



Açılı yerleştirilmiş şerit ankrajların çekme davranışının sayısal olarak incelenmesi

Selçuk BİLDİK*

Nişantaşı Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr ORCID: 0000-0002-6799-8616, Tel: (212) 210 10 10

Geliş: 25.09.2018, Kabul Tarihi: 16.11.2018

Öz

Bu çalışmada ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda zemin içerisine gömülmesi durumunda çekme davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Analizler sonlu elemanlar yöntemine dayalı Plaxis 2D 2017 programı ile yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizleri iki farklı kum sıklığında düzlem deformasyon koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde ankrajların gömülme derinliğinin artmasıyla çekme kapasitesi artmaktadır. Ayrıca her iki sıklıktaki kumda ankraj gömülme derinliğinin $H/B=5$ olması durumunda derin temel koşullarının oluştuğu görülmektedir. Analizlerde ayrıca ankrajın 15° , 30° , 45° , 60° ve 75° derece açılarda eğimli olması durumu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ankraj açısı arttıkça çekme kapasitesi artmaktadır.

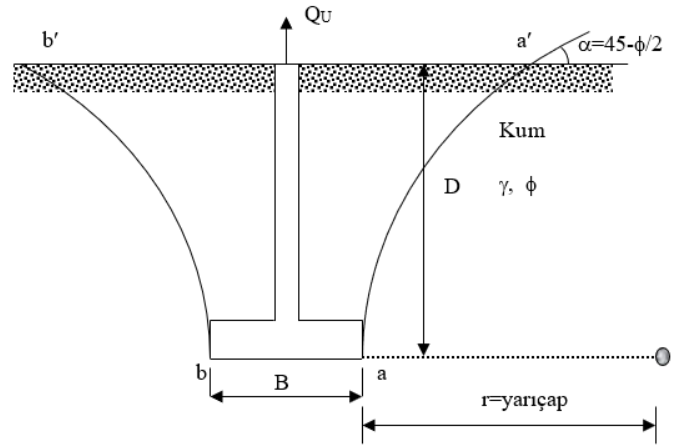
Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar yöntemi; eğimli ankraj; çekme kapasitesi; kopma faktörü, ankraj kapasitesi oranı

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Mühendislik yapılarının temelleri genellikle üst yapıdan gelen yüklere bağlı olarak basınç gerilmelerine maruz kalmaktadırlar. Yapının etkileşim içinde olduğu temel zemininin taşıma gücü ve oturma açısından sorunlu olmaması durumunda basınç gerilmeleri altında temel zemini iyi bir performans göstermektedir. Ancak petrol arama tesisleri, iskeleler, asma köprüler, elektrik ve televizyon direkleri gibi yapılardan temel sistemlerine bazı durumlarda çekme yükleri aktarılmaktadır. Basınç karşısında oldukça iyi performans sağlayan temel sistemlerinin bu durumda çekme gerilmeleri de dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. Bu gerilmelerin karşılanması amacıyla genellikle zemine gömülü temeller veya ankraj sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde çekme gerilmeleri zemine gömülü temel ya da ankraj ağırlığı ve gömülü yapı üzerinde yer alan zemin ağırlığı ile karşılanmaktadır. Zemine gömülü olan sistemlerin zeminden gelen kapasitesi çekme yükünün devreye girmesi esnasında zeminde oluşan yenilme yüzeyleri boyunca oluşan kayma gerilmesi de çekme kapasitesine katkı sağlamaktadır. Çekme anındaki yenilme yüzeylerinden gelen katkı zeminin kayma mukavemetinden doğrudan etkilenmektedir. Dolayısıyla çekme kapasitesi zeminin birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca ankraj plakasının yerleşim şekli ve düzeni de oluşacak yenilme yüzeyini, dolayısıyla ankraj plakasının çekme davranışını etkileyen önemli parametrelerdendir. Ankrajların bir zemin içerisine yatay olarak yerleştirilmesi durumundaki davranışı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ankraj plakalarının çekme davranışı üzerine ilk çalışmalar Balla (1961) tarafından yapılmıştır. Balla çalışmasında model ve arazi deneyleri ile temellerin çekme yükleri altında yenilme yüzeylerinin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmasının sonucunda temel çekme yükleri altında oluşan yenilme yüzeyi ve etkileyen faktörler Şekil 1'de gösterilmektedir. Burada yenilme yüzeyinin zeminin içsel sürtünme açısı, dolayısıyla zeminin sıklık özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

Meyerhof ve Adams (1968) yaptıkları çalışmada sığ bir temelin çekme davranışını inceleyerek, çekme kapasitesinin zeminin sıklığı ile içsel sürtünme açısına bağlı olduğu belirlenmiştir. Nihai yük altında zemindeki yenilme yüzeyinin yatayla yaptığı α açısının büyüklüğünün $90^\circ - (1/3)\phi$ ile $90^\circ - (2/3)\phi$ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Saeedy (1987) temellerin çekme yükleri altındaki davranışlarını boyutsuz parametreler kullanarak incelemiştir. Saeedy yaptığı çalışmada temel çekilmesi ile birlikte temel üstündeki zeminin zamanla sıkışmaya başladığını ve buna bağlı olarak zeminin kayma dayanımı ile çekme kapasitesinin arttığını ifade etmiştir.



