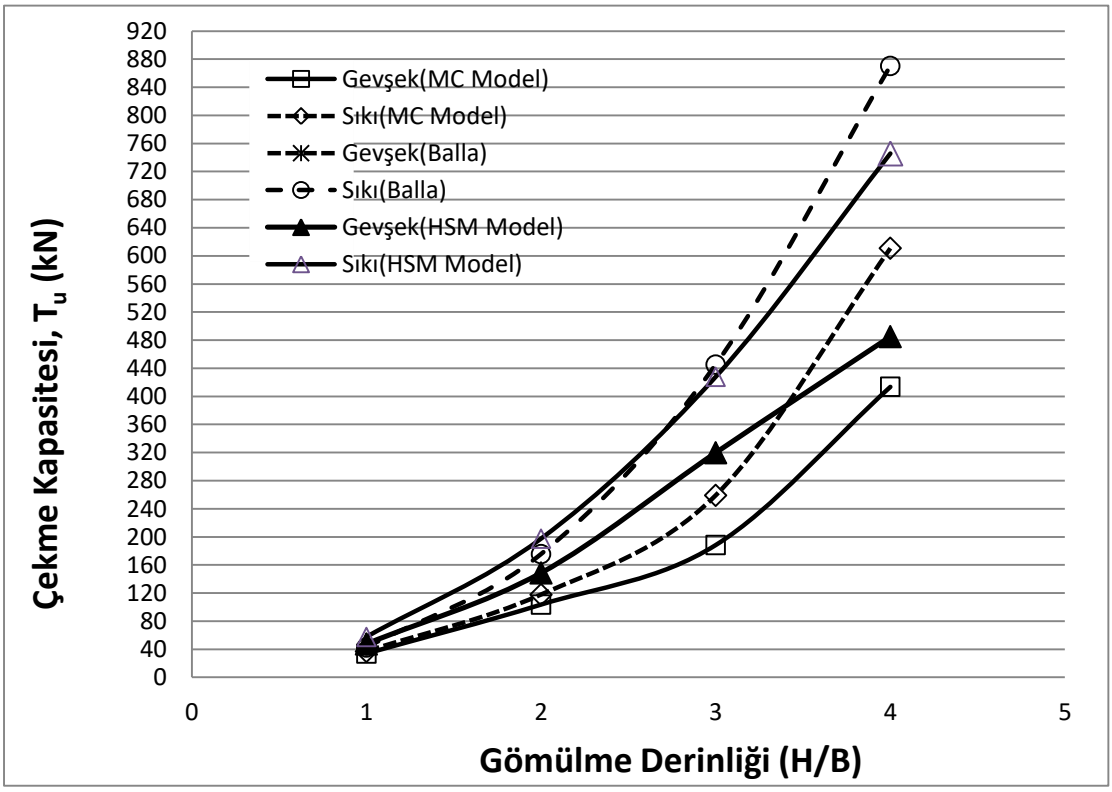
Şekil 4.28' de B = 75 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, hem Mohr-Coulomb hem de Hardening Soil malzeme modelleri altında, çekme kapasitesi analizlerinden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların Balla (1961) kuramı ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre, daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi, gömülme oranı ve çap arttıkça artmaktadır. Balla (1961) kuramının sığ temel koşullarında ($D_f/B \leq 5$) iyi sonuçlar verdiği ve Plaxis analiz sonuçları ile yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca Hardening Soil Modelde yapılan analiz sonuçlarının, Mohr- Coulomb'a oranla, daha yüksek olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.28. Dairesel ankrajın Balla teorisi ile karşılaştırılması (B = 75 cm)

4.1.6 Dairesel Analiz Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalar İle Karşılaştırılması (B=100 cm)

Şekil 4.29' da B = 100 cm çaplı dairesel ankraj plakasının, hem Mohr-Coulomb hem de Hardening Soil malzeme modelleri altında, çekme kapasitesi analizlerinden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların Balla (1961) kuramı ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Beklenen bir sonuç olarak, sıkı durumdaki çekme kapasitelerinin değeri, gevşek duruma göre, daha büyük olmakta ve çekme kapasitesi, gömülme oranı ve çap arttıkça artmaktadır. Balla (1961) kuramından sığ temel koşullarında ($D_f/B \leq 5$) iyi sonuçlar verdiği ve plaxis analiz sonuçları ile yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca Hardening Soil Modelde yapılan analiz sonuçlarının, Mohr- Coulomb'a oranla, daha yüksek olduğu da görülmektedir.



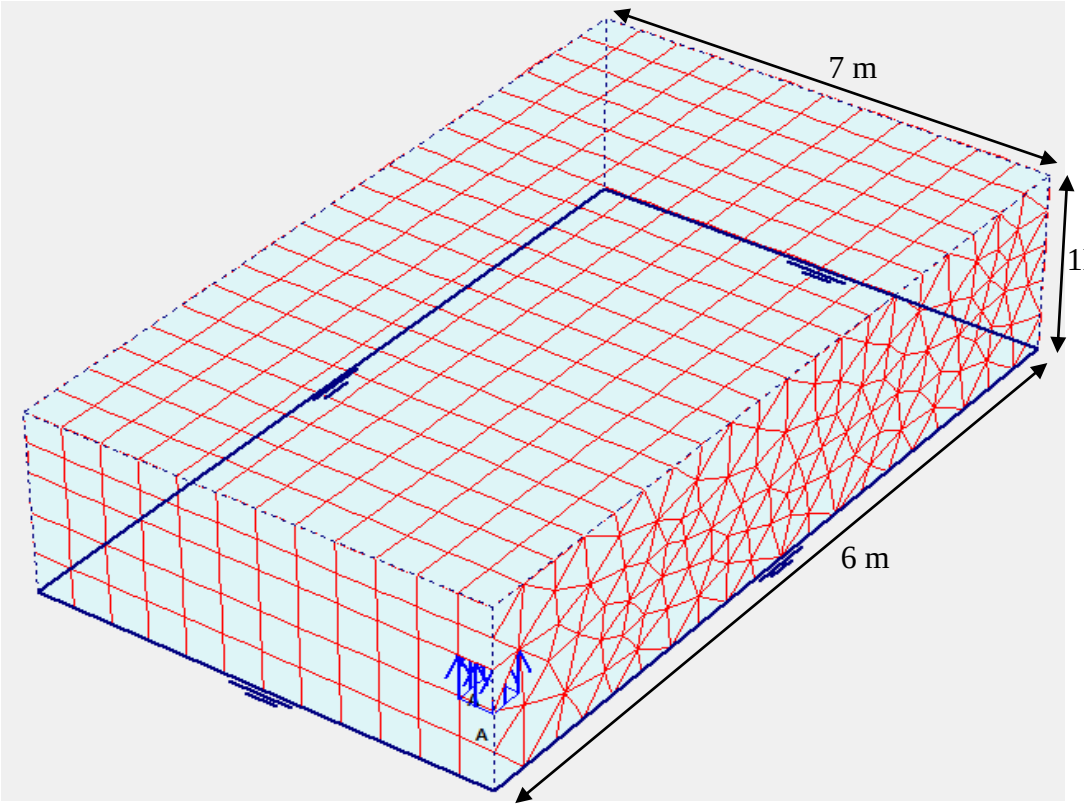
Şekil 4.29. Dairesel ankrajın Balla teorisi ile karşılaştırılması (B = 100 cm)

4.2 3 Boyutlu Modellemenin Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu bölümde, daha önce Plaxis 2.D ortamında, kare olarak, modellenemeyen ve eşdeğer daireye çevirilerek çekme kapasitesi belirlenen kare ankrajlar, Plaxis 3.D programı ile 3 boyutlu olarak modellenmiş ve 3 boyutlu modellemenin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir.

4.2.1 Geometrik Model (Plaxis 3D)

Geometrik model, Plaxis programında 3 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Duyarlılık açısından, daha etkili çözümler yapmak üzere, zemin ortamı 15 düğüm noktalı üçgen elemanlarla modellenmiştir. Şekil 4.30' da 1B derinlikli modelin geometrisi gösterilmiştir. Sonlu elemanlar ağı, orta (medium) seneçeği, kullanılarak oluşturulmuştur.



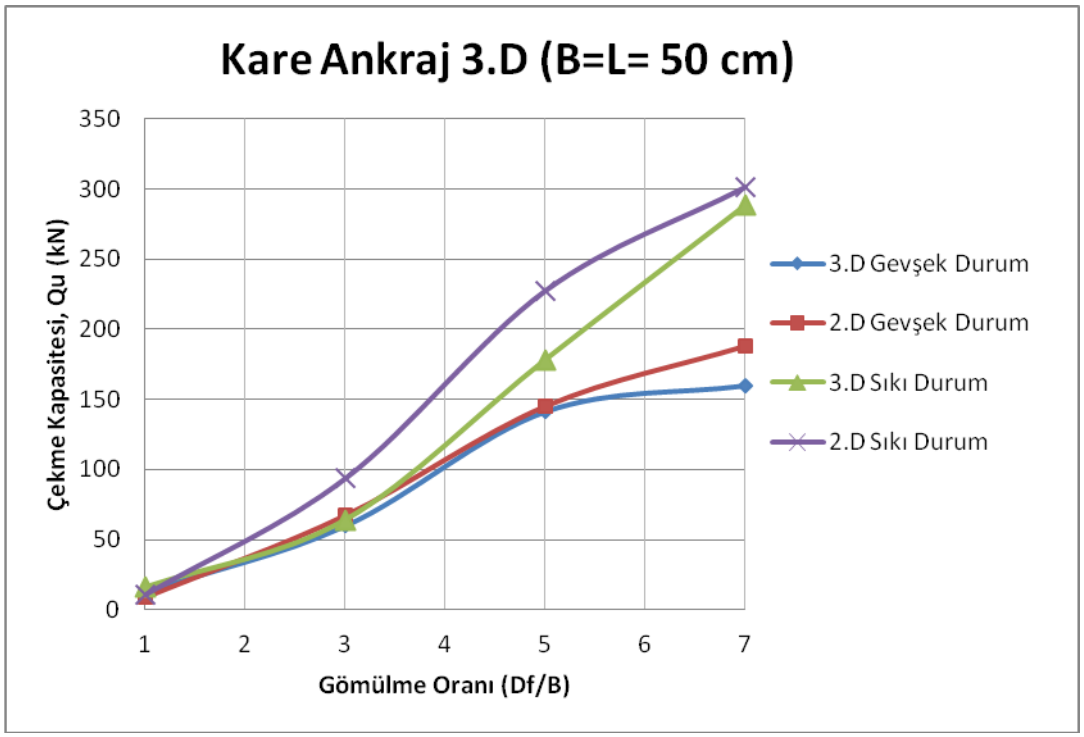
Şekil 4.30. Kare ankrajın 3.D model geometrisi (D_f = 1B)

4.2.2 Malzeme Özellikleri

Analizlerde zemin modeli olarak "Hardening Soil Model" kullanılmıştır. Çizelge 3.l' de HS modeli için kullanılan parametreler gösterilmiştir.

4.2.3 B = L= 50 cm Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (Plaxis 3D)

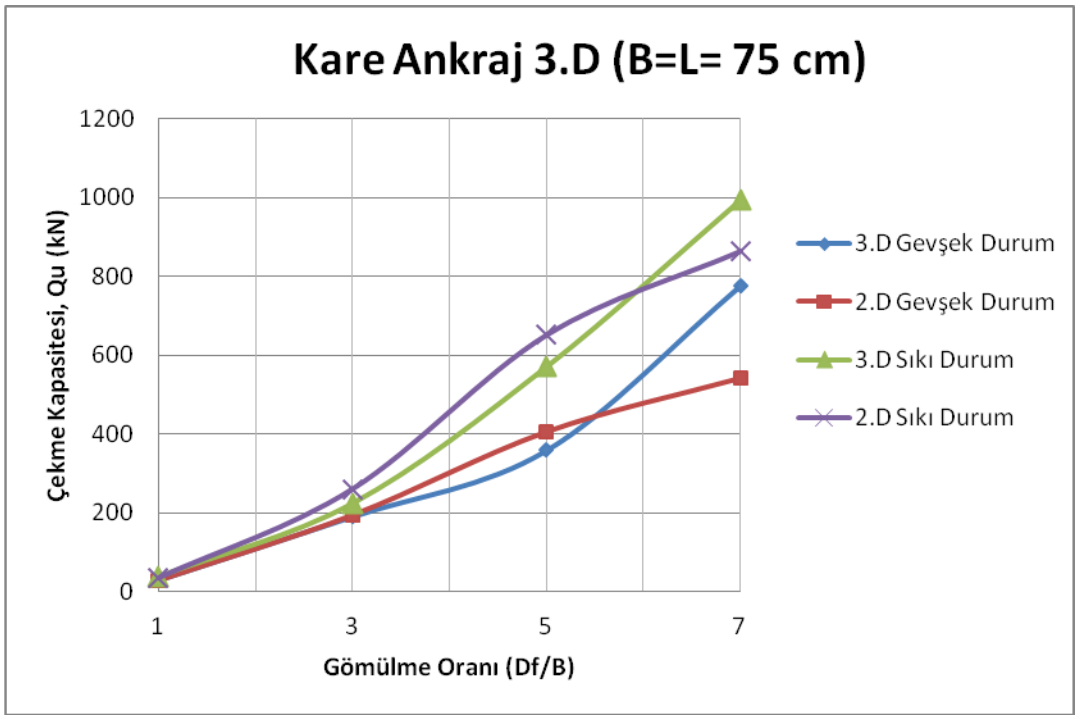
Üç boyutlu modellemenin, B=L= 50 cm boyutlarındaki, kare ankraj plakasının çekme kapasitesine etkisi irdelenmiştir. Burada 2.D' de kare ankrajlar "eş değer alan varysayımı" ile daire olarak ve 3.D ortamdaki kare ankrajlar ise, bire bir modellenerek, çekme kapasitesinin değişimi, analiz edilmiştir. Analizler, kumlu zeminin sıkı ve gevşek durumları ile, farklı gömülme oranları (D_f/B= 1-3-5-7) dikkate alınarak, yapılmıştır. Şekil 4.31'de görüldüğü üzere, 3.D ve 2.D sonuçları arasında, çekme kapasitesi değerleri arasında çok büyük farklar olamamak ile birlikte, uyumlu bir paralellik söz konusudur. Özellikle sığ temel koşullarında (Df/B ≤ 5) bu fark daha az olmaktadır. 3.D olarak modellenen ankrajların çekme kapasitesi değerlerinin, 2.D model ile elde edilen çekme kapasitesi değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31. Kare ankraj plakasının çekme kapasitesi (B=L=50cm)

