T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANKRAJ PLAKALARININ ÇEKME KAPASİTESİNİN DİNAMİK ANALİZİ

Şehmus Fırat KANAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEOTEKNİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Temmuz - 2021

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Şehmus Fırat KANAY tarafından yapılan "Ankraj Plakalarının Çekme Kapasitesinin Dinamik Analizi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Geoteknik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan: Doç. Dr.	M. Salih KESKİN
Üye : Dr. Öğr. Üyesi	Hayrullah AKYILDIZ
Üye : Dr. Öğr. Üyesi	Mesut GÖR

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 16/07/2021

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam esnasında beni yönlendiren, tez konusunun seçiminde, uygulamasında ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. M. Salih KESKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans tez savunmasına katkılarından dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hayrullah AKYILDIZ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mesut GÖR'e teşekkür ederim.

Üzerimde büyük emekleri olan ve her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan saygıdeğer babam Ziya KANAY ve sevgili annem Azize KANAY'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR I

İÇİNDEKİLER II

ÖZET V

ABSTRACT VI

ÇİZELGE LİSTESİ VII

ŞEKİL LİSTESİ VIII

KISALTMA VE SİMGELER XII

1. GİRİŞ **1**

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **3**

2.1. Kuramsal Çalışmalar 3

2.1.1. Kum Zeminlerdeki Temeller 3

2.1.1.1. Balla Kuramı (1961) 3

2.1.1.2. Meyerhof ve Adams Kuramı (1968) 6

2.1.2. Doygun Kil Zeminlerdeki Temeller (Ø = 0) 8

2.1.2.1. Meyerhof Teorisi (1973) 8

2.1.2.2. Modifiye Edilmiş Meyerhof Kuramı 9

2.2. Deneysel Çalışmalar 11

2.2.1. Kumar (2002) 11

2.2.2. Choudhury ve Rao (2004) 13

2.2.3. Ghosh (2009) 17

2.2.4. Cerato (2009) 19

2.2.5. Rangari ve Arkadaşları (2012) 23

2.2.6. Ghosh ve Kumari (2012) 25

2.2.7. Bhattacharya ve Kumar (2013) 30
2.2.8. Gao ve Arkadaşları (2014) 33
2.2.9. Pain ve Arkadaşları (2016) 35
2.2.10. Ganesh ve Arkadaşları (2018) 37
2.2.11. Rahimi ve Arkadaşları (2018) 38
2.2.12. Korkmaz ve Keskin (2018) 41
3. MATERYAL VE METOT 43
3.1. Plaxis Programı 44
3.2. Sonlu Elemanlar Analizi 45
3.3. Geometrik Model 45
3.3.1. Şerit Ankraj Plaka 45
3.3.2. Sonlu Elemanlar Ağı 46
3.3.3. Yer Altı Suyu 47
3.3.4. Başlangıç Gerilmeleri 48
3.4. Malzeme Özellikleri 49
3.4.1. Zemin 49
3.4.2. Ankraj Plakası 50
3.5. Çekme Kapasitesinin Belirlenmesi 51
3.6. Analizlerde Çözüm Aşamaları 53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 55
4.1. Şerit Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B=50 cm) 55
4.1.1. Kum Zemin (B=50 cm) 55
4.1.2. Kil Zemin (B=50 cm) 57
4.2. Şerit Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B=75 cm) 60
4.2.1. Kum Zemin (B=75 cm) 60
4.2.2. Kil Zemin (B=75 cm) 62

4.3. Şerit Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B=100 cm) 65
4.3.1. Kum Zemin (B=100 cm) 65
4.3.2. Kil Zemin (B=100 cm) 67
4.4. Deprem Etkisi 69
4.4.1. Kum Zemin 69
4.4.2. Kil Zemin 71
4.5. Yer Altı Suyu Etkisi 72
4.6. Gömülme Derinliği Etkisi 74
4.7. Ankraj Genişliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi 75
4.8. Deprem Yükünün Çekme Kapasitesine Etkisi 76
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 77
6. KAYNAKLAR 79
ÖZGEÇMİŞ 81

ÖZET

ANKRAJ PLAKALARININ ÇEKME KAPASİTESİNİN
DİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şehmus Fırat KANAY

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GEOTEKNİK ANABİLİM DALI

2021

Bu çalışmada, şerit ankraj plakalarının üç farklı genişlik (B), sekiz farklı gömülme oranı (Df/B), gevşek-sıkı kum ve yumuşak-sert kil durumları için statik ve dinamik koşullar altında çekme kapasiteleri analiz edilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Plaxis bilgisayar programı kullanılmış ve analizler, kum zemin için "Hardening Soil" (pekleşen zemin), kil zemin için "Mohr Coulomb" zemin modeli kullanılarak 2 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G büyüklüğünde düşey yönde dinamik yük etki ettirilmiş, ankrajın çekme kapasitesinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Aynı ankraj genişliği ve aynı zemin koşulları durumunda gömülme derinliğinin göçme mekanizması üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Ayrıca belirli koşullar altında ankraj plakalarına yer altı suyu etki ettirilmiş, ankrajın düşey yönlü yaptığı deplasman yer altı suyunun bulunmadığı durum ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, çekme kapasitesinin gömülme derinliğinin artmasına bağlı olarak artış gösterdiği, sıkı kum ve sert kil zeminde çekme kapasitesinin gevşek kum ve yumuşak kil durumuna göre daha büyük değere sahip olduğu, ankraj genişliğinin artmasıyla çekme kapasitesinin doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ankrajın gömülme derinliğine bağlı olarak bazı koşullar altında yer altı suyunun varlığı, ankrajın düşey yönde daha fazla deplasman yapmasına neden olmuştur. Zemine etki ettirilen deprem yükü, ankrajın çekme kapasitesini statik duruma göre ortalama %8 azaltmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankraj Plakası, Çekme Kapasitesi, Dinamik Analiz, Plaxis, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Yer Altı Suyu

ABSTRACT

DYNAMIC ANALYSIS OF UPLIFT CAPACITY
OF ANCHOR PLATES

MSc THESIS

Şehmus Fırat KANAY

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

2021

In this study, the uplift capacity of strip anchor plates were analyzed for three different widths (B), eight different embedment ratio (H/B), loose-dense sand and soft-stiff clay situations under static and dynamic conditions. Plaxis computer program which solves by finite element method was used and analyses were carried out in 2 dimensions using “Hardening Soil” for sand and “Mohr Coulomb” for clay as a material model.

In order to observe the earthquake effect, the dynamic load in the vertical direction of 0.1 G was affected and the change in the uplift capacity of the anchor was examined. In case of the same anchor width and the same soil conditions, the effect of the embedment depth on the failure mechanism has been observed. In addition, under certain conditions, ground water was affected on the anchor plates, and the vertical displacement of the anchor was compared with the situation where ground water was not present.

As a result of the study, it was observed that the uplift capacity increased due to the increase in the embedment depth, the uplift capacity on dense sand and stiff clay had a greater value than the loose sand and soft clay state, and the uplift capacity increased in direct proportion with the increase of the anchor width. The presence of groundwater under some conditions, depending on the anchor's embedment depth, caused the anchor to displace more in the vertical direction. The earthquake load acting on the soil reduced the uplift capacity of the anchor by an average of 8% compared to the static condition.

Key Words: Anchor Plates, Uplift Capacity, Dynamic Analysis, Plaxis, Finite Element Method, Groundwater

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 2.1.	f_a=1.4, α_v=0.0, ε=1.0, H/ƛ=0.3, H/η=0.16 için $f_{\gamma E}$ değerlerinin karşılaştırılması	19
Çizelge 3.1.	Hardening Soil Modeli parametreleri	49
Çizelge 3.2.	Mohr Coulomb Modeli parametreleri	50
Çizelge 3.3.	Ankraj plaka parametreleri	50
Çizelge 4.1.	Kum zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)	55
Çizelge 4.2.	Kum zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)	56
Çizelge 4.3.	Kil zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)	58
Çizelge 4.4.	Kil zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)	59
Çizelge 4.5.	Kum zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)	60
Çizelge 4.6.	Kum zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)	61
Çizelge 4.7.	Kil zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)	62
Çizelge 4.8.	Kil zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)	64
Çizelge 4.9.	Kum zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)	65
Çizelge 4.10.	Kum zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)	66
Çizelge 4.11.	Kil zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)	67
Çizelge 4.12.	Kil zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)	68

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 2.1.	Çekme kuvveti altındaki sığ dairesel temelin kırılma yüzeyi	3
Şekil 2.2.	Ø ve $\frac{D_f}{B}$ değerlerindeki değişime karşılık gelen F_1+F_3 değerleri	5
Şekil 2.3.	Çekme kuvveti altında sürekli temel	6
Şekil 2.4.	K_u katsayısının, Ø ile olan değişimi	7
Şekil 2.5.	$(Df/B)_{cr}$ oranının Ø 'ye bağlı değişimi	8
Şekil 2.6.	$\alpha' - \beta'$ grafiği	10
Şekil 2.7.	Problemin tanımı	12
Şekil 2.8.	$\delta = 0,75$ için çekme kapasitesi değerleri	13
Şekil 2.9.	Kırılma yüzeyi	14
Şekil 2.10.	Kuvvetlerin davranışı	15
Şekil 2.11.	$\beta = 0°$, $\varphi = 50°$, $\lambda = 5$ için (a) $F\gamma d - k_h$ (b) $Fqd - k_h$	16
Şekil 2.12.	Göçme mekanizması ve etkiyen yükler	17
Şekil 2.13.	$\varepsilon=3.0$, $f_a=1.4$ ve farklı ϕ değerleri için oluşturulan göçme mekanizması	18
Şekil 2.14.	Kurulu ankrajlar ile temel zemininin en kesiti	20
Şekil 2.15.	Dinamik yükleme kurulumu	20
Şekil 2.16.	3 sarmallı uzun süreli dinamik test (a) V3 ankrajı; (b) V4 ankrajı	21
Şekil 2.17.	2 sarmallı V6 ankrajının uzun süreli dinamik testi	22
Şekil 2.18.	Sismik koşullar altında yatay ankraj plakanın analitik modeli	23
Şekil 2.19.	Sismik koşullar altındaki göçme kaması	24
Şekil 2.20.	Farklı k_h ve ϕ değerleri için göçme modelinin geometrisi (a) $k_v=0$ (b) $k_h=0.2$	25
Şekil 2.21.	Sınır koşulları ile kırılma alanı	26

Şekil 2.22. Düzeltilmiş SPT N değerleri ve zemin profili 27

Şekil 2.23. Analizlerde kullanılan sismik yatay ivme değerleri 28

Şekil 2.24. Serbest alan ve ayrık ankraj durumunda zemin yüzeyindeki düşey deplasman sonuçları 29

Şekil 2.25. Ayrık ankraj seviyesindeki düşey deplasman sonuçları 29

Şekil 2.26. (a) Problem tanımı (b) Ankraj-zemin arayüzü 30

Şekil 2.27. $\phi = 30°$ için sonlu eleman ağları (a) H/B=3 ; (b) H/B=5 31

Şekil 2.28. F_γ –H/B grafikleri (a) δ/ϕ=0.0; (b) δ/ϕ=0.5; (c) δ/ϕ=1.0 32

Şekil 2.29. Zemin modeli 33

Şekil 2.30. Donatılı toprak duvarın geoteknik karakteristikleri ve geometrisi 34

Şekil 2.31. Pasif durumda istinat duvarındaki kırılma yüzeyi ve yükler 35

Şekil 2.32. H=3 m, T=0.33s, ξ=%10 için K_{pe}-k_h (a) $\delta=0.50\phi$ (b) $\delta=0.67\phi$ (c) $\delta=0.75\phi$ (d) $\delta=1.00\phi$ 36

Şekil 2.33. Modellenen ankraj plaka 37

Şekil 2.34. Yükleme öncesi kurulum (a) Fiziksel model (b) Şematik model 38

Şekil 2.35. Çekme yükü-deplasman ilişkisi (a) Donatısız (b) Donatılı 39

Şekil 2.36. (a) Zemin modeli ve sınır koşulları (b) Geocell ve zemin tabakası 40

Şekil 2.37. B=300 ve D/B=3 için deplasmanlar (a) Donatısız (b) Donatılı 41

Şekil 2.38. Geometrik model ve sonlu elemanlar ağı 41

Şekil 2.39. Geometrik parametreler 42

Şekil 3.1. Sürekli sistemin sonlu elemanlara ayrılması 44

Şekil 3.2. Şerit ankraj plakanın geometrisi 46

Şekil 3.3. Sonlu elemanlar ağı 47

Şekil 3.4. Yer altı suyunun modellenmesi 47

Şekil 3.5. Başlangıç gerilmeleri 48

Şekil 3.6. Taşıma kapasitesi belirleme yöntemleri 52

Şekil 4.1. Kum zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm) 56

Şekil 4.2. Kum zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm) 57

Şekil 4.3. Kil zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm) 58

Şekil 4.4. Kil zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm) 59

Şekil 4.5. Kum zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm) 61

Şekil 4.6. Kum zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm) 62

Şekil 4.7. Kil zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm) 63

Şekil 4.8. Kil zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm) 64

Şekil 4.9. Kum zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm) 66

Şekil 4.10. Kum zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm) 67

Şekil 4.11. Kil zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm) 68

Şekil 4.12. Kil zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm) 69

Şekil 4.13. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Gevşek kum) 70

Şekil 4.14. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Sıkı kum) 70

Şekil 4.15. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Yumuşak kil) 71

Şekil 4.16. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Sert kil) 72

Şekil 4.17. Deplasman-Yer altı su seviyesi ilişkisi (Statik durum – Gevşek kum) 73

Şekil 4.18. Deplasman-Yer altı su seviyesi ilişkisi (Dinamik durum – Sert kil) 73

Şekil 4.19. Göçme Mekanizması (B=75 cm, Sıkı kum, Statik durum) 74

Şekil 4.20. Göçme Mekanizması (B=100 cm, Yumuşak kil, Dinamik durum) 74

Şekil 4.21. Ankraj genişliğine bağlı çekme kapasitesi değerleri (Statik durum – Sıkı kum – 7B) 75

Şekil 4.22. Ankraj genişliğine bağlı çekme kapasitesi değerleri (Dinamik durum – Yumuşak kil – 4B) 75

Şekil 4.23. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Sıkı kum – 100 cm – 5B) 76

KISALTMA VE SİMGELER

A : Temel alanı

B : Temel genişliği

C : Sönümlenme

c : Kohezyon

c_u : Drenajsız kayma mukavemeti

D_c : Toplam gerilme süreksizliği

D_f : Gömülme derinliği

D_r : Kumun rölatif sıkılığı

D_f/B : Gömülme oranı

E : Toplam eleman sayısı

E_{oed} : Odometre yükleme rijitliği

E_{ur} : Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği

E_{50} : Üç eksenli yükleme rijitliği

f_a : Büyüme faktörü

F_q : Kopma faktörü

FS_T : Güvenlik faktörü

g : Yer çekimi ivmesi

K : Sertlik

K_0 : Sukünetteki yanal basınç katsayısı

k_h : Yatay sismik ivme katsayısı

K_{pe} : Sismik pasif toprak basıncı

K_u : Nominal çekme katsayısı

k_v : Düşey sismik ivme katsayısı

L_{ei} : Donatı katmanındaki ankraj uzunluğu

M : Kütle

m : Zemin sürtünme açısına bağlı bir katsayı

N : Toplam düğüm sayısı

p^{ref} : Referans basınç değeri

P_u : Nihai yatay çekme kapasitesi

Q_h : Toplam yatay atalet kuvveti

Q_u : Temel çekme yükü

Q_{ur} : Donatılı durum için maksimum taşıma kapasitesi

R_f : Göçme oranı

r : Yarıçap

r_0 : Logaritmik spiralin ilk yarıçapı

r_f : Logaritmik spiralin son yarıçapı

S_v^{bottom} : Birinci donatı ile zemin duvarının en altı arasındaki mesafe

S_{vi} : Donatı katmanları arasındaki mesafe

S_v^{top} : Birinci donatı ile zemin duvarının en üstü arasındaki mesafe

UCR : Çekme kapasitesi oranı

W : Temel ve zemin ağırlığı

α : Kırılma yüzeyi ile zemin yüzeyi arasındaki açı

ϕ : İçsel sürtünme açısı

δ : Ankraj-zemin arayüzü sürtünme açısı

ε : Gömülme oranı

γ_{doy} : Doygun birim hacim ağırlık

γ_n : Doğal birim hacim ağırlık

γ_k : Kuru birim hacim ağırlık

ψ : Dilatasyon açısı

μ : Sıkışma faktörü

ν : Poisson oranı

ג : Ankrajın gömülme oranı

1. GİRİŞ

Temeller, genel olarak taşıdıkları yükler ve kendi ağırlıklarından dolayı büyük basınç gerilmeleri altında servis ömürlerini tamamlarlar. Ancak yapının kullanım amacı, konumu ve mimarisine bağlı olarak, servis ömrü boyunca hem yapının kendisi hem de taşıyıcı sistemi çekme kuvvetine ve devrilme momentine maruz kalabilmektedir. Çekme yüklerine karşı koyan ankrajlar elektrik direkleri, yer altı iletim hatları, rıhtım yapıları, su altı yapılar, haberleşme kuleleri vb. yapıların temel sistemlerinde sıklıkla kullanılırlar.

Ankraj plakaları ile oluşturulan temel sistemlerinde, plakanın çekme yükleri altında davranışını belirlemek, tasarlamak ve analizlerini gerçekleştirmek geoteknik mühendisliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu problemin önemi yıkıcı deprem kuvvetlerinden dolayı dinamik koşullar altında daha karmaşık bir hal almaktadır. Literatüre bakıldığı zaman ankrajların çekme kapasitesiyle ilgili bir çok çalışma bulunmasına rağmen, dinamik koşullar altında yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Zemine gömülü bir ankraj plakasının çekme kapasitesi, ankrajın kendi ağırlığı, kırılma yüzeyinde oluşan sürtünme direnci ve bu yüzey içinde kalan zemin ağırlığından oluşmaktadır (Keskin 2015).

Bu çalışmada, şerit ankraj plakalarının üç farklı genişlik (B), sekiz farklı gömülme derinliği (Df), gevşek-sıkı kum ve yumuşak-sert kil durumları için statik ve dinamik koşullar altında çekme kapasiteleri analiz edilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Plaxis bilgisayar programı kullanılmış ve analizler, kum zemin için “Hardening Soil” (pekleşen zemin), kil zemin için “Mohr Coulomb” zemin modeli kullanılarak 2 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G büyüklüğünde düşey yönde dinamik yük etki ettirilmiş, ankrajın çekme kapasitesinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Aynı ankraj genişliği ve aynı zemin koşulları durumunda gömülme derinliğinin göçme mekanizması üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Belirli koşullar altında ankraj plakalarına yer altı suyu etki ettirilmiş, ankrajın düşey yönlü yaptığı deplasman yer altı suyunun bulunmadığı durum ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bazı

koşullar altında zemine farklı büyüklükte dinamik yük etki ettirilmiş ve yükün büyüklüğünün çekme kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çalışma özetlenecek olursa;

1.bölümde; giriş kısmını,

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

3. bölümde; çalışmada kullanılan sonlu elemanlar yöntemine ait kuramı, plaxis bilgisayar programının çalışma sistemini, zemin parametrelerini ve analizlerde kullanılan modellerin detaylı gösterimini,

4.bölümde; analizler sonucu elde edilen bulgular ve tartışma kısmını,

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

kapsamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, ankraj plakalarının çekme kapasitesinin statik ve dinamik koşullar altında analiziyle ilgili daha önce yapılan çalışmalara değinilmiştir.

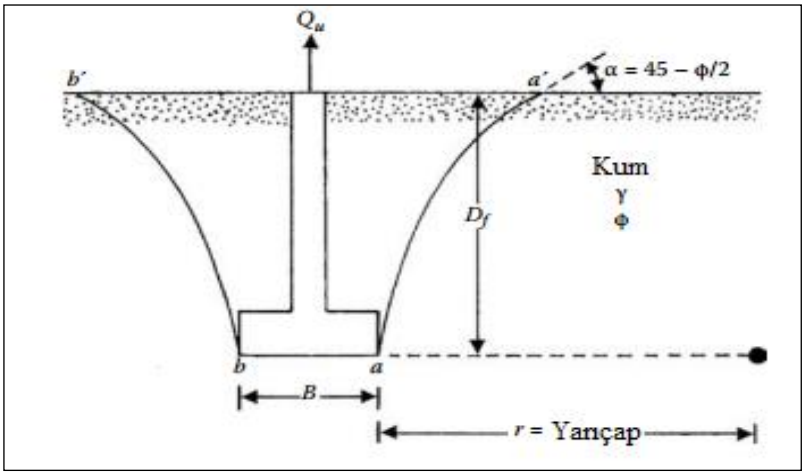
2.1. Kuramsal Çalışmalar

Kum ve kil zeminler üzerine inşa edilen yapıların nihai çekme kapasitesinin belirlenmesi amacıyla, "kum zeminlerdeki temeller" ve "kil zeminlerdeki temeller" olmak üzere çeşitli kuramlar geliştirilmiştir.

2.1.1. Kum Zeminlerdeki Temeller

2.1.1.1. Balla Kuramı (1961)

Balla (1961), sıkı zeminler için yaptığı araştırmalar, arazi deneyleri ve modellemeler sonucunda, sığ dairesel temeller için kırılma yüzeyinin Şekil 2.1.'deki gibi olacağını ileri sürmüştür (Korkmaz 2017).



Şekil 2. 1. Çekme kuvveti altındaki sığ dairesel temelin kırılma yüzeyi (Korkmaz 2017)

Çekme kuvvetine maruz kalan kırılma yüzeyi, şekildeki gibi r yarıçaplı daire olup, aa' ve bb' eğrileri ise dairenin yaylarını göstermektedir. Kırılma meydana gelen yüzey ile zeminin üst yüzeyi arasında oluşan açı,

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

dairenin yarıçapı ise

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

şeklinde belirlenir.

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

- Zeminin kendi ağırlığı ve kırılma yüzeyi içinde kalan temelin ağırlığı
- Kırılma yüzeyi boyunca oluşan kayma dayanımı

Balla, temelin nihai çekme kapasitesini Q_u , temel ile zeminin birim hacim ağırlıkları yaklaşık olarak eşittir kabulüne dayanarak belirlemiştir. (Korkmaz 2017)

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

γ : Zeminin ve temelin birim hacim ağırlığı

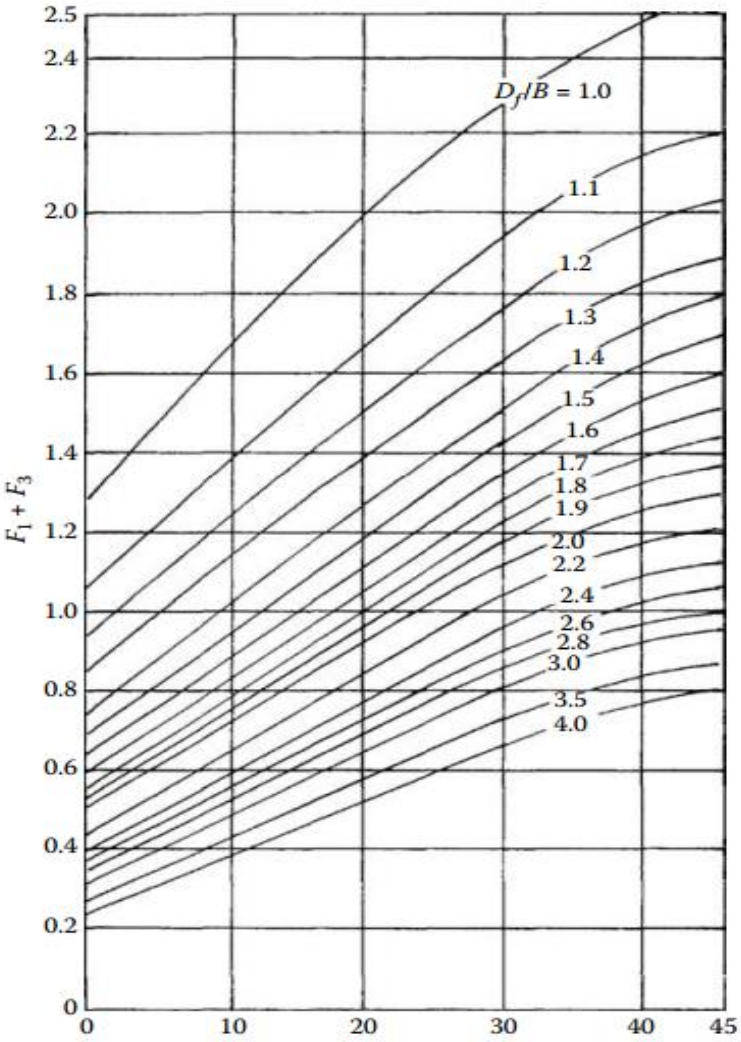
Ø: Zeminin içsel sürtünme açısı

B: Sığ dairesel temelin çapını

D_f: Gömülme derinliğini

ifade etmektedir.

Farklı $\frac{D_f}{B}$ oranları ve Ø açılarına karşılık gelen F_1(Ø, Df /B) + F_3(Ø, Df /B) değerleri Şekil 2.2.'deki grafikten bulunabilmektedir.



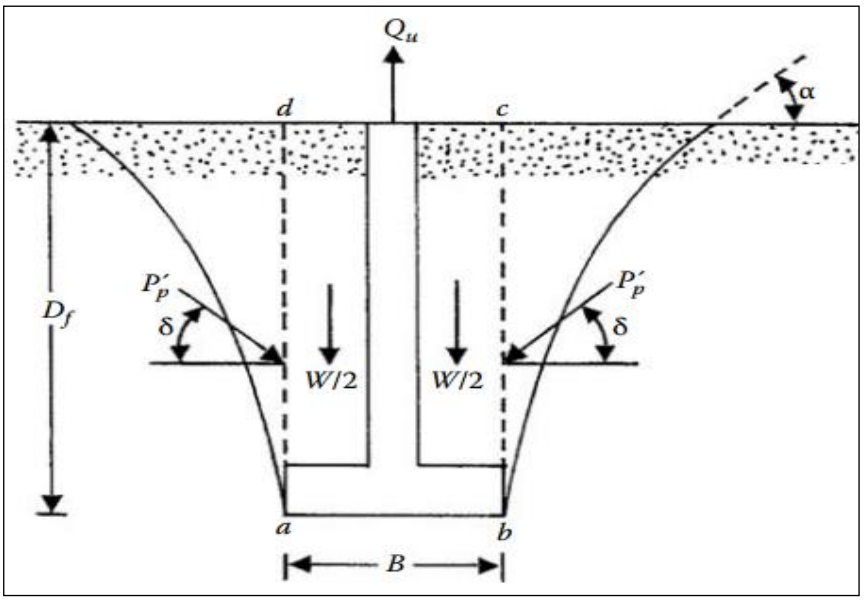
Şekil 2. 2. Ø ve $\frac{D_f}{B}$ değerlerindeki değişime karşılık gelen F_1+F_3 değerleri (Korkmaz 2017)

$\frac{D_f}{B} \leq 5$ durumunda, gevşek ve orta sıkılıktaki kumda inşa edilen temellerin nihai çekme kapasiteleri bu kurama göre normalden daha büyük sonuçlar verirken, sıkı kumda inşa edilen temellerin nihai çekme kapasitesi oldukça uyumlu sonuçlar vermektedir (Korkmaz 2017).

$\frac{D_f}{B}$ > 5 durumunda ise, kumun sıkılık durumuna bakılmaksızın temelin nihai çekme kapasitesini olduğundan daha büyük vermektedir. Bunun sebebi, $\frac{D_f}{B}$ oranının 5'ten büyük olduğu durumda, temelin derinde olup, kırılma yüzeyinin zemin üst yüzeyine ulaşamamasıdır (Korkmaz 2017).

2.1.1.2. Meyerhof ve Adams Kuramı (1968)

Meyerhof ve Adams (1968), sığ temellerin çekme kapasitesinin belirlenmesinde en gerçekçi kuramlardan birini sunmuşlardır. Şekil 2.3.'te B genişliğine sahip sürekli bir temel, çekme kuvvetine maruz bırakılmış ve birim genişliğe gelen nihai çekme kapasitesi Q_u olarak belirlenmiştir. Ayrıca kırılma yüzeyinin zemin ile yaptığı açı α olarak gösterilmiştir (Korkmaz 2017).