Şekil 1. Balla (1961) Tarafından Önerilen Yenilme Yüzeyi (Das, 1999)

Dickin ve Leung (1990) santrifüj deneylerinde geniş tabanlı kazıkların kum içinde çekme yüküne maruz kalma durumunu incelemiş olup, kazık taban çapı ve kum sıklığının çekme kapasitesini değiştiren parametreler olduğunu belirlemişlerdir. Dickin ve Laman (2007) kohezyonsuz zeminlere oturan şerit ankrajların çekme davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Zeminin kopma faktörünün ankrajın zemin içindeki konumu ve zeminin sıklığının artmasıyla arttığını belirlemişlerdir. Bildik (2010) yaptığı çalışmada farklı tiplerdeki ankrajların çekme kapasitesini deneysel olarak incelemiş, ankrajın zemin içindeki gömülme derinliğinin, zemin sıklığının ve ankraj geometrisinin çekme kapasitesini doğrudan etkileyen parametreler olduğunu belirlemiştir.

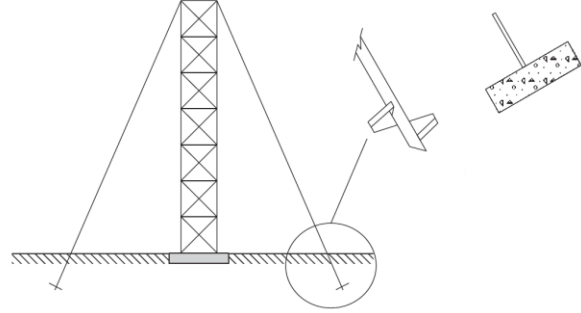
Düz bir zemin ortamına gömülü ankrajlarla ilgili birçok çalışma mevcutken ankrajların zemin içerisine eğimli olarak yerleştirilmesi durumu için sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Goel ve Patra (2006) limit denge yöntemi analizleri ile kum içindeki eğik ankrajların davranışını kopma faktörü cinsinden incelemişlerdir. Farklı zemin sıklığı ve gömülme oranları için ankraj eğiminin artması ile birlikte çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Merifield (2009) ankrajların çekme yükleri altındaki davranışını sınır eleman yöntemi ile sayısal olarak incelemiştir. Merifield yaptığı çalışmada ankrajların farklı gömülme derinliği ve eğim açısında bulunması durumunda kapasitenin nasıl etkilendiğini belirlemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre ankraj gömülme oranı ve ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesinin arttığı görülmektedir. Hanna ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada kum içindeki şerit ankrajların kapasitesini deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada kum zeminin dilatasyon açısının etkisi ile ankrajın rijitliği ve şekil faktörünün davranışa etkileri üzerinde durmuşlardır. Deneysel çalışmalar ile literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde ankraj açısı, zemin özellikleri ve geometrik koşulların davranışı önemli mertebede etkilendiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada şerit ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda kum zemin içinde yer alması durumunda çekme kapasitesinin değişimi sayısal analizler yardımı ile incelenmiştir. Analizler iki farklı kum sıklığı için yapılmış olup, Dickin ve Laman (2007) tarafından yapılan deneysel olarak belirlenen kum zemin parametreleri kullanılmıştır. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan Plaxis 2D 2017 paket programı kullanılmıştır.

Problemin Tanımı ve Araştırılan Parametreler

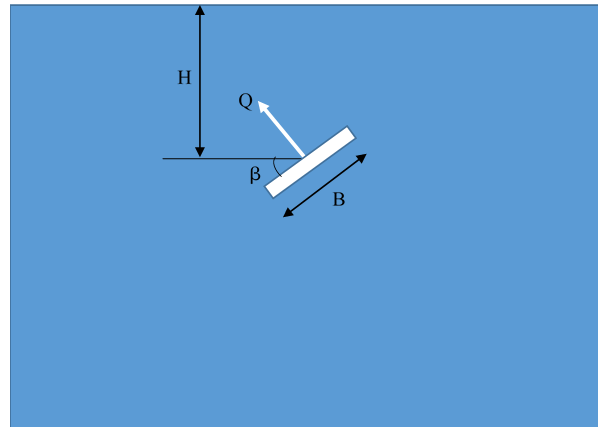
Ankraj sistemleri birçok yapıda çekme kuvvetlerine karşı kullanılmakta olup, deniz yapıları, enerji iletim kuleleri, yol üzerindeki reklam panoları gibi birçok yapıda temel sistemleri çekme yüklerine karşı tasarlanmaktadır. Bu sistemlerde çekme yüküne

maruz temellerin farklı eğim açıları ile yerleştirilmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Özellikle asma köprüler, iletim hattı kuleleri yapıları eğimli ankrajların kullanıldığı sistemlerin başında gelmektedir (Şekil 2). Ankraj sistemlerinin kapasitesi, ankraj üzerindeki zemin yükü ile doğrudan ilişkili olduğundan ankrajın yerleşim şekli davranışı doğrudan etkileyen faktördür.