4.2.4 B = L= 75 cm Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (Plaxis 3D)

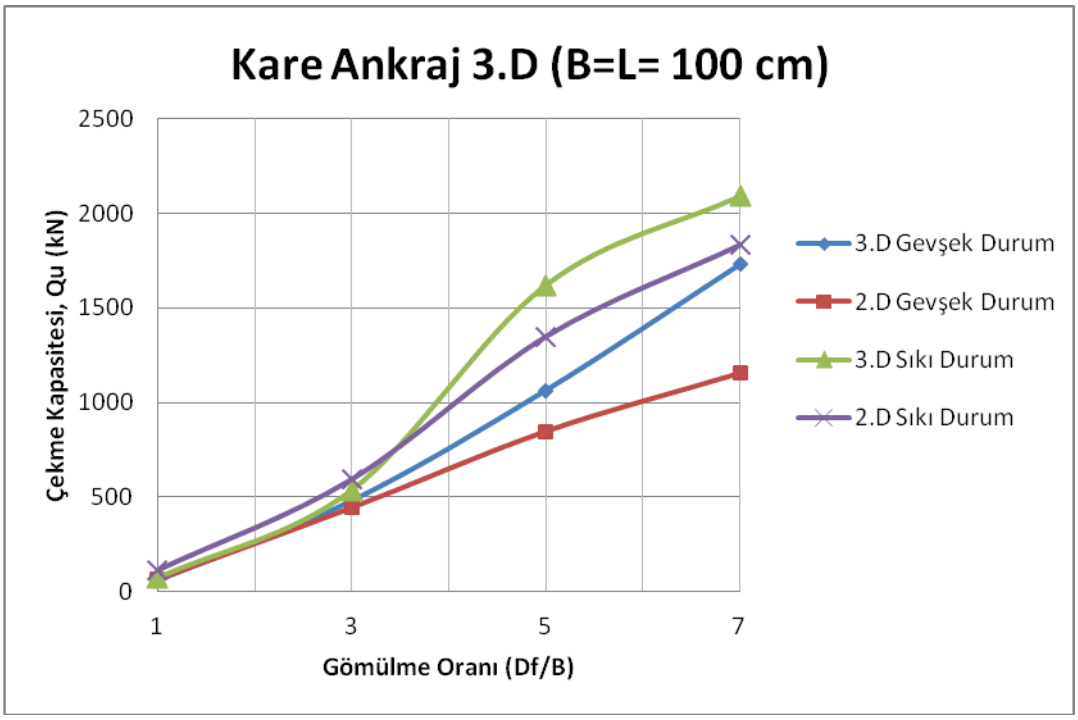
Üç boyutlu modellemenin, B=L= 75 cm boyutlarındaki kare ankraj plakasının çekme kapasitesine etkisi irdelenmiştir. Burada 2.D' de kare ankrajlar "eş değer alan varysayımı" ile daire olarak ve 3.D ortamdaki kare ankrajlar ise, bire bir modellenerek, çekme kapasitesinin değişimi analiz edilmiştir. Analizler, kumlu zeminin, sıkı ve gevşek durumları ile, farklı gömülme oranları (D_f/B= 1-3-5-7) dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 4.32'de görüldüğü üzere, 3.D ve 2.D sonuçlar arasında çekme kapasitesi değerleri arasında çok büyük farklar olamamak ile birlikte uyumlu bir paralellik söz konusudur. Özellikle sığ temel koşullarında (D_f/B $\leq$ 5) bu fark daha az olmaktadır. 3.D olarak modellenen ankrajların, çekme kapasitesi değerlerinin, D_f=5B gömülme derinliğine kadar, 2D modellemede elde edilen değerlerden daha düşük olduğu, D_f=6B ve D_f=7B gömülme derinliklerinde ise, daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.32. Kare ankraj plakasının çekme kapasitesi (B=L=75cm)

4.2.5 B = L= 100 cm Kare Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi(Plaxis 3D)

Üç boyutlu modellemenin, B=L= 100 cm boyutlarındaki kare ankraj plakasının çekme kapasitesine etkisi irdelenmiştir. Burada 2.D' de kare ankrajlar, "eş değer alan varysayımı" ile, daire olarak ve 3.D ortamdaki kare ankrajlar ise, bire bir modellenerek, çekme kapasitesinin değişimi analiz edilmiştir. Analizler, kumlu zeminin sıkı ve gevşek durumları ile, farklı gömülme oranları (D_f/B= 1-3-5-7) dikkate alınarak, yapılmıştır. Şekil 4.33'te görüldüğü üzere, 3.D ve 2.D sonuçları arasında çekme kapasitesi değerleri arasında çok büyük farklar olamamak ile birlikte, uyumlu bir paralellik söz konusudur. Özellikle sığ temel koşullarında (D_f/B ≤ 5) bu fark daha az olmaktadır. 3.D olarak modellenen ankrajların çekme kapasitesi değerlerinin, 2D modellemede elde edilen çekme kapasitesi değerlerinden, D_f=4B gömülme derinliğinden sonra, daha büyük değerler verdiği görülmektedir.



Şekil 4.33. Kare ankraj plakasının çekme kapasitesi (B=L=100cm)

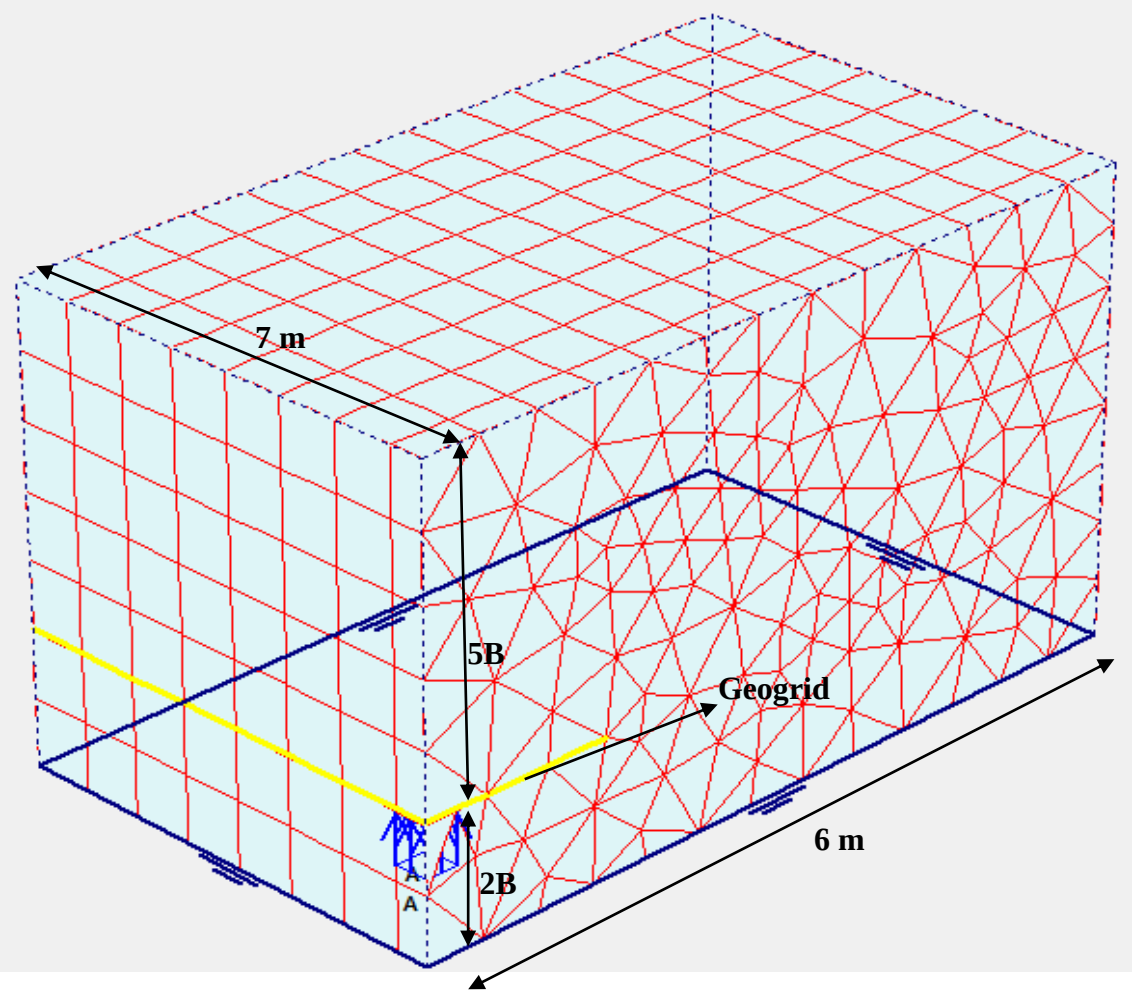
4.3 Donatılı Analizler

Bu bölümde, donatılı zemin durumunun çekme kapasitesine etkisi irdelenmiş ve sonuçlar, donatısız durum ile karşılaştırılmıştır. Analizler, Plaxis 3.D programı ile, kare

ankraj model (B=L=50 cm - 75 cm – 100 cm), gömülme oranı (D_f/B = 5) ve “Hardening Soil” malzeme modeli kullanılarak, hem sıkı zemin hemde gevşek zeminde gerçekleştirilmiş ve donatı olarak “Geogrid Eleman” kullanılmıştır.

4.3.1 Geometrik Modelin Kurulması ve Malzeme Parametleri

Geometrik model, Plaxis 3.D ortamında 3 boyutlu koşullarda oluşturulmuştur. Hassasiyet açısından, daha efektif çözümler yapmak üzere, zemin ortamı 15 düğüm noktalı üçgen elemanlarla modellenmiştir. Şekil 4.34’ te geometrik model, Çizelge 3.1’de de malzeme parametreleri gösterilmiştir.

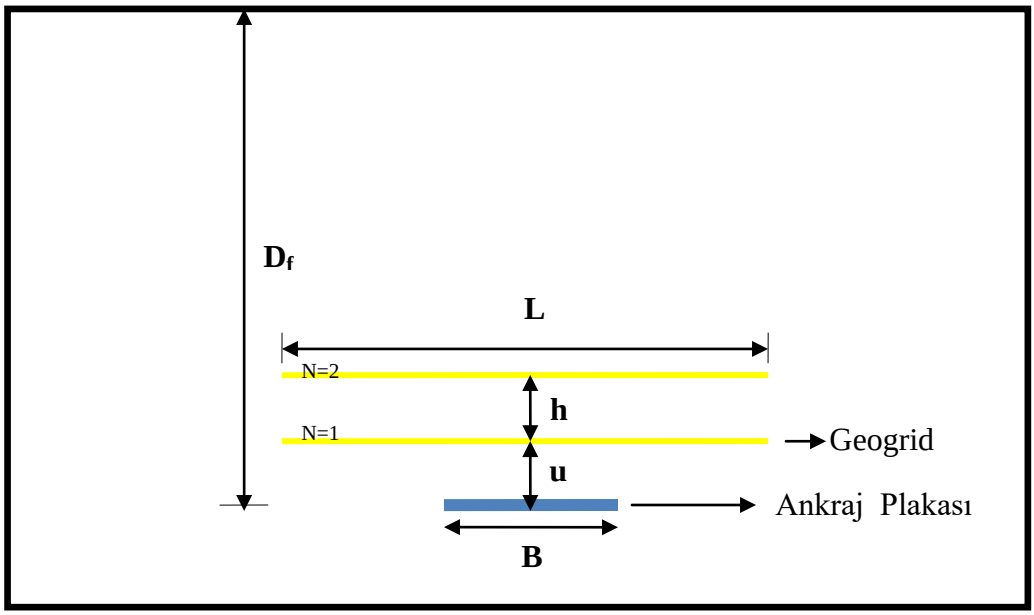


Şekil 4.34. Donatılı zeminde kare ankrajın model geometrisi (D_f = 5B)

4.3.2 En Uygun Donatı Parametrelerinin Belirlenmesi

4.3.2.1 İlk Donatı Tabakası Derinliği, u

İlk geogrid donatının derinliğini belirmek üzere, Şekil 4.35'te gösterilen "u" parametresi, Çizelge 4.14' te gösterilen konumlarda modellenerek analizler yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de gösterilmiştir. İlk donatı tabakası derinliği, u parametresi, ankraj plakası genişliği B, değerine bölünerek boyutsuz bir hale getirilmiştir.