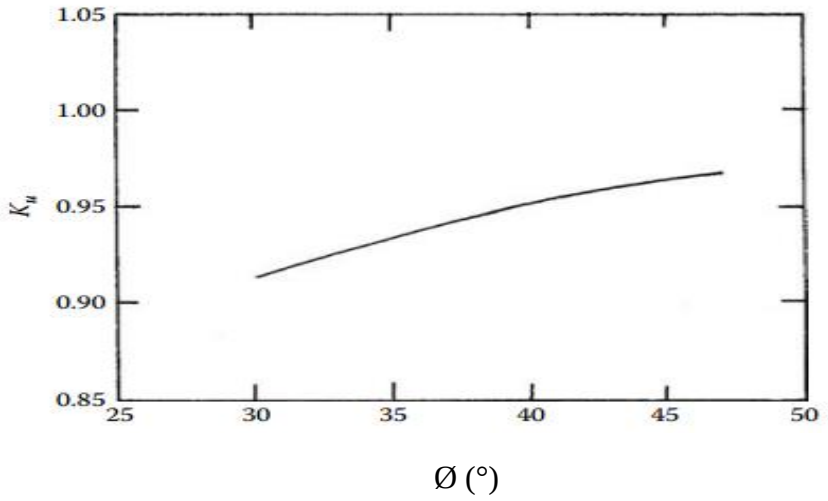
Şekil 2. 3. Çekme kuvveti altında sürekli temel (Korkmaz 2017)

Çeşitli kabuller yapılarak, temelin nihai çekme kapasitesi;

$$Q_u = W + K_u.\gamma.D_f^{\,2}.\tan\emptyset \qquad (2.5)$$

denklemi ile belirlenir.

Nominal çekme katsayısı K_u'nun Ø ile olan değişimi Şekil 2.4.'te gösterilmiştir. İçsel sürtünme açısının 30° ile 48° arasında olduğu tüm değerler için K_u = 0,95 alınabileceği belirtilmiştir (Korkmaz 2017).



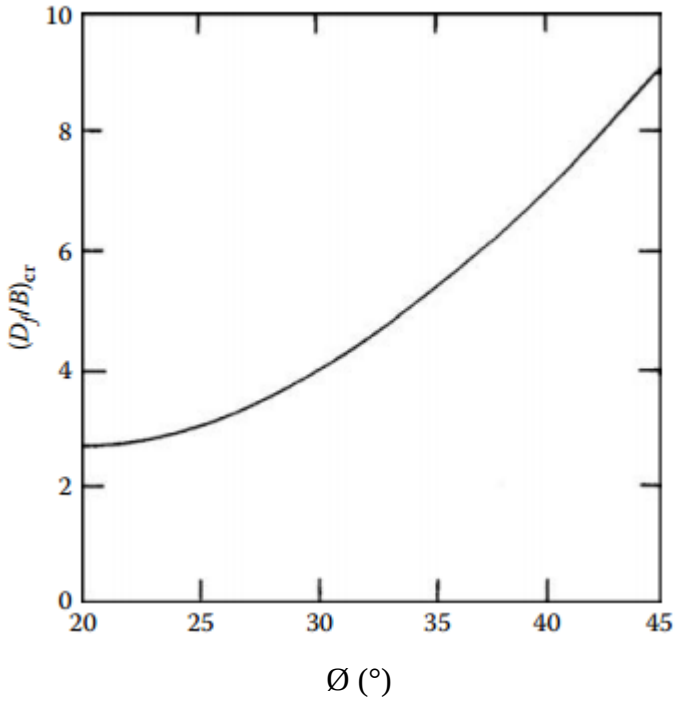
Şekil 2.4. K_u katsayısının, Ø ile olan değişimi (Korkmaz 2017)

BxL ebatlarına sahip dikdörtgen temelin nihai çekme kapasitesi Q_u,

$$Q_u = B.L.D_f.\gamma + \gamma.D_f^{\,2}.\{2.[\,1+m.(\frac{D_f}{B})\,].B + L-B\}.K_u.\tan Ø \qquad (2.6)$$

şeklinde belirlenir.

Meyerhof ve Adams (1968), kare temellerin $(Df/B)_{cr}$ oranlarının içsel sürtünme açısı Ø'ye göre değişimlerinin Şekil 2.5.'teki gibi olacağını öne sürmüştür.



Şekil 2.5. (Df /B)$_{cr}$ oranının Ø 'ye bağlı değişimi (Korkmaz 2017)

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

$$\frac{(\frac{Df}{B})_{cr-sürekli}}{(\frac{Df}{B})_{cr-kare}} = 1{,}5 \qquad (2.7)$$

olduğunu belirlemiştir.

2.1.2. Doygun Kil Zeminlerdeki Temeller (Ø = 0)

2.1.2.1. Meyerhof Teorisi (1973)

Suya doygun killerin nihai çekme kapasitesi üzerine yapılmış çalışmalardan Meyerhof (1973) aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$Q_u = A.(\gamma.D_f + c_u.F_c) \qquad (2.8)$$

Zeminin; drenajsız kayma dayanımı c_u , birim hacim ağırlığı ɣ ile, ayrıca kopma faktörü F_c , gömülme derinliği D_f , temelin enkesit alanı A ile ifade edilmektedir.

Kare ve dairesel temeller için kopma faktörü F_c;

$$F_c = 1{,}2.(\frac{D_f}{B}) \leq 9 \tag{2.9}$$

Şerit temeller için kopma faktörü F_c;

$$F_c = 0{,}6.(\frac{D_f}{B}) \leq 8 \tag{2.10}$$

şeklinde hesaplanır.

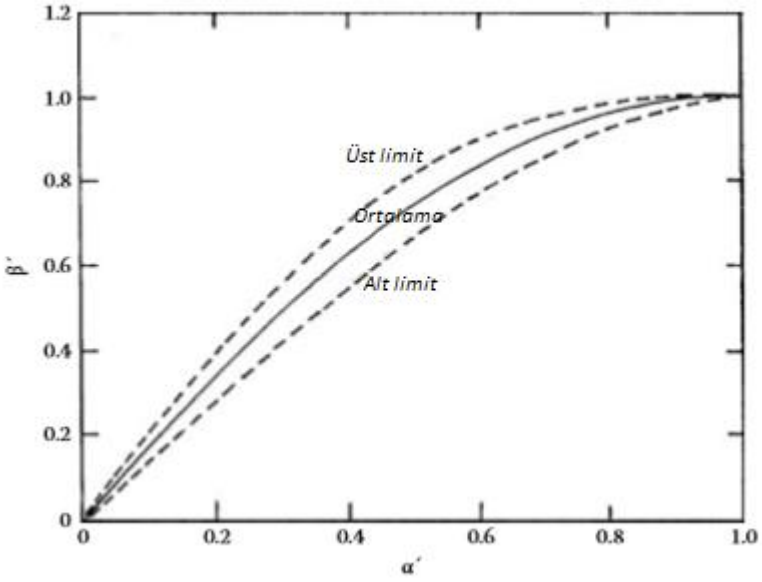
Bu eşitliklere göre, kare ve dairesel temeller için kritik gömülme oranı yaklaşık olarak $D_f/B_{(cr)}$ = 7,5; şerit temeller için kritik gömülme oranı yaklaşık $D_f/B_{(cr)}$ = 13,5 olarak öngörülmektedir (Korkmaz 2017).

2.1.2.2. Modifiye Edilmiş Meyerhof Kuramı

Das (1978), sığ ve derin temellerin kopma faktörünün belirlenmesinde ampirik bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, boyutsuz iki faktör olan α' ve β' katsayıları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Şekil 2.6.'da α' ve β' katsayılarının alt-üst limitleri ve ortalama değerleri gösterilmiştir.

$$\alpha' = \frac{(\frac{D_f}{B})}{(\frac{D_f}{B})_{cr}} \tag{2.11}$$

$$\beta' = \frac{F_c}{F_c *} \tag{2.12}$$



Şekil 2. 6. α' - β' grafiği

Das (1978), kare ve dikdörtgen temeller için kritik gömülme oranı $D_f/B_{(cr)}$ belirlenmesinde aşağıdaki bağıntıları sunmuştur.

$$(\frac{Df}{B})_{cr-kare} = 0{,}107.c_u + 2{,}5 \leq 7 \tag{2.13}$$

$$(\frac{D_f}{B})_{cr-dik.} = (\frac{D_f}{B})_{cr-kare}[0{,}73 + 0{,}27.(\frac{L}{B})] \leq 1{,}55.(\frac{D_f}{B})_{cr-kare} \tag{2.14}$$

Das'ın (1978), nihai çekme kapasitesinin belirlenmesinde kullandığı yöntemin adımları aşağıda sıralanmıştır (Korkmaz 2017).

1. Drenajsız kohezyon değeri c_u belirlenir.
2. Kritik gömülme oranı $D_f/B_{(cr)}$ belirlenir. (Denklem 2.13 ve 2.14)
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;

$$Q_u = A.\{\beta'.[7{,}56 + 1{,}44.(\frac{B}{L})].c_u + \gamma.D_f\} \quad (2.15)$$

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

$$Q_u = A.\{[7{,}56 + 1{,}44.(\frac{B}{L})].c_u + \gamma.D_f\} \quad (2.16)$$

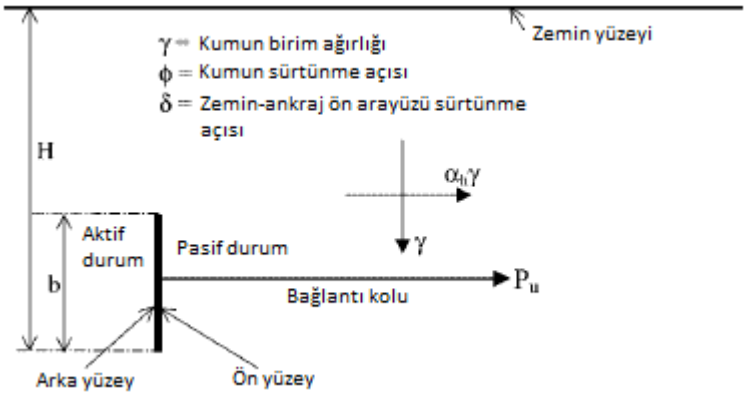
şeklinde belirlenir.

2.2. Deneysel Çalışmalar

2.2.1. Kumar (2002)

Kumar (2002), yarı statik yatay deprem kuvvetlerinin dâhil edilerek kumlara gömülü dikey ankrajların yataydaki çekme kapasitesini incelemiştir. Çalışma, iki farklı göçme mekanizması olan çift doğrultulu ve sarmal kopma yüzeyi dikkate alınarak üst sınır limit analizi yöntemi ile yapılmıştır. Ayrıca çekme kapasitesindeki değişimi gözlemlemek için farklı kombinasyonlarda zemin içsel sürtünme açısı, ankraj ile zemin arayüzünün sürtünme açısı ve ankrajın gömülme derinliği analiz edilmiştir.

Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi tasarlanan b yüksekliğine sahip, H derinliğindeki rijit ankraj çubuk dikey olarak kohezyonsuz bir zemine yerleştirilmiştir. Ankrajın ön yüzeyi ile toprak arayüzü arasındaki sürtünme açısı δ, yatay deprem ivme katsayısı $a_h g$, yer çekimi ivmesi g olarak ifade edilmiş ve zeminin nihai yatay çekme kapasitesi (P_u) belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılacak analizde zeminin Mohr-Coulomb kırılma kriterlerini sağladığı kabul edilmiş ve ayrıca kırılma durumunda ankrajın arka arayüzünün bitişik zemin kütlesinden ayrı olduğu varsayılmıştır.



Şekil 2. 7. Problemin tanımı (Kumar 2002)

Hesaplamalar Fortran programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki değerlerin kombinasyonları kullanılarak elde edilmiştir.

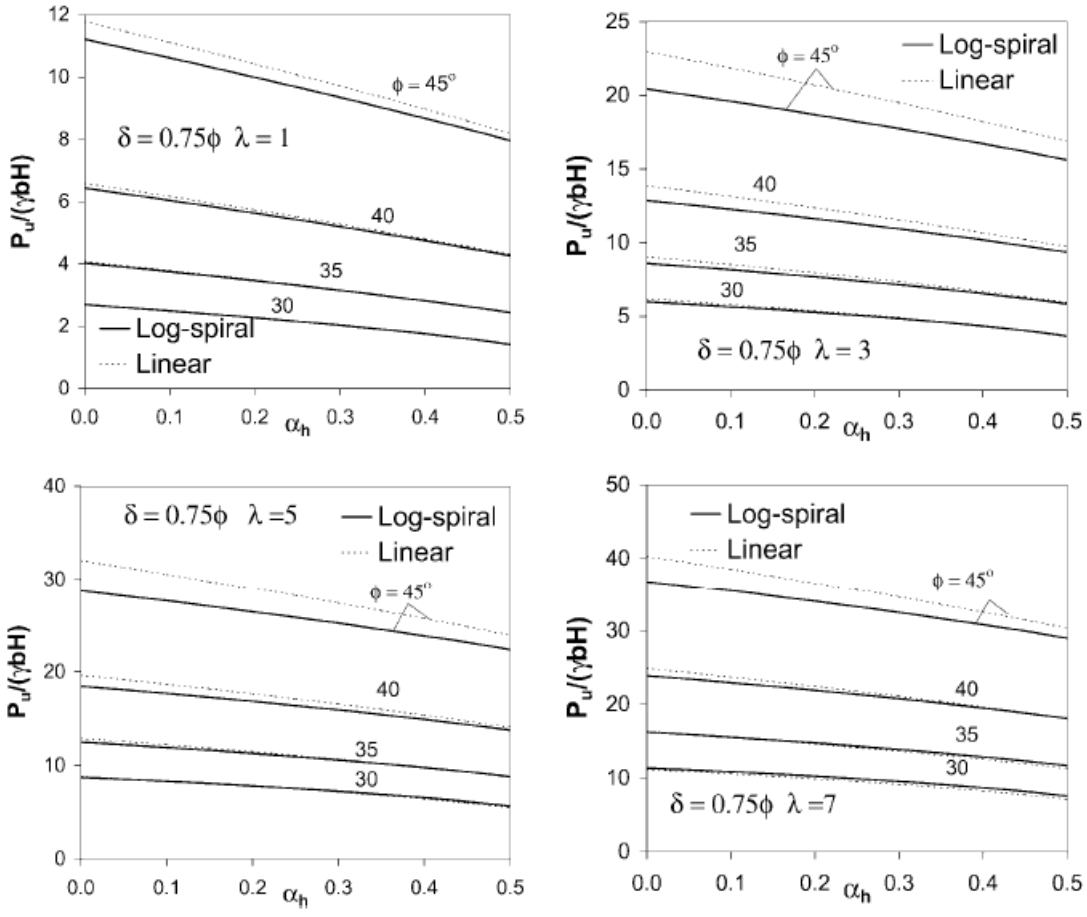
$a_h = 0 – 0,5$

$\phi = 30° - 50°$

$\delta = 0 – \phi$

$\lambda = 1 – 7$

Şekil 2.8.'de $\delta = 0,75$ durumunda farklı λ , ϕ ve a_h değerleri için hesaplanan çekme kapasitesi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. δ = 0,75 için çekme kapasitesi değerleri (Kumar 2002)

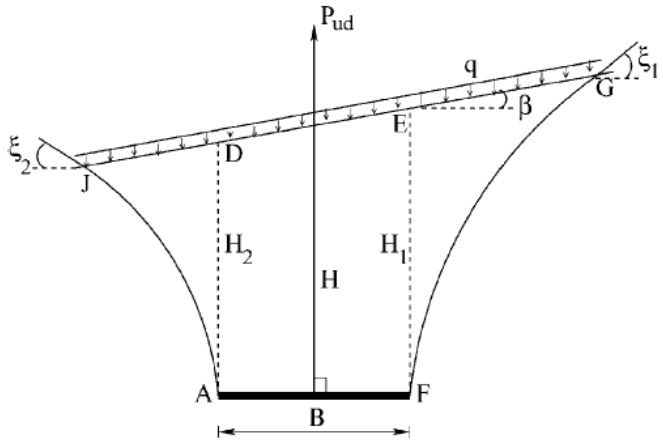
Bu çalışma sonucunda, deprem ivmesinin büyüklüğünün artmasıyla aynı yönde olan ankraj çekme kapasitesinin değerinde hissedilir şekilde bir azalma görüldü. Ayrıca çekme kapasitesinin büyüklüğü seçilen ƛ , ϕ , δ değerlerinin artmasıyla, büyük ölçüde artış gösterdi.

2.2.2. Choudhury ve Rao (2004)

Choudhury ve Rao (2004), eğimli bir zemine gömülü yatay şerit ankrajları sismik koşullar altında analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar zemin eğimi, gömülme oranı, toprağın içsel sürtünme açısı ve sismik ivme katsayılarının fonksiyonları olarak sismik çekme kapasitesinin faktörleri olarak sunulmuştur. Bu kaldırma kapasitesi faktörleri kohezyon, sürşarj ve yoğunluk bileşenleri olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

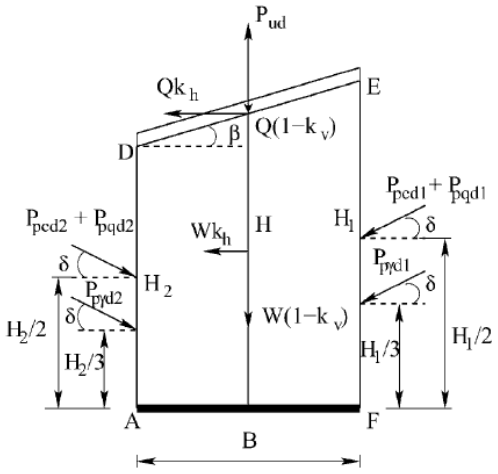
Sismik pasif toprak basıncı kat sayısı ve ankrajın sismik çekme kapasitesinin hesabı için yarı statik yaklaşım ve limit denge metodu kullanılmıştır. Toprak, Mohr-Coulomb kırılma kriterlerini sağlayacak şekilde rijit, plastik ve orta sıkılıkta kabul edilmiştir. Ayrıca ankrajın ağırlığı ihmal edilmiştir.

B genişliğine ve H derinliğine sahip, AF yatay ankrajı, zeminle arasında β derecelik açı yapacak şekilde tasarlanmıştır. FE ve AD, H_1 ve H_2 düşey yüksekliklerine sahip hayali istinat duvarı yüzeyleri gibi davranacaktır. Şekil 2.9.'da yatay açı yapan logaritmik kırılma yüzeyleri AJ ve FG gösterilmiştir. Ayrıca, ankrajın sismik çekme kapasitesi P_{ud} olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 9. Kırılma yüzeyi (Choudhury ve Rao 2004)

Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi, kuvvetlerin ADEF toprak kesiti üzerinde olası davranışı tasarlanmıştır. Toprak kesitinin ağırlığı W, DE üzerindeki üniform sürşarj basıncı Q, DE üzerindeki yatay ve düşey yöndeki yarı statik kuvvetler sırasıyla Qk_h ve Qk_v, ADEF bölgesindeki yatay ve düşey yöndeki sismik ağırlık bileşkeleri sırasıyla Wk_h ve Wk_v ve birim hacim ağırlıklar P_{pqd1} ve P_{pcd2} olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. 10. Kuvvetlerin davranışı (Choudhury ve Rao 2004)

Kohezyonsuz zeminlerde, sıvılaşmayı önlemek için sismik ivme katsayıları yatay ve düşey olarak sırasıyla k_h , k_v ve stabilite kriterinin değeri ϕ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\varphi > \beta + \tan^{-1}\left[\frac{kh}{1-kv}\right] \qquad (2.17)$$

Sonuçlar aşağıdaki değerlerin kombinasyonları kullanılarak hesaplanmıştır.

β =0°, 15° ve 30°

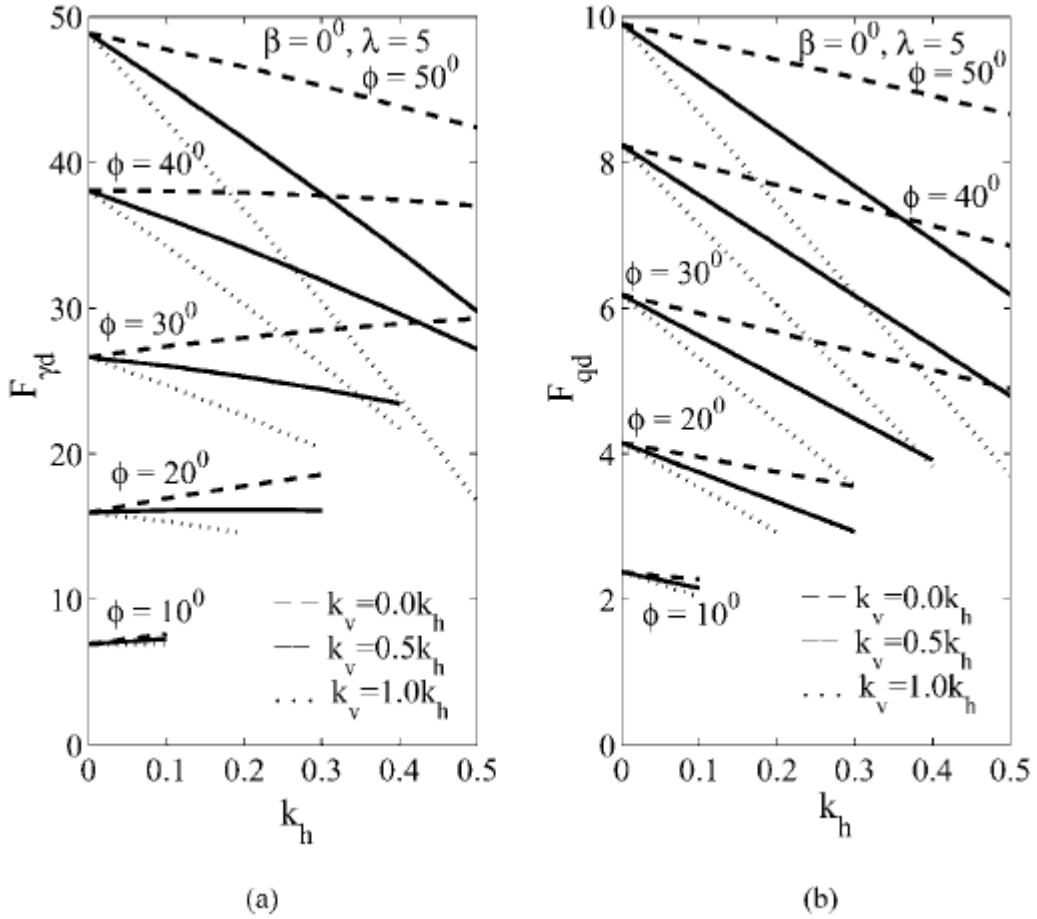
φ =10°, 20°, 30°, 40° ve 50°

ƛ = 1, 3 ve 5

k_h = 0.0 , 0.1 , 0.2 , 0.4 ve 0.5

$k_v = 0.0k_h$, $0.5k_h$ ve $1.0k_h$

Şekilde 2.11.'de β =0°, φ =50°, ƛ = 5 değerleri için elde edilen sismik çekme kapasitesi faktörleri Fγd ve Fqd'nin k_h ile değişimi görülmektedir. Sismik ivme katsayıları k_h ve k_v değerlerinin artmasıyla çekme kapasitesi faktörünün azaldığı saptanmıştır. Ayrıca elde edilen verilerden φ değerindeki artış, k_h ve k_v değerlerinin etkisini arttırmıştır.



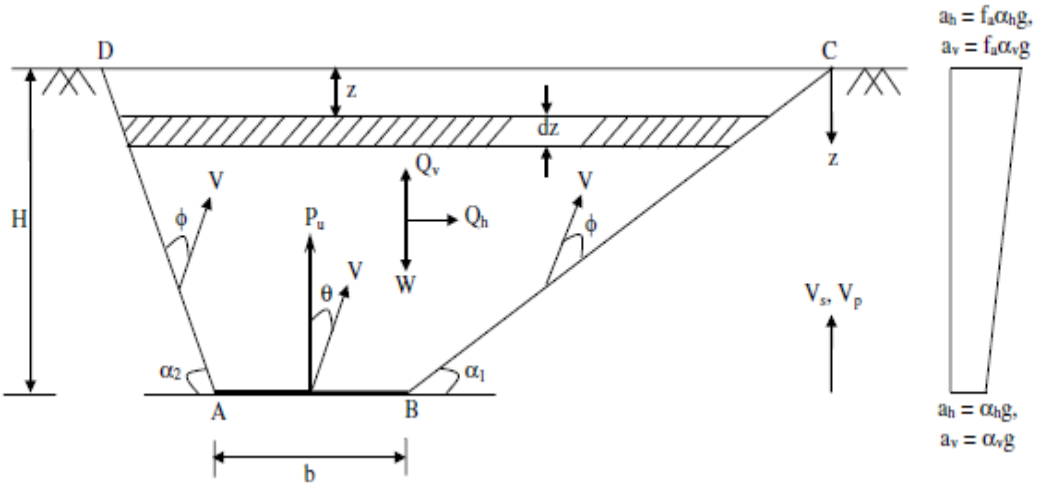
Şekil 2. 11. β =0°, φ =50°, λ = 5 için (a) Fγd - k_h (b) Fqd - k_h

Sonuç olarak çeşitli zemin eğimleri, gömülme oranları ve içsel sürtünme açıları göz önünde bulundurularak yapılan çalışmada, yatay sismik ivme katsayısının yüksek yamaç eğimleri ve düşük toprak içsel sürtünme açıları hariç çekme kapasitesini azalttığı, dikey yöndeki sismik ivme katsayısının ise her zaman çekme kapasitesi faktörlerini azalttığı görülmüştür.

2.2.3. Ghosh (2009)

Ghosh (2009), bu çalışmada şerit ankrajların sismik düşey çekme kapasitesinin yarı dinamik analizini, üst sınır limit analizi yöntemiyle incelemiştir. Sismik koşullar altında, çekme faktörünün birim ağırlık bileşeni farklı zemin boyutu, sürtünme açısı, sismik ivme katsayısı ve gömülme oranı değerleri için yatay ve düşey yönlerde hesaplanmıştır. Bu değerlerin, sismik çekme faktörünün birim ağırlık bileşenine etkileri gözlemlenmiştir.

Şekil 2.12.'de b genişliğine ve H derinliğine sahip yatay pozisyondaki AB şerit ankrajı kuru ve kohezyonsuz bir zeminde modellenmiştir. Yapılacak olan hesaplamada, ankrajın kütlesi ihmal edilmiş ve ankraj yüzeyinin altında bulunan zeminin çekme kapasitesine karşı bir direnç göstermediği varsayılmıştır. Göçme durumunda, ankraj ve ABCD rijit bloğunun birlikte ve aynı hızda hareket ettiği kabul edilmiştir.



Şekil 2. 12. Göçme mekanizması ve etkiyen yükler (Ghosh 2009)

Hesaplamalar aşağıdaki değerler farklı kombinasyonlarda esas alınarak yapıldı.

$\phi = 20° - 50°$

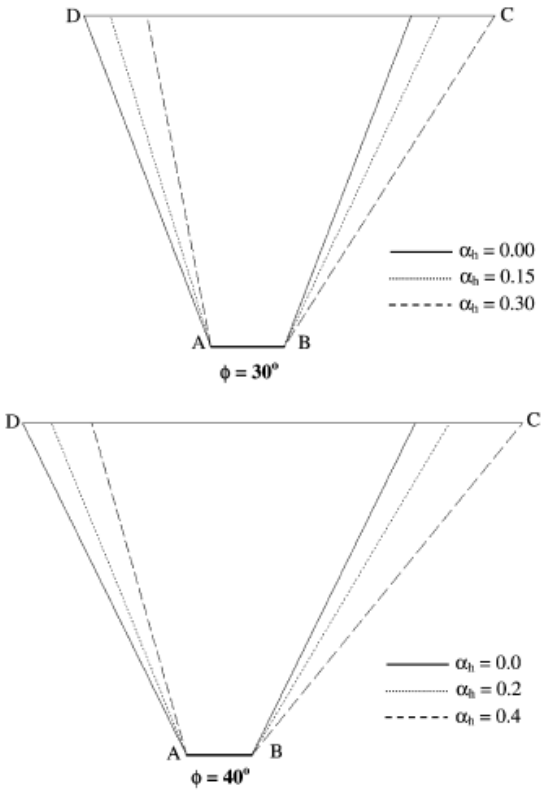
$\varepsilon = 1.0 – 7.0$

$\alpha_h = 0.0 – 0.5$

$\alpha_v = 0.0 - \alpha_h$

$f_a = 1.0 – 2.0$

Farklı ϕ, f_a , ε , α_v değerleri için, sismik kuvvetlerin varlığının çekme kapasitesinde büyük azalmalara neden olduğu ve bununda şerit ankrajın çekme kapasitesini azalttığı görülmüştür. $f_{\gamma E}$ değerinin; f_a büyüme faktörünün artmasıyla azaldığı, gömülme oranı ve ϕ değerlerinin artmasıyla arttığı görülmüştür.