Şekil 2. Eğimli Ankrajların Kullanımı (Merifield, 2009)

Bu çalışmada eğimli ankrajların çekme kapasitesi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada ankraj plakasının düz olarak yerleştirilmesi ile birlikte 0° , 15° , 30° , 45° , 60° ve 75° derece açılarla zemin içerisine yerleştirilmesi durumları da araştırılmıştır. Ayrıca ankrajın gömülme derinliğinin değişimi de analizlerde incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen problem geometrisi Şekil 3'de sunulmaktadır. Çalışma kapsamında zemin sıklığı, gömülme oranı H/B ve ankraj yerleşim açısı β değerleri incelenmiştir.



Şekil 3. Problem Geometrisi

Sayısal Analizler

Ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda zemin içerisine yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesi değişimleri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizler iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayalı Plaxis 2017 2D programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçek boyutta bir model seçilmiş olup, 1 m genişliğinde şerit bir ankraj kullanılarak, iki boyutlu düzlem deformasyon durumunda analizler gerçekleştirilmiştir. Boyut etkisinin oluşmaması için yapılan ön analizler sonucunda ankraj genişliği 25B genişlik ve 10B derinlikte oluşturulup analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Dickin ve Laman (2007) tarafından kullanılan zemin parametreleri kullanılmış olup, analizler, pekleşen zemin modeli olarak tanımlanan, Hardening Soil (HS model) modeli ile yapılmıştır. Analizlerde kullanılan zemin özellikleri Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2. Analizlerde kullanılan HS model zemin parametreleri (Dickin ve Laman, 2007)

Parametre	Gevşek	Sıkı
Birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)	14.50	16.40
E_{50} (kN/m ²)	5000	20000
E_{ur} (kN/m ²)	15000	60000
E_{oed} (kN/m ²)	5000	20000
İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	35	51
Kohezyon, c (kN/m ²)	0.5	0.5
Dilatasyon açısı, ψ (°)	5	21
Ref. basınç değeri, P_{ref} , kN/m ²	100	100
Zemin basınç katsayısı, K_0 (-)	0.43	0.23
Göçme oranı, R_f , (-)	0.90	0.90

Analiz Programı

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde iki farklı kum sıklılığı dikkate alınmış olup, her iki sıklılık için sekiz farklı gömülme derinliği ve altı farklı yerleşim açısı için toplam 96 analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz programı ve analizlerde dikkate alınan parametreler Tablo 3’de özetlenmektedir.

Analiz sonuçlarının gösterilmesinde boyutsuz bir parametre olan, kopma faktörü F_q (Breakout Factor) kullanılmıştır. Kopma faktörünü ifade eden bağıntı Denklem 1’de verilmektedir.

Eğik ankrajların kapasite değişiminin karşılaştırılması amacıyla bu çalışmada ankrajın açılı olması durumundaki çekme kapasitesinin, açısız olması durumundaki çekme kapasitesine bölünmesiyle elde edilen çekme kapasitesi oranı UCR (Uplift Capacity Ratio) boyutsuz parametre olarak tanımlanmış ve Denklem 2’de sunulmuştur.

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma \times A \times D_f} \quad (1)$$

Burada;

A : Temelin Alanı

F_q : Kopma Faktörü (Breakout Factor)

Q_u : Çekme Yüğü

γ : Zeminin Birim Hacim Ağırlığı olarak tanımlanmaktadır.

$$UCR = \frac{Q_{açılı}}{Q_{açısız}} \quad (2)$$

Burada;

UCR : Çekme Kapasitesi Oranı (Uplift Capacity Ratio)

$Q_{açılı}$: Açılı Durumdaki Ankrajın Çekme Kapasitesi

$Q_{açısız}$: Açısız Durumdaki Ankrajın Çekme Kapasitesidir.

Tablo 3. Analiz programı

Kum Sıklılığı	Gömülme Oranı (H/B)	Yerleşim Açısı (β)
Gevşek	H/B=1~8	$\beta=0, 15, 30, 45, 60, 75$
Sıkı	H/B=1~8	$\beta=0, 15, 30, 45, 60, 75$

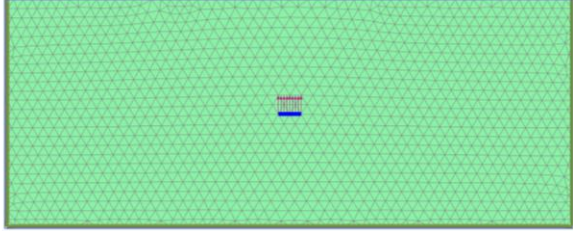
Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında zemin sıklılığı, gömülme oranı H/B ve ankraj yerleşim açısı β değerleri incelenmiştir.