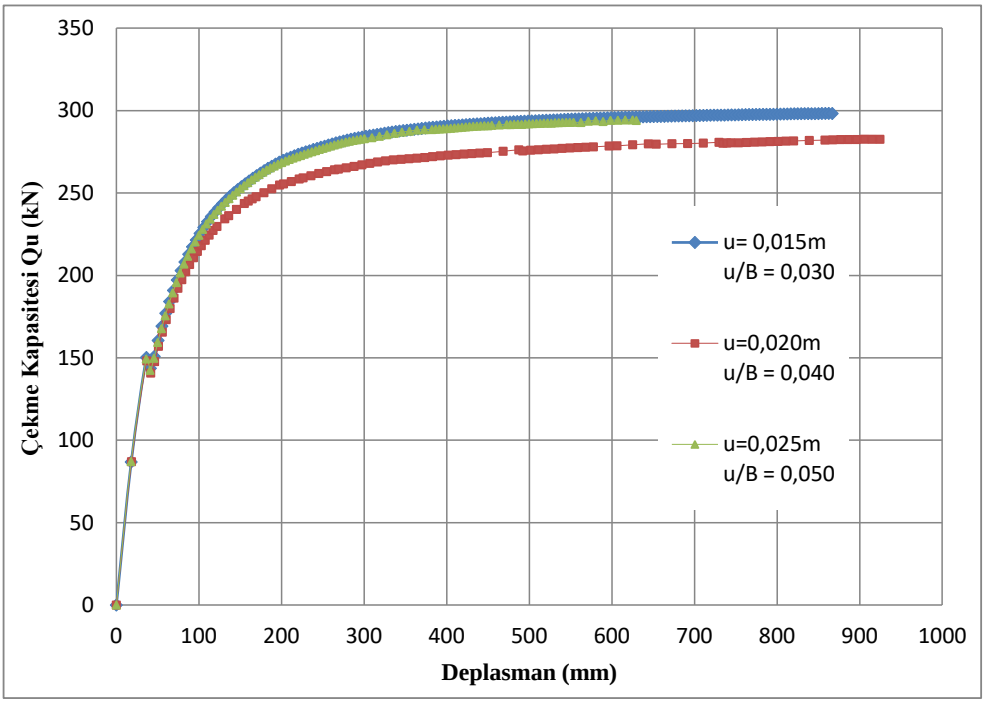


Şekil 4.35. Model geometrisinin şematik gösterimi (D_f = 5B)

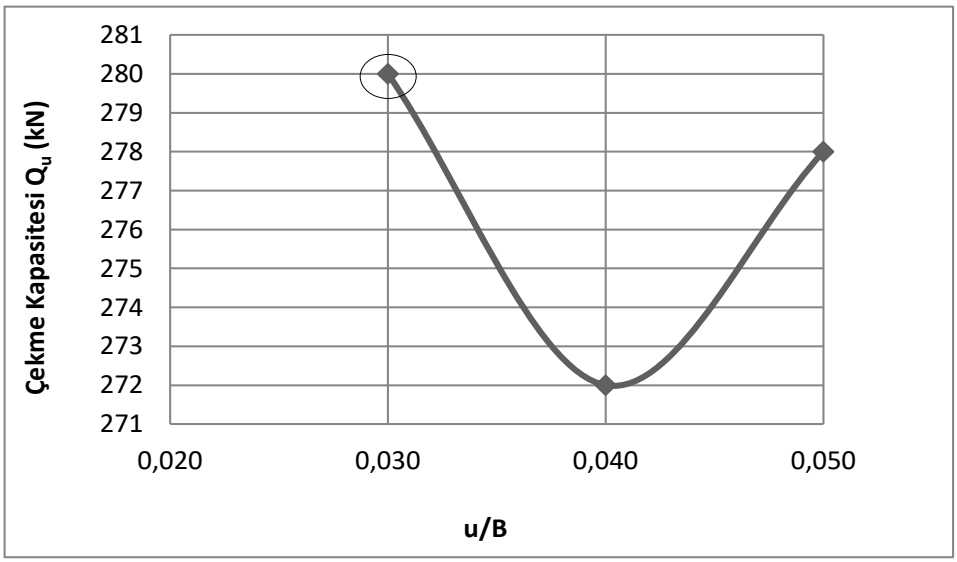
Çizelge 4.14. İlk donatı tabakası derinlikleri

u (m)	u/B
0,015	0,030
0,020	0,040
0,025	0,050

Belirlenen "u" parametrelerine göre yapılan analizler sonucunda, donatı ankraj plakasına yakın yerleştirildikçe, çekme kapasitesinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.36). Buradan hareketle, analizlerde kullanılacak "u" değeri 0,015 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.36. İlk donatı tabakası derinliklerine göre çekme kapasitesi (D_f = 5B)



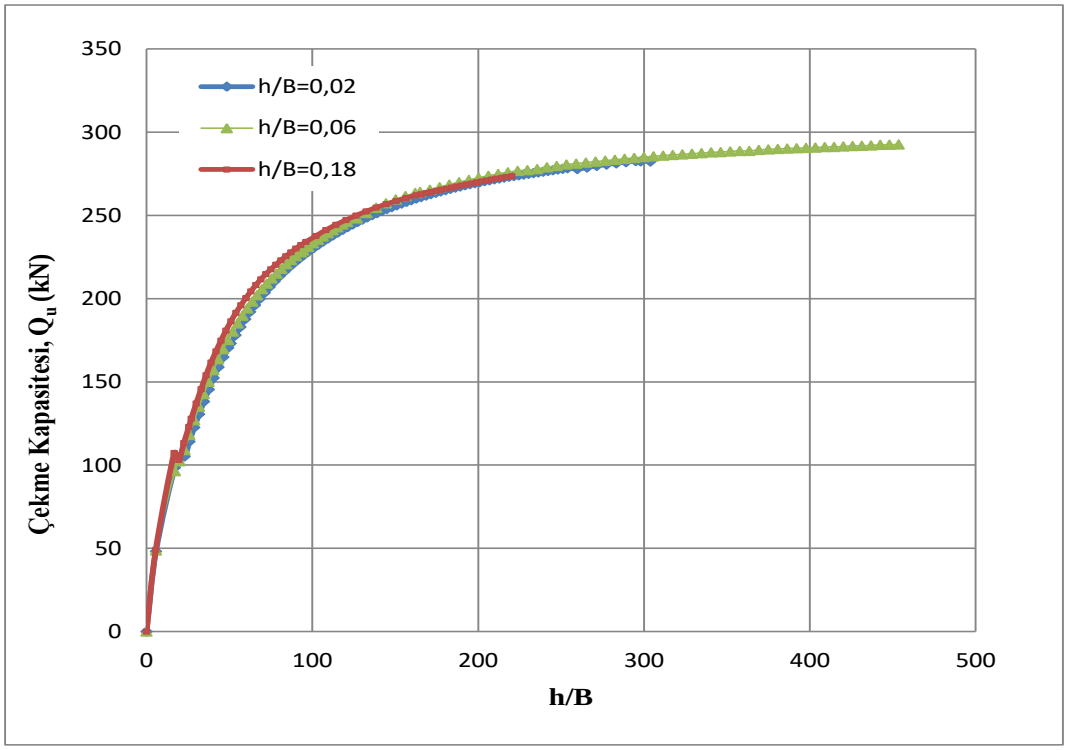
Şekil 4.37. Çekme kapasitesi – u/B grafiği (D_f = 5B)

4.3.2.2 Donatılar Arası Düşey Uzaklık, h

İlk donatı tabakasının en uygun değeri belirlendikten sonra, donatılar arası düşey uzaklığının çekme kapasitesine etkisini belirlemek üzere, Şekil 4.35'te gösterilen "h" parametresinin en uygun değerini belirlemek için, analizler yapılmıştır. Çizelge 4.15' te gösterilen h/B oranlarında, analizler yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 4.38' de gösterilmiştir. Böylece optimum "h/B" parametresi 0,06 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. Donatılar arası düşey mesafe "h"

h (m)	h/B
0,01	0,02
0,03	0,06
0,09	0,18

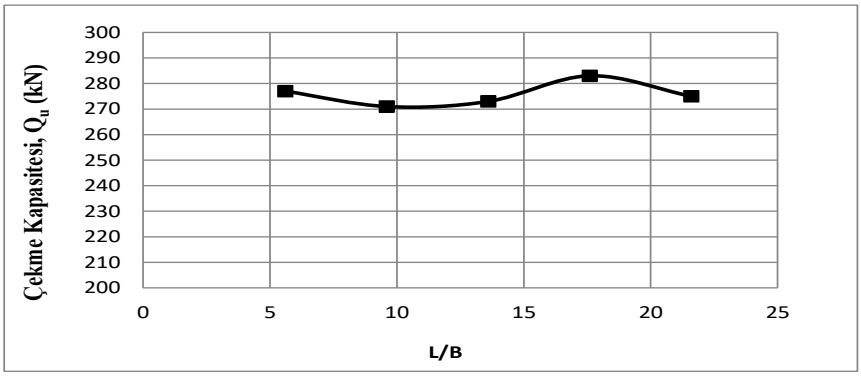


Şekil **4.38.** Donatılar arası düşey mesafenin çekme kapasitesine etkisi (D_f =5B)

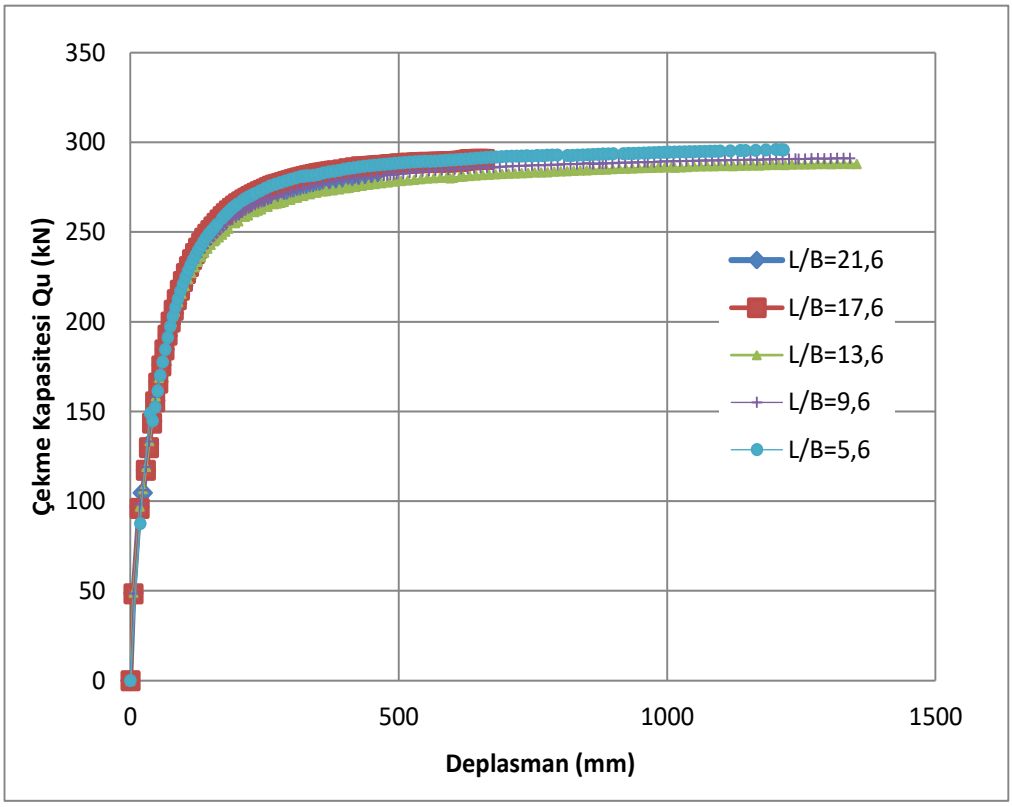
4.3.2.3 Donatı Tabakasının Uzunluğu, L

Donatı uzunluğunun çekme kapasitesine etkisini belirlemek üzere, farklı uzunluklar için, analizler gerçekleştirilmiş ve donatı uzunluğunun çekme kapasitesi ile

olan ilişkisi Şekil 4.39'da gösterilmiştir. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'den, en uygun donatı uzunluğu L=2,8 m olarak belirlenmiştir. Bu seçim yapılırken, maliyet – çekme kapasitesi ilişkisi de göz önüne alınmıştır.