Şekil 2. 13. ε=3.0, f_a=1.4 ve farklı ϕ değerleri için oluşturulan göçme mekanizması (Ghosh 2009)

Sismik durumda, Ghosh (2009) yapmış olduğu çalışmadan elde ettiği sonuçları Kumar (2002), Choudhury ve Rao (2004)'nun yaptığı çalışmalar ile kıyaslamıştır. Bu çalışmada elde edilen $f_{\gamma E}$ değerinin Kumar (2002)'ın bulduğu sonuçlar ile uyuştuğunun fakat daha düşük ϕ, α_v değerleri ve daha büyük ε gömülme oranı durumunda Choudhury ve Rao (2004) tarafından önerilen sonuçlarla tersi trend gösterdiği görülmüştür (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2. 1. f_a=1.4, α_v=0.0, ε=1.0, H/λ=0.3, H/η=0.16 için $f_{\gamma E}$ değerlerinin karşılaştırılması

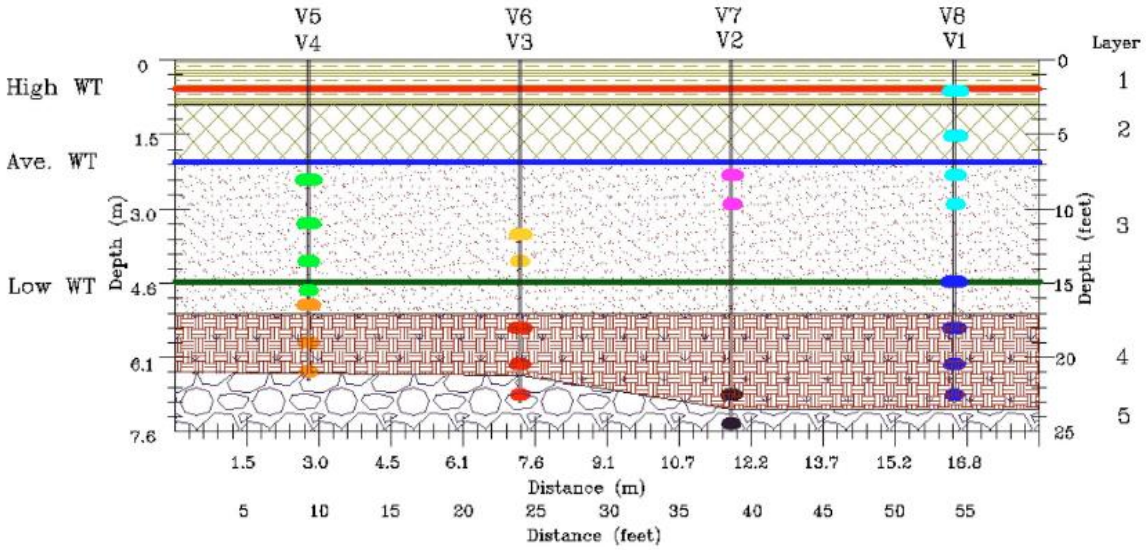
ϕ	α_h	$f_{\gamma E}$		
		Present analysis	Kumar [6]	Choudhury and Subba Rao [7]
30°	0.0	1.577	1.577	1.071
	0.1	1.571	1.566	1.057
	0.2	1.553	1.544	1.028
	0.3	1.520	1.499	0.986
40°	0.0	1.839	1.839	1.543
	0.1	1.835	1.832	1.457
	0.2	1.821	1.815	1.386
	0.3	1.798	1.786	1.286
50°	0.0	2.192	2.192	1.986
	0.1	2.189	2.187	1.828
	0.2	2.179	2.174	1.657
	0.3	2.163	2.155	1.514

Sonuç olarak, $f_{\gamma E}$ değeri α_v ve α_h değerlerinin artmasıyla azalmış, aynı şekilde $f_{\gamma E}$ değerinin zeminin büyümesi ile azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar geçmişte yapılan çalışmalarla kıyaslanmış, bu çalışmada düşey ve yatay deprem ivmesinin hesaplanmasıyla elde edilen sonucun en büyük değerde olduğu görülmüştür. Ayrıca geçmiş çalışmalarla yapılan kıyaslamada hesaplanan titreşim büyüklüğünde büyük gömülme oranı ve büyük yatay deprem ivmesi katsayısı durumları haricinde, önemli bir farklılık görülmemiştir.

2.2.4. Cerato (2009)

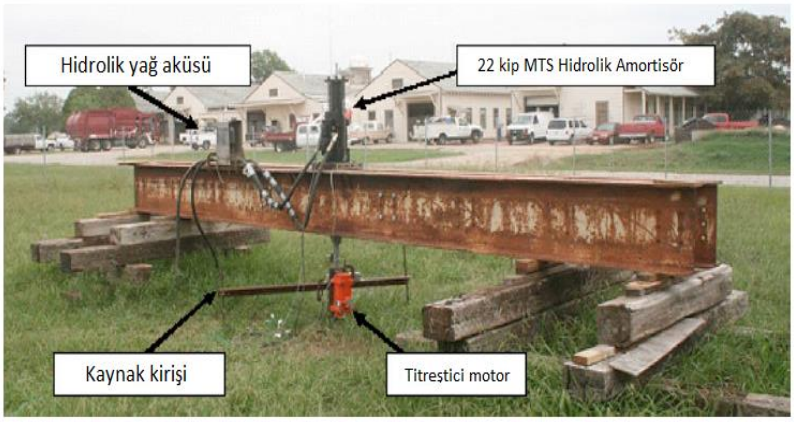
Cerato (2009), bu çalışmada sarmal ankrajların küçük rüzgar kuleleri için bir temel sistemi olarak kullanılmasını incelemiştir. Sarmal ankrajların dinamik yükler altında su seviyesi, rüzgar rejimleri gibi doğal parametrelere bağlı olarak değişimi gözlenmiştir.

4.6 metre uzunluğunda birbirine komşu olan ankrajlar, birbirleri arasında oluşabilecek zemin etkileşimini engellemek için zeminin merkezine kurulmuştur. Şekil 2.14.'teki gibi modellenen temel zemini birbirlerine komşu olan sarmal ankrajların ilişkisini göstermektedir. Daha önce sahada açılan bir kuyudan referans alınarak su tabakası derinliği ortalama olarak 2.1 metre olarak belirlenmiştir.



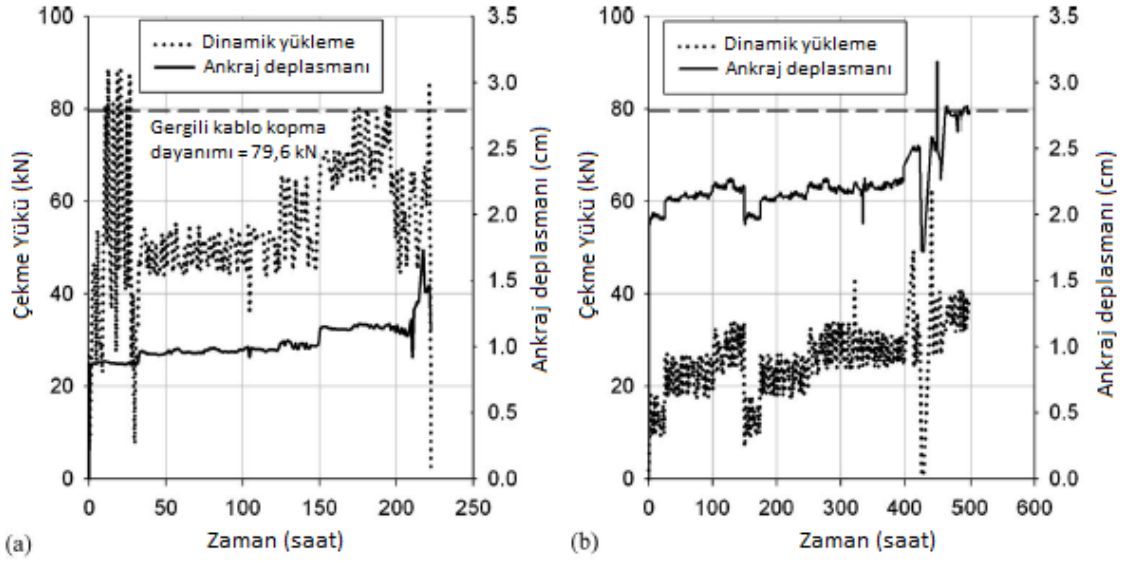
Şekil 2. 14. Kurulu ankrajlar ile temel zemininin en kesiti (Cerato 2009)

Deneylerde V3, V4, V5, V6 ve V8 ankrajları 2 ile 4 hafta arasında dinamik olarak yüklere maruz bırakılmıştır. V7 ankrajı , V6 ankrajı ile dinamik yüklerin uzun vadede etkisini kıyaslamak için sadece statik olarak test edilmiştir. V1 ve V2 ankrajları ise su tabakasının etkisini gözlemlemek için statik olarak test edilmiştir. Oturma yükleri, nihai statik kaldırma kapasitesi %10 ile %20 arasında tahmin edilen ankraja uygulanmıştır. Dinamik yüklerin tamamı modellenen zemine sürekli şekilde uygulanmıştır. Şekil 2.15.'te dinamik yüklemenin kurulumu gösterilmektedir.



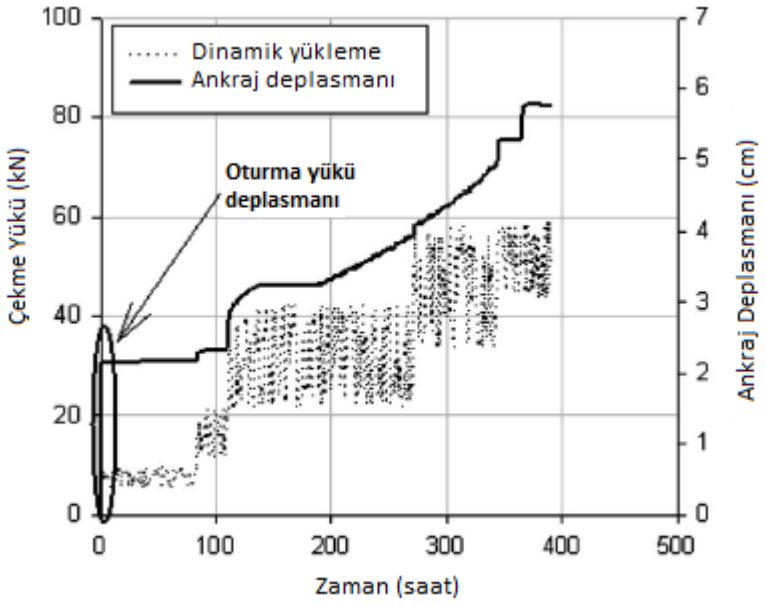
Şekil 2. 15. Dinamik yükleme kurulumu (Cerato 2009)

Şekil 2.16.'da farklı ankrajlar için saatlik dinamik test periyodu, ankrajların yükleme sırasında yapmış olduğu deplasmanlar ve gergili kabloların maksimum tasarım yükü görülmektedir. Periyodik yüklemeler ankrajlara 3 ile 5 hertz arasında uygulanmıştır. Bütün ankrajlar yükleme sırasında sadece bağlantıların gevşekliğiyle açıklanamayacak kadar hareket etmiştir. Fakat bu oturma hareketi kurulum sırasında meydana gelen aşırı zemin gerilmesi veya şaft hizasının bir sonucu olmuş olabilir.



Şekil 2. 16. 3 sarmallı uzun süreli dinamik test (a) V3 ankrajı; (b) V4 ankrajı (Cerato 2009)

V3 ankrajının tahmin edilen çekme kapasitesi 188,1 kN olarak hesaplanmış ve uzun vadeli sünmeyi azaltmada iyi performans göstermiştir. 3 sarmallı ankrajlar gergili kabloların uygulamasında memnun edici bir performans göstermiştir. V3 ve V4 ankrajlarının testi sırasında su tabakası sadece 25.4 cm çekilerek neredeyse aynı kalmıştır. V4 ankrajı V3 ankrajı ile aynı yüklemeye rağmen yaklaşık 2 cm'lik deplasman yapmıştır. Ama test sırasındaki benzer çevresel koşullar ve benzer tork kurulumu nedeniyle V3 ve V4 ankrajları birbirleri ile benzer bir performans sergilemiştir.



Şekil 2. 17. 2 sarmallı V6 ankrajının uzun süreli dinamik testi (Cerato 2009)

2 sarmallı V6 ankrajının dinamik koşullar altındaki davranışı incelendiğinde, yaptığı deplasmanın çok büyük olduğu görülmüştür. Şekil 2.17.'de görüldüğü gibi dinamik yükleme 19.6 kN'dan 39.2 kN'a kadar sürekli uygulanmış ve yükün arttırılmasıyla çekmeye devam etmiştir. Bu zemin tipinde 2 sarmallı ankrajın aşırı sünmeye uğradığı görülmüştür.

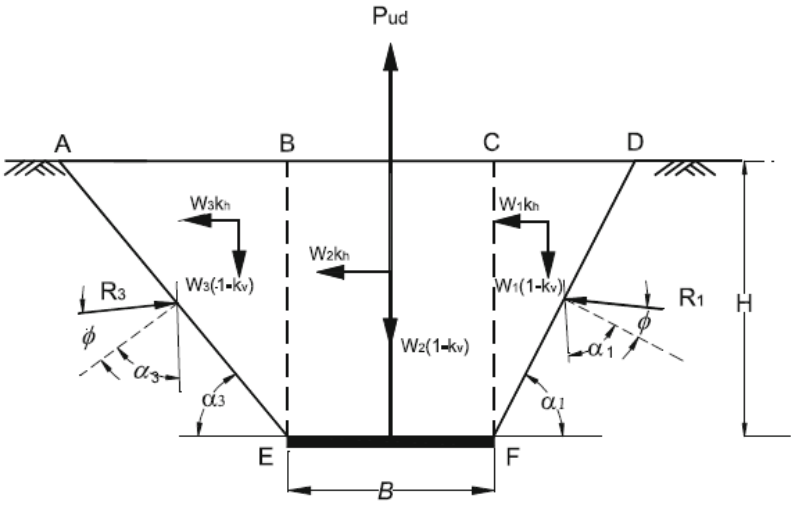
Yapılan çalışmada ayrıca ankrajlara yapılacak olan ön yüklemenin ankrajların zemine iyice oturmasını sağladığı ve ankrajları arzu edilen kullanım ömrüne ulaştırdığı görülmüştür. Ön yükleme yapılmayan ankrajlarda uygulanan daha düşük yüklerde bile daha fazla deplasman yapması beklenir ve stabilite problemleri meydana gelebilir.

Ankrajların kurulumundan sonra su tabakasında oluşabilecek değişiklik kısa ve uzun vadedeki çekme kapasitesini etkiler. Su tabakası seviyesinde oluşabilecek 3.9 m'lik bir değişiklik, ankajların tahmin edilen çekme kapasitesini azalttığı görülmüştür. Bu yüzden, ankrajların dayanımında kayıp yaşanmaması için tepe sarmalının bilinen su tabakası seviyesinin altında olduğuna dikkat edilmelidir (Cerato 2009).

2.2.5. Rangari ve Arkadaşları (2012)

Rangari ve ark. (2012), bu çalışmada limit denge yöntemini kullanarak yatay ve düşey yarı-statik deprem yükleri altında yatay şerit ankrajların düşey çekme kapasitesini ve sismik pasif toprak basıncını incelemişlerdir. Yatay şerit ankrajların düşeydeki çekme kapasitesini farklı zemin sürtünme açıları, gömülme oranları ve sismik ivme katsayıları için belirlemişlerdir.

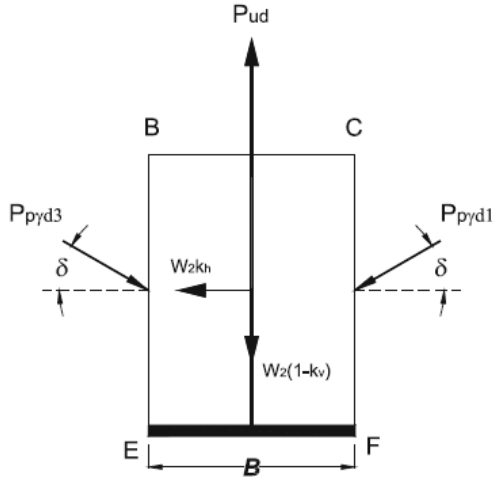
Şekil 2.18.'de sismik koşullar altında yatay ankraj plakanın pasif direncinin hesaplanması için kullanılacak model görülmektedir. B genişliğinde, zemin yüzeyinden H derinlikte, gömülme oranı ε = H/B olan EF ankraj plakası yatay olarak konumlandırılmıştır. W_1 , W_2 , W_3 sırasıyla CDF, BCEF, ABE göçme yüzeylerinin ağırlıkları olarak gösterilmiştir. R_1 ve R_3 düzlemsel göçme yüzeylerine karşı toprağın gösterdiği direnç, k_h ve k_v yatay ve düşey deprem ivme katsayıları, α_1 ile α_3 ise DF ve AE göçme düzlemlerinin açısı olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. 18. Sismik koşullar altında yatay ankraj plakanın analitik modeli (Rangari ve ark. 2012)

Hesaplamalar yapılırken zeminin Mohr-Coulomb göçme kriterini sağladığı ve kohezyonsuz rijit bir malzemeden meydana geldiği varsayılmıştır. Ankrajın kendi ağırlığı ihmal edilmiş ve ayrıca ankrajın yüzeyine temas eden zeminin çekme kapasitesine karşı bir direnç göstermediği varsayılmıştır.

Yüklerin zemin bloğuna etkisi, sırasıyla yatay ve düşey yöndeki W_2k_h , W_2k_v sismik atalet kuvvetleri ve BCEF bloğunun ağırlığı Şekil 2.19.'da gösterilmiştir. CF ve BE düzlemleri üzerindeki sismik pasif dirençler sırasıyla $P_{P\gamma d1}$ ve $P_{P\gamma d3}$ ve ankrajın brüt sismik çekme yükü P_{ud} olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2. 19. Sismik koşullar altındaki göçme kaması
(Rangari ve ark. 2012)

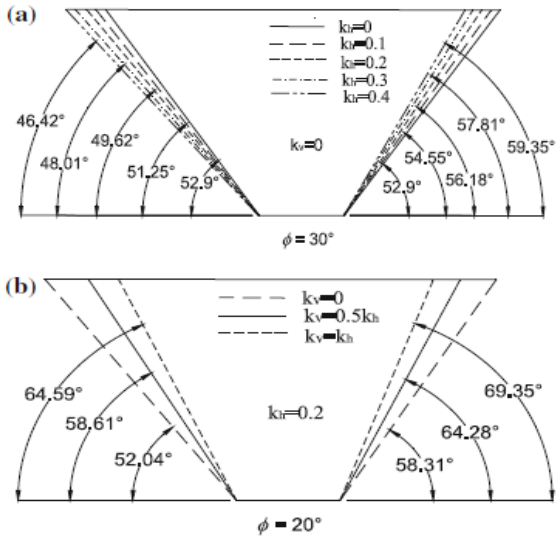
Sismik pasif toprak basıncı katsayısı ve yatay şerit ankraj için sismik kopma faktörleri aşağıdaki farklı parametreler kullanılarak hesaplanmıştır.

Zemin sürtünme açısı ϕ = 10°, 20°, 30° ve 40°

Yatay sismik ivme katsayısı k_h = 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 ve 0.5

Düşey sismik ivme katsayısı k_v = 0 , 0.5k_h ve k_h

Gömülme oranı ε = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 2. 20. Farklı k_h ve ϕ değerleri için göçme modelinin geometrisi (a) k_v=0 (b) k_h=0.2

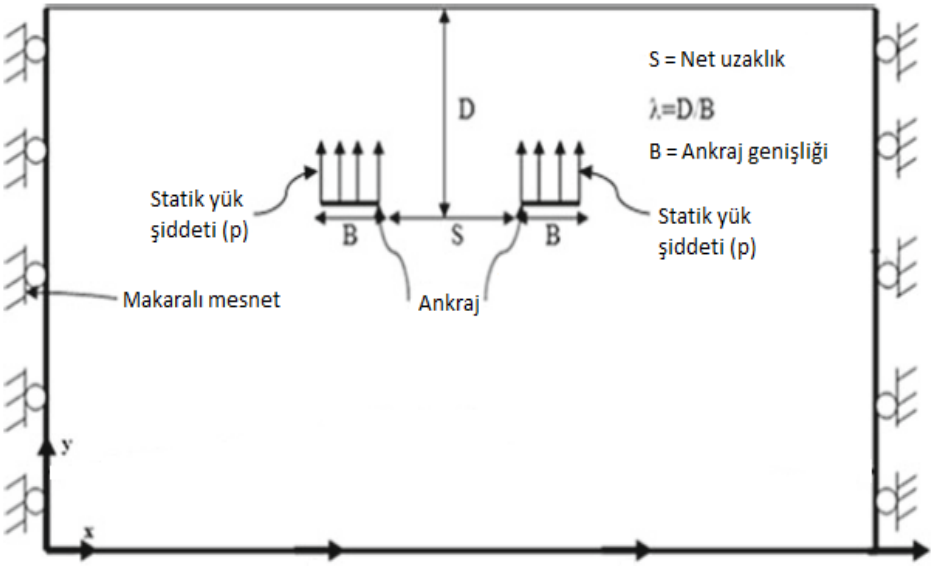
Yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar sismik pasif toprak basıncı katsayısının, hem duvar sürtünme açısının artmasıyla hemde düşey ve yataydaki sismik ivme katsayısının artmasıyla azaldığını göstermiştir. Sismik çekme kapasitesi; her zaman sismik ivme katsayılarının artmasıyla azalmış, ayrıca gömülme oranı ve zemin sürtünme açısının artmasıyla artmıştır. Göçme düzleminin açıları sabit kalmayıp sismik ivme katsayılarının olması durumunda değişmiştir. Düşey ivmenin varlığı k_h' nın yönündeki göçme düzleminin açısını azaltmıştır. Her iki sismik ivmenin varlığı göçme düzleminin açısını eş zamanlı olarak arttırmıştır.

2.2.6. Ghosh ve Kumari (2012)

Ghosh ve Kumari (2012), homojen olmayan zemine gömülü yan yana iki yatay şerit ankrajın farklı derinliklerde sismik analizini incelemişlerdir. Zemin, 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan Plaxis 2D programıyla modellenmiştir. Ayrıca zeminin doğrusal olmayan davranış sergilediği, Mohr-Coulomb kırılma kriterine uyduğu varsayılmıştır.

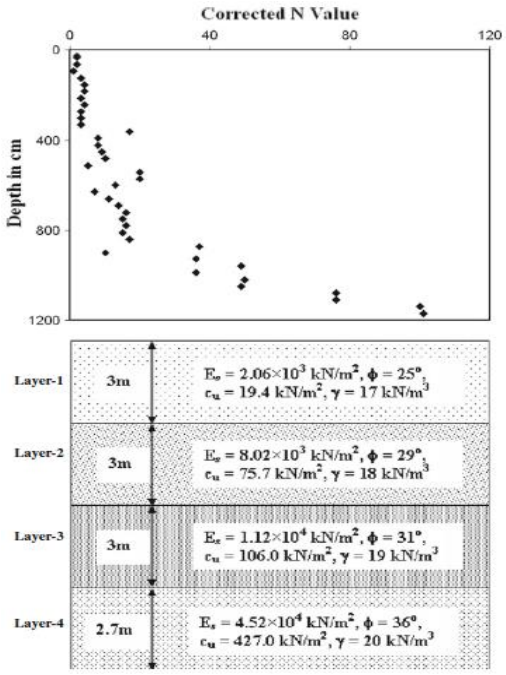
Şekil 2.21.'de B genişliğine sahip 2 şerit ankraj, katmanlı kuru zemine, yan yana olacak şekilde gömülmüştür. S, ankrajlar arasındaki net uzaklığı göstermektedir. Ankrajların

yatay sismik koşullar altında oturmalarının sismik davranışları, kesme gerilmesi ve kayma gerilmesi ölçülmek istenmektedir.



Şekil 2. 21. Sınır koşulları ile kırılma alanı (Ghosh ve Kumari 2012)

SPT testindeki N düzeltilmiş darbe sayısı değerleri ve her bir zemin katmanının özellikleri Şekil 2.22.'de görülmektedir. Her bir zemin katmanı için Poisson oranı 0.3 olarak belirlenmiştir. Su tabakasının çok derinde olduğu kabul edilerek zemine önemli bir etkisi bulunmadığı varsayılmıştır. Çelik ankraj plakanın Young modülü 2.10 x 10^8 kN/m^2 , yoğunluğu 7.800 kg/m^3 ve Poisson oranı 0.25 olarak seçilmiştir. Ayrıca ankrajın kalınlığı ihmal edilmiştir.



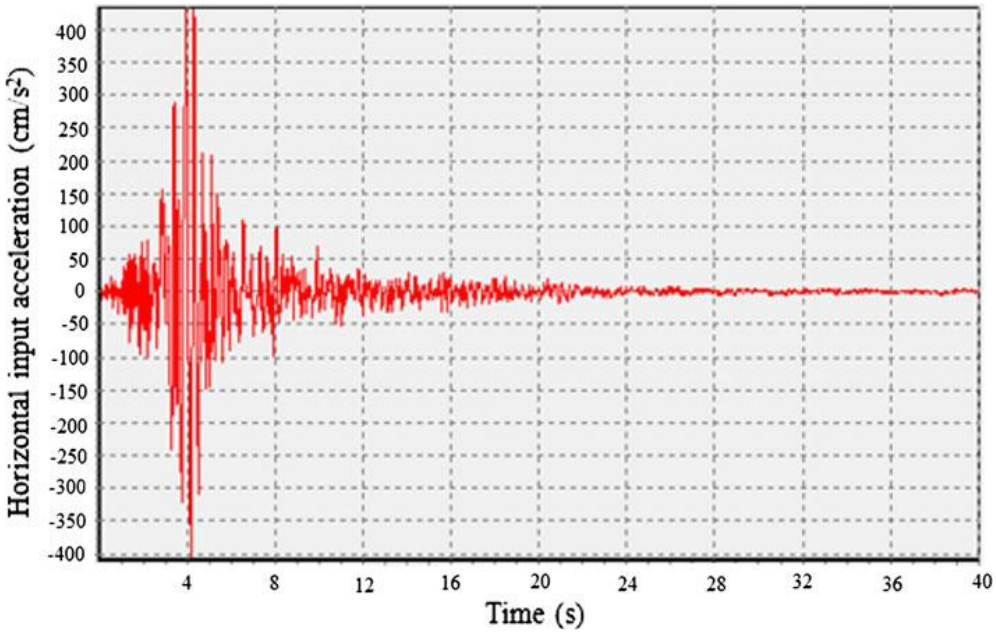
Şekil 2. 22. Düzeltilmiş SPT N değerleri ve zemin profili (Ghosh ve Kumari 2012)

Hesaplaması yapılacak zemin plane strain (düzlemsel deformasyon) yöntemi ile modellenmiştir. Sınır koşulları statik durumda, tanımlanmadan veya bir-iki yönlü olarak tanımlanmış, dinamik durumda ise, olası dalga yüklerinin karışıklığını önlemek için uzağa tanımlanmıştır. Çalışmada belirlenecek en uygun eleman boyutunu elde etmek için diğer bütün parametreler sabit tutularak farklı eleman boyutlarıyla hesaplamalar yapıldı. 0.75B eleman boyutundan sonra değerlerin azalması ile kayda değer bir deplasman değeri farkı oluşmadı. Bu yüzden optimum eleman boyutu 0.75B olarak seçildi.

Dinamik koşullar altında sönümlenmenin önemli bi faktör olduğu göz önünde bulundurulduğunda, malzeme sönümlenmesinin genellikle malzemenin vizkoz özelliklerinden, sürtünmeden ve plastisite gelişiminden kaynaklandığı düşünülür. Rayleigh sönümlenmesi, sistemin kütle ve sertliği ile orantılı olan vizkoz sönümlenmeyi taklit eder ve aşağıdaki gibi hesaplanır :

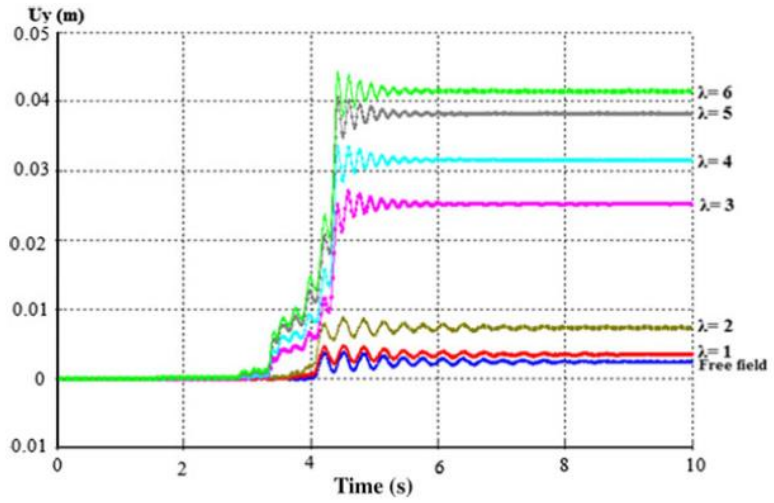
$$C = \alpha M + \beta K \tag{2.18}$$

C sönümlenmeyi, M kütleyi, K sertliği ifade eder. α ve β Rayleigh sönümlenme katsayılarından α sistemin sönümlenmedeki kütlesinin etkisini, β ise sistemin sönümlenmedeki sertliğin etkisini belirtir.