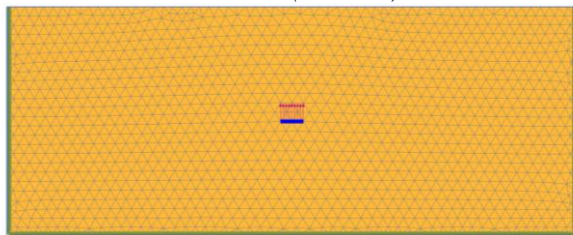
Gömülme Derinliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi

Yapılan sayısal analizlerde gömülme derinliğinin ankrajların çekme kapasitesine etkisini belirlemek amacıyla altı farklı ankraj açısı için sekiz farklı gömülme derinliğinde analizler yapılmıştır. Analizler iki farklı zemin sıklılığı için yapılmış olup sonuçlar kopma faktörü F_q ve ankraj çekme kapasitesi oranı UCR cinsinden karşılaştırılmıştır. Gevşek kum zemin için sonlu elemanlar modeli Şekil 4’de, sıkı kum zemin için sonlu elemanlar modeli ise Şekil 5’de

sunulmaktadır. Analizler deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiş olup, ankraj genişliğinin %10'u kadar deformasyon yapması durumundaki çekme kapasitesi değerleri dikkate alınmıştır.



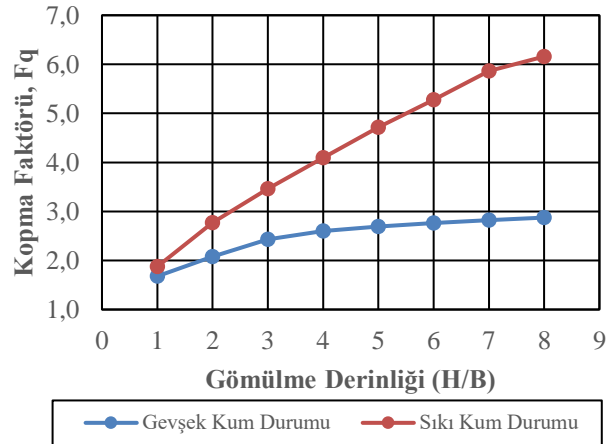
Şekil 4. Gevşek kum zemin için sonlu elemanlar modeli (H/B=5)



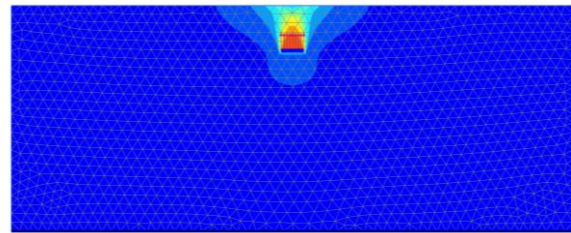
Şekil 5. Sıkı kum zemin için sonlu elemanlar modeli (H/B=5)

Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda gömülme derinliğinin artışı ile birlikte ankraj çekme kapasitesinin dolayısıyla kopma faktörünün arttığı görülmüştür. Gevşek ve sıkı kum zemin için gömülme derinliği ile kopma faktörü arasındaki ilişki Şekil 6'da toplu olarak gösterilmektedir. Gevşek kum zemin koşullarındaki sonuçlar incelendiğinde kopma faktörü değerinin H/B=5 gömülme derinliğine kadar arttığı ve daha sonra yatayla asimptota yaklaştığı görülmektedir. Bu durum H/B=5 gömülme derinliğinden sonra derin temel koşullarının oluştuğunu göstermektedir. Deformasyonlar H/B=8 durumunda tamamen zemin içinde oluşmaktadır (Şekil 7). Sıkı kum zemin koşullarında ise kopma faktörü gömülme derinliği ile doğrusal olarak artış göstermektedir. Gömülme derinliği arttıkça çekme kapasitesi dolayısıyla kopma faktörü artmaktadır. Sıkı zemin koşullarında genel göçme mekanizması oluşmakta olup, H/B=5 gömülme derinliğinde deformasyonlar yüzeye yansımaktadır (Şekil 8). Sonuçlar değerlendirildiğinde, gevşek zemin koşullarında ankrajın H/B=1 gömülme derinliğinden H/B=8 derinliğine yerleştirilmesi durumunda kapasite 2 kata kadar artış göstermektedir. Bu artış sıkı zemin koşullarında

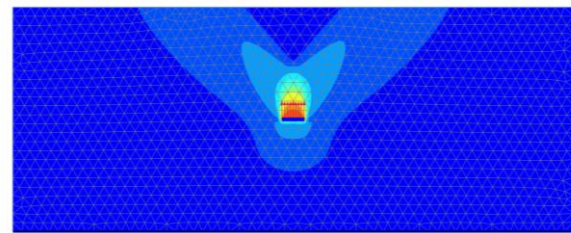
3 kata kadar çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ankraj plakalarının çekme kapasitesi ile çekme yükü altında göçme mekanizmalarının ankrajın gömülme derinliği ve zemin sıklılığı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Ankrajın H/B=5 ve daha derine yerleştirilmesi durumunda yenilme yüzeyinin zemin içinde kaldığı ve derin temel koşullarının geçerli olduğu anlaşılmaktadır.