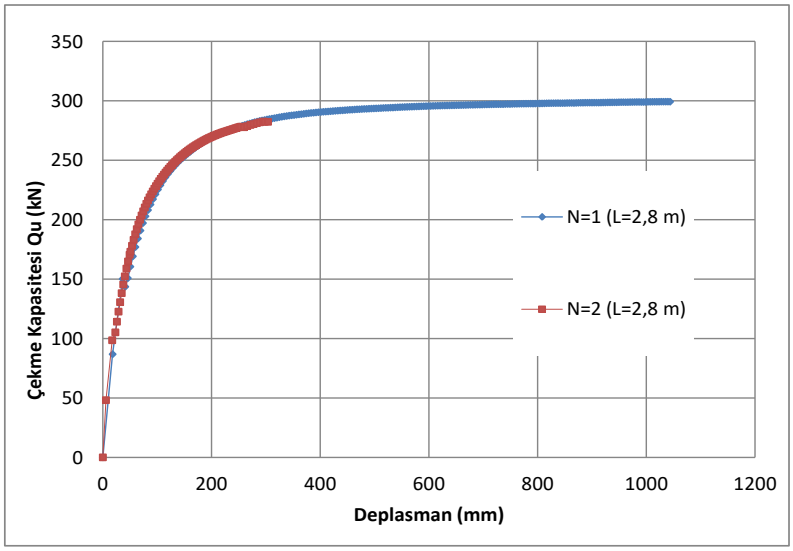
Şekil 4.39. Çekme Kapasitesi - L/B ilişkisi (D_f =5B)



Şekil 4.40. Donatı uzunluğunun çekme kapasitesine etkisi (D_f =5B)

4.3.2.4 Donatı Tabaka sayısı, N

İlk donatı tabakasının konumu "u" ve donatılar arası düşey mesafenin "h" en uygun değerleri belirlendikten sonra, donatı tabaka sayısının "N" çekme kapasitesine olan etkisini belirlemek üzere analizler gerçekleştirilmiştir.

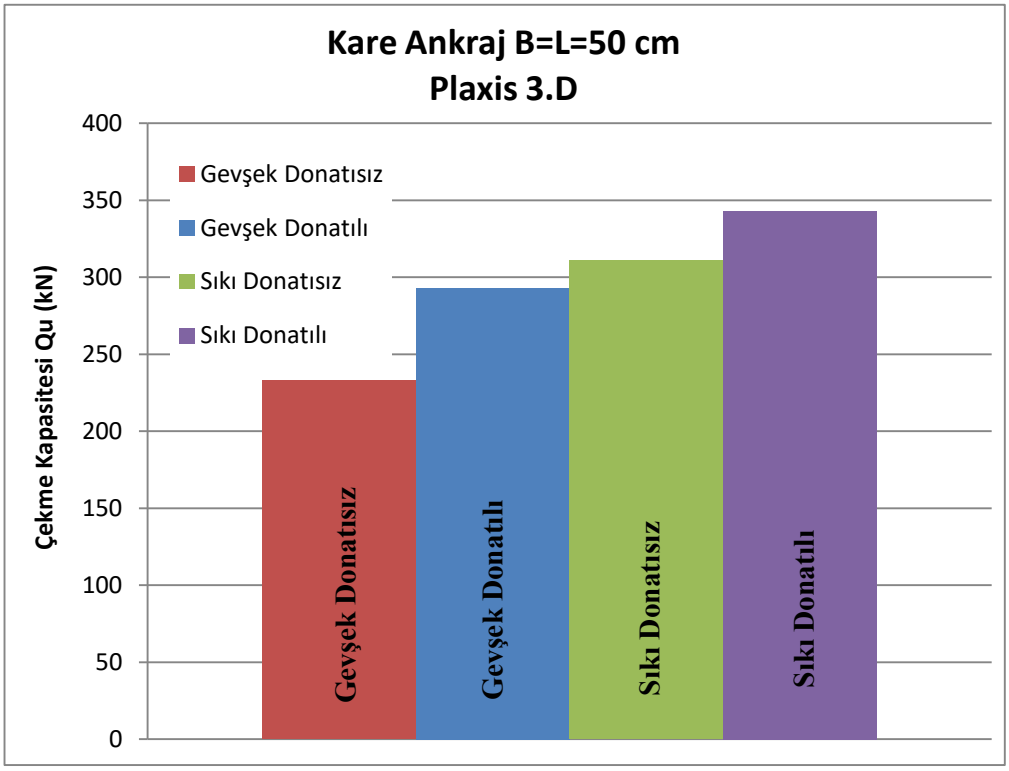


Şekil 4.41. Donatısı sayısının çekme kapasitesine etkisi (D_f =5B)

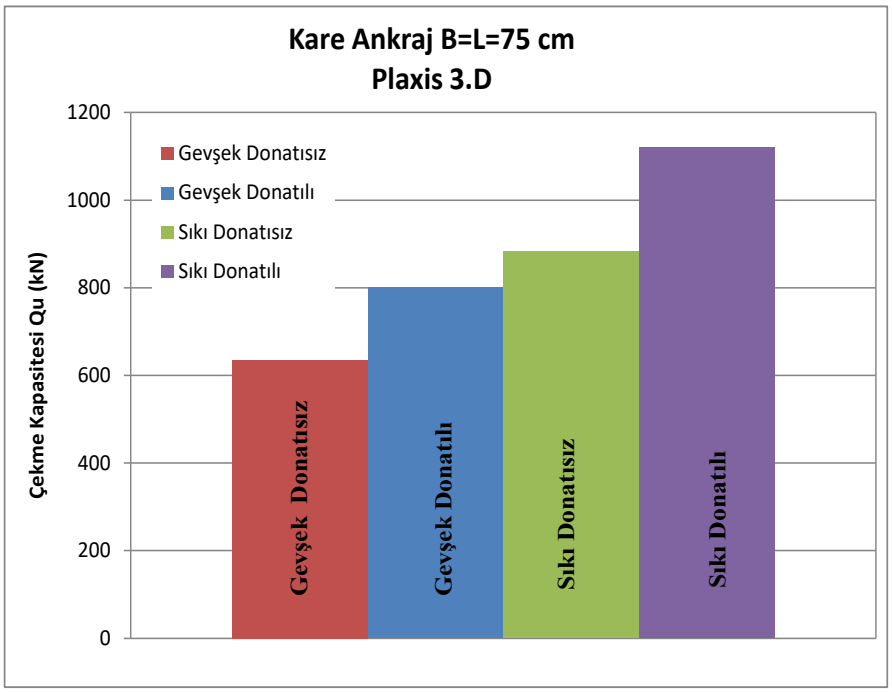
Şekil 4.41' den görüleceği üzere, donatı sayısındaki artış çekme kapasitesini ciddi oranlarda etkilememektedir. Buradan hareketle, analizlerde kullanılacak donatı sayısı N=1 olarak belirlenmiştir.

4.3.3 Donatılı Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

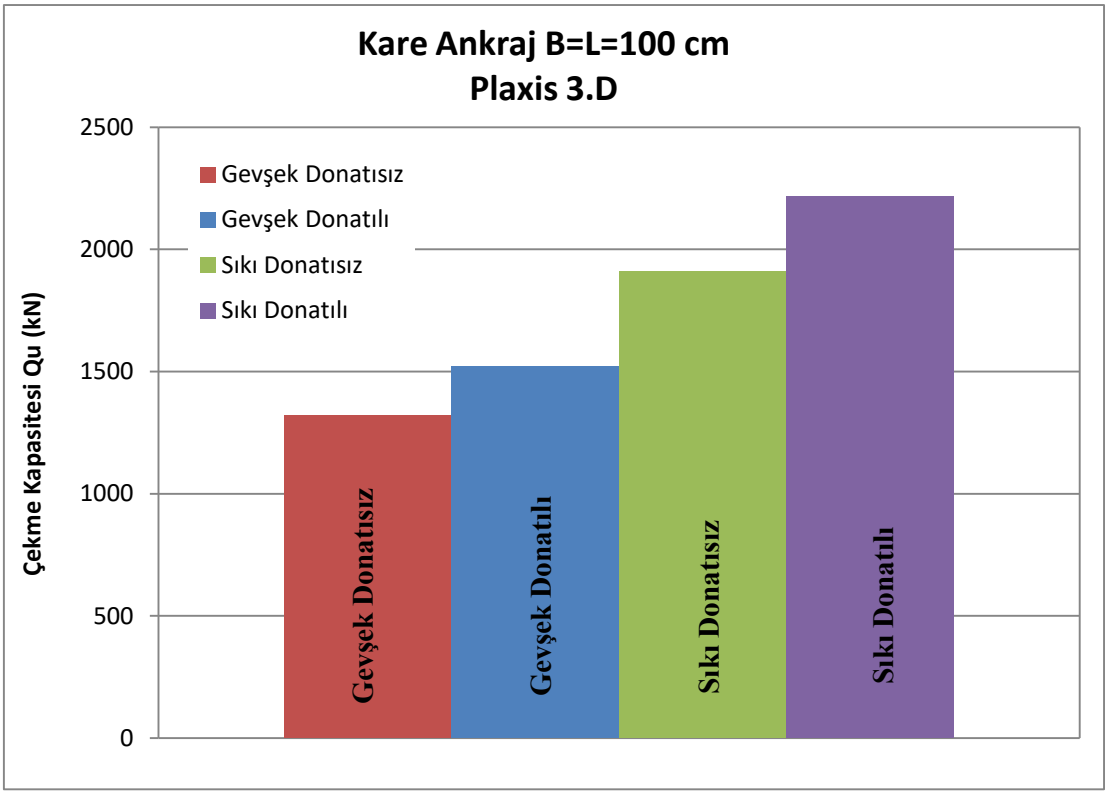
Donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisini incelemek üzere; donatısı sayısı N = 1, donatı uzunluğu L/B=5,6 ve donatı konumu u/B=0,03 en uygun olan koşullar altında yapılan analizlerin sonuçları, donatısız durum ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44' te gösterilen sonuçlara göre, donatı kullanımı çekme kapasitesini ortalama % 20 oranında arttırmaktadır.



Şekil 4.42. Donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisi (B=L=50 cm - D_f =5B)



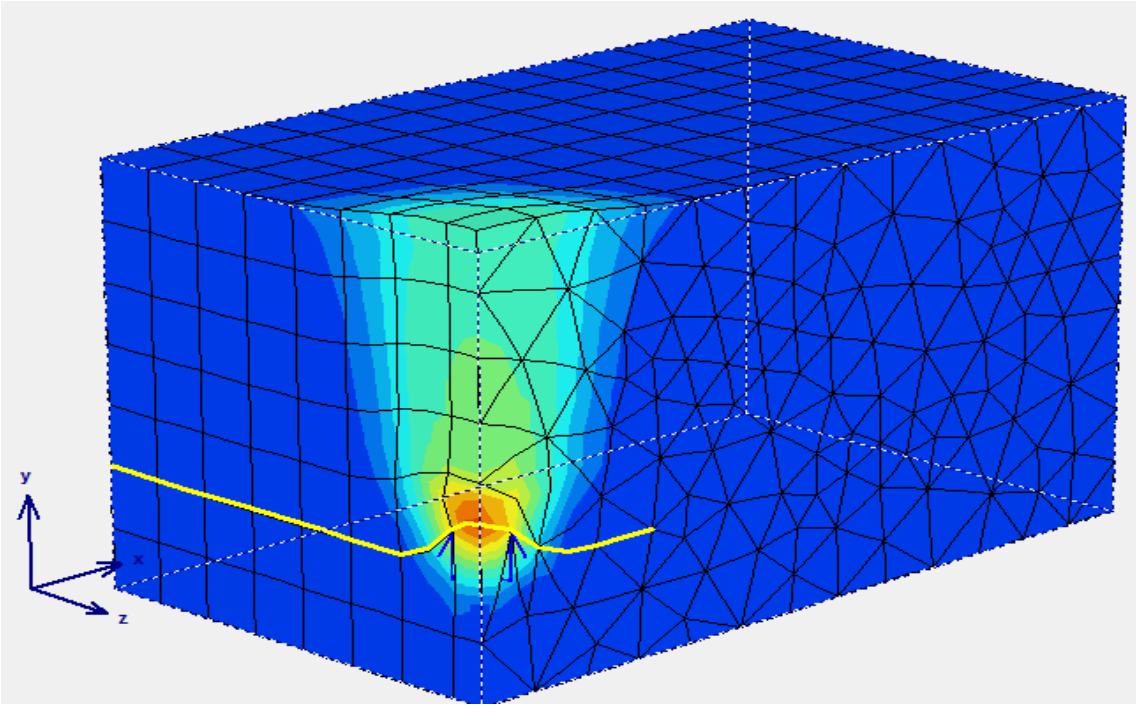
Şekil 4.43. Donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisi (B=L=75 cm - D_f =5B)