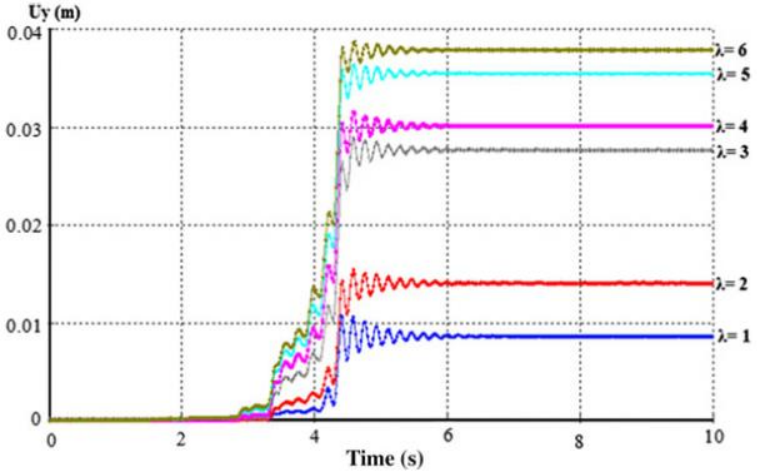


Şekil 2. 23. Analizlerde kullanılan sismik yatay ivme değerleri (Loma Prieta Gilroy Depremi 1989)

Sismik koşullar altında yapılacak analiz için Loma Prieta Gilroy Depreminin (1989) yatayda zaman-ivme değerleri kullanılmıştır (Şekil 2.23.). Bu değerler düşeyde oluşan deplasmanın, kesme geriliminin ve kayma gerilmesinin hesabı için birbirinden ayrı ve etkileşimde olan ankrajların varlığında zemine farklı konumlarda uygulanmıştır. Daha sonra ankrajın farklı gömülme derinliklerinde sismik koşullar altında davranışı incelenmiştir. Serbest alan şartları altında zemin yüzeyinin ortasındaki düşey deplasman sonuçları Şekil 2.24.'te ve farklı gömülme derinliklerinde birbirinden ayrılmış ankrajların düşey deplasman sonuçları Şekil 2.25.'te gösterilmiştir. Gömülme oranlarının artmasıyla, göçme alanının merkez çizgisi boyunca zemin yüzeyinde meydana gelen pozitif yöndeki düşey deplasmanların arttığı görülmüştür. Göçme alanının farklı konumlardaki yaptığı düşey deplasman 4 ve 6s (zaman) aralığında maksimuma ulaşıp daha sonra zamanın artmasıyla sabit kalmıştır. Ayrıca zemin yüzeyinde oluşan deplasman genişliğinin ankraj seviyesindeki deplasman genişliğinden daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 2. 24. Serbest alan ve ayrık ankraj durumunda zemin yüzeyindeki düşey deplasman sonuçları



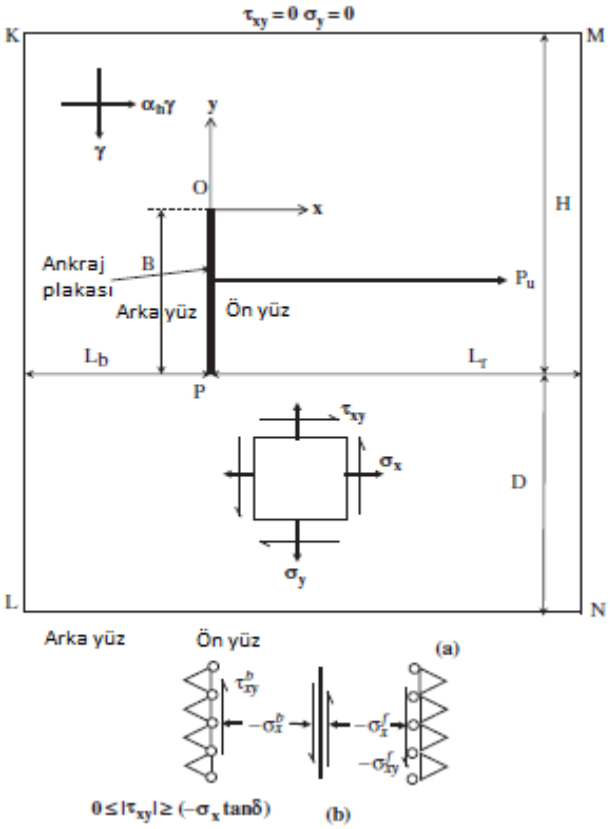
Şekil 2. 25. Ayrık ankraj seviyesindeki düşey deplasman sonuçları

Sonuç olarak çekme kapasitesinin gömülme oranının artmasıyla arttığı görülmüştür. Zeminin nihai olarak göçmesi için yapması gereken deplasman miktarı, gömülme oranının ve zeminin sertliğinin artmasıyla artmıştır. Ankrajlar arasında bırakılan boşluğun azalmasıyla göçmeye neden olacak yükün büyüklüğü azalmıştır. 4.0 ve 4.5s süreleri arasında genellikle meydana gelen deplasmanların maximum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Maximum düşey deplasmanın S/B oranının artmasıyla azaldığı ve bazı kritik mesafelerde neredeyse sabit bir

değere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca sol ve sağ ankrajlar için etki faktörünün S/B oranının artmasıyla arttığı ve sonuç olarak 1.0 değerine yaklaştığı görülmektedir.

2.2.7. Bhattacharya ve Kumar (2013)

Bhattacharya ve Kumar (2013), yarı statik yatay deprem yükleri altında kuma gömülü düşey ankrajların yataydaki çekme kapasitesini alt sınır sonlu limit elemanlar yöntemiyle hesaplamışlardır. Farklı deprem ivme katsayıları ve ankrajın farklı gömülme oranları durumlarında çekme kapasitesi faktörünün değişimini incelemişlerdir. Ayrıca ankraj ve zemin ara yüzündeki sürtünme açısının etkisini gözlemlemişlerdir.

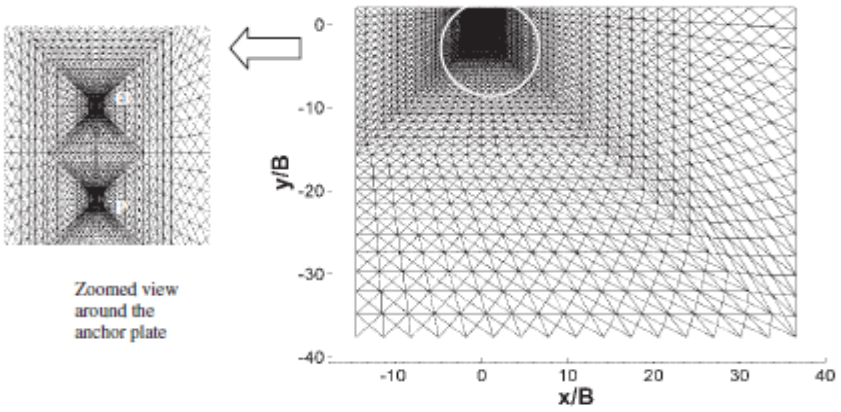


Şekil 2. 26. (a) Problem tanımı (b) Ankraj-zemin arayüzü (Bhattacharya ve Kumar 2013)

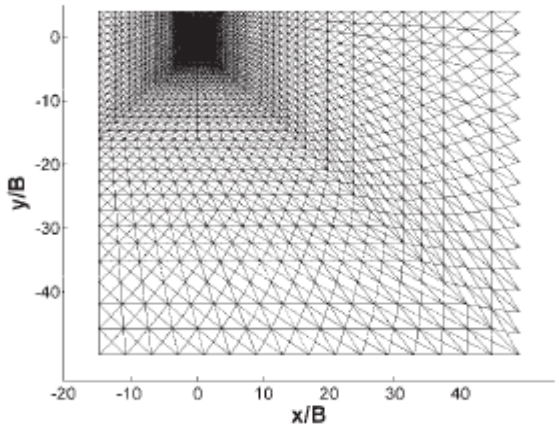
Düşey olarak zemin yüzeyinden H derinliğinde kuma gömülü B genişliğine sahip, şerit ankraj plaka Şekil 2.26.'daki gibi modellenmiştir. Ankraj plakanın ara yüzü ile zemin

kütlesi arasındaki sürtünme açısının sabit olduğu ve zeminin Mohr-Coulomb kırılma kriterlerini sağladığı varsayılmıştır. Yatay deprem ivmesi varlığında ankraj plakasının birim uzunluğunun nihai çekme yükü hesaplanması hedeflenmiştir.

Gömülme oranları 3 ve 5 olarak seçilen sonlu eleman ağları $\phi = 30°$, ve $a_h = 0.0 – 0.3$ değerleri için Şekil 2.27.'de gösterilmiştir. N, D_c ve E değerleri sırasıyla toplam düğüm sayısı, toplam gerilme süreksizliğini ve toplam eleman sayısını ifade etmektedir.



(a) H/B = 3; N = 38112; E = 12704; D_c = 18970



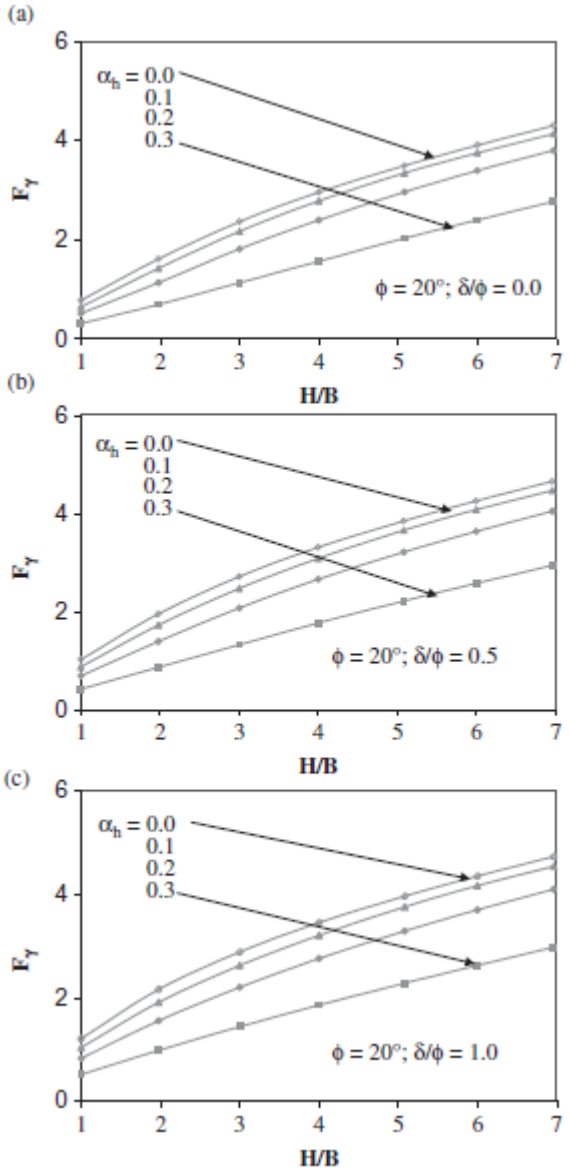
(b) H/B = 5; N = 39072; E = 13024; D_c = 19457

Şekil 2. 27. $\phi = 30°$ için sonlu eleman ağları (a) H/B=3 ; (b) H/B=5 (Bhattacharya ve Kumar 2013)

Düşey sarmal ankrajların yatay çekme kapasitesi, boyutsuzluk faktörü açısından aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_\gamma = \frac{Pu}{\gamma BH} \tag{2.19}$$

Pu, sarmal ankraj plakasının birim uzunluğunda meydana gelen göçme yüküdür.

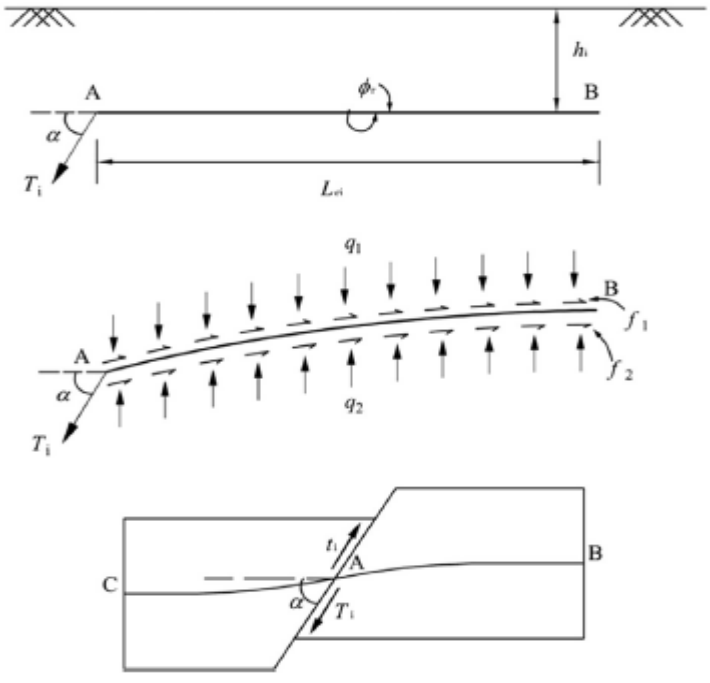


Şekil 2. 28. F_γ –H/B grafikleri (a) δ/ϕ=0.0; (b) δ/ϕ=0.5; (c) δ/ϕ=1.0 (Bhattacharya ve Kumar 2013)

Şekil 2.28.'de görülen F_γ – H/B grafikleri farklı a_h , δ ve ϕ değerleri için gözlemlenmiştir. Elde edilen grafiklerden, çekme direncinin deprem ivme katsayısının artmasıyla azaldığı; çekme direncinin gömülme oranının artmasıyla sürekli arttığı; ankraj-zemin ara yüzünün pürüzlülük açısında meydana gelen artışın çekme direncini arttırdığı ve ϕ değerinin artmasının bütün durumlarda F_γ değerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca H/B = 1 durumu için, ankraj ön yüzündeki normal basıncın derinliğin artmasıyla doğrusal olarak arttığı görülmüştür. Daha büyük H/B değerleri için basınç dağılımının doğrusal olmadığı sonucu elde edilmiştir.

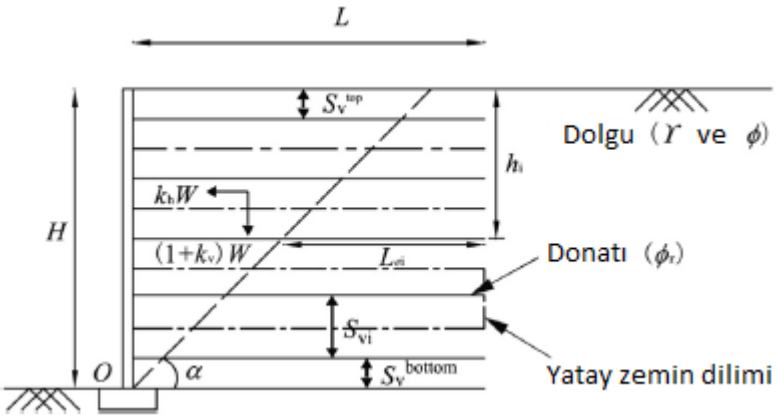
2.2.8. Gao ve Arkadaşları (2014)

Gao ve ark. (2014), donatılı toprak duvarın çekme direncinin yarı statik durumda sismik analizini incelemişlerdir. Donatılı toprak duvarın dengesini koruması için gereken kuvvet yatay dilim metodu ile modifiye edilmiş, donatılardaki kesme direnci ise pasternak modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca donatılı toprak duvarın sismik yükler altında çekme direnci farklı parametrelerin etkisi gözetilerek incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılacak olan zemin modeli Şekil 2.29.'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 29. Zemin modeli (Gao ve ark. 2014)

H yükseliğindeki donatılı zemin duvarı, L uzunluğundaki uzatılmaz donatının gösterildiği zemin modelinde S_v^{top} ve S_v^{bottom} birinci donatı ile zemin duvarının en alt ve en üstü arasındaki mesafeyi, S_{vi} donatı katmanları arasındaki mesafeyi, h_i donatı katmanındaki gömülme derinliğini, L_{ei} donatı katmanındaki ankraj uzunluğunu, γ birim ağırlığı, ϕ dolgunun içsel sürtünme açısını, ϕ_r ise dolguyla donatı arasındaki sürtünme açısını ifade etmektedir (Şekil 2.30.).



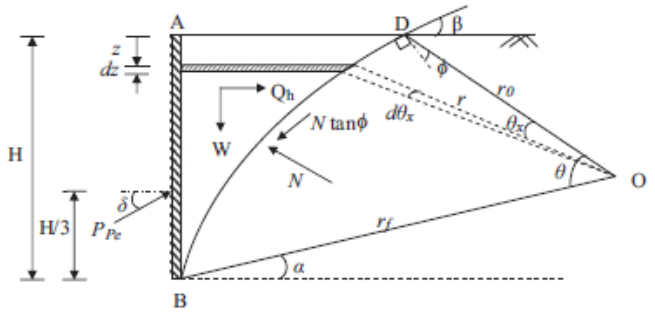
Şekil 2. 30. Donatılı toprak duvarın geoteknik karakteristikleri ve geometrisi (Gao ve ark. 2014)

Sonuç olarak; FS_T güvenlik faktörü, G* alt zemin kesme rijitlik faktörünün artmasıyla azalmış ve bazı G* değerleri için sabit kalmıştır. μ parametresi hariç diğer değerlerin (k_h , L/H , ϕ) güvenlik faktörü üzerinde büyük etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. K_h yatay sismik katsayısının artması ve ϕ değerinin azalması, yatayda oluşan daha küçük göçme yüzeyi açısı nedeniyle donatı için gereken ankraj uzunluğu ve donatıdaki kesme direncini azaltırken, sistemin dayanıklılığını sürdürmesi için gereken kuvveti arttırmıştır.

2.2.9. Pain ve Arkadaşları (2016)

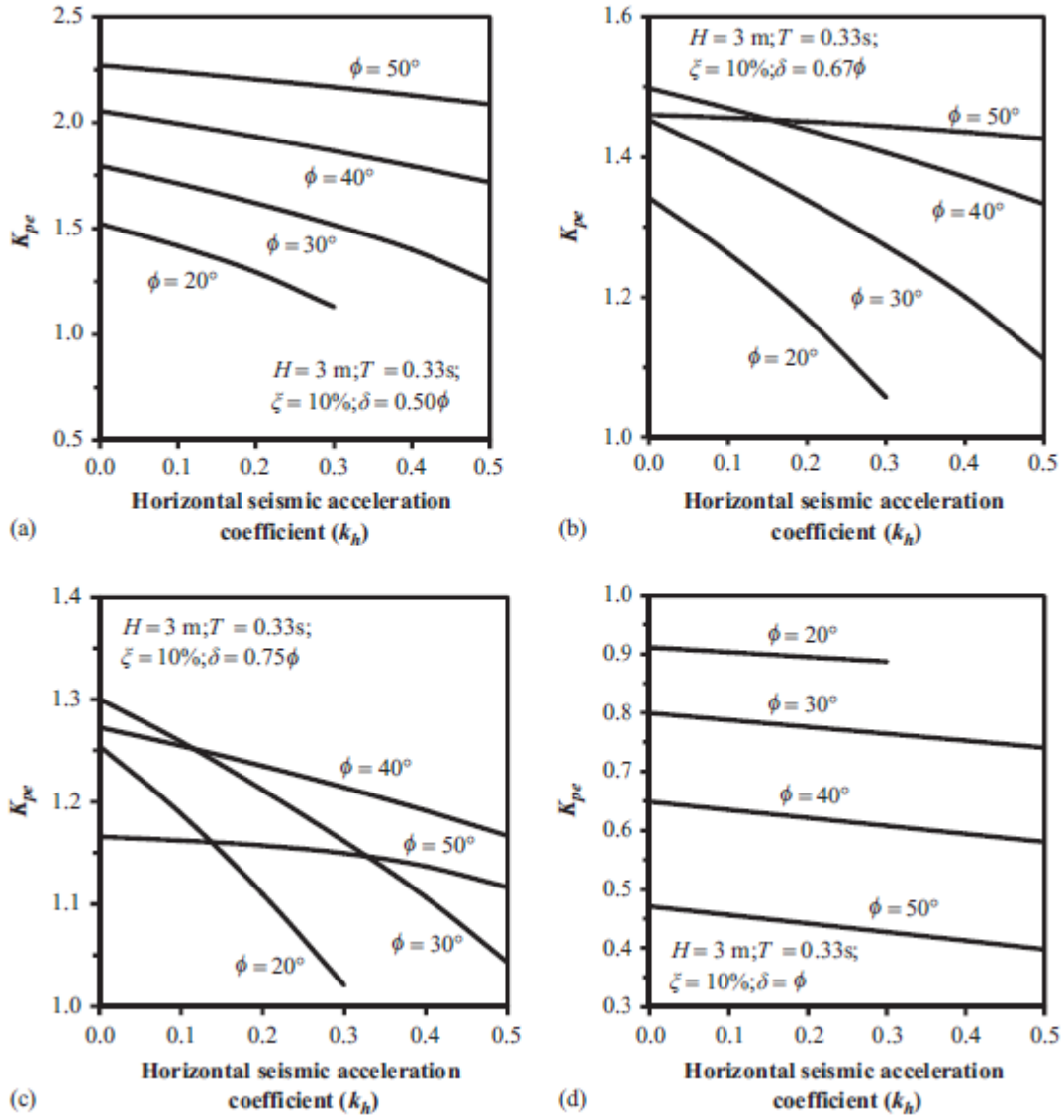
Pain ve ark. (2016), kohezyonsuz zemine gömülü sığ yatay şerit ankrajların çekme kapasitesini sismik koşullar altında incelemişlerdir. Hesaplamalar limit denge analizi ile birlikte modifiye edilmiş yarı dinamik sismik kuvvetlerin kabulüyle yapılmıştır. Bu modifiye edilmiş yarı dinamik yaklaşımda, zeminin rijit bir tabakanın üzerini örten viskoelastik malzeme davranış gösterdiği ve harmonik yatay ivmeye bağlı olduğu varsayılmıştır. Sonuçlar farklı zemin sürtünme açısı, gömülme oranı ve sismik ivme kombinasyonlarında elde edilmiştir. Sönüm oranı, yanal titreşim periyodu, zemin sürtünme açısı, gömülme oranı, duvar sürtünme açısı, yatay deprem ivme katsayısı gibi parametrelerin net sismik çekme kapasitesine etkileri gözlenmiştir.

İstinat yapısının rijit ve kohezyonsuz; dolgu zeminin kuru, homojen, izotropik olduğu ve Mohr-Coulomb göçme kriterini sağladığı varsayılmıştır. Şekil 2.31.'de rijit AB istinat duvarı gösterilmiştir. Yüksekliği H, duvar ile dolgu malzemesi arasındaki sürtünme açısı δ, dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı ϕ olarak ifade edilmiştir. BD göçme yüzeyi logaritmik spiralin yayı, O ise logaritmik spiralin odağıdır. Logaritmik spiralin ilk yarıçapı r_0, son yarıçapı r_f , toplam yatay atalet kuvveti ise Q_h ile gösterilmektedir.



Şekil 2. 31. Pasif durumda istinat duvarındaki kırılma yüzeyi ve yükler (Pain ve ark. 2016)

Şekil 2.32.'de farklı içsel sürtünme açısı değerleri için sismik pasif toprak basıncı katsayısı ile yatay sismik ivme katsayısının değişimi görülmektedir. Sismik pasif toprak basıncı değeri, sismik pasif toprak basıncı katsayısının artmasıyla azalmıştır. Ayrıca daha düşük içsel sürtünme açısı için sismik pasif toprak basıncı daha fazla azalış göstermiştir.



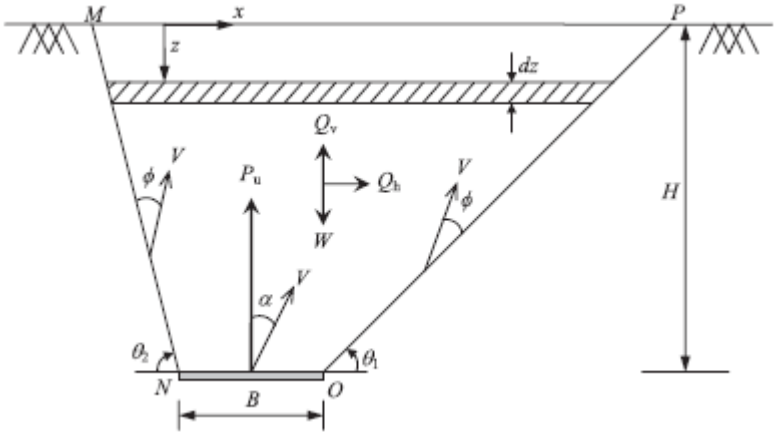
Şekil 2. 32. H=3 m, T=0.33s, ξ=%10 için K_{pe}-k_h (a) δ=0.50ϕ (b) δ=0.67ϕ (c) δ=0.75ϕ (d) δ=1.00ϕ

Hesaplamalardan elde edilen sismik pasif toprak basıncı katsayısı değerleri kullanılarak sığ yatay şerit ankrajın net sismik çekme kapasitesi faktörü elde edilmiştir. Ankrajın sismik çekme kapasitesi faktörü, yatay sismik ivmenin artmasıyla büyük ölçüde azalmıştır. Sismik çekme kapasitesi faktörü beklenildiği gibi gömülme oranının ve zemin sürtünme açısının artmasıyla artış göstermiştir. Limit denge yönteminde duvar sürtünme açısının ankrajın sismik çekme kapasitesi üzerinde pek bir etkisi olmamıştır.

2.2.10. Ganesh ve Arkadaşları (2018)

Ganesh ve ark. (2018), kuma yatay olarak sığ derinlikte gömülmüş şerit ankraj plakaların düşey sismik çekme kapasitesini, üst sınır limit analiz yöntemini kullanarak yarı dinamik yaklaşım ile incelemişlerdir. Daha önceki yapılan yarı dinamik hesaplamaların aksine; zemin tabakasının derinliği boyunca hem dikey hem de yatay ivmenin doğrusal olmayan varyasyonu, ivme genliği ve faz değerlerinde zemin yüzeyindeki çekme sınır koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Zeminin birim ağırlığı nedeniyle sismik çekme faktörü farklı kombinasyonlardaki gömülme oranı, sismik ivme katsayısı ve zeminin içsel sürtünme açısı değerleri için hesaplanmıştır.

B genişliğine ve H derinliğine sahip rijit şerit ankraj plaka, yatay olarak bir kum tabakasına gömülerek Şekil 2.33.'teki gibi modellenmiştir. Hesaplamalarda zemin kütlesinin kuru olduğu, Mohr-Coulomb göçme kriterini sağladığı ve bir depremin meydana gelişinin zemin parametrelerini etkilemediği varsayılmıştır. Ayrıca ankrajın kütlesi ihmal edilmiştir.

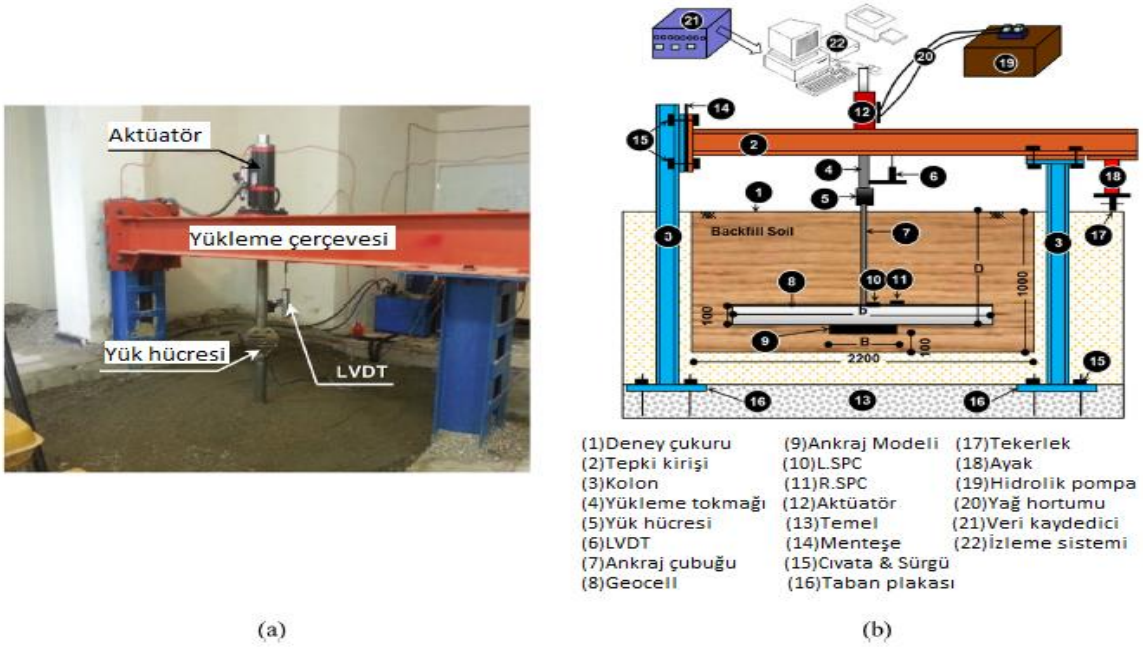


Şekil 2. 33. Modellenen ankraj plaka (Ganesh ve ark. 2018)

Hesaplamalar MATLAB programlama dili kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak sismik çekme faktörünün büyüklüğü sismik ivme katsayısının artmasıyla azalmıştır. Ayrıca ankrajın gömülme oranı ve zeminin içsel sürtünme açısının artması sismik çekme faktörünü arttırmıştır.