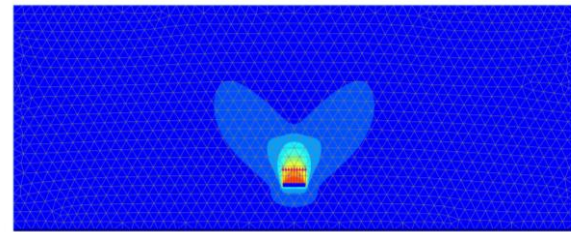
Şekil 6. Gevşek ve sıkı kum zemin için kopma faktörü – gömülme derinliği değişimi



a) H/B=2

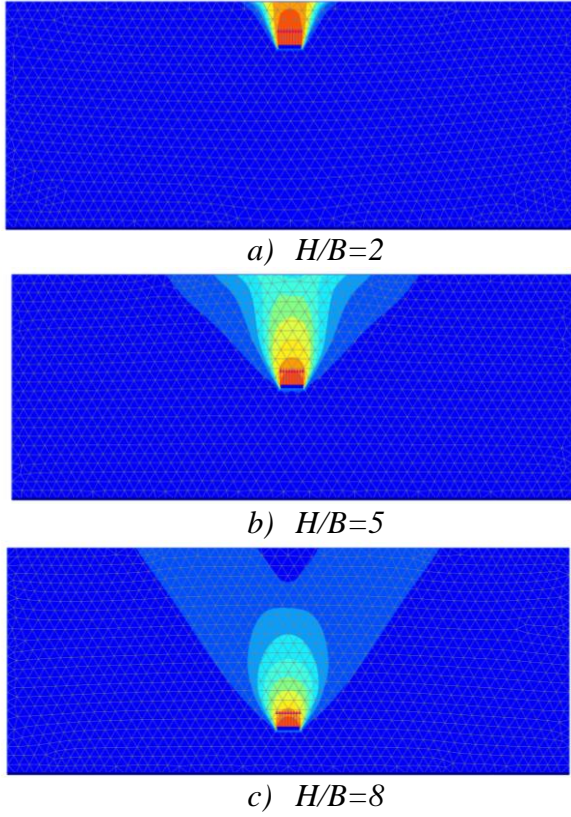


b) H/B=5



c) H/B=8

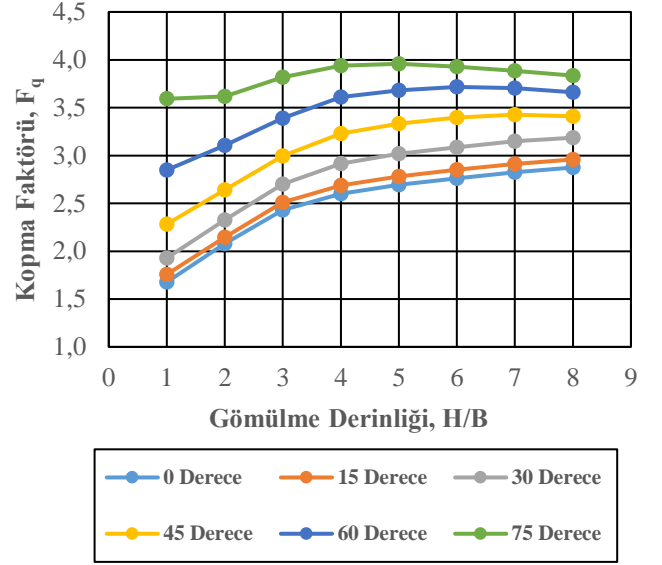
Şekil 7. Gevşek kum zemin için ankrajların göçme mekanizmaları



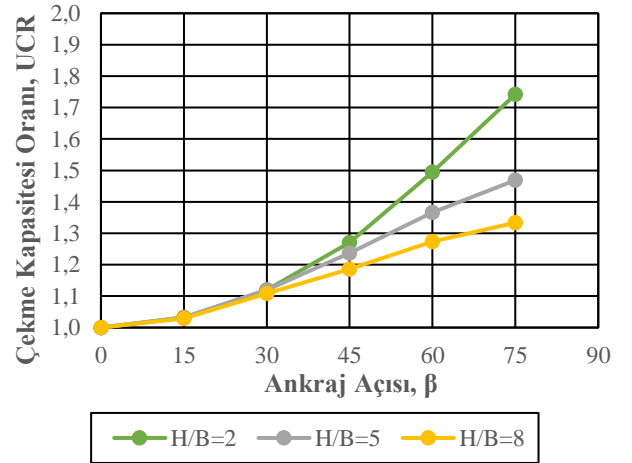
Şekil 8. Sıkı kum zemin için ankrajların göçme mekanizmaları

Ankraj Yerleşim Açısının Çekme Kapasitesine Etkisi

Çalışma kapsamında ankrajların yerleşim açısının çekme kapasitesi davranışına etkisi incelenmiştir. Gevşek ve sıkı kum zeminler için sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Gevşek kum zemin için yapılan analizlere ait sonuçlar Şekil 9'da sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde gömülme derinliğinin yanı sıra ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesi artmaktadır. Gömülme derinliği dikkate alındığında ankrajın daha yüzeysel derinliklerde eğimli olarak yerleştirilmesi durumunda daha yüksek performans elde edilmektedir. Üç farklı gömülme derinliği için ankraj açısının çekme kapasitesi oranına etkisi Şekil 10'da sunulmaktadır. Ankraj açısının 75° olması durumunda $H/B=8$ gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi yaklaşık 1.3 kata çıkarken bu değer $H/B=2$ gömülme derinliği için yaklaşık 1.8 kat mertebesindedir.