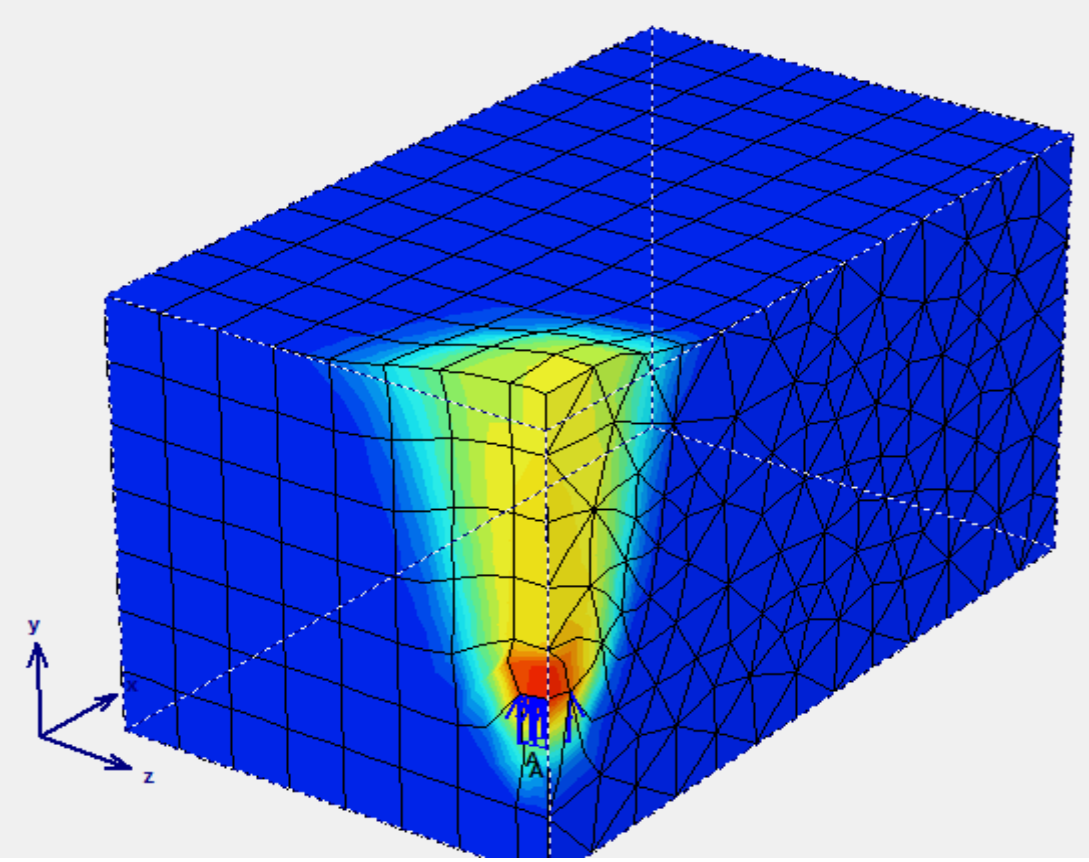
Şekil 4.44. Donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisi (B=L=100 cm - D_f=5B)

4.4 Donatılı Durum İçin Göçme Mekanizması (Plaxis 3D)

Şekil 4.45 ve Şekil 4.46' da gösterilen, göçme mekanizmalarına göre, donatılı modelin kırılma yüzeyi donatısız modele kıyasla, zemin üst yüzeyine daha az ulaşmaktadır. Bu durum, çekme yükü etkisi ile oluşan gerilme ve deplasmanların bir kısmının, geogrid donatı tarafından karşılandığını ve donatı kullanımının, kırılma anındaki etkileri, nispeten tolere edebildiğini göstermektedir.



Şekil 4.45. Sıkı ve donatılı zeminde kare ankrajın göçme mekanizması (D_f=5B)



Şekil 4.46. Sıkı ve donatısız zeminde kare ankrajın göçme mekanizması (D_f=5B)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kum zemine gömülü farklı ankraj tiplerinin çekme kapasitesine ait; gömülme oranı (D_f/B = 1-2-3-4-5-6-7-8), kumun sıkılık durumu (ϕ=39°- 44°), ve donatı kullanımı ile değişimi nümerik olarak analiz edilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılmış ve analizler "Hardening Soil" malzeme modeli ile, iki boyutlu ve üç boyutlu koşullarda, gerçekleştirilmiştir. Plaxis 2.D programı ile kare olarak modellenemeyen ve eşdeğer daireye çevirilerek çekme kapasitesi belirlenen kare ankrajlar, Plaxis 3.D programı ile 3 boyutlu modellenmiş ve 3 boyutlu modellemenin, çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Plaxis 3.D programı ile, kare ankraj plakalarının, donatılı zemin içerisindeki çekme kapasitesi analiz edilmiş ve sonuçlar donatısız durum ile kıyaslanmıştır. Öte yandan, dairesel ankraj plakalarının nümerik analiz sonuçları, Meyerhof&Adams, Vesic ve Balla teorilerinden elde edilen çekme kapasitesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Nümerik analizler, Mohr Coulomb ve Hardening Soil malzeme modelleri altında yapılmış ve ayrıca malzeme modellerine göre elde edilen sonuçların da, adı geçen kuramları ile karşılaştırılabilme olanağı sağlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1. Dairesel ve kare ankraj plakalarının çekme kapasitesi (Q_u), gömülme derinliğinin (D_f), artışı ile orantılı olarak artış göstermektedir.

2. Sıkı zemin durumunda, dairesel ankraj plakalarının çekme kapasitesi (Q_u), gevşek duruma göre daha büyüktür. Bu sonuç, çapları ve gömülme derinlikleri aynı olan durumda geçerlidir.

3. Dairesel ankrajların çapları (B) büyüdükçe, çekme kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir.

4. Çekme kapasitesinin (Q_u), boyutsuz bir ifadesi olan "kopma faktörü (F_q)" zemin sıkılığı ve daire çapı arttıkça artmıştır. Fakat derinlik artışı, kopma faktörünü parabolik olarak arttırmış ve bu artış belli bir derinlikten sonra sabit kalarak azalma eğilimine geçmiştir. Bu durum, gömülme oranındaki doğrusal artışa rağmen, çekme kapasitesinde (Q_u) benzer doğrusal artışın olmamasından kaynaklanmaktadır.

5. Sıkı zeminde, kare ankraj plakalarının çekme kapasitesi (Q_u), gevşek duruma oranla daha büyüktür. Bu sonuç, çapları ve gömülme derinlikleri aynı olan durumda geçerlidir.

6. Kare ankrajların da çapları (B) büyüdükçe, çekme kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir.

7. Kare ankrajların kopma faktörü değişimi de dairesel ankrajların kopma faktörü değişimine paraleldir.

8. Kesit alanı artan ankraj plakalarının çekme kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Böylece şekil faktörünün çekme kapasitesini etkilediği belirlenmiştir.

9. İki boyutlu olarak (2.D) gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen göçme mekanizmasının, gömülme derinliği ve zeminin sıkılık durumundan etkilendiği belirlenmiştir. Gömülme derinliği arttıkça göçme mekanizması, zemin üst yüzeyine daha az ulaşmakta ve üst yüzeyde oluşan etkisinin azaldığı gözlenmektedir. Benzer bir durum, sıkılık artışında da görülmüştür. Sıkılık arttıkça, göçme mekanizması, zemin üst yüzeyine daha az ulaşmakta ve üst yüzeyde oluşan etkinin azaldığı gözlenmektedir.

10. İki boyutlu modellemede (2.D) kare ankrajlar, “eş değer alan varysayımı” ile, daire olarak modellenmiştir. Üç boyutlu modellemede ise; (3.D) kare ankrajlar, bire bir modellenerek çekme kapasitesinin değişimi analiz edilmiştir. 3.D ve 2.D analiz sonuçları arasında, çekme kapasitesi değerleri açısından çok büyük farklar olmamak ile birlikte uyumlu bir paralellik söz konusudur. Özellikle sığ temel koşullarında ($Df/B \leq 5$) bu fark daha az olmaktadır.

11. Donatı olarak geogrid kullanımı ile modellenerek yapılan analizlere göre, donatı kullanımı çekme kapasitesini, donatısız modele göre %20 arttırmıştır.

12. Üç boyutlu ortamdaki göçme mekanizmasının davranışı, gömülme derinliği, sıkılık ve donatı kullanımdan etkilenmektedir. Gömülme derinliği ve sıkılık arttıkça, göçme mekanizması, zemin üst yüzeyine daha az ulaşmakta ve üst yüzeyde oluşan etkinin azaldığı gözlenmektedir.

13. Benzer şekilde donatı kullanımı göçme mekanizmasını zemin üst yüzeyine daha az ulaştırmakta ve etkisini tolere edebilmektedir.

14. Plaxis analiz sonuçları, M&A ve Vesic kuramlarından elde edilen sonuçlar arasında, sığ temel koşullarına ($D_f/B \leq 5$) kadar uyum görülmektedir. Fakat derin temel koşulu oluştuğunda ($D_f/B > 5$), bu uyum, giderek bozulmaktadır. Özellikle M&A kuramından elde edilen sonuçlar, derin temel koşullarında, çekme kapasitesini oldukça büyük belirlemektedir. Ayrıca Hardening Soil Model ile yapılan plaxis analiz sonuçları, Mohr Coulomb ile yapılan Plaxis analiz sonuçlarından çok ciddi farklılıklar olmamak ile birlikte daha büyüktür.

15. Balla kuramının sığ temel koşullarında ($D_f/B \leq 5$) iyi sonuçlar verdiği ve Plaxis analiz sonuçları ile yakın olduğu görülmektedir.

16. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda, kil zemin durumu, yer altı su seviyesinin varlığı, deprem yükleri altındaki davranış vb. durumlar, hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

Balla, A., 1961. The Resistance to Breaking out of Mushroom Foundations for Pylons in Proc., V Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Paris, France, 1, 569.

Bildik, S., 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.

Briaud, J.L., Jeanjean, P., 1994. Load Settlement Curve Method for Spread Footings on Sand. Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments. ***ASCE***, Vol. 2:1774-1804.

Cerato, A.B., 2005. Scale Effects of Foundation Bearing Capacity on Granular Material. Doktora Tezi, Lafayette College, University of Massachusetts Amherst, 443.

DAS, B. M., 1978. Model tests for uplift capacity of foundations in clay. ***Soils and Foundations, Japan***, 18(2), 17.

Das, B. M. 2009. Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement. CRC Press, Sayfa : 291. Londra.

Dash, B. K., & Pise, P. J. 2003. Effect of compressive load on uplift capacity of model piles. ***Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering***, *129*(11), 987-992.

Debeer, E.E., 1970. Experimental Determination of the Shape Factors and the Bearing Capacity Factors of Sand. ***Geotechnique***, 20(4):387-411.

Demir, A., & Bahadır, O. K. 2015. Helisel ankraj plakalarının tabakalı zeminlerdeki çekme kapasitelerinin incelenmesi. ***Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology***, 3(2), 25-38.

Dickin, E. A., & Laman, M. 2007. Uplift response of strip anchors in cohesionless soil. ***Advances in Engineering Software***, *38*(8), 618-625.

Dickin, E. A., & Leung, C. F. 1990. Performance of piles with enlarged bases subject to uplift forces. ***Canadian Geotechnical Journal***, *27*(5), 546-556. ISO 690

Dickin, E. A., & Leung, C. F. 1992. The influence of foundation geometry on the uplift behaviour of piles with enlarged bases. ***Canadian Geotechnical Journal***, *29*(3), 498-505.

Geddes, J. D., & Murray, E. J. 1996. Plate anchor groups pulled vertically in sand. ***Journal of geotechnical engineering***, *122*(7), 509-516. ISO 690

Ilamparuthi, K., & Dickin, E. A. 2001. The influence of soil reinforcement on the uplift behaviour of belled piles embedded in sand. ***Geotextiles and Geomembranes***, *19*(1), 1-22.

Ilamparuthi, K., Dickin, E. A., & Muthukrisnaiah, K. 2002. Experimental investigation of the uplift behaviour of circular plate anchors embedded in sand. ***Canadian Geotechnical Journal***, *39*(3), 648-664.

Keskin, M. S. 2009. Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

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.

Meyerhof, G. G., Adams, J. I. 1968. The ultimate uplift capacity of foundations. ***Canadian geotechnical journal***, 5(4), 225-244.

Meyerhof, G. G., 1973. Uplift resistance of inclined anchors and piles, inProc., VIII Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Moscow, USSR. 2.1, 167.

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*(8), 2608-2629.

Niroumand, H., & Kassim, K. A. 2013[1]. Uplift response of symmetrical anchor plates in reinforced cohesionless soil. ***Arabian Journal of Geosciences***, 7(9), 3755-3766.

Niroumand, H., & Kassim, K. A. 2014. Uplift response of circular plates as symmetrical anchor plates in loose sand. ***Geomechanics and Engineering***, *6*(4), 321-340.

Niroumand, H., & Kassim, K. A. 2014[1]. Experimental and numerical modeling of uplift behavior of rectangular plates in cohesionless soil. ***Geomechanics and Engineering***, 6(4), 341-358.

Patra, N. R., Deograthias, M., & James, M. 2004. Pullout capacity of anchor piles. ***Electron Journal of Geotechnical Engineering***, *9*.