2.2.11. Rahimi ve Arkadaşları (2018)

Rahimi ve ark. (2018), bu çalışmada geocell ile güçlendirilmiş bir zemin tabakasında kullanılan donatının, ankraj plakalarının çekme kapasitesine etkisini hem sonlu elemanlar yöntemi ile hem de deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca ankraj boyutu ve gömülme derinliği gibi parametrelerin çekme kapasitesinde meydana getirdiği değişimi gözlemlemişlerdir. Şekil 2.34.'te fiziksel model ve şematik model gösterilmiştir.



Şekil 2. 34. Yükleme öncesi kurulum (a) Fiziksel model (b) Şematik model (Rahimi ve ark. 2018)

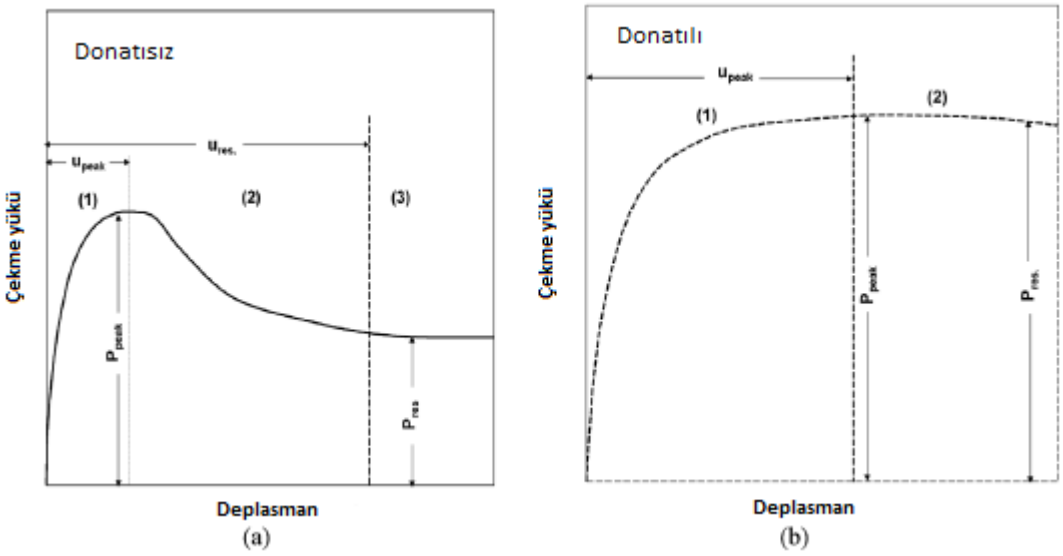
Ankrajın donatılı ve donatısız durumda çekme yükü-deplasman ilişkisi Şekil 2.35.'de gösterilmiştir.

Donatısız durumda 3 aşamalı davranış görülmüştür:

- Zirve öncesi durum: Çekme yükü ani bir şekilde deplasman yaparak yükselmiştir. (P_{peak})
- Zirve sonrası durum: Çekme yükünde ani bir düşüş görülmüştür.
- Geriye kalan durum: Zirve anı ile son durum arasındaki deplasman farkı barizdir. (P_{res})

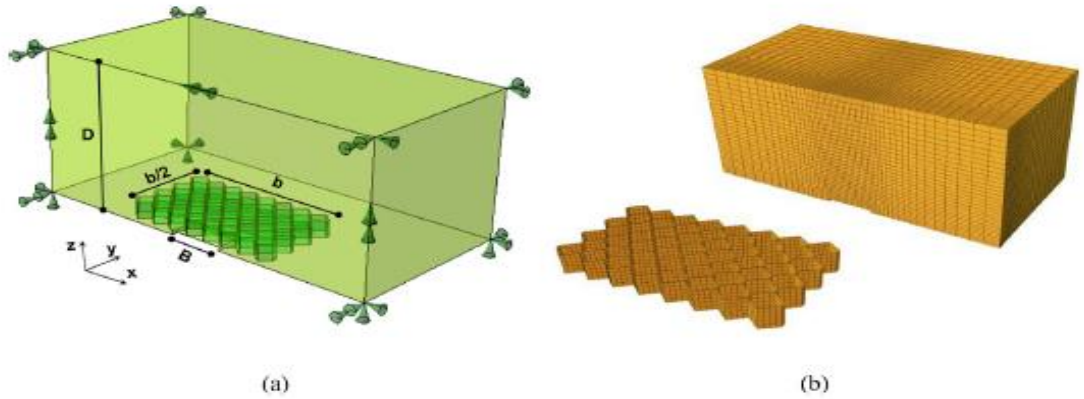
Geocell donatının kullanıldığı durumda 2 aşamalı davranış görülmüştür:

- Zirve öncesi durum: Deplasman ile birlikte çekme yükünde ani bir yükseliş meydana gelmiştir.
- Zirve sonrası durum: Zirve yükünden (P_{peak}) sonra hafif bir düşüş yaşanıp, zirve yüküne yakın kalmıştır. (P_{res})



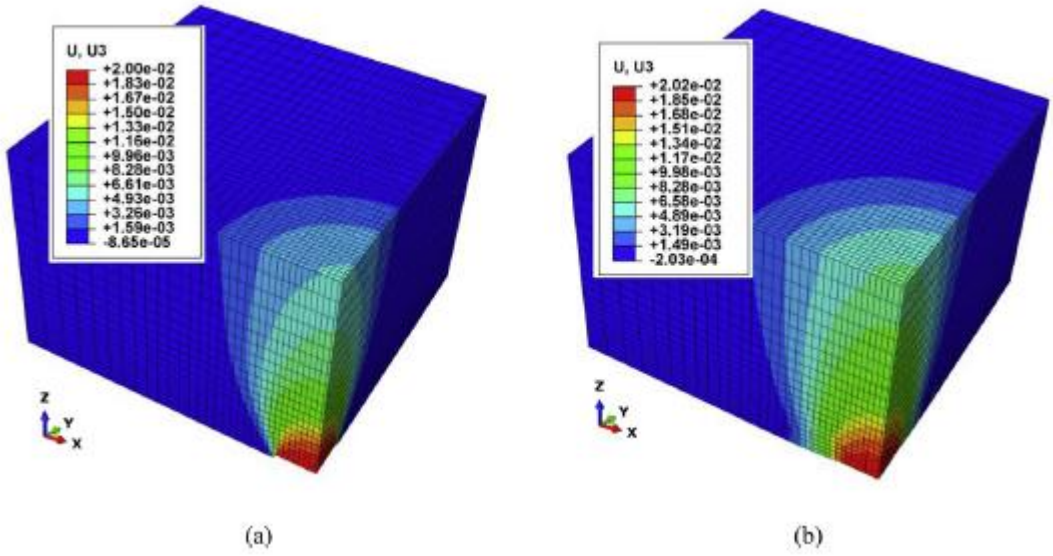
Şekil 2. 35. Çekme yükü-deplasman ilişkisi (a) Donatısız (b) Donatılı (Rahimi ve ark. 2018)

Ankraj plaka, 3D ABAQUS programı kullanılarak Şekil 2.36.'daki gibi modellenmiştir. Çelik ankraj plaka üç farklı uzunlukta (B=150 mm, B=225 mm, B=300 mm ve 25.4 mm kalınlık), dört farklı gömülme derinliği oranında (D/B=1.5 mm, D/B=2 mm, D/B=2.5 mm, D/B=3 mm) ve donatı genişliğinin ankraj plakasının genişliğine oranı (b/B=3) olarak seçilmiştir.



Şekil 2. 36. (a) Zemin modeli ve sınır koşulları (b) Geocell ve zemin tabakası (Rahimi ve ark. 2018)

3D ABAQUS ile modellenen ankraj plakanın deplasman çizgileri donatılı zemin durumu için ankraj plakadan daha uzakta başlamış ve donatısız duruma göre belirgin bir deplasman farkı oluşmuştur (Şekil 2.37).



Şekil 2. 37. B=300 ve D/B=3 için deplasmanlar (a) Donatısız (b) Donatılı (Rahimi ve ark. 2018)

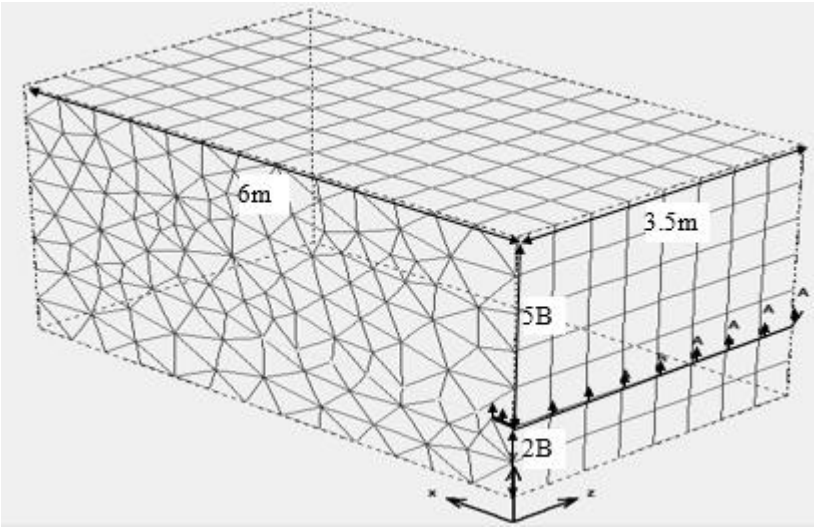
Sonuç olarak geocell tabakasının varlığı ankraj plakasının kapasitesini büyük ölçüde arttırmıştır. Donatılı zeminde daha geniş deplasmanlarda daha sürdürülebilir çekme direnci oluşmuştur. Ayrıca donatı kullanılan zeminde, donatısız zemine göre daha düzenli bir yük

dağılımı meydana gelmiştir. Ankrajın gömülme derinliği ve ankraj genişliği arttıkça hem donatılı hem donatısız zemin için zeminin çekme direncinde artış görülmüştür. Kopma faktörü gömülme derinliğiyle birlikte artmış, ankraj genişliğinin artmasıyla hem donatılı hem donatısız durum için azalış göstermiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen zemin deneysel olarak modellenen zemin ile büyük ölçüde benzer davranış sergilemiştir.

2.2.12. Korkmaz ve Keskin (2018)

Korkmaz ve Keskin (2018), bu çalışmada kohezyonsuz zeminlerde şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesinin üç boyutlu sayısal analizini incelemişlerdir. Analizler; sıkı-gevşek kum durumlarında, farklı gömülme derinliklerinde, donatılı ve donatısız durum için farklı ankraj boyutları kullanılarak yapılmıştır.

Sonlu elemanlar analizleri PLAXIS 3D Tunnel (version 2.0) programı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplama süresini azaltmak için simetrik durum kullanılarak ankraj plakanın sadece çeyreği modellenmiştir. Analizlerde kullanılan 3D sonlu elemanlar ağı Şekil 2.38.'de gösterilmiştir.

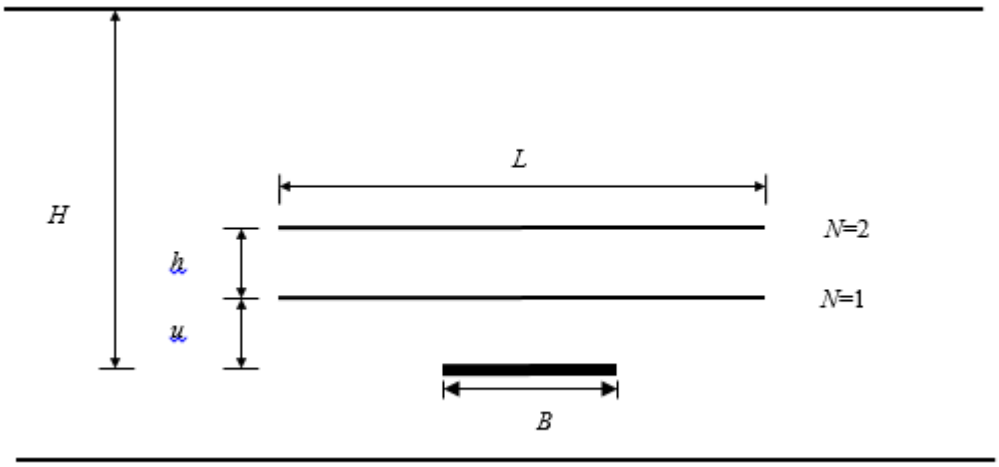


Şekil 2. 38. Geometrik model ve sonlu elemanlar ağı

Geogrid donatı kullanımına bağlı olarak çekme kapasitesindeki artışı gözlemlemek için, çekme kapasitesi oranı (UCR);

$$UCR = \frac{Qur}{Qu} \tag{2.20}$$

olarak belirlenir. Q_{ur} ve Q_u sırasıyla donatılı ve donatısız durum için maksimum taşıma kapasitesini ifade etmektedir. Donatının ankraj plakasının çekme kapasitesini maksimum arttırdığı yeri, uzunluğu ve şekli belirlemek için farklı geogrid tabakalarında çeşitli parametreler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır (Şekil 2.39.).



Şekil 2. 39. Geometrik parametreler

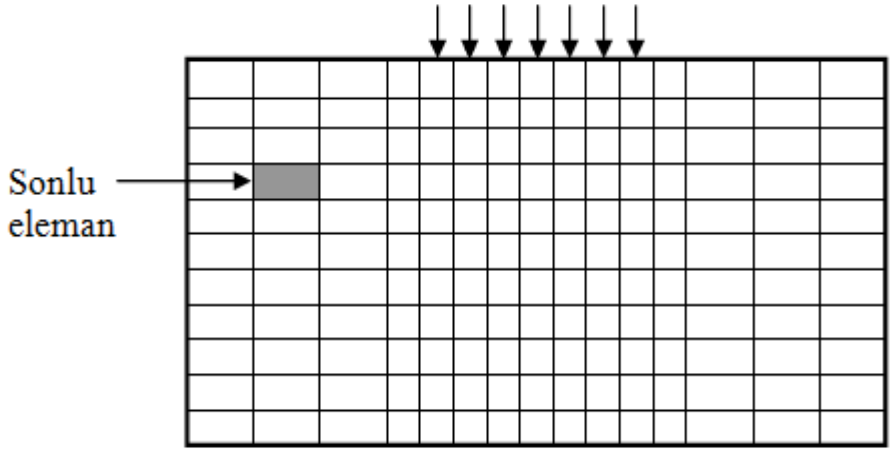
Sonuç olarak, geogrid donatı kullanımının ankraj plakasının performansını önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Donatının yerleştirildiği yere bağlı olarak maksimum çekme kapasitesinde, donatısız duruma göre 1.30 kat daha fazla artış görüldü. Donatıdan maksimum faydalanmamızı sağlayan optimum derinlik-temel genişliği oranı (u/B) 0.03, optimum geogrid tabaka uzunluğu (L) 6B olarak belirlenmiştir. Ayrıca, birden fazla geogrid donatı kullanımının çekme kapasitesi değerinde büyük değişiklikler yapmadığı görülmüştür. 3 boyutlu sayısal analizler; ankrajın gömülme oranı, ankrajın plaka genişliği ve kumun özgül yoğunluğunun artmasına bağlı olarak şerit ankraj plakanın çekme kapasitesini arttırdığını göstermiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Zeminler esas olarak kayaların çevre koşulları etkisi altında ayrışması ve parçalanması ile oluşmaktadır. Zeminler; katı sıvı, gaz gibi üç değişik fazda bileşenlerden oluşmaları ve tabii bir malzeme olmaları nedeniyle, anlaşılması zor ve oldukça karmaşık yapılara sahiptirler. Zeminlerin; anizotrop, heterojen ve nonlineer gibi özelliklere sahip olması diğer inşaat mühendisliği malzemelerine göre davranışlarının anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu karmaşık zemin davranışlarının belirlenmesi amacıyla çeşitli kabuller yapılarak, basitleştirici birçok kuram geliştirilmiştir. Bu kabuller genel olarak, zemini izotrop, homojen ve lineer-elastik varsayan kabullerdir. Fakat yapılan kabuller zeminlerin mühendislik davranışlarını tanımlayan genel analitik modellerin ve sabit malzeme katsayılarının belirlenmesinde tam anlamıyla yeterli olmamaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar destekli mühendislik yazılımları karmaşık zeminlerin malzeme davranışını, çevresel faktörleri vs. göz önünde bulundurarak geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve pratik bir şekilde modelleme ve analiz etme imkânı vermektedir.

Mühendislik ve matematiksel modellerde sıklıkla kullanılan “sonlu elemanlar yöntemi”, esasta geniş bir sistemi, sonlu eleman adı verilen daha küçük bileşenlere ayırıp, parçadan bütüne gitme temel ilkesiyle hareket eden, belirli koşullar altında çözümlerin yapıldığı bir yöntemdir. Sonlu elemanlar yöntemi, bir parçanın veya modelin nasıl davrandığını tahmin etmek için modern simülasyon yazılımlarında ve mühendislik tasarımlarında zayıf noktaların bulunmasına yardımcı olur. Simülasyon yapabilmek için bir araya geldiği zaman yapının esas şeklini oluşturan çokça küçük elementten oluşan bir ağ gerekir. Her bir eleman için ayrı ayrı hesaplamalar yapılır. Bu hesapları birleştirmek bize yapının nihai sonucunu verir (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1. Sürekli sistemin sonlu elemanlara ayrılması (Keskin 2009)

Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerde kullanılacak olan Plaxis bilgisayar programının çalışma prensiplerine değinilecektir. Ayrıca modellenen zeminlerde kullanılacak malzeme parametreleri, şerit ankraj plakalarının farklı boyut ve zemin koşullarında gerçekleştirilecek Plaxis analizlerinin sonuçları sunulacaktır.

3.1. Plaxis Programı

Plaxis, Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından geoteknik mühendisliğinde kullanılmak üzere geliştirilen, sonlu elemanlar yöntemiyle deformasyon ve stabilite problemlerinde pratik ve gerçekçi sonuçlar veren bir yazılımdır. İlk kez 1987 yılında yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile çözülebilmesi için tasarlanmış, daha sonra geoteknik mühendisliğinin karmaşık yapıdaki problemlerinin çözümünde kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Plaxis programı, geoteknik mühendisliğindeki zeminlerin doğrusal olmayan davranışlarının modellenmesi, zeminlerde zamana bağlı oluşan oturmalar, zemin-su ilişkisi, taşıma gücü hesaplamaları gibi konularda farklı malzeme modelleri ile statik ve dinamik koşullar altında pratikte uygulanabilir sonuçlar vermektedir (Keskin 2009).

3.2. Sonlu Elemanlar Analizi

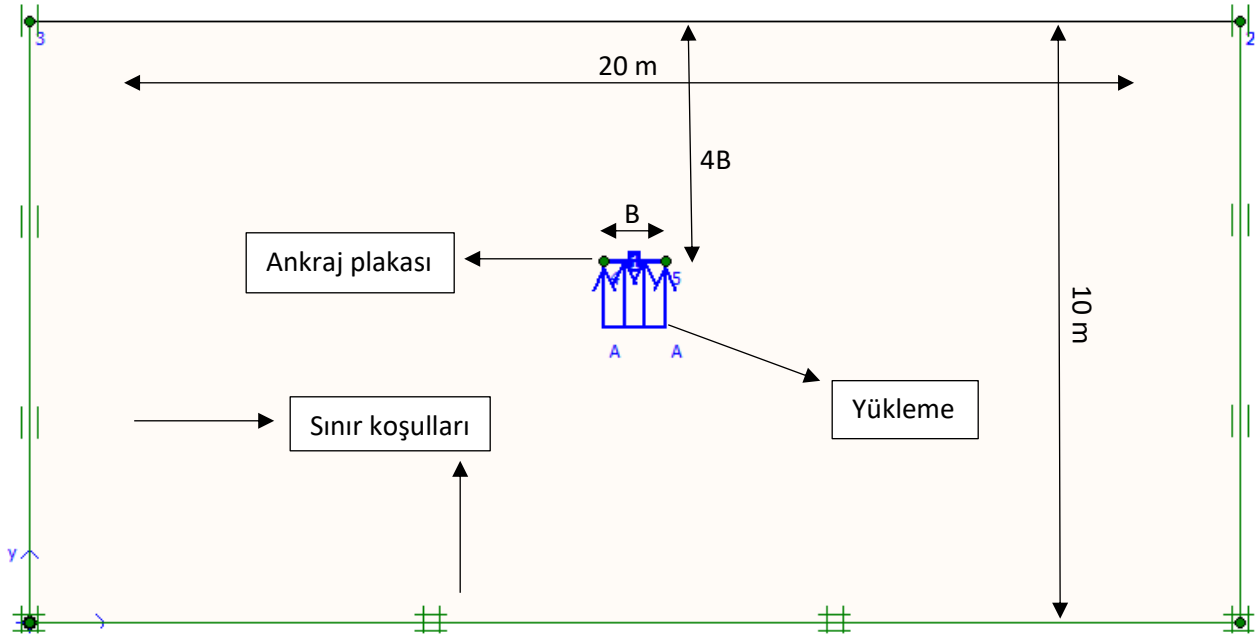
Sonlu elemanlar analizleri ile şerit ankraj plakalarının çekme kapasitelerinde meydana gelen değişim; sekiz farklı gömülme derinliği, üç farklı ankraj boyutu, farklı sıkılıktaki kum ve kil durumları ayrı ayrı kombine edilerek statik ve dinamik koşullar altında incelenmiştir. Analizlerde ayrıca yer altı su seviyesinin etkisi belirli gömülme derinliklerinde ve farklı koşullarda göz önünde bulundurularak çekme kapasitesindeki değişim gözlenmiştir.

3.3. Geometrik Model

Geometrik model, Plaxis uygulamasında şerit ankraj plakaları için "düzlemsel gerinim (plane strain)" koşullarında ve 2 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Daha hassas çözümler yapmak için zemin ortamı 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir. Ayrıca dinamik koşullarda düşey yönlü (y) deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G yer çekimi kuvveti uygulanmıştır.

3.3.1. Şerit Ankraj Plaka

Şekil 3.2.'de 4B gömülme derinliğinde düzlemsel gerinim (plane strain) koşullarında 2 boyutlu olarak modellenen şerit ankraj plakanın geometrisi gösterilmiştir. Model genişliği 20 metre ve ankraj plakasının genişliği B olarak belirlenmiş, ankraj plakasının konumu gömülme oranlarına göre 1B ile 8B arasında değişmektedir.

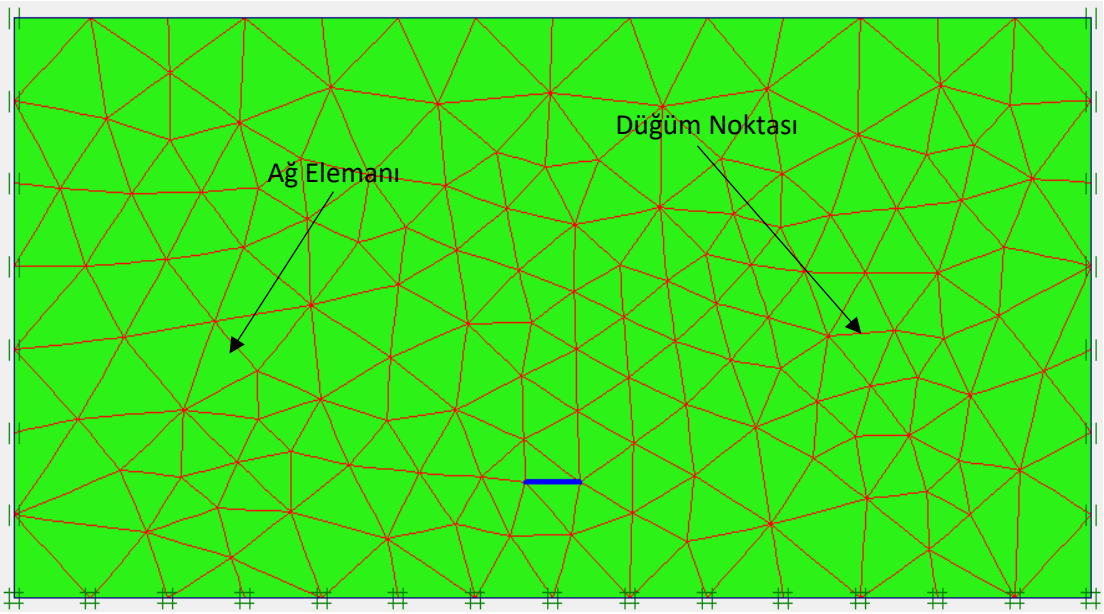


Şekil 3. 2. Şerit ankraj plakanın geometrisi

Şekil 3.2.'de gösterilen Plaxis programının sağlamış olduğu standart sınır koşulları yatay yönlü harekete izin vermeyip, sadece düşey yönlü harekete izin vermektedir.

3.3.2. Sonlu Elemanlar Ağı

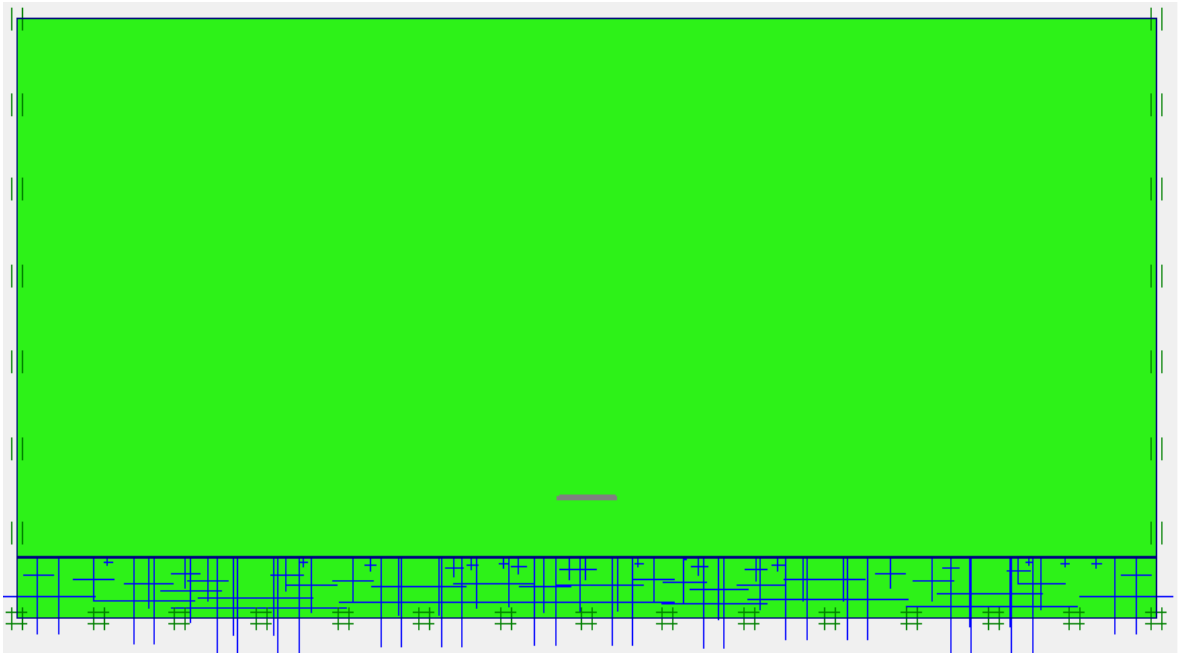
Sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapılan analizlerde, sonlu elemanlar ağı orta sıkılıkta (medium) olarak modellenmiştir. Şekil 3.3.'te oluşturulan ağın elemanları ve bu ağları birbirine bağlayan düğüm noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. Sonlu elemanlar ağı

3.3.3. Yer Altı Suyu

Yer altı suyunun göz önünde bulundurulup analizlerin yapıldığı bazı gömülme derinliklerinde oluşturulan geometrik model Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. Yer altı suyunun modellenmesi

3.3.4. Başlangıç Gerilmeleri

Başlangıç gerilmeleri zeminin kendi ağırlığından dolayı oluşan, örselenmemiş zeminin denge durumunu ifade etmektedir. Geoteknik mühendisliğinde başlangıç gerilmelerinin göz önünde bulundurulup çözümler yapılması gerekmektedir. Plaxis programında, başlangıç gerilmeleri K_0 seçeneği ve ağırlık yüklemesi ile gerçekleştirilmektedir. K_0 seçeneği, yatay zemin yüzeyinde ve bu yüzeye paralel su seviyesinin olduğu durumlarda geçerli olmaktadır. Diğer durumlar için ağırlık yüklemesi yöntemi kullanılmalıdır (Keskin 2009).