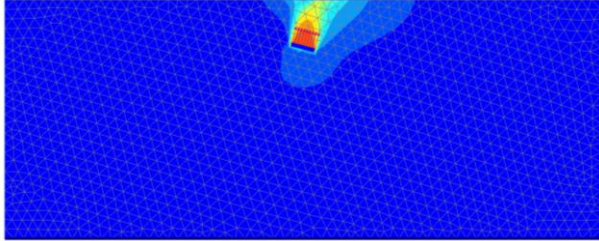
Şekil 9. Gevşek kum zeminde farklı açılarda kopma faktörü-gömülme derinliği değişimi



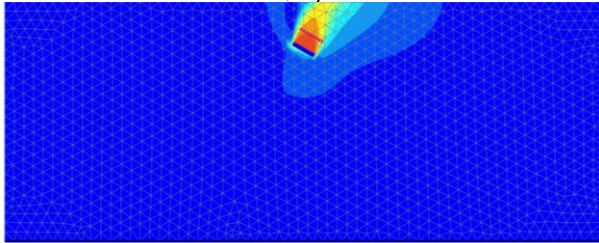
Şekil 10. Gevşek kum zeminde farklı gömülme derinliğinde ve yerleşim açılarında çekme kapasitesi oranı değişimi

Sonlu elemanlar analizlerinde gevşek kum zemin için $H/B=2$ ve $H/B=5$ gömülme derinlikleri için deplasman konturları Şekil 11 ve Şekil 12'de sunulmaktadır. Deplasman konturları incelendiğinde ankrajın eğimli yerleştirilmesi durumunda ankraj üzerinde yüzeyle yakın bölgede pasif bölgeler oluştuğu ancak yenilme yüzeyinin gömülme derinliği ile birlikte arttığı görülmektedir. $H/B=2$ durumuna ait deplasman konturlarından ankrajın eğik yerleştirilmesi durumunda yüzeysel temel koşullarının sağlandığı anlaşılmaktadır. Şekil 12'de $H/B=5$ durumuna ait deplasman konturları

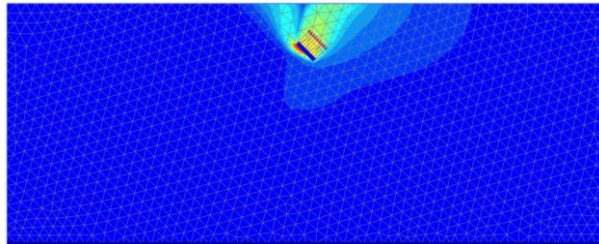
incelendiğinde deplasmanın genel olarak zemin içinde kaldığı ve derin temel koşullarının oluştuğu anlaşılmaktadır. $H/B=2$ ve $H/B=5$ gömülme derinliği durumları için ankraj açısının artmasıyla birlikte yatay yöndeki deformasyonların davranışta belirleyici olduğu anlaşılmaktadır.