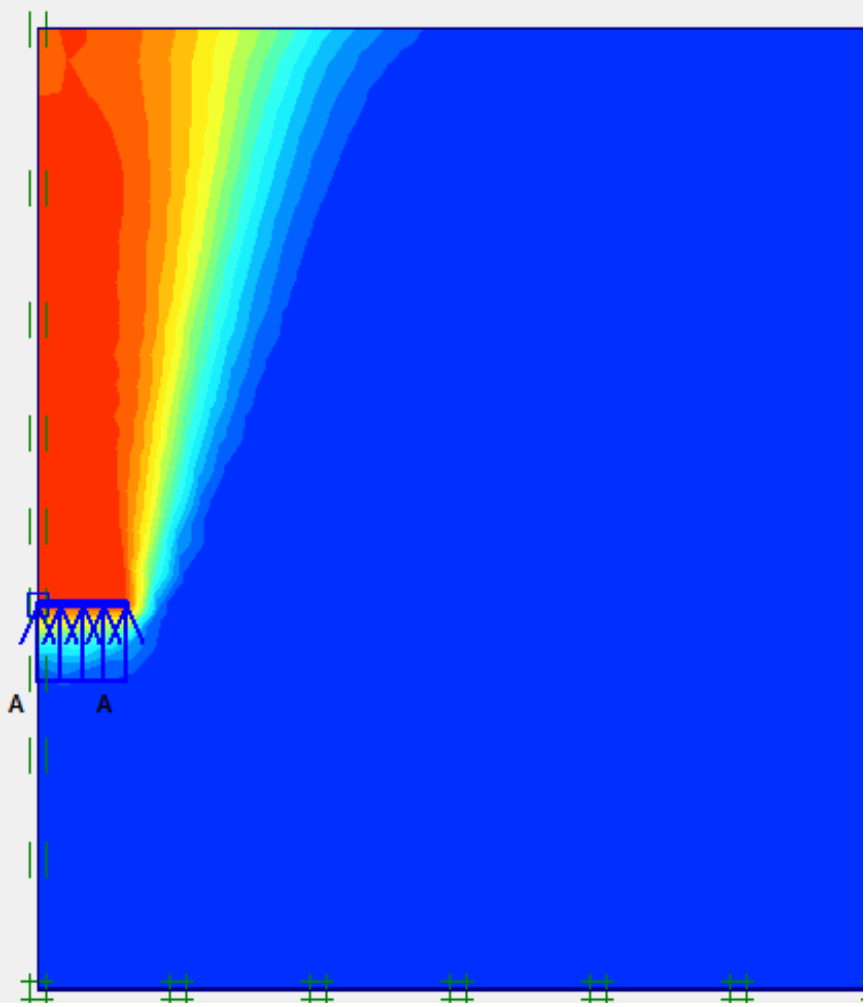
Saeddy, H. S., 1987. Stability of Circular Vertical Earth Anchors. ***Canadian Geotechnical Journal***, 24(3), 452.

Trautmann, C.H., Kulhawy, F.H., 1998. Uplift Load-Displacement Behavior of Spread Foundations. ***Journal of Geotechnical Engineering. ASCE***, 114(2):168-183.

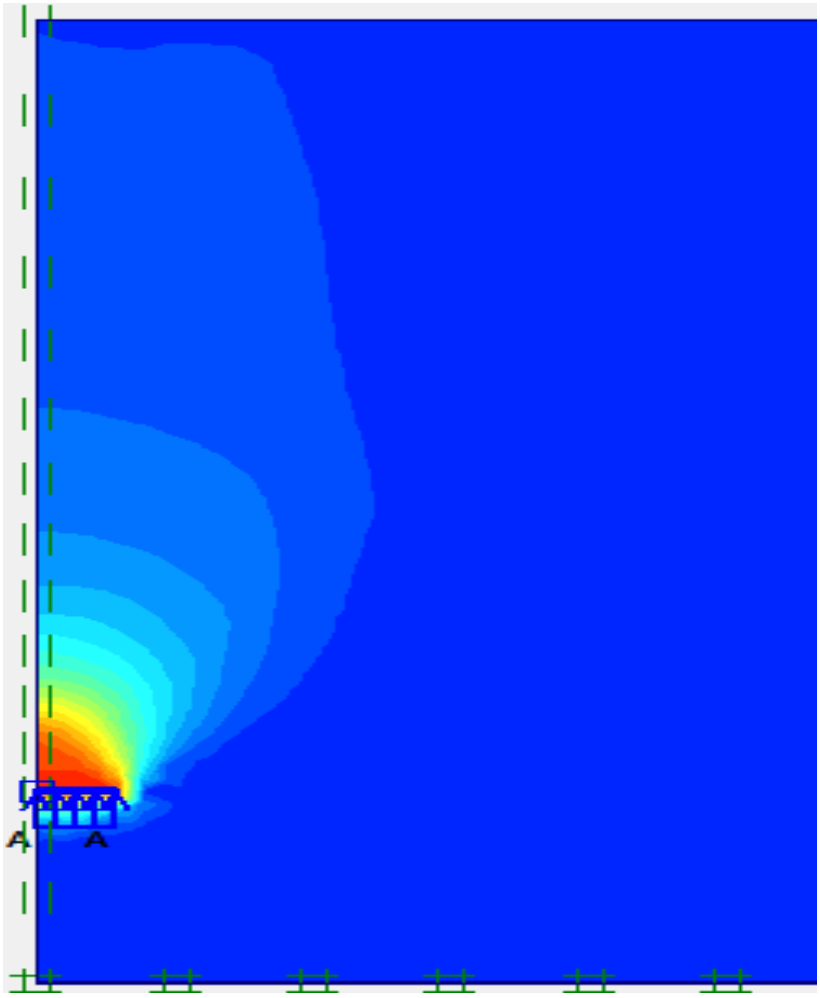
Vesic, A. S., 1971. Breakout resistance of objects embedded in ocean bottom. ***Journal of Soil Mech. Found. Div., ASCE***, 97(9), 1183.

EKLER LİSTESİ

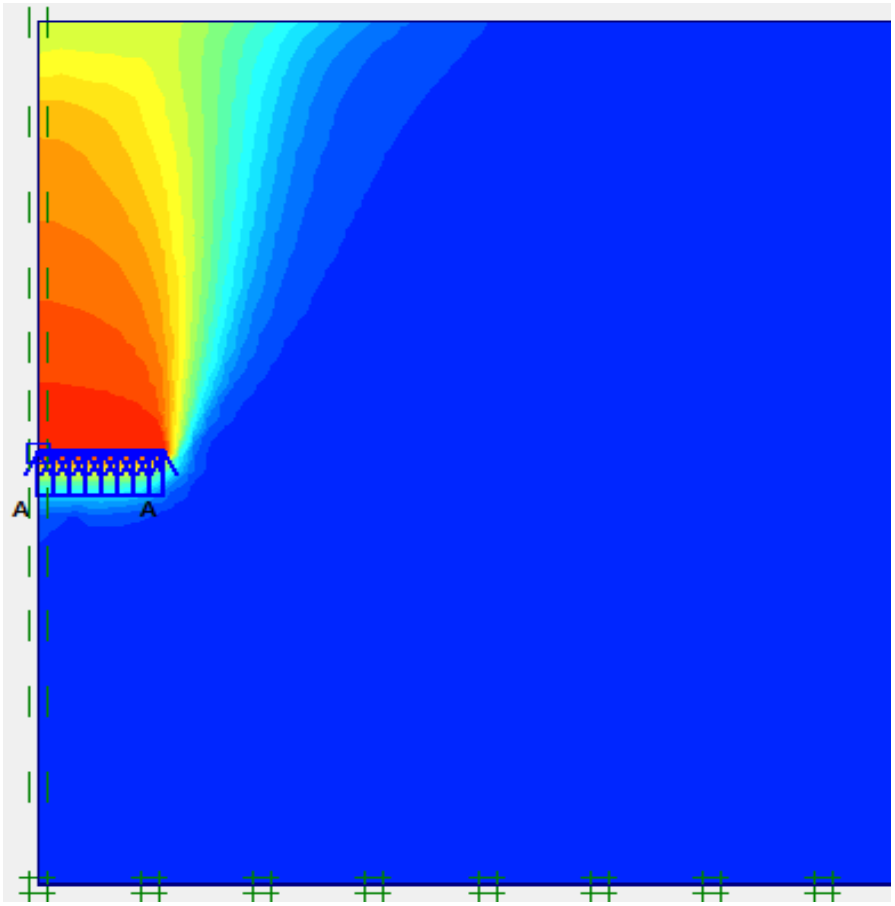
EK 1. Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=50 cm-Sıkı Zemin-D_f=3B)



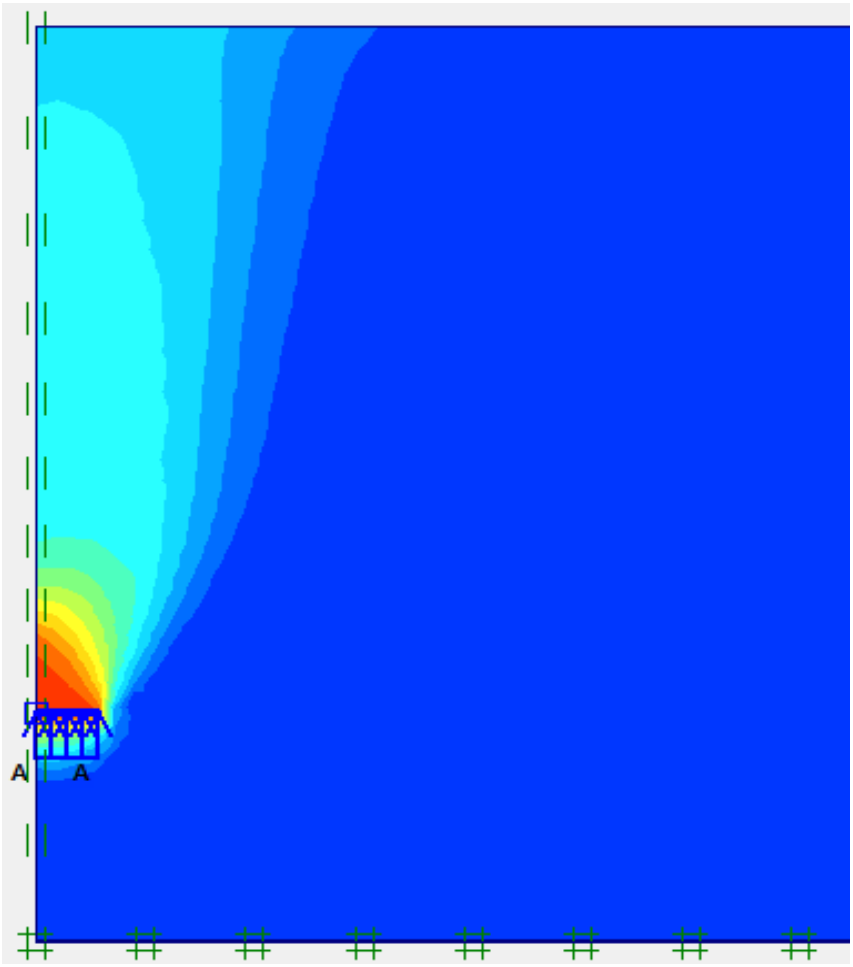
EK 2. Dairesel ankrajın göçme mekanizması (B=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=8B)



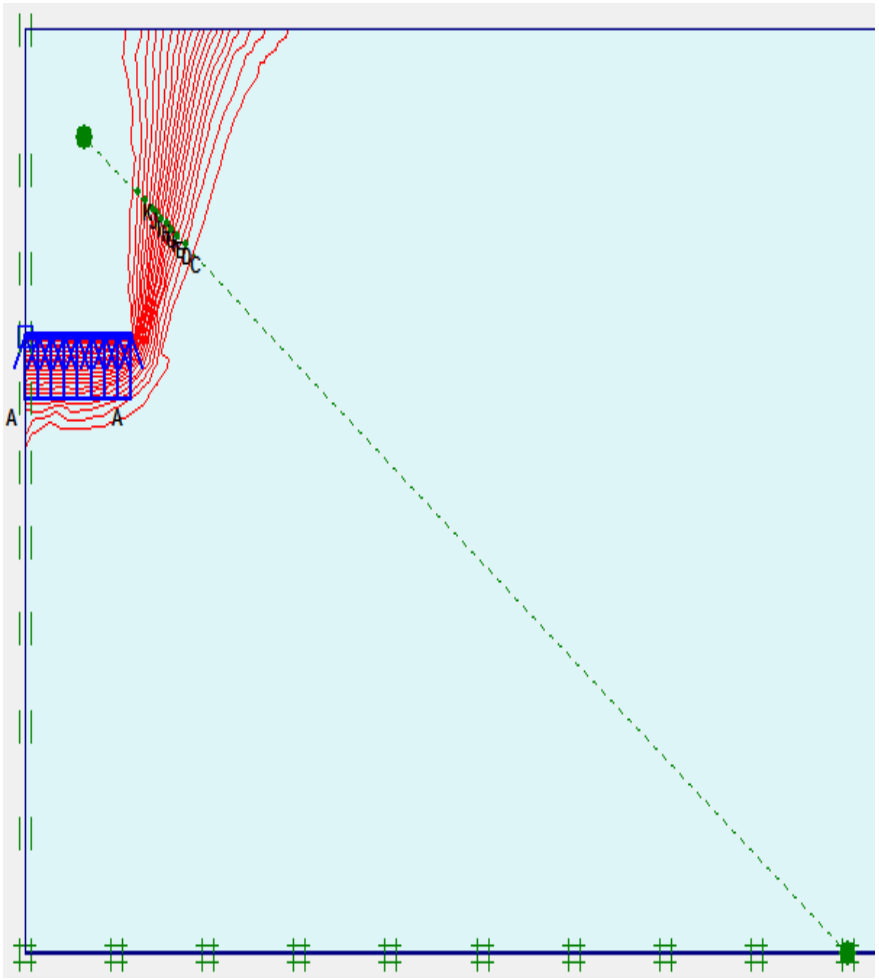
EK 3. Kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=2B)