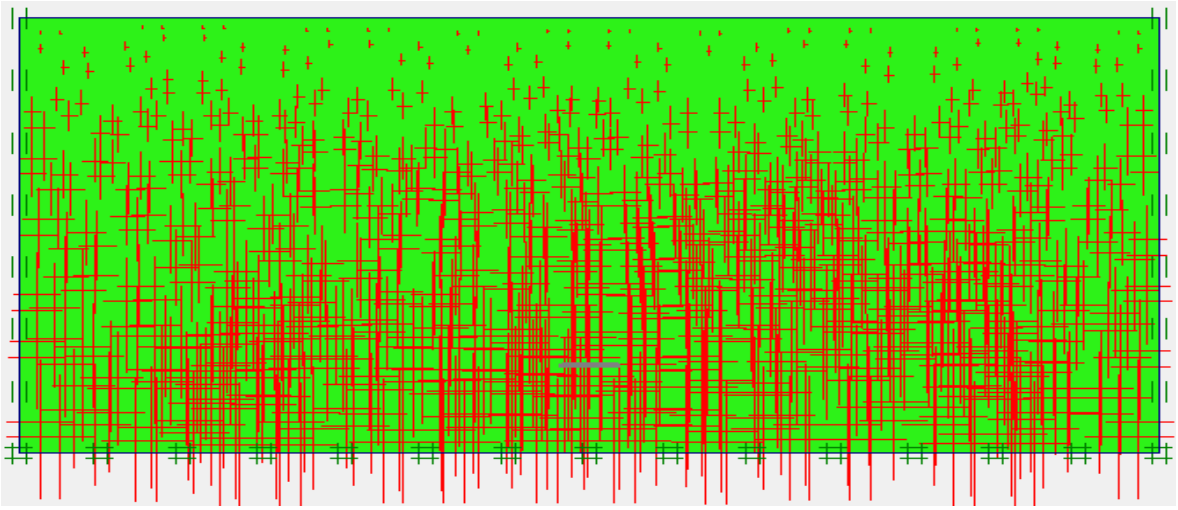
Başlangıç gerilmelerinde, K_0 seçeneğinin kullanıldığı durumlarda, zeminin kendi ağırlığı sebebiyle meydana gelen düşey gerilmeler oluşturulur. Yatay gerilmeler ise K_0 değeri ile hesaplanır. K_0, yatayda ve düşeyde oluşan gerilmelerin oranıdır (Keskin 2009).

$$K_0 = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

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

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

Şekil 3.5.'te başlangıç gerilmeleri plaxis programı ile oluşturulan zemin ortamı gösterilmektedir.



Şekil 3. 5. Başlangıç gerilmeleri

3.4. Malzeme Özellikleri

3.4.1. Zemin

Analizlerde kil zeminler için Mohr Coulomb zemin modeli, kum zeminler için Hardening Soil Model (Pekleşen Zemin) kullanılmıştır. Hardening Soil Model, geleneksel Mohr Coulomb modeline göre daha gelişmiş, gerilme endeksli rijitlik modülünü dikkate alan bir zemin modelidir. Hardening Soil Model, üç eksenli basınç deneyinde elde edilen hiperbolik gerilme-şekil değiştirme eğrisini baz alır (Keskin 2009). Analizlerde kullanılacak Hardening Soil Zemin Modeli için deneysel olarak belirlenmiş parametreler Çizelge 3.1.'de, Mohr Coulomb zemin modeli için kullanılan parametreler Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1. Hardening Soil Modeli parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Gevşek Kum Değerleri	Sıkı Kum 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	0.50
Kohezyon	c	kN/m²	0.50	0.50
Kayma mukavemeti 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	0,90

Çizelge 3. 2. Mohr Coulomb Modeli parametreleri

Parametre Adı	**Simge**	**Birim**	**Yumuşak Kil Değerleri**	**Sert Kil Değerleri**
Doygun birim hacim ağırlık	$\gamma_{\delta o \psi}$	kN/m³	16	18
Birim hacim ağırlık	γ_n	kN/m³	15	17
Tek eksenli basınç dayanımı	E	kN/m²	4000	9000
Kohezyon	c	kN/m²	35	90
Kayma mukavemeti açısı	ϕ	(°)	1	1
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	0	0
Poisson oranı	ν	-	0.20	0,25

3.4.2. Ankraj Plakası

Analizlerde çekme kuvveti uygulanacak olan ankraj plakaları plaxis programındaki kiriş eleman seçeneği ile modellenmiştir. Kullanılacak olan ankraj plakalarının malzeme parametreleri Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 3. Ankraj plaka parametreleri

Temel Ebatları	**EA** (kN/m)	**EI** (kNm^2/m)	**Plaka Kalınlığı** (m)
Şerit (B=50 cm)	$1{,}05 \times 10^7$	8750	0,1
Şerit (B=75 cm)	$1{,}575 \times 10^7$	13125	0,1
Şerit (B=100 cm)	$2{,}1 \times 10^6$	1750	0,1

3.5. Çekme Kapasitesinin Belirlenmesi

Plaxis programı ile kare ve şerit ankraj plakalarının çekme kapasiteleri statik ve dinamik koşullar altında incelenmiştir. Çekme kapasitelerinin belirlenmesinde plaxis analizlerinden elde edilen çekme yükü-deplasman eğrileri kullanılmıştır. Bu eğrilerden çekme kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Aşağıda bu yöntemlere değinilmiştir.

a) Teğet Kesiştirme Yöntemi: Çekme yükü - Deplasman eğrisindeki deplasman değerlerinde belirgin bir değişimin oluştuğu noktaya karşılık gelen yük değeri seçilir (Keskin 2009).

b) Log – Log Yöntemi: Çekme yükü – Deplasman değerlerinde düzeltme yapılarak ortak kesişme noktasına karşılık gelen yük değeri seçilir (Keskin 2009).

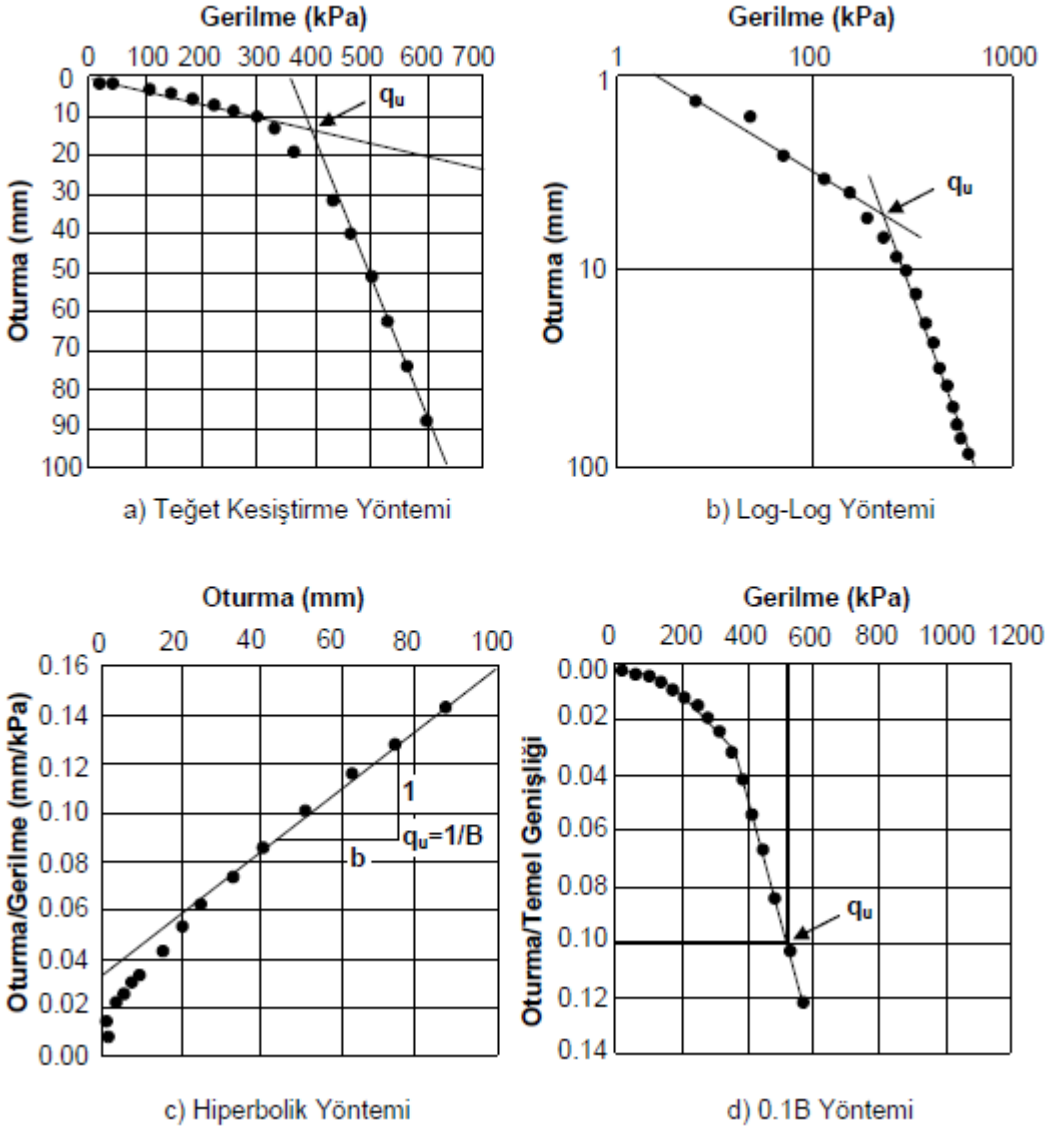
c) Hiperbolik Yöntemi: Çekme yükü – Deplasman eğrisine uygun bir model seçilerek, tahmini bir asimptot değere karşılık gelen yük değeri seçilir (Keskin 2009).

d) 0.1B Yöntemi: Çekme yükü – Deplasman eğrisindeki sınırlandırılmış bir deplasman değerine karşılık gelen yük değeri seçilir (Keskin 2009).

Lutenegger ve Adams (1998), sıkı kum durumunda kare temeller üzerine yaptıkları deneyler sonucunda temelin oturma eğrilerinden taşıma kapasitesini bu yöntemler ile hesaplamış ve yöntemler arasındaki ilişkiyi,

Log – Log yöntemi < Teğet kesiştirme yöntemi < 0.1B yöntemi < Hiperbolik yöntemi

olarak belirlemişlerdir (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6. Taşıma kapasitesi belirleme yöntemleri (Keskin 2009)

Çekme yüklerinin belirlenmesinde bu yöntemlerden sadece birinin kullanılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmada çekme yükü – deplasman eğrilerinden çekme kapasitesi değerleri teğet kesiştirme yöntemi ile belirlenmiştir.

3.6. Analizlerde Çözüm Aşamaları

Analizlerde öncelikle Plaxis programında "General Settings" bölümünden Zemin modeli ve üçgen düğüm sayısı belirlenmiş, dinamik koşullar altında deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G büyüklüğünde yük etki ettirilmiştir. Statik durum için ivme değeri 0 seçilmiştir. Daha sonra modellenecek zeminin boyutları belirlenip, geometrik model oluşturulmuştur. Ankraj plakası kiriş eleman seçeneği ile modellenmiş, malzeme özellikleri ve standart sınır koşulları tanıtılmıştır. Sonlu elemanlar ağı orta sıkılıkta (medium) olarak belirlendikten sonra varsa yer altı suyu eklenmiş ve zemin ağırlığından dolayı oluşan başlangıç gerilmeleri oluşturulup çözüm aşamasına geçilmiştir. Çözüm aşamasında ise ankraj ve çekme yükü aktif hâle getirilerek plastik durumda hesaplamalar yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, şerit ankraj plakalarının üç farklı genişlik (B), sekiz farklı gömülme derinliği (Df), gevşek-sıkı kum ve yumuşak-sert kil durumları için statik ve dinamik koşullar altında çekme kapasiteleri analiz edilmiştir. Analizlerde deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G büyüklüğünde düşey yönde dinamik yük etki ettirilmiş, ankrajın çekme kapasitesinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Aynı ankraj genişliği ve aynı zemin koşulları durumunda gömülme derinliğinin göçme mekanizması üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Belirli koşullar altında ankraj plakalarına yer altı suyu etki ettirilmiş, ankrajın düşey yönlü yaptığı deplasman yer altı suyunun bulunmadığı durum ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bazı koşullar altında zemine farklı büyüklükte dinamik yük etki ettirilmiş ve yükün büyüklüğünün çekme kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

4.1. Şerit Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B=50 cm)

B=50 cm genişliğe ve d=10 cm kalınlığa sahip şerit ankraj plakasına farklı zemin durumları(kum,kil) ve farklı gömülme derinlikleri(1B,2B,...8B) için çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi analiz edilmiştir. Ayrıca dinamik koşullarda düşey yönlü (y) deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G yer çekimi kuvveti uygulanmıştır.

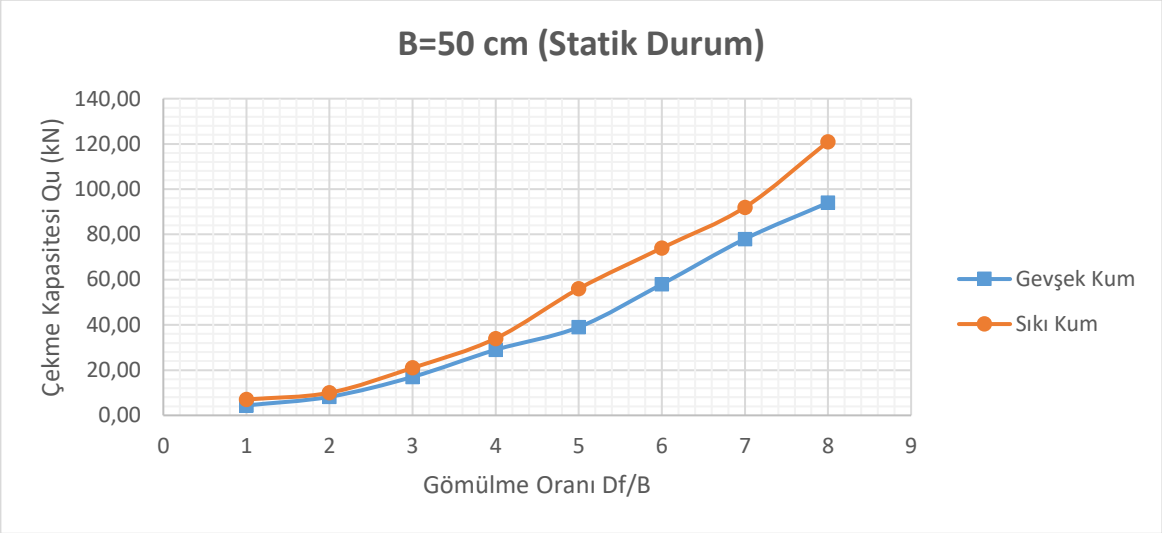
4.1.1. Kum Zemin (B=50 cm)

Çizelge 4.1.'de B=50 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde gevşek ve sıkı kum durumları için gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1. Kum zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)

B=50 cm (Statik)					
		Gevşek Kum		Sıkı Kum	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	0,5	17,60	4,40	28,00	7,00
2B	1	32,80	8,20	40,00	10,00
3B	1,5	68,00	17,00	84,00	21,00
4B	2	116,00	29,00	136,00	34,00
5B	2,5	156,00	39,00	224,00	56,00
6B	3	232,00	58,00	296,00	74,00
7B	3,5	312,00	78,00	368,00	92,00
8B	4	376,00	94,00	484,00	121,00

Şekil 4.1.'de B=50 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi gevşek kum ve sıkı kum durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte gevşek kumun çekme kapasitesinin, sıkı kumun çekme kapasitesinden ortalama %23 daha az olduğu görülmüştür.



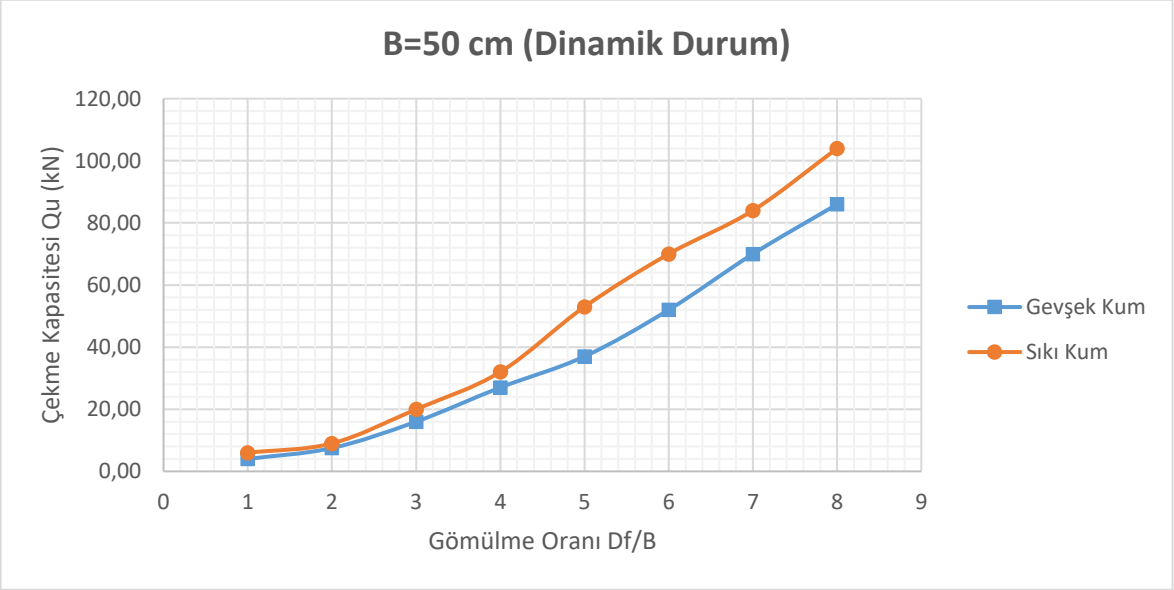
Şekil 4. 1. Kum zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm)

Çizelge 4.2.'de B=50 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde gevşek kum ve sıkı kum durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2. Kum zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)

B=50 cm (Dinamik)					
		Gevşek Kum		Sıkı Kum	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	0,5	16,00	4,00	24,00	6,00
2B	1	30,00	7,50	36,00	9,00
3B	1,5	64,00	16,00	80,00	20,00
4B	2	108,00	27,00	128,00	32,00
5B	2,5	148,00	37,00	212,00	53,00
6B	3	208,00	52,00	280,00	70,00
7B	3,5	280,00	70,00	336,00	84,00
8B	4	344,00	86,00	416,00	104,00

Şekil 4.2.'de B=50 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi gevşek kum ve sıkı kum durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi dinamik koşullar altında da, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte gevşek kumun çekme kapasitesinin, sıkı kumun çekme kapasitesinden ortalama %22 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 2. Kum zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm)

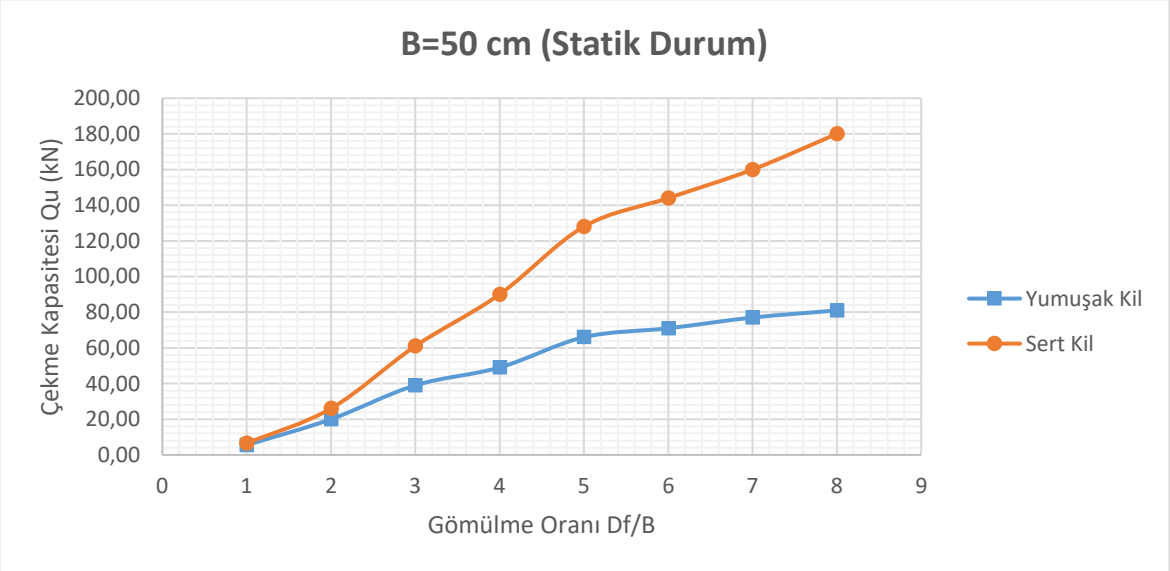
4.1.2. Kil Zemin (B=50 cm)

Çizelge 4.3.'te B=50 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde yumuşak kil ve sert kil durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Kil zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)

B=50 cm (Statik)					
		Yumuşak Kil		Sert Kil	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	0,5	22,00	5,50	26,00	6,50
2B	1	80,00	20,00	104,00	26,00
3B	1,5	156,00	39,00	244,00	61,00
4B	2	196,00	49,00	360,00	90,00
5B	2,5	264,00	66,00	512,00	128,00
6B	3	284,00	71,00	576,00	144,00
7B	3,5	308,00	77,00	640,00	160,00
8B	4	324,00	81,00	720,00	180,00

Şekil 4.3.'te B=50 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi yumuşak kil ve sert kil durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte yumuşak kilin çekme kapasitesinin, sert kilin çekme kapasitesinden ortalama %41 daha az olduğu görülmüştür.



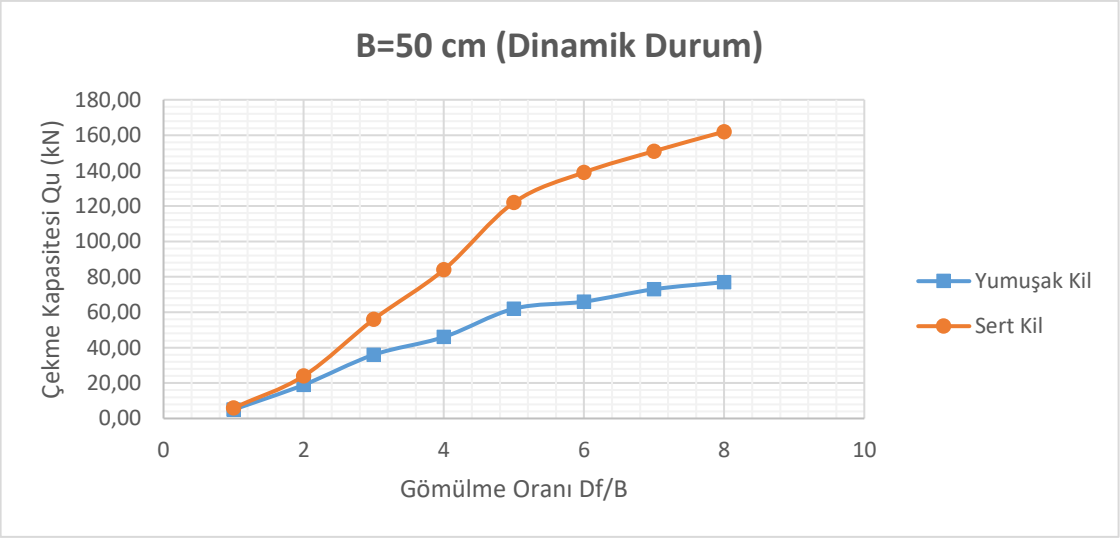
Şekil 4. 3. Kil zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm)

Çizelge 4.4.'te B=50 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde yumuşak kil ve sert kil durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4. Kil zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=50 cm)

B=50 cm (Dinamik)					
		Yumuşak Kil		Sert Kil	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m²)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m²)	Qu (kN)
1B	0,5	20,00	5,00	24,00	6,00
2B	1	76,00	19,00	96,00	24,00
3B	1,5	144,00	36,00	224,00	56,00
4B	2	184,00	46,00	336,00	84,00
5B	2,5	248,00	62,00	488,00	122,00
6B	3	264,00	66,00	556,00	139,00
7B	3,5	292,00	73,00	604,00	151,00
8B	4	308,00	77,00	648,00	162,00

Şekil 4.4.'te B=50 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi yumuşak kil ve sert kil durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi dinamik koşullar altında da, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte yumuşak kilin çekme kapasitesinin, sert kilin çekme kapasitesinden ortalama %41 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 4. Kil zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=50 cm)

4.2. Şerit Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B=75 cm)

B=75 cm genişliğe ve d=10 cm kalınlığa sahip şerit ankraj plakasına farklı zemin durumları(kum,kil) ve farklı gömülme derinlikleri(1B,2B,...8B) için çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi analiz edilmiştir. Ayrıca dinamik koşullarda düşey yönlü (y) deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G yer çekimi kuvveti uygulanmıştır.

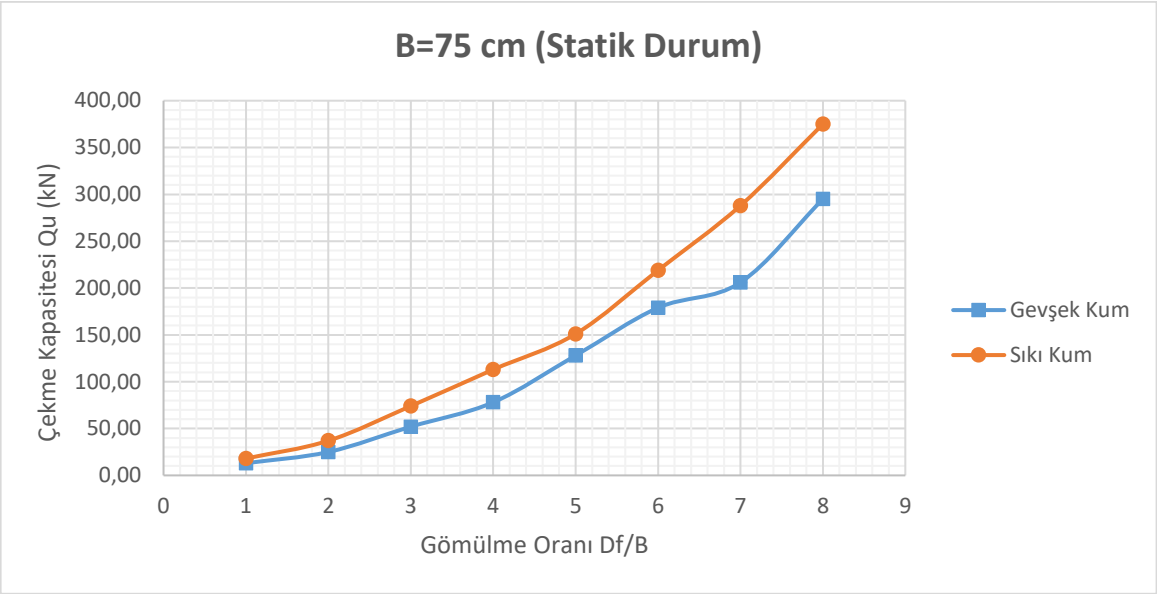
4.2.1. Kum Zemin (B=75 cm)

Çizelge 4.5.'te B=75 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde gevşek kum ve sıkı kum durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5. Kum zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)

B=75 cm (Statik)					
		Gevşek Kum		Sıkı Kum	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	0,75	23,11	13,00	32,00	18,00
2B	1,5	44,44	25,00	65,78	37,00
3B	2,25	92,44	52,00	131,56	74,00
4B	3	138,67	78,00	200,89	113,00
5B	3,75	227,56	128,00	268,44	151,00
6B	4,5	318,22	179,00	389,33	219,00
7B	5,25	366,22	206,00	512,00	288,00
8B	6	524,44	295,00	666,67	375,00

Şekil 4.5.'te B=75 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi gevşek kum ve sıkı kum durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte gevşek kumun çekme kapasitesinin, sıkı kumun çekme kapasitesinden ortalama %25 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 5. Kum zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm)

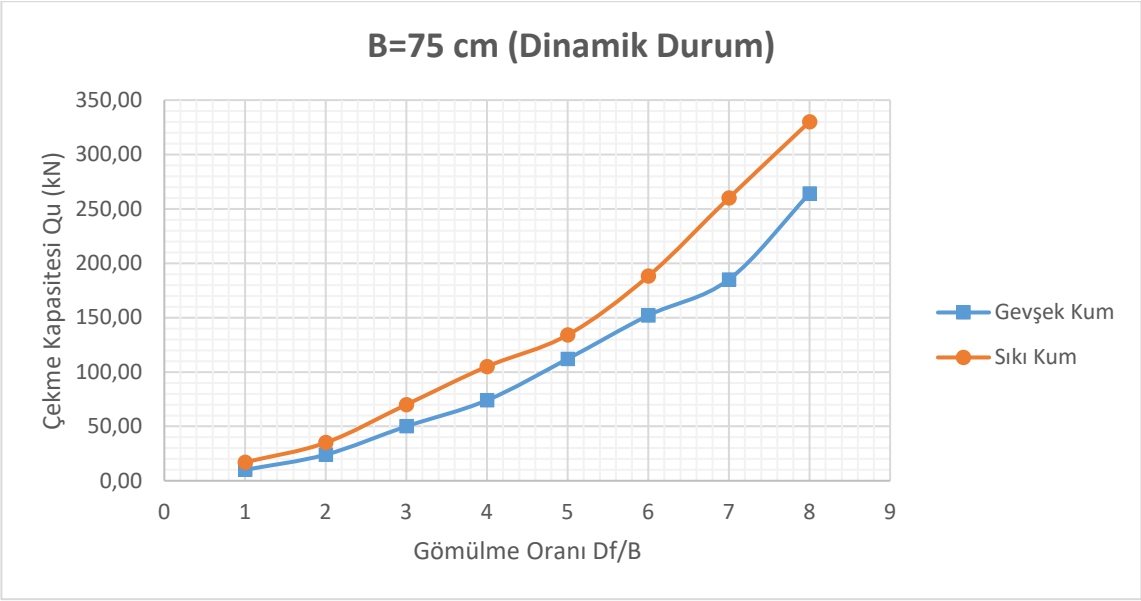
Çizelge 4.6.'da B=75 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde gevşek kum ve sıkı kum durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 6. Kum zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)