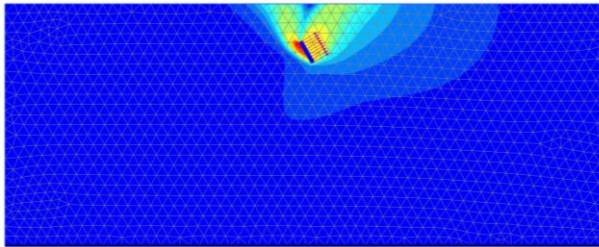
a) $\beta=15^\circ$



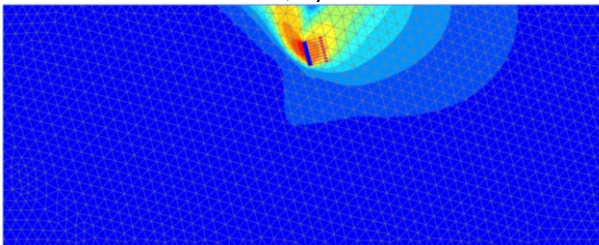
b) $\beta=30^\circ$



c) $\beta=45^\circ$

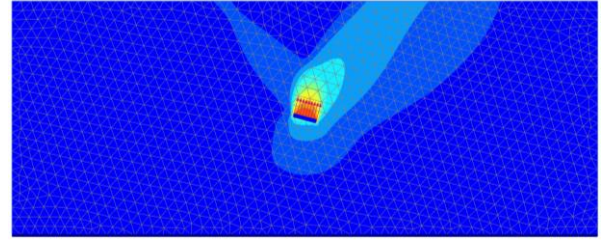


d) $\beta=60^\circ$

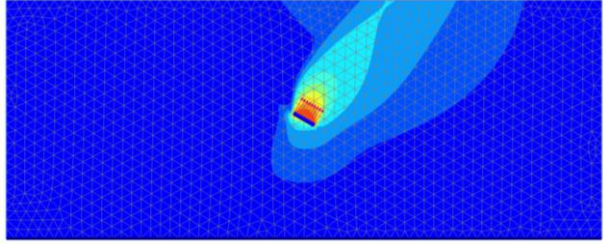


e) $\beta=75^\circ$

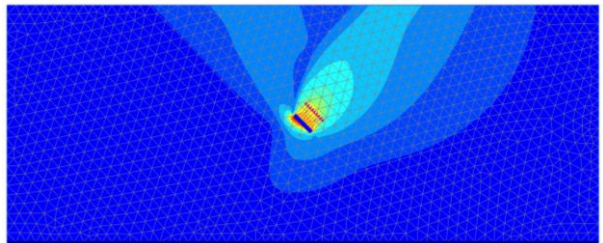
Şekil 11. Gevşek kum zeminde $H/B=2$ gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri



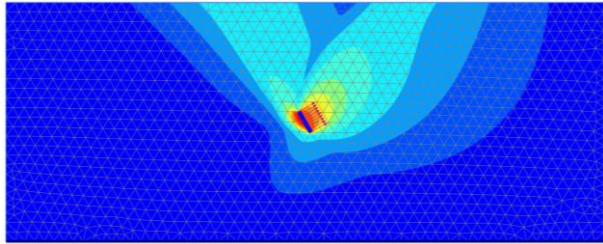
a) $\beta=15^\circ$



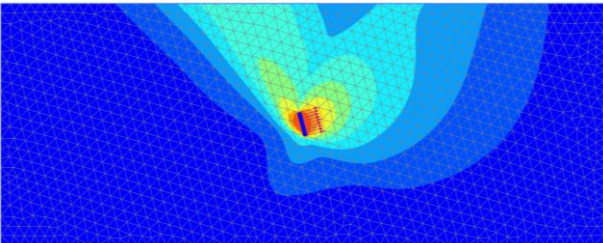
b) $\beta=30^\circ$



c) $\beta=45^\circ$



d) $\beta=60^\circ$



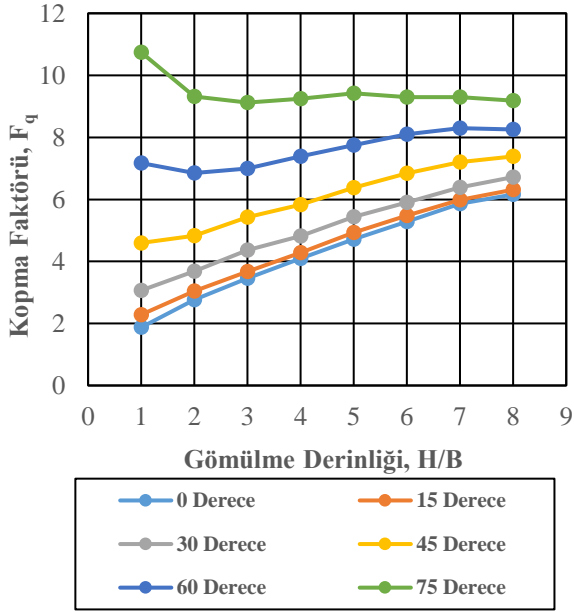
e) $\beta=75^\circ$

Şekil 12. Gevşek kum zeminde $H/B=5$ gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri

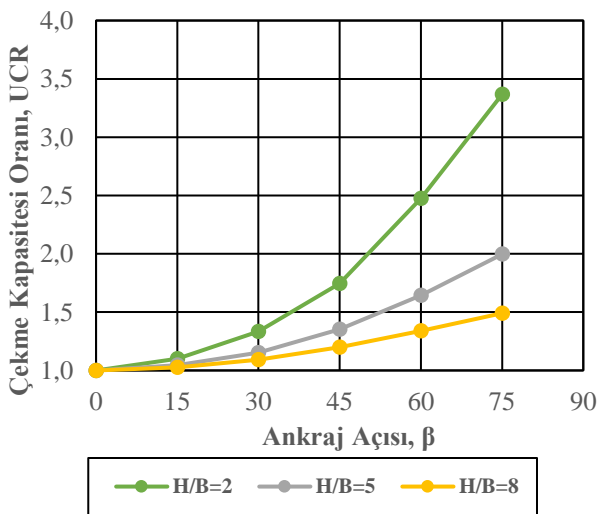
Sıkı kum zemin için yapılan analiz sonuçları Şekil 13'de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde gevşek kumda elde edilen sonuçlara benzer olarak gömülme derinliğinin yanı sıra ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesi artmaktadır. Gömülme

derinliği dikkate alındığında ankrajın daha yüzeysel derinliklerde eğimli olarak yerleştirilmesi durumunda daha yüksek performans elde edilmektedir. Üç farklı gömülme derinliği için ankraj açısının çekme kapasitesi oranına etkisi Şekil 14'de sunulmaktadır. Ankraj açısının 75° olması durumunda $H/B=8$ gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi 1.5 kata çıkarken bu değer $H/B=2$ gömülme derinliği için yaklaşık 3.5 kat mertebesindedir.