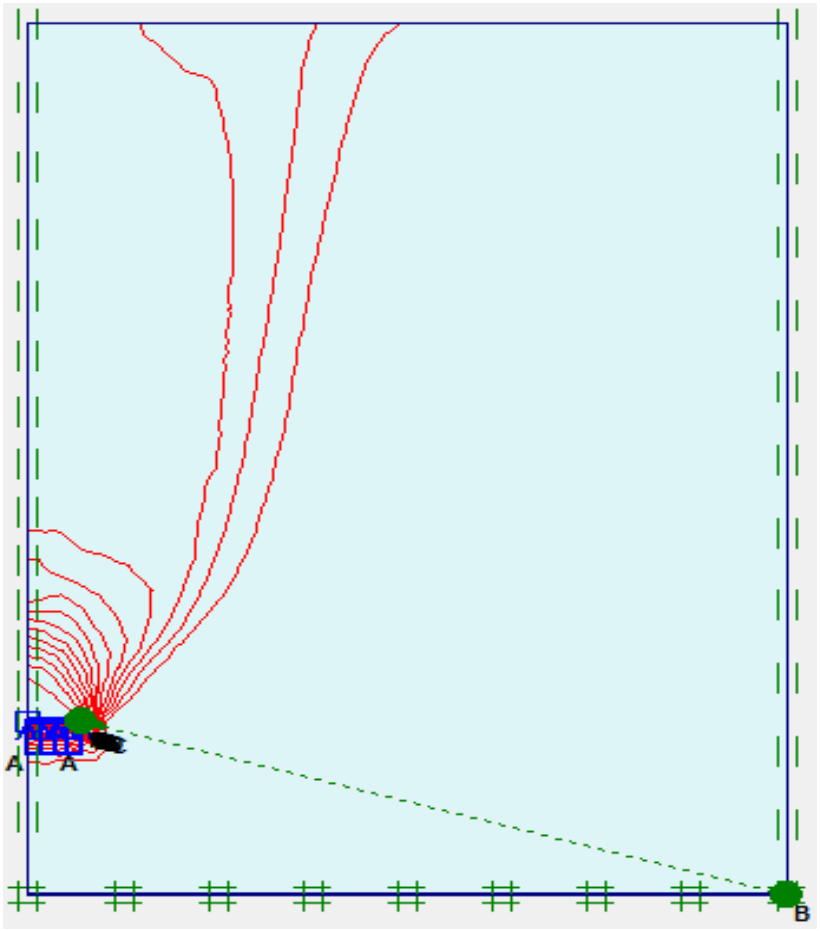
EK 4. Kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm-Gevşek Zemin-D_f=6B)



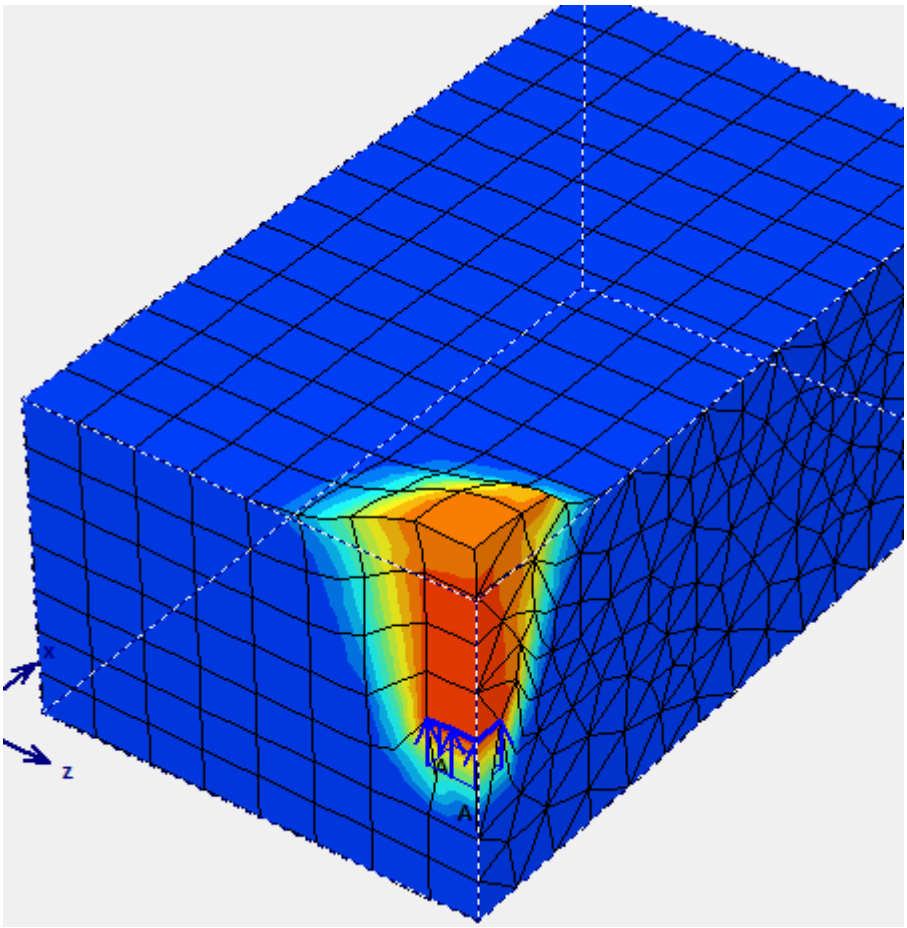
EK 5. Dairesel ankrajın kayma kontur eğrileri (B=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=1B)



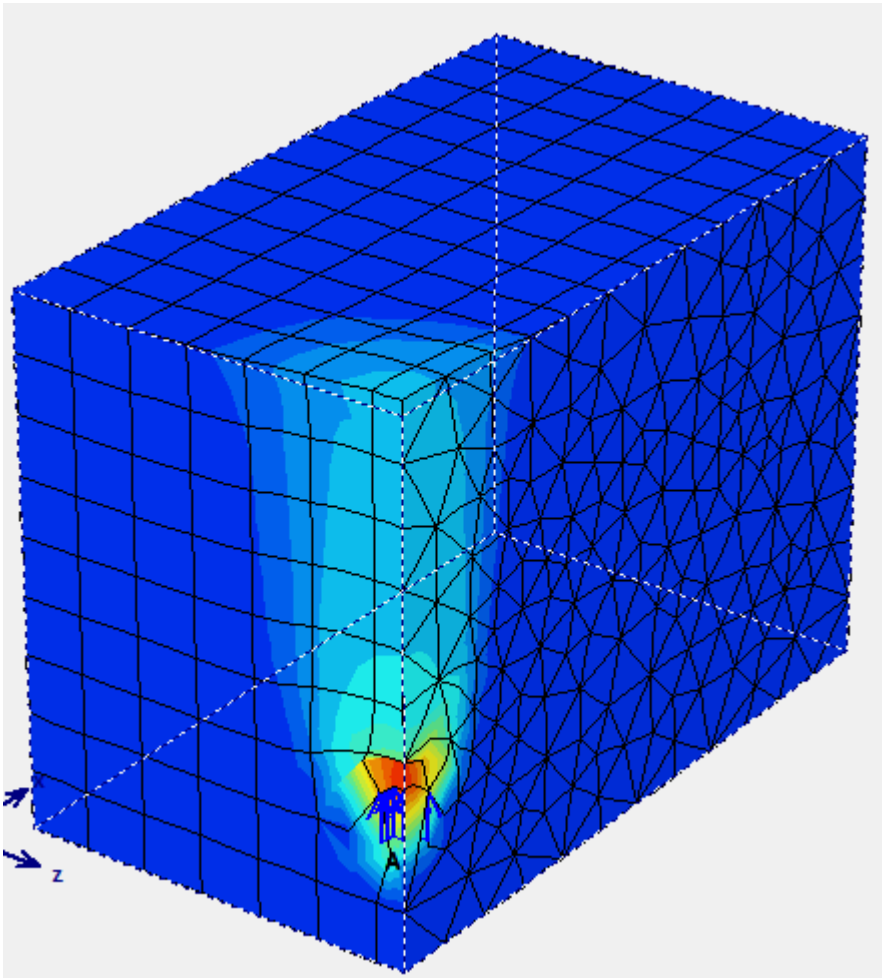
EK 6. Kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=8B)



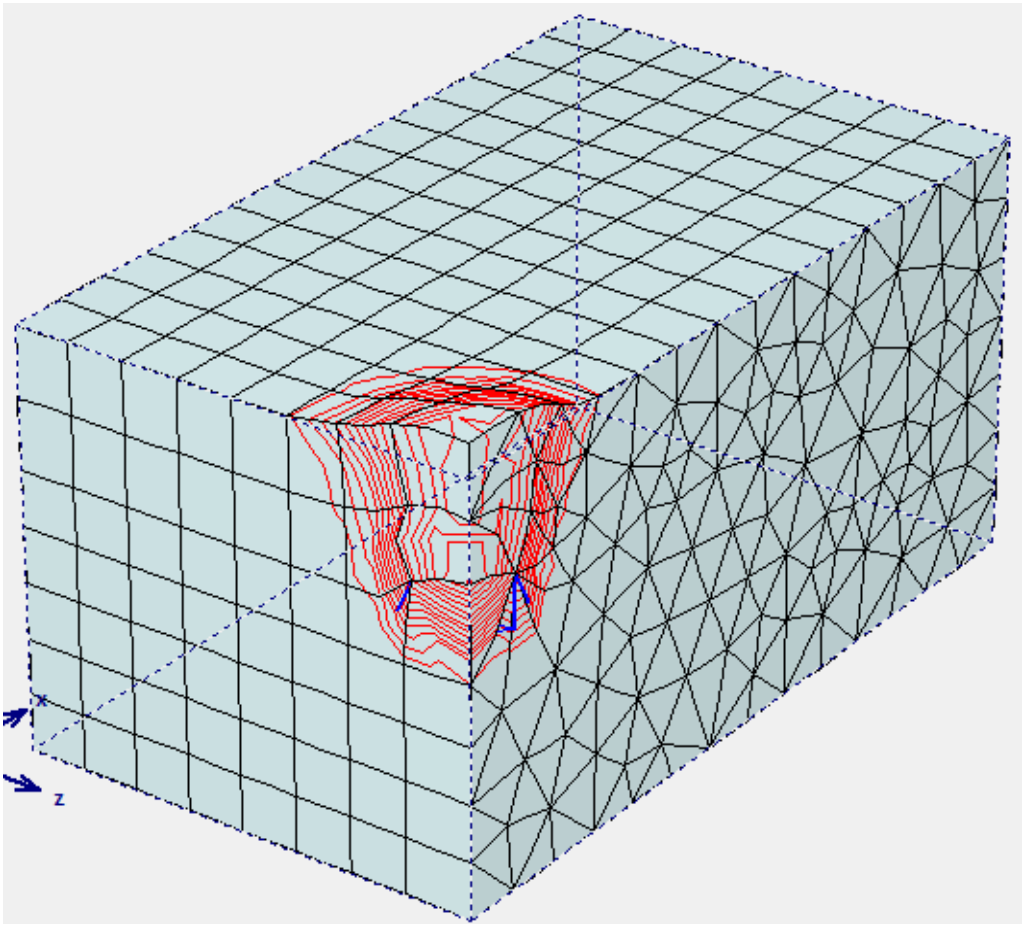
EK 7. Donatısız kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=75 cm-Sıkı Zemin-D_f=3B)