B=75 cm (Dinamik)					
		Gevşek Kum		Sıkı Kum	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	0,75	17,78	10,00	30,22	17,00
2B	1,5	42,67	24,00	62,22	35,00
3B	2,25	88,89	50,00	124,44	70,00
4B	3	131,56	74,00	186,67	105,00
5B	3,75	199,11	112,00	238,22	134,00
6B	4,5	270,22	152,00	334,22	188,00
7B	5,25	328,89	185,00	462,22	260,00
8B	6	469,33	264,00	586,67	330,00

Şekil 4.6.'da B=75 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi gevşek kum ve sıkı kum durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi dinamik koşullar altında da, gömülme derinliğinin

artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte gevşek kumun çekme kapasitesinin, sıkı kumun çekme kapasitesinden ortalama %27 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 6. Kum zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm)

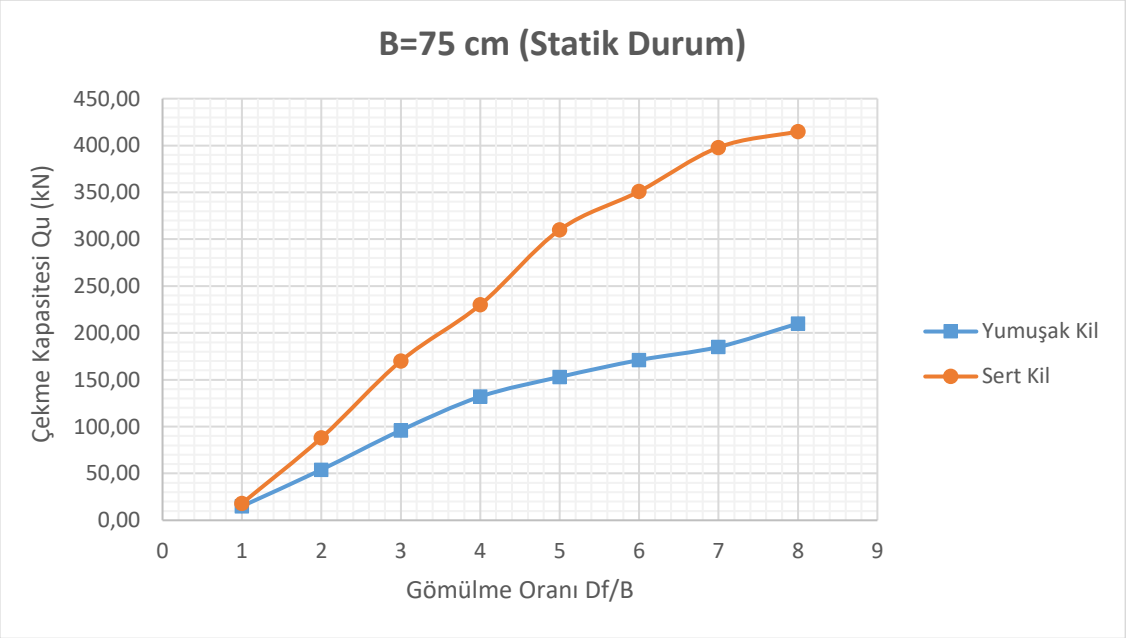
4.2.2. Kil Zemin (B=75 cm)

Çizelge 4.7.'de B=75 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde yumuşak kil ve sert kil durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7. Kil zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)

B=75 cm (Statik)					
		Yumuşak Kil		Sert Kil	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	0,75	26,67	15,00	32,00	18,00
2B	1,5	96,00	54,00	156,44	88,00
3B	2,25	170,67	96,00	302,22	170,00
4B	3	234,67	132,00	408,89	230,00
5B	3,75	272,00	153,00	551,11	310,00
6B	4,5	304,00	171,00	624,00	351,00
7B	5,25	328,89	185,00	707,56	398,00
8B	6	373,33	210,00	737,78	415,00

Şekil 4.7.'de B=75 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi yumuşak kil ve sert kil durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte yumuşak kilin çekme kapasitesinin, sert kilin çekme kapasitesinden ortalama %44 daha az olduğu görülmüştür.



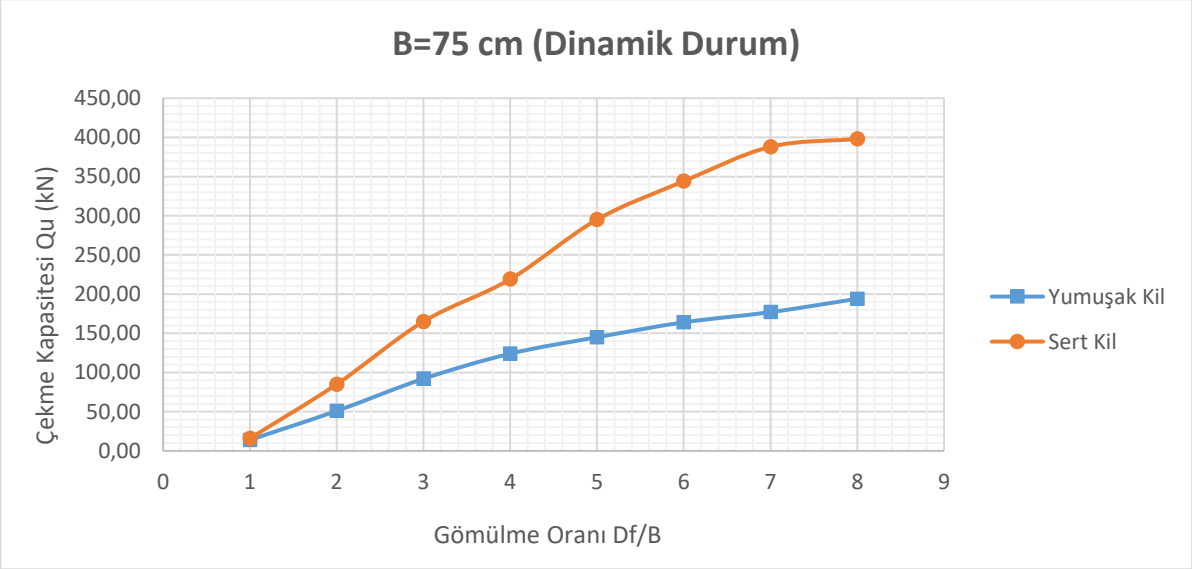
Şekil 4. 7. Kil zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm)

Çizelge 4.8.'de B=75 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde yumuşak kil ve sert kil durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 8. Kil zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=75 cm)

B=75 cm (Dinamik)					
		Yumuşak Kil		Sert Kil	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	0,75	24,89	14,00	28,44	16,00
2B	1,5	90,67	51,00	151,11	85,00
3B	2,25	163,56	92,00	293,33	165,00
4B	3	220,44	124,00	389,33	219,00
5B	3,75	257,78	145,00	524,44	295,00
6B	4,5	291,56	164,00	611,56	344,00
7B	5,25	314,67	177,00	689,78	388,00
8B	6	344,89	194,00	707,56	398,00

Şekil 4.8.'de B=75 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi yumuşak kil ve sert kil durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi dinamik koşullar altında da, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte yumuşak kilin çekme kapasitesinin, sert kilin çekme kapasitesinden ortalama %44 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 8. Kil zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=75 cm)

4.3. Şerit Ankraj Plakasının Çekme Kapasitesi (B=100 cm)

B=100 cm genişliğe ve d=10 cm kalınlığa sahip şerit ankraj plakasına farklı zemin durumları(kum,kil) ve farklı gömülme derinlikleri(1B,2B,...8B) için çekme yükü uygulanmış ve ankrajın çekme kapasitesi analiz edilmiştir. Ayrıca dinamik koşullarda düşey yönlü (y) deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G yer çekimi kuvveti uygulanmıştır.

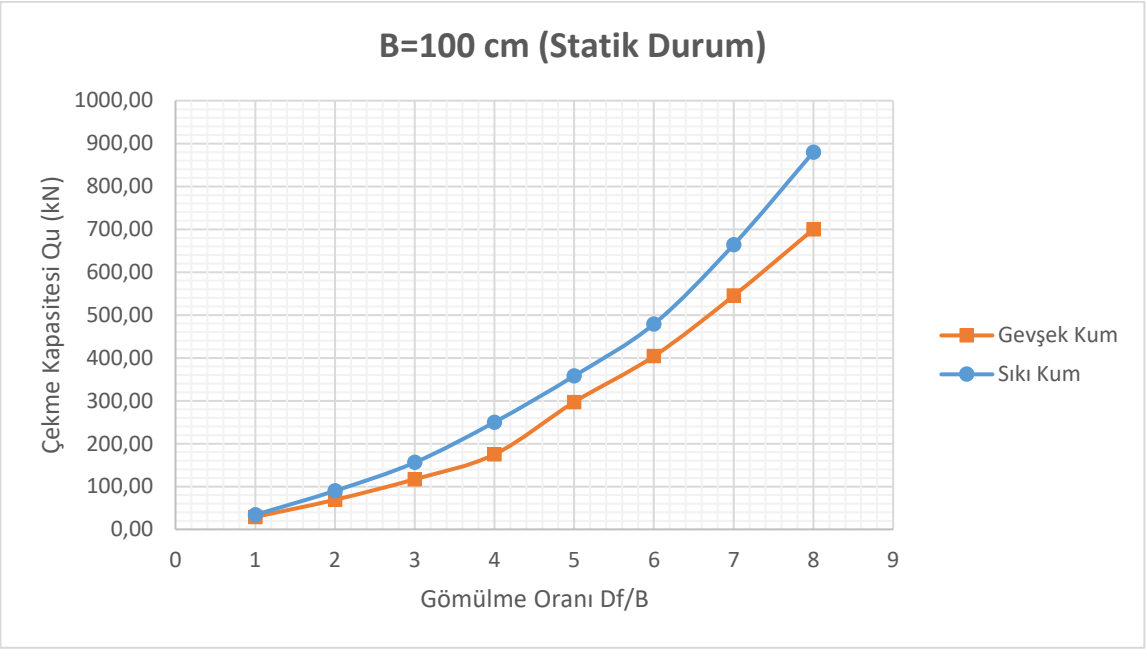
4.3.1. Kum Zemin (B=100 cm)

Çizelge 4.9.'da B=100 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde gevşek kum ve sıkı kum durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 9. Kum zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)

B=100 cm (Statik)					
		Gevşek Kum		Sıkı Kum	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	1	29,00	29,00	34,00	34,00
2B	2	69,00	69,00	90,00	90,00
3B	3	117,00	117,00	156,00	156,00
4B	4	175,00	175,00	250,00	250,00
5B	5	297,00	297,00	358,00	358,00
6B	6	404,00	404,00	479,00	479,00
7B	7	545,00	545,00	664,00	664,00
8B	8	700,00	700,00	880,00	880,00

Şekil 4.9.'da B=100 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi gevşek kum ve sıkı kum durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte gevşek kumun çekme kapasitesinin, sıkı kumun çekme kapasitesinden ortalama %20 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 9. Kum zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm)

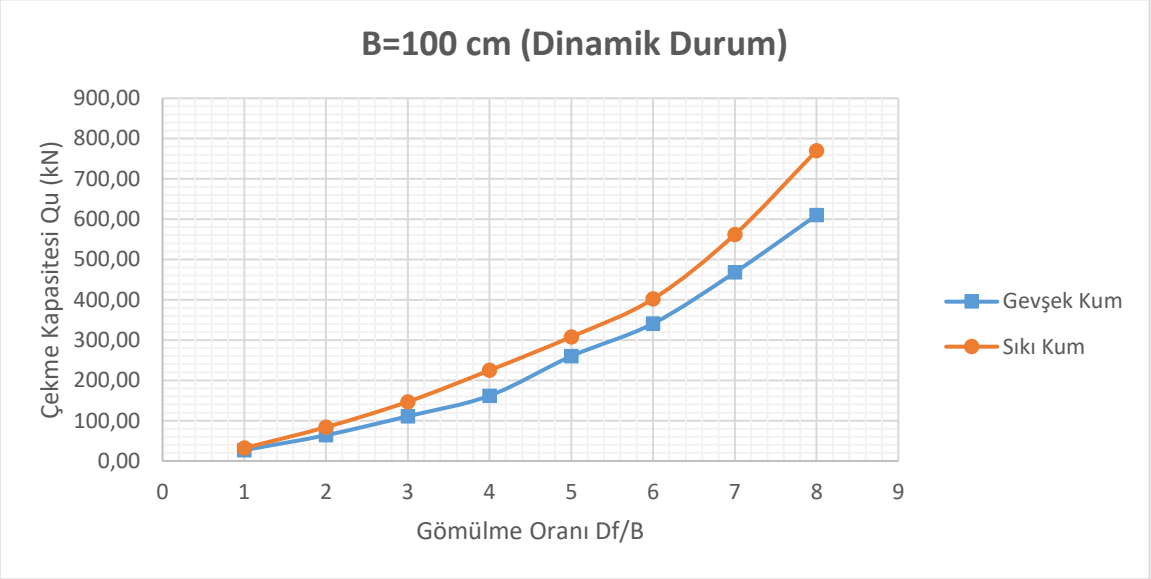
Çizelge 4.10.'da B=100 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde gevşek kum ve sıkı kum durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 10. Kum zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)

B=100 cm (Dinamik)					
		Gevşek Kum		Sıkı Kum	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	1	27,00	27,00	32,00	32,00
2B	2	64,00	64,00	84,00	84,00
3B	3	111,00	111,00	147,00	147,00
4B	4	162,00	162,00	225,00	225,00
5B	5	260,00	260,00	308,00	308,00
6B	6	341,00	341,00	402,00	402,00
7B	7	468,00	468,00	562,00	562,00
8B	8	610,00	610,00	770,00	770,00

Şekil 4.10.'da B=100 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi gevşek kum ve sıkı kum durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir.

Ankraj plakasının çekme kapasitesi dinamik koşullar altında da, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte gevşek kumun çekme kapasitesinin, sıkı kumun çekme kapasitesinden ortalama %20 daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 10. Kum zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm)

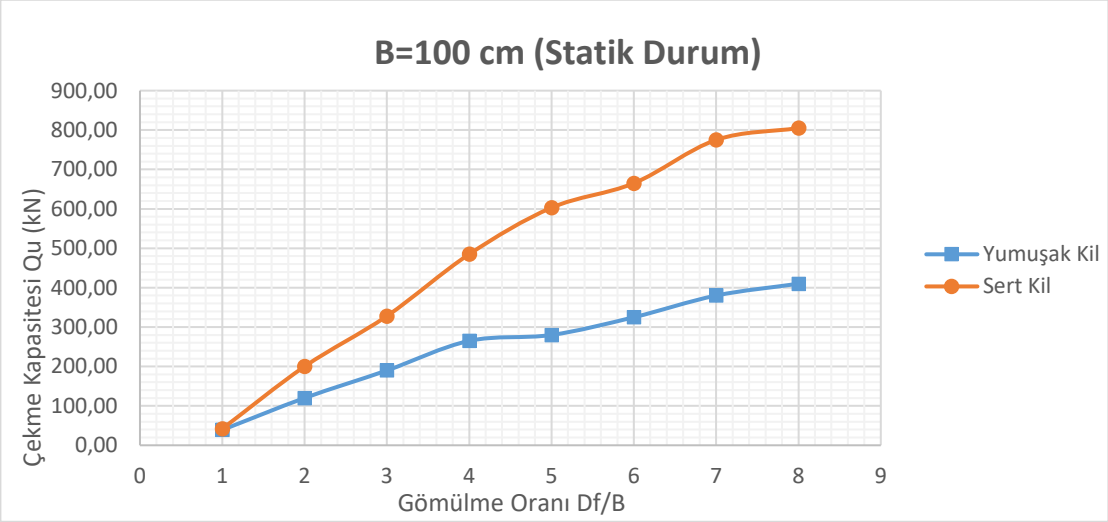
4.3.2. Kil Zemin (B=100 cm)

Çizelge 4.11.'de B=100 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde yumuşak kil ve sert kil durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 11. Kil zeminde statik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)

B=100 cm (Statik)					
		Yumuşak Kil		Sert Kil	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	1	39,00	39,00	42,00	42,00
2B	2	120,00	120,00	200,00	200,00
3B	3	190,00	190,00	328,00	328,00
4B	4	265,00	265,00	485,00	485,00
5B	5	280,00	280,00	603,00	603,00
6B	6	325,00	325,00	665,00	665,00
7B	7	380,00	380,00	775,00	775,00
8B	8	410,00	410,00	805,00	805,00

Şekil 4.11.'de B=100 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi yumuşak kil ve sert kil durumları için statik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte yumuşak kilin çekme kapasitesinin, sert kilin çekme kapasitesinden ortalama %43 daha az olduğu görülmüştür.



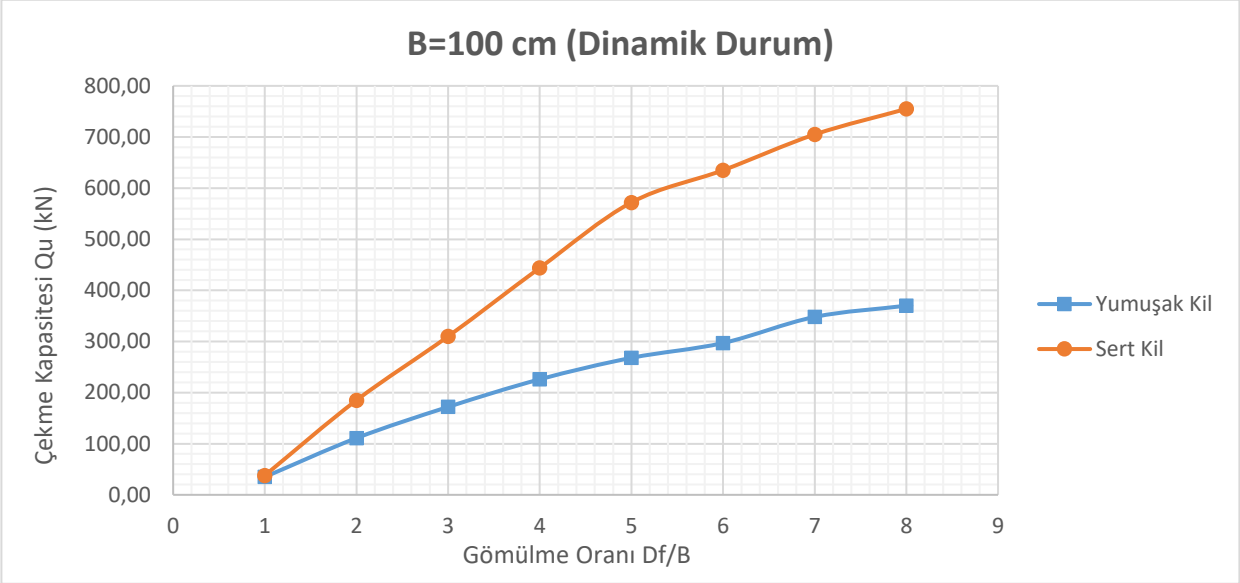
Şekil 4. 11. Kil zeminde statik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm)

Çizelge 4.12.'de B=100 cm genişliğe sahip ankraj plakanın çekme kapasitesi değerleri farklı gömülme derinliklerinde yumuşak kil ve sert kil durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir.

Çizelge 4. 12. Kil zeminde dinamik koşullar altında çekme kapasitesi değerleri (B=100 cm)

B=100 cm (Dinamik)					
		Yumuşak Kil		Sert Kil	
Df/B	Df (m)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)	Gerilme (kN/m^2)	Qu (kN)
1B	1	35,00	35,00	38,00	38,00
2B	2	111,00	111,00	185,00	185,00
3B	3	172,00	172,00	310,00	310,00
4B	4	226,00	226,00	444,00	444,00
5B	5	268,00	268,00	572,00	572,00
6B	6	297,00	297,00	635,00	635,00
7B	7	348,00	348,00	705,00	705,00
8B	8	370,00	370,00	755,00	755,00

Şekil 4.12.'de B=100 cm genişliğe sahip şerit ankraj plakanın çekme kapasitesinin değişimi yumuşak kil ve sert kil durumları için dinamik koşullar altında gösterilmiştir. Ankraj plakasının çekme kapasitesi dinamik koşullar altında da, gömülme derinliğinin artması ile birlikte artmış ve aynı derinlikte yumuşak kilin çekme kapasitesinin, sert kilin çekme kapasitesinden ortalama %44 daha az olduğu görülmüştür.

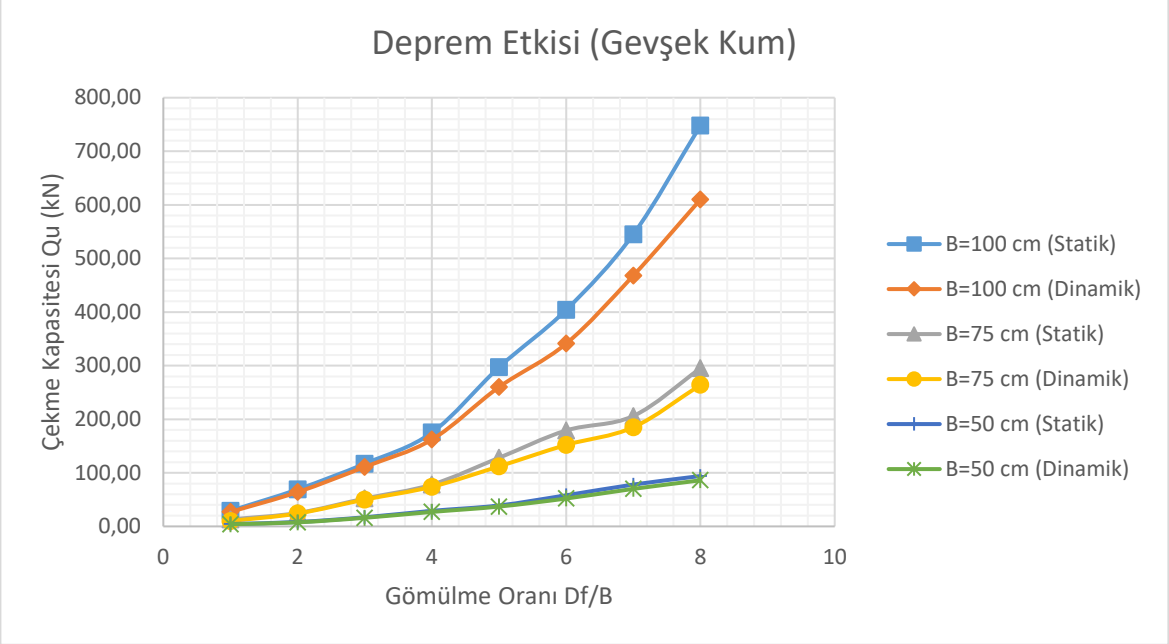


Şekil 4. 12. Kil zeminde dinamik koşullar altında Çekme Kapasitesi – Gömülme Oranı ilişkisi (B=100 cm)

4.4. Deprem Etkisi

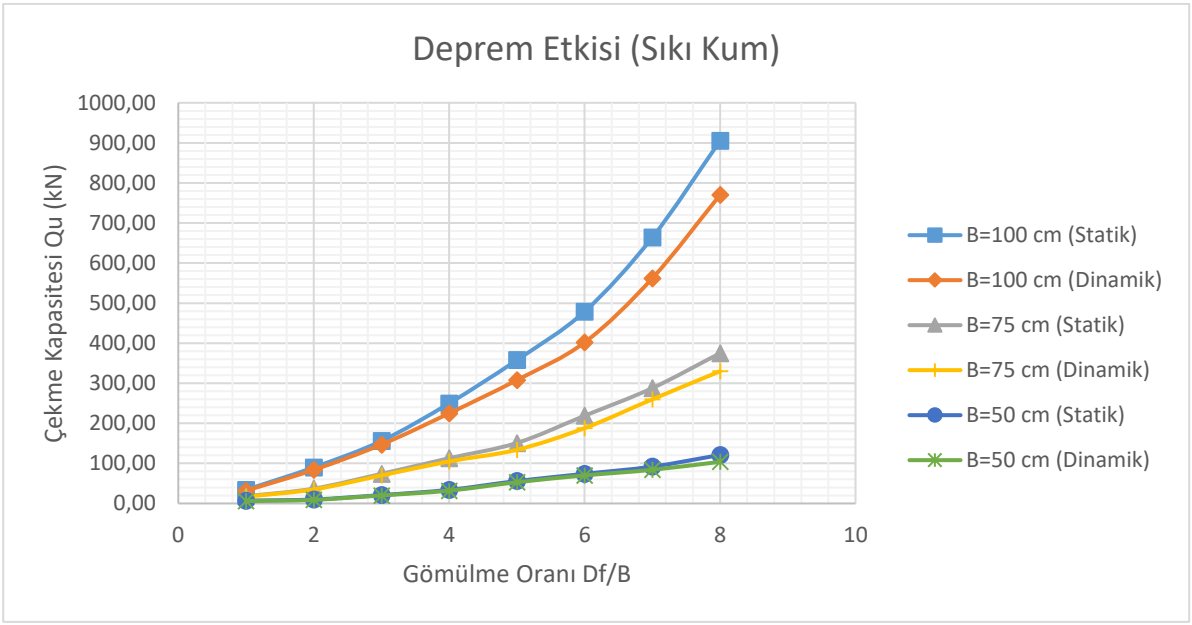
4.4.1. Kum Zemin

Şekil 4.13.'te gevşek kum zemin durumu için, hem statik hem dinamik koşullar altında çekme kapasitesinin değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, ankraj plakasının genişliği arttıkça hem statik hem de dinamik koşullar altında çekme kapasitesi artmaktadır. Ayrıca modellenen gevşek kum zemine etkiyen 0,1 G'lik deprem yükü (dinamik durum), ankrajın çekme kapasitesini statik duruma göre ortalama %10 azaltmıştır.



Şekil 4. 13. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Gevşek kum)

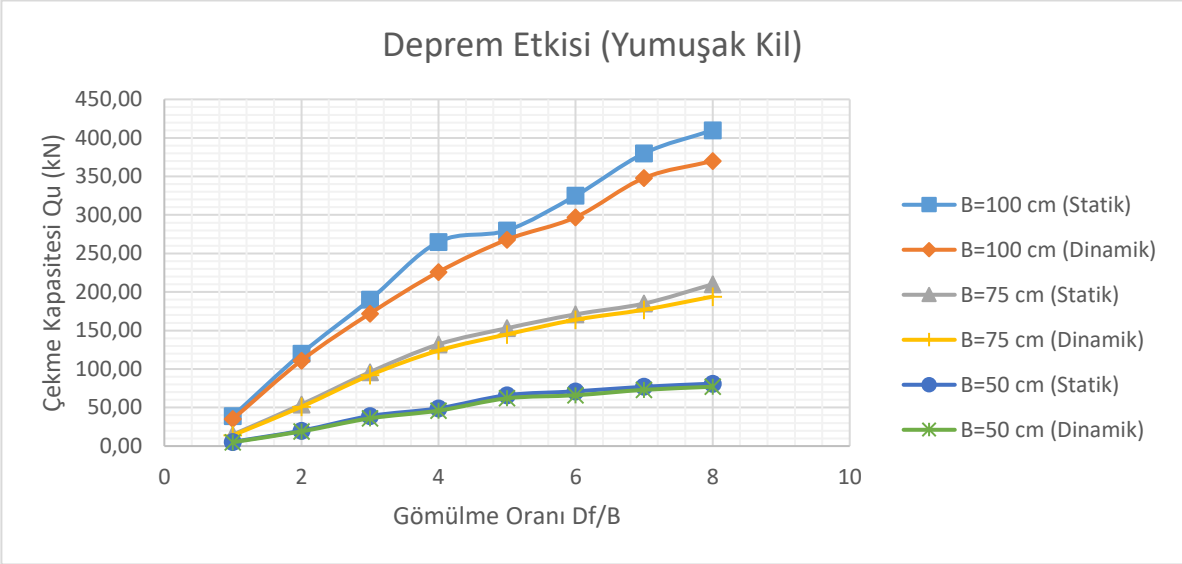
Sıkı kum durumunda deprem yükünün çekme kapasitesine olan etkisi, gevşek kum durumundakine benzer olup, Şekil 4.14.'te gösterilmektedir. Sıkı kum durumunda deprem yükü, ankrajın çekme kapasitesini statik duruma göre ortalama %9 azaltmıştır.



Şekil 4. 14. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Sıkı kum)

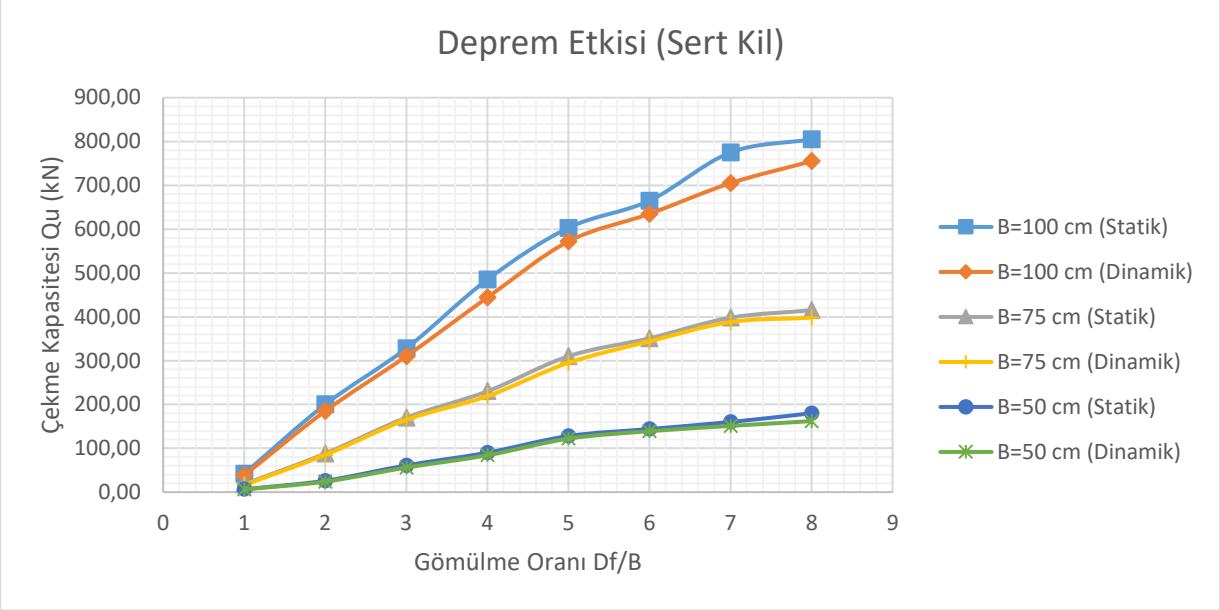
4.4.2. Kil Zemin

Şekil 4.15.'te yumuşak kil zemin durumu için, hem statik hem dinamik koşullar altında çekme kapasitesinin değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, ankraj plakasının genişliği arttıkça hem statik hem de dinamik koşullar altında çekme kapasitesi artmaktadır. Ayrıca modellenen yumuşak kil zemine etkiyen 0,1 G'lik deprem yükü (dinamik durum), ankrajın çekme kapasitesini statik duruma göre ortalama %7 azaltmıştır.



Şekil 4. 15. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Yumuşak kil)

Sert kil durumunda deprem yükünün çekme kapasitesine olan etkisi, yumuşak kil durumundakine benzer olup, Şekil 4.16.'da gösterilmektedir. Sert kil durumunda deprem yükü, ankrajın çekme kapasitesini statik duruma göre ortalama %6 azaltmıştır.

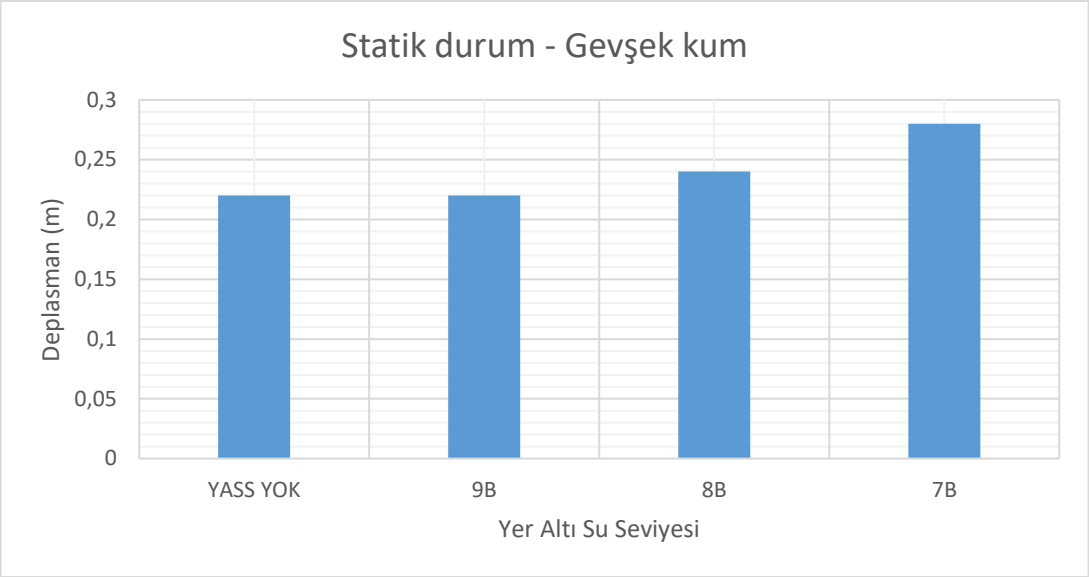


Şekil 4. 16. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Sert kil)

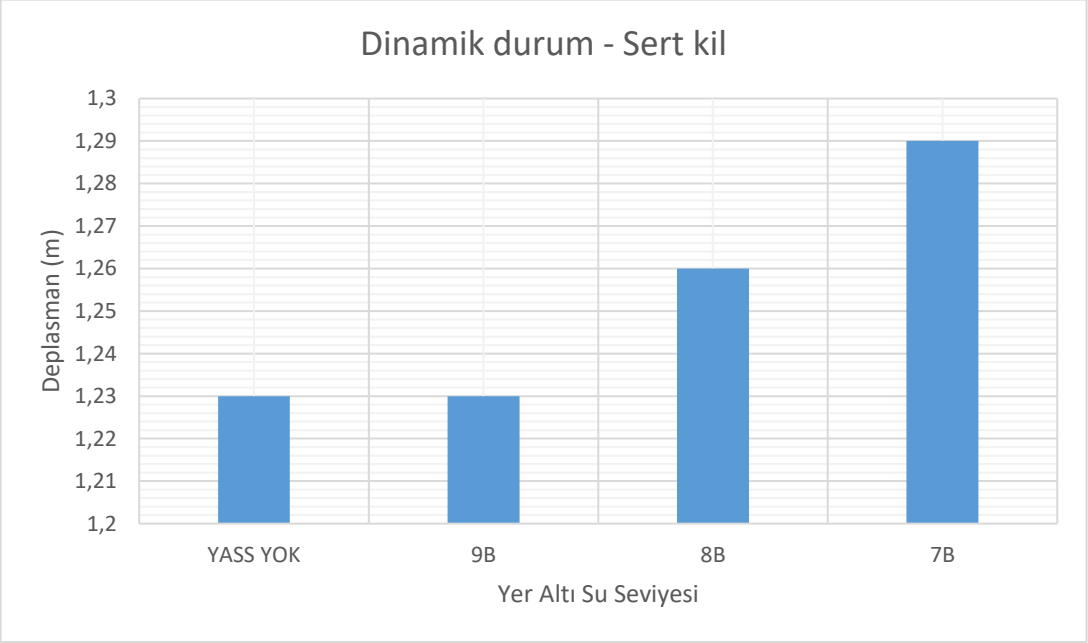
4.5. Yer Altı Suyu Etkisi

8B gömülme derinliğinde 100 cm genişliğe sahip ankraj plakasına 7B, 8B ve 9B derinliğe sahip üç farklı durumda yer altı suyu etki ettirilmiş ve sonuçlar yer altı suyunun bulunmadığı durum ile karşılaştırılıp ankrajın yaptığı deplasman statik ve dinamik koşullar altında incelenmiştir. Yer altı su seviyesinin 9B derinliğinde bulunduğu durum ile yer altı suyunun bulunmadığı durum arasında deplasman farklı oluşmamıştır. Ankraj ile aynı seviyede yer altı suyunun bulunduğu durumda ise, yer altı suyunun olmadığı duruma göre daha fazla deplasman meydana gelmiştir. En fazla deplasman, ankrajın yer altı suyundan 1B daha aşağıda olduğu durum, 7B derinliğinde oluşmuştur. Bu sonuçlar kum-kil zemin ve statik-dinamik koşullar fark etmeksizin benzerlik göstermektedir.

Statik koşullar altında yer altı su seviyesinin bulunmadığı durum (YASS YOK) ile 7B, 8B, 9B derinliğinde yer altı su seviyesinin bulunduğu gevşek kum durumunda oluşan deplasman-yer altı su seviyesi grafiği Şekil 4.17.'de, dinamik koşullar altında yer altı su seviyesinin bulunmadığı durum (YASS YOK) ile 7B, 8B, 9B derinliğinde yer altı su seviyesinin bulunduğu sert kil durumunda oluşan deplasman-yer altı su seviyesi grafiği Şekil 4.18.'de gösterilmiştir.



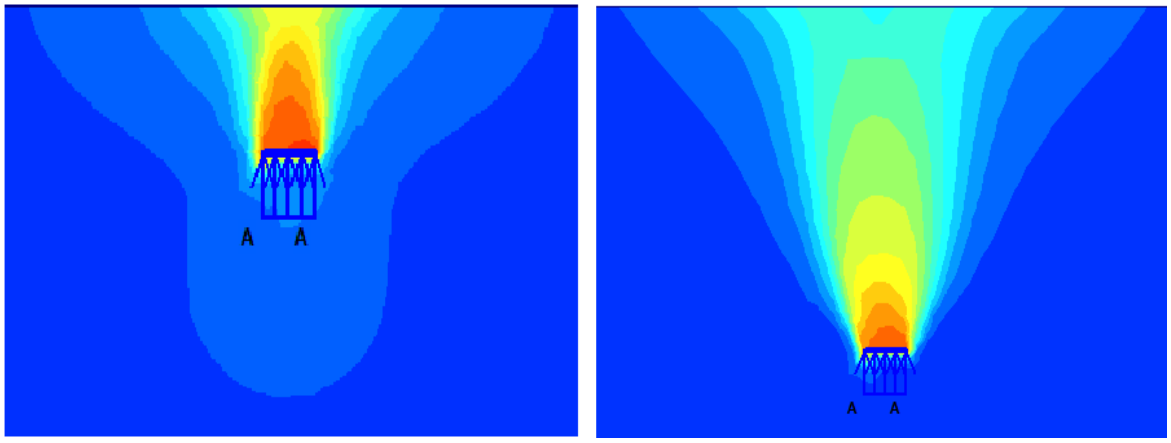
Şekil 4. 17. Deplasman-Yer altı su seviyesi ilişkisi (Statik durum – Gevşek kum)



Şekil 4. 18. Deplasman-Yer altı su seviyesi ilişkisi (Dinamik durum – Sert kil)

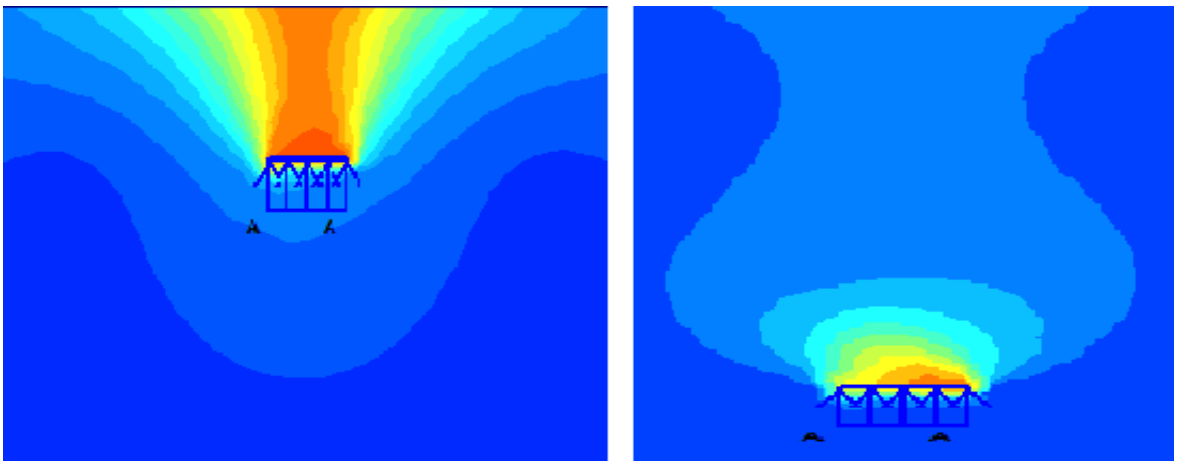
4.6. Gömülme Derinliği Etkisi

Aynı ankraj genişliği, aynı zemin sıkılığı ve aynı koşullar altında analiz edilen şerit ankraj plakalarının farklı gömülme derinliklerinde oluşan göçme mekanizmaları incelenmiştir. Şekil 4.19-a ve Şekil 4.20-a'da gömülme oranının (Df/B) 2 olduğu durumda, göçme mekanizması zemin üst yüzeyine kadar ulaşmakta ve sığ temel koşulları oluşmaktadır. Gömülme oranının (Df/B) 7 olduğu Şekil 4.19-b ve Şekil 4.20-b'de ise, derin temel koşulu oluşmakta, ayrıca göçme mekanizmasının üst yüzeye ulaşmasının ve üst yüzeyde oluşturduğu etkinin azaldığı görülmektedir.



a. Df=2B b. Df=7B

Şekil 4. 19. Göçme Mekanizması (B=75 cm, Sıkı kum, Statik durum)

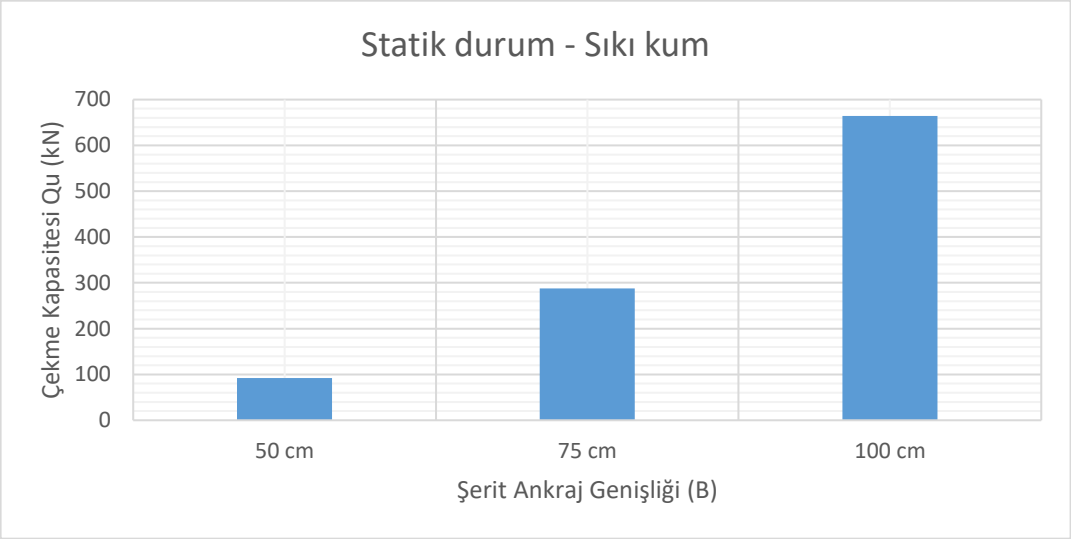


a. Df=2B b. Df=7B

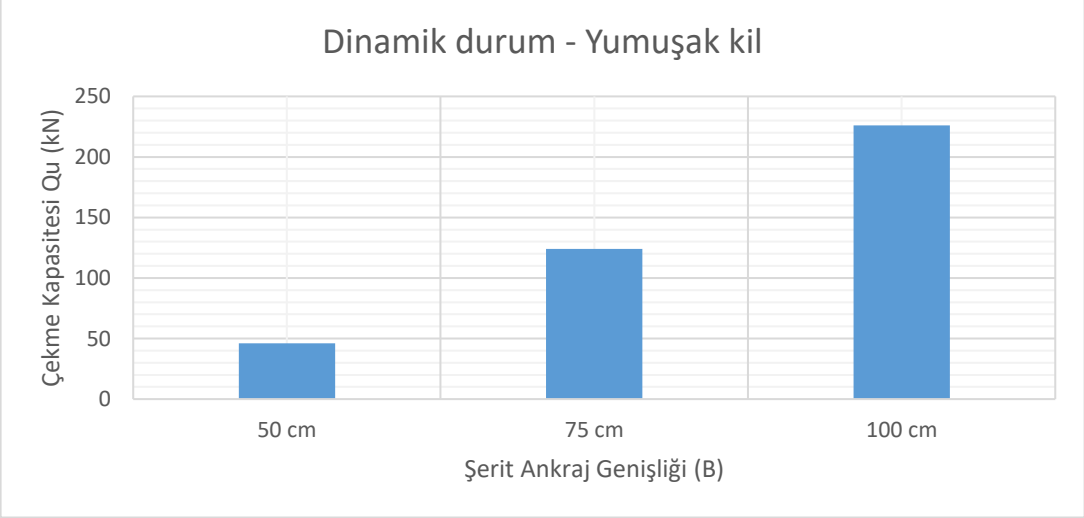
Şekil 4. 20. Göçme Mekanizması (B=100 cm, Yumuşak kil, Dinamik durum)

4.7. Ankraj Genişliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi

Statik koşullar altında 7B gömülme derinliğine sahip sıkı kum durumunda 3 farklı genişlikteki ankraj plakalarının çekme kapasitesindeki ilişki Şekil 4.21.'de, dinamik koşullar altında 4B gömülme derinliğine sahip yumuşak kil durumunda 3 farklı genişlikteki ankraj plakalarının çekme kapasitesindeki değişim Şekil 4.22.'de gösterilmiştir. Her iki durumda da aynı gömülme derinliği, aynı zemin sıkılığı ve aynı koşullar altında analiz edilen ankraj plakalarının genişliğinin artması çekme kapasitesini arttırmıştır.



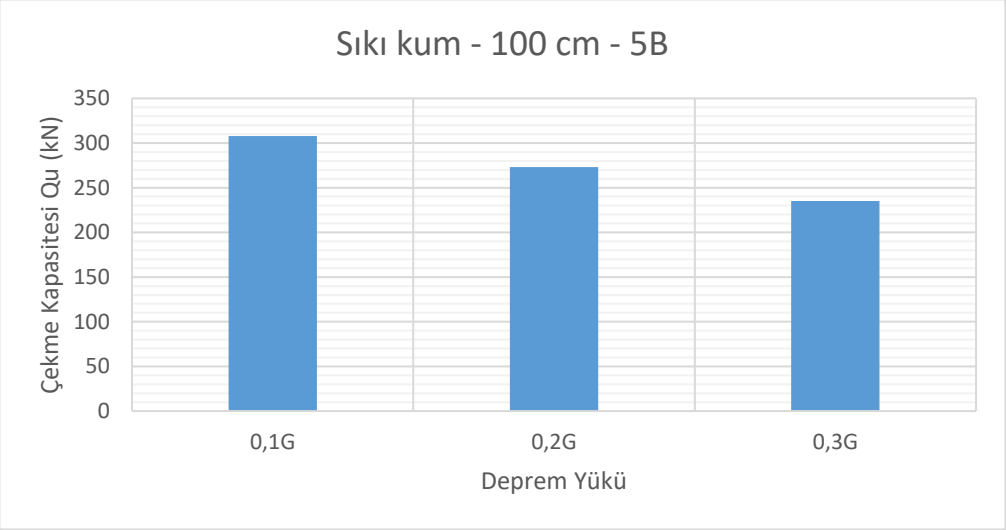
Şekil 4. 21. Ankraj genişliğine bağlı çekme kapasitesi değerleri (Statik durum – Sıkı kum – 7B)



Şekil 4. 22. Ankraj genişliğine bağlı çekme kapasitesi değerleri (Dinamik durum – Yumuşak kil – 4B)

4.8. Deprem Yükünün Çekme Kapasitesine Etkisi

Ankraj genişliğinin 100 cm, gömülme derinliğinin 5B olduğu sıkı kum durumunda deprem yükünün etkisini gözlemlemek amacıyla zemine 0,2G ve 0,3G büyüklüğünde dinamik yük etki ettirilmiş, çekme kapasitesindeki değişim 0,1G durumu ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.23.'te görüldüğü gibi, zemine etkiyen deprem yükünün büyüklüğü arttıkça zeminin çekme kapasitesi azalmıştır.



Şekil 4. 23. Deprem yükünün çekme kapasitesine etkisi (Sıkı kum – 100 cm – 5B)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, şerit ankraj plakalarının üç farklı genişlik (B), sekiz farklı gömülme derinliği (Df), gevşek-sıkı kum ve yumuşak-sert kil durumları için statik ve dinamik koşullar altında çekme kapasiteleri analiz edilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Plaxis bilgisayar programı kullanılmış ve analizler, kum zemin için "Hardening Soil" (pekleşen zemin), kil zemin için "Mohr Coulomb" zemin modeli kullanılarak 2 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde deprem etkisini gözlemlemek amacıyla 0,1 G büyüklüğünde düşey yönde dinamik yük etki ettirilmiş, ankrajın çekme kapasitesinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Aynı ankraj genişliği ve aynı zemin koşulları durumunda gömülme derinliğinin göçme mekanizması üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Ayrıca belirli koşullar altında ankraj plakalarına yer altı suyu etki ettirilmiş, ankrajın düşey yönlü yaptığı deplasman yer altı suyunun bulunmadığı durum ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

1) Şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi (Q_u), gömülme derinliğinin (D_f) artışı ile orantılı olarak kum ve kil zeminde, statik ve dinamik koşullar fark etmeksizin artış göstermektedir.

2) Aynı ankraj boyutları ve gömülme derinliklerinde, sıkı kum zeminde, şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi (Q_u), gevşek kum zemine göre statik ve dinamik koşullar altında ortalama %27 daha büyüktür.

3) Aynı ankraj boyutları ve gömülme derinliklerinde, yumuşak kil zeminde, şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi (Q_u), sert kil zemine göre statik ve dinamik koşullar altında ortalama %51 daha küçüktür.

4) Şerit ankrajların genişliği (B) büyüdükçe çekme kapasitesinin arttığı gözlenmiştir.

5) Göçme mekanizmasının, gömülme derinliği ve zemin sıkılık durumundan etkilendiği gözlenmiştir. Gömülme derinliği arttıkça göçme mekanizması, zemin üst yüzeyine daha az ulaşmakta ve zemin üst yüzeyinde oluşturduğu

etkinin azaldığı görülmektedir. Bu durum hem statik hem de dinamik koşullar için geçerlidir.

6) Ankrajdan 1B aşağıda yer altı suyunun bulunduğu durum ile yer altı suyunun bulunmadığı durum arasında düşey yönde deplasman farkı oluşmamıştır. Bu durum hem statik hem de dinamik koşullar için geçerlidir.

7) Ankraj ile aynı seviyede yer altı suyunun bulunduğu durumda, yer altı suyunun bulunmadığı duruma göre düşey yönlü daha fazla deplasman oluşmuştur. Bu durum hem statik hem de dinamik koşullar için geçerlidir.

8) Ankrajdan 1B yukarıda bulunan yer altı su seviyesi, çalışmadaki diğer durumlara kıyasla yer altı suyunun bulunmadığı duruma göre en fazla deplasman farkını oluşturmuştur. Bu durum hem statik hem de dinamik koşullar için geçerlidir.

9) Zemine etkiyen deprem yükünün büyüklüğü arttıkça, zeminin çekme kapasitesi azalmıştır.

10) Zemine etki ettirilen deprem yükü, kil zeminde ankrajın çekme kapasitesini statik duruma göre ortalama %6,5 azaltmıştır.

11) Zemine etki ettirilen deprem yükü, kum zeminde ankrajın çekme kapasitesini statik duruma göre ortalama %9,5 azaltmıştır.

12) Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre 0,1 G büyüklüğe sahip deprem yükü, ankrajın çekme kapasitesini ortalama %8 azaltmıştır.

13) İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda, kare ve dairesel ankrajların dinamik koşullar altında çekme kapasitesi araştırılıp, şekil faktörünün çekme kapasitesi üzerindeki etkisi incelenebilir. Ayrıca donatı kullanımının çekme kapasitesine etkisi dinamik koşullar altında 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., (s. 1,569). Paris, France.

Bhattacharya, P., & Kumar, J. (2013). Seismic pullout capacity of vertical anchors in sand. ***Geomechanics and Geoengineering***, *8*(3), 191-201.

Briaud , J., & Jeanjean, P. (1994). Load Settlement Curve Method for Spread Footings on Sand. ***Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments***, *40*(2), 1774-1804.

Cerato, A. B., & Victor, R. (2009). Effects of Long-Term Dynamic Loading and Fluctuating Water Table on Helical Anchor Performance for Small Wind Tower Foundations. ***Journal of Performance of Constructed Facilities***, *23*(4), 251-261.

Choudhury, D., & Rao, K. S. (2004). Seismic uplift capacity of strip anchors in soil. ***Geotechnical and Geological Engineering***, *22*(1), 59-72.

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

Das, B. (2009). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement. *CRC Press.* Londra.

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

Ganesh, R., Khuntia, S., & Sahoo, J. P. (2018). Seismic uplift capacity of shallow strip anchors: A new pseudo-dynamic upper bound limit analysis. ***Soil Dynamics and Earthquake Engineering***, *109*, 69-75.

Gao, Y., Yang, S., Wu, Y., Li, D., & Zhang, F. (2014). Evaluation of oblique pullout resistance of reinforcements in soil wall subjected to seismic loads. ***Geotextiles and Geomembranes***, *42*(5), 515-524.

Ghosh, P. (2009). Seismic vertical uplift capacity of horizontal strip anchors using pseudo-dynamic approach. ***Computers and Geotechnics***, *36*(1-2), 342-351.

Ghosh, P., & Kumari, R. (2012). Seismic interference of two nearby horizontal strip anchors in layered soil. ***Natural Hazards***, *63*(2), 789-804.

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

Keskin, M. (2015). Model studies of uplift capacity behavior of square plate anchors in geogrid-reinforced sand. ***Geomechanics and Engineering***, *8*(4), 595-613.

Korkmaz, B. (2017). Zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme davranışlarının sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Diyarbakır.

Korkmaz, B., & Keskin, M. (2018). Numerical analysis of uplift capacity of strip plate anchors in reinforced and unreinforced cohesionless soils. 11th International Conference on Geosynthetics. Coex,Seoul,Korea.

Kumar, J. (2002). Seismic Horizontal Pullout Capacity of Vertical Anchors in Sands. ***Canadian Geotechnical Journal***, *39*(4), 982-991.

Lutenegger, A., & Adams, M. (1998). Bearing capacity of footings on compacted sand. International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, (s. 36).

Meyerhof, G. (1973). Uplift resistance of inclined anchors and piles. VIII Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., (s. 167). Moscow.

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

Pain, A., Choudhury, D., Asce, M., & Bhattacharyya, S. (2016). Seismic Uplift Capacity of Horizontal Strip Anchors Using a Modified Pseudodynamic Approach. ***International Journal of Geomechanics***, *16*(1).

Rahimi, M., Tafreshi, S. M., Leshchinsky, B., & Dawson, A. (2018). Experimental and Numerical Investigation of the Uplift Capacity of Plate Anchors in Geocell-Reinforced Sand. ***Geotextiles and Geomembranes***, *46*(6), 801-816.

Rangari, S. M., Choudhury, D., & Dewaikar, D. M. (2013). Computations of Seismic Passive Resistance and Uplift Capacity of Horizontal Strip Anchors in Sand. ***Geotechnical and Geological Engineering***, *31*(2), 569-580.

Trautmann, C., & Kulhawy, F. (1998). Uplift load-displacement behavior of spread foundations. ***Journal of geotechnical engineering***. *ASCE, 114*(2), 168-183.

ÖZGEÇMİŞ

İlkokul ve lise eğitimimi Diyarbakır'da tamamladım. 2012 yılında lisans öğrenimine başladığım Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldum. 2018 yılında Dicle Üniversitesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Anabilim dalında başladığım yüksek lisans eğitimimi mevcut durumda tamamlamış bulunmaktayım.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Şehmus Fırat KANAY
ÖĞRENCİ NO	18806009
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2020-2021
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Geoteknik
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Ankraj Plakalarının Çekme Kapasitesinin Dinamik Analizi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	98
BENZERLİK ORANI	%15
RAPORLAMA TARİHİ	16/07/2021

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 98 sayfalık kısmına ilişkin, 16/07/2021 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *TURNITIN* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 15 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

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

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esaslarını inceledim ve bu Uygulama Esaslarında 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.

Şehmus Fırat KANAY
16/07/2021
(İmza)

16/07/2021 Doç. Dr. M. Salih KESKİN **Tez Danışmanı** (İmza)	16/07/2021 Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK **Anabilim Dalı Başkanı** (İmza)