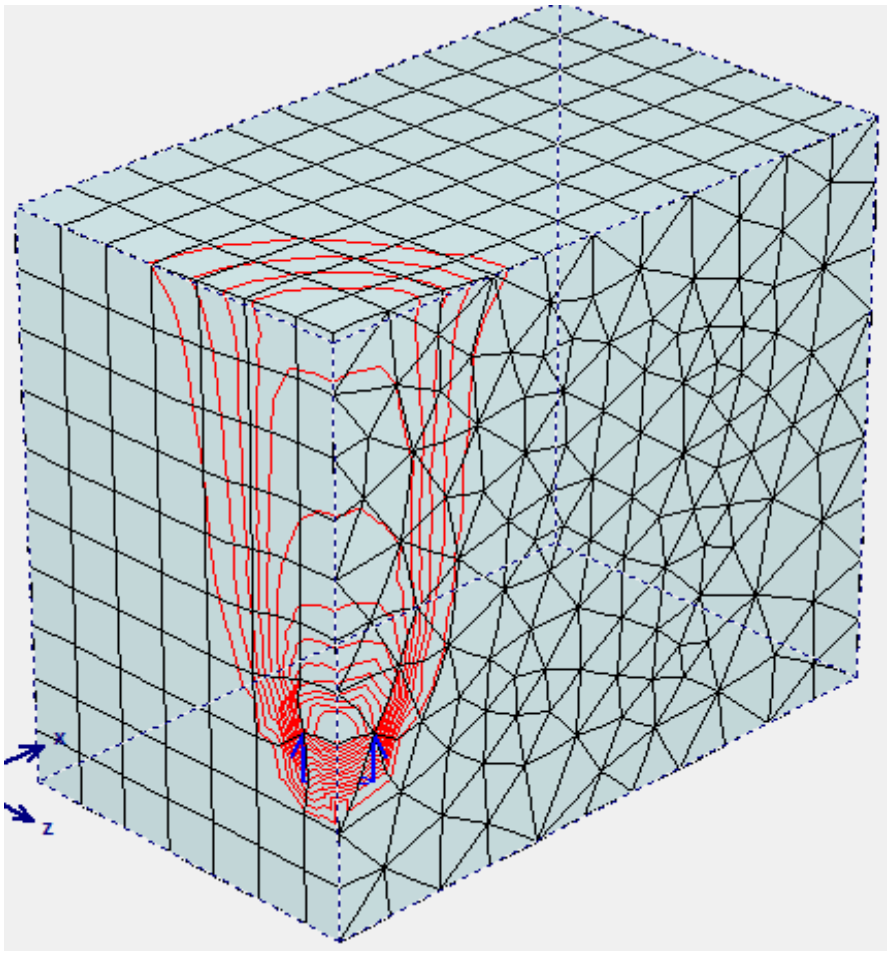
EK 8. Donatısız kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm-Gevşek Zemin-D_f=7B)



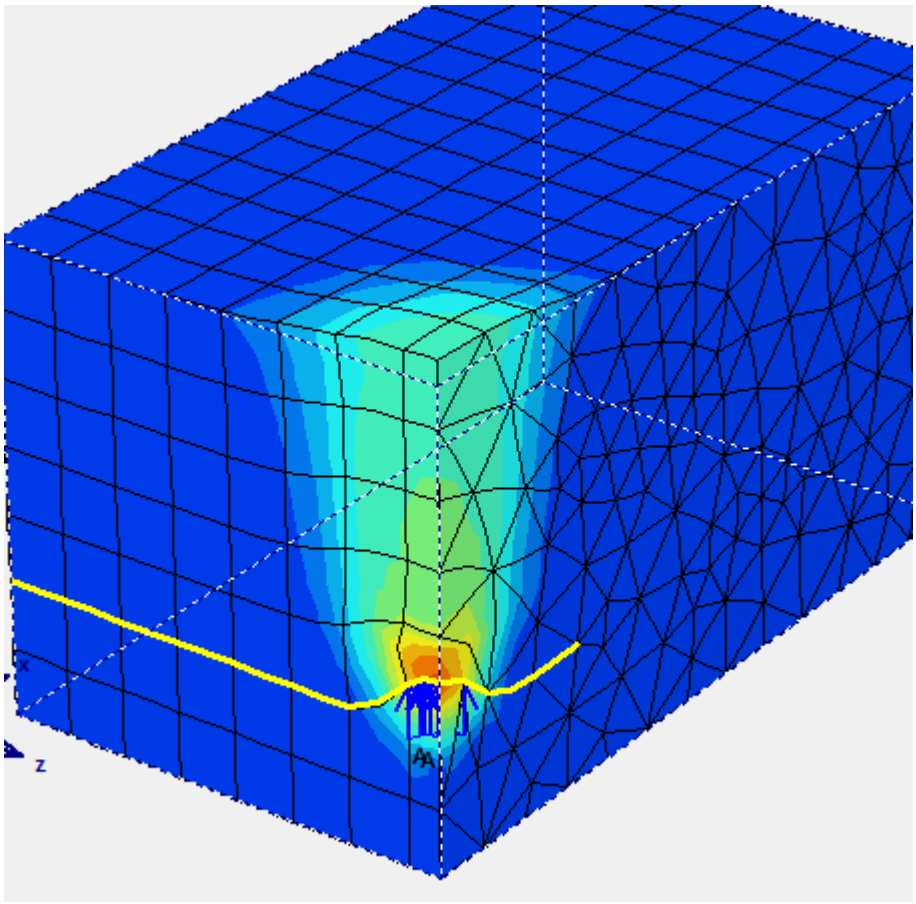
EK 9. Donatısız kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=1B)



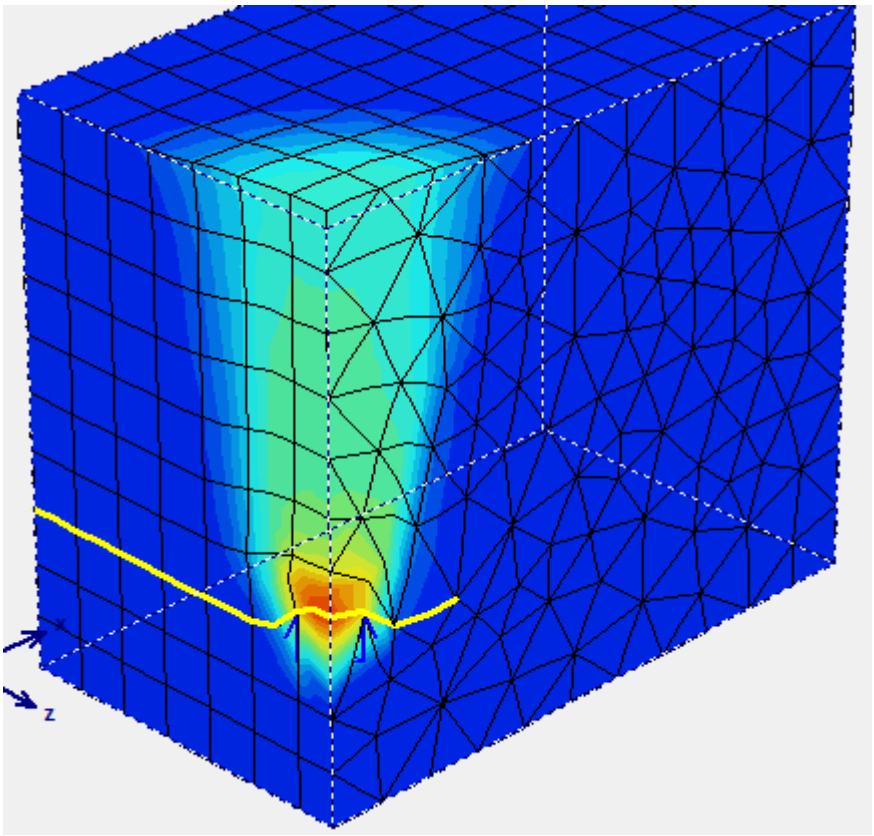
EK 10. Donatısız kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=5B)



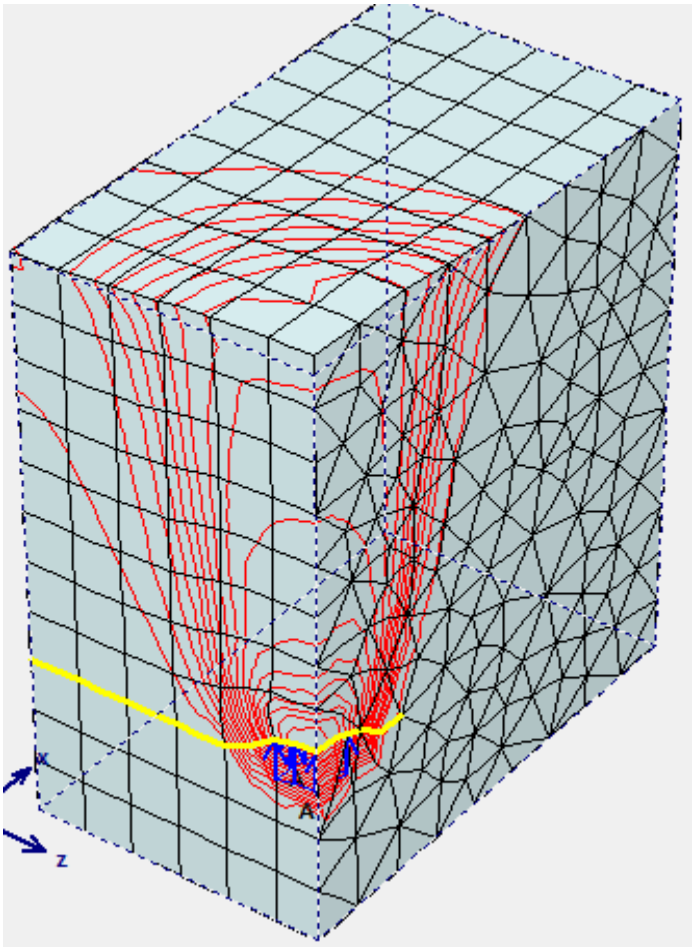
EK 11. Donatılı kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=50 cm-Sıkı Zemin-D_f=5B)



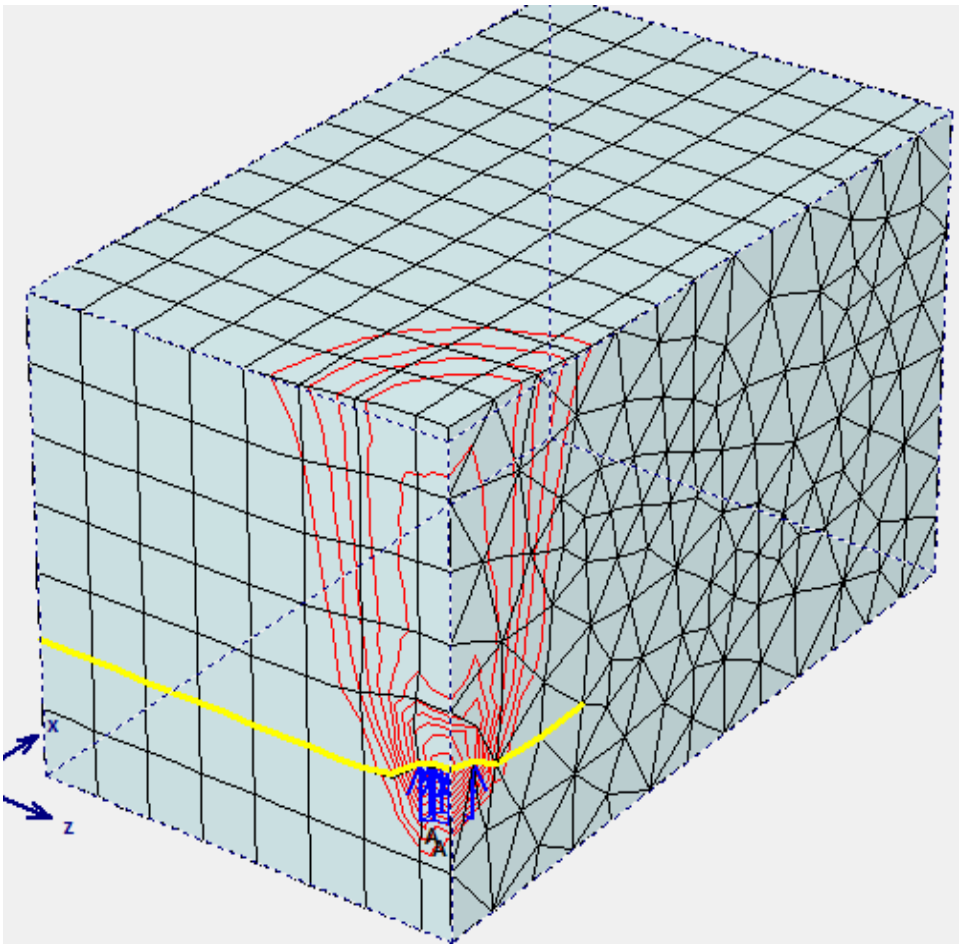
EK 12. Donatılı kare ankrajın göçme mekanizması (B=L=75 cm-Gevşek Zemin-D_f=5B)



EK 13. Donatılı kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=100 cm-Sıkı Zemin-D_f=5B)



EK 14. Donatılı kare ankrajın kayma kontur eğrileri (B=L=50 cm-Gevşek Zemin-D_f=5B)



ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1987 yılında Batman'nın Gercüş ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Batman'da tamamladı. 2008 yılında eğitime başladığı, Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümünü, 2013 yılında bitirdi. 2014 yılında, Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, Geoteknik Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak işe başladı. Halen görevine devam etmektedir.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Bilal KORKMAZ
ÖĞRENCİ NO	14806008
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2016-2017
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Müh. A.B.D
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Zeminlere Gömülü Ankraj Plakalarının Çekme Davranışlarının Sayısal Olarak İncelenmesi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	140
BENZERLİK ORANI	%9
RAPORLAMA TARİHİ	21/04/2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 140 sayfalık kısmına ilişkin, 21/04/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *ITHENTICATE* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
- ☐ Kaynakça hariç
- ☐ Alıntılar hariç/dâhil
- ☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(İmza)
Bilal KORKMAZ

(İmza) 21/04/2017 Doç. Dr. M. Salih KESKİN **Tez Danışmanı**	(İmza) 21/04/2017 Doç. Dr. Halil GÖRGÜN **Anabilim Dalı Başkanı**