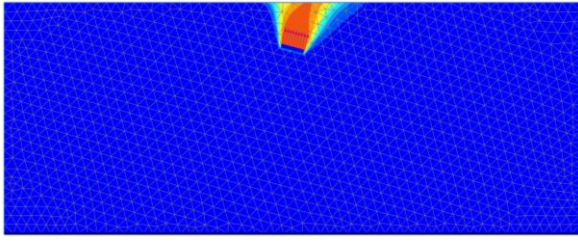
Sonlu elemanlar analizlerinde gevşek kum zemin için $H/B=2$ ve $H/B=5$ gömülme derinlikleri için deplasman konturları Şekil 15 ve Şekil 16'da sunulmaktadır. Şekil 15'de $H/B=2$ durumu için deplasman konturları incelendiğinde gevşek kum zemindeki davranıştan farklı olarak ankrajın eğimli yerleştirilmesi durumunda ankraj üzerinde yüzeye yakın bölgede pasif bölgeler oluşmamaktadır. $H/B=2$ durumuna ait deplasman konturlarından ankrajın eğik yerleştirilmesi durumunda yüzeysel temel koşullarının sağlandığı anlaşılmaktadır. Ancak göçme yüzeyi incelendiğinde gevşek duruma göre göçme yüzeyi açısı daha dar oluşmaktadır. Şekil 16'da $H/B=5$ durumuna ait deplasman konturları incelendiğinde deplasmanın genel olarak zemin içinde kaldığı ve derin temel koşullarının oluştuğu anlaşılmaktadır. $H/B=2$ ve $H/B=5$ gömülme derinliği durumları için ankraj açısının artmasıyla birlikte yatay yöndeki deformasyonların davranışta belirleyici olduğu anlaşılmaktadır.



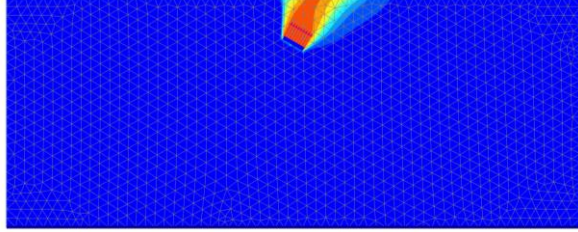
Şekil 13. Sıkı kum zeminde farklı açılarda kopma faktörü-gömülme derinliği değişimi



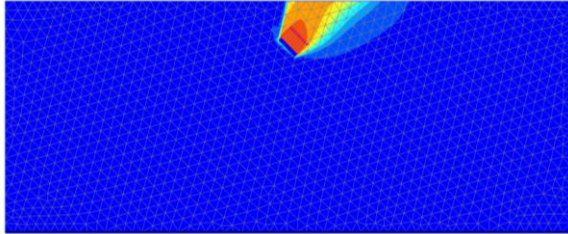
Şekil 14. Sıkı kum zeminde farklı gömülme derinliğinde ve yerleşim açılarında çekme kapasitesi oranı değişimi



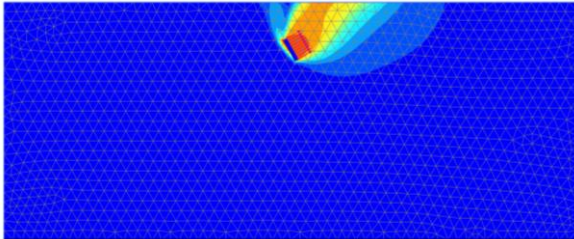
a) $\beta=15^\circ$



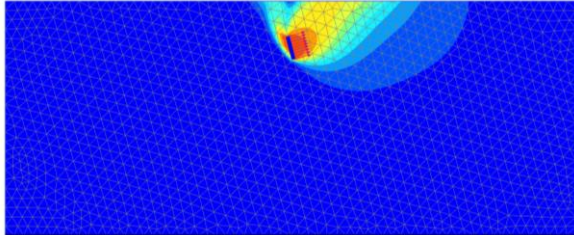
b) $\beta=30^\circ$



c) $\beta=45^\circ$

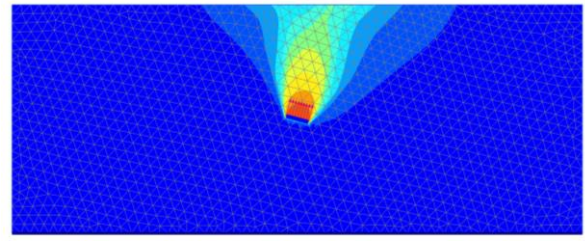


d) $\beta=60^\circ$

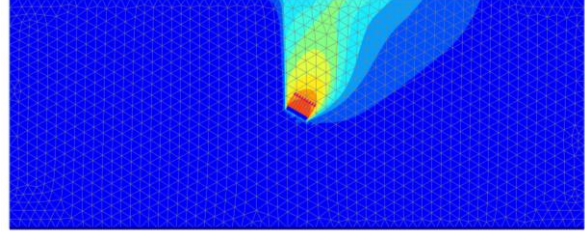


e) $\beta=75^\circ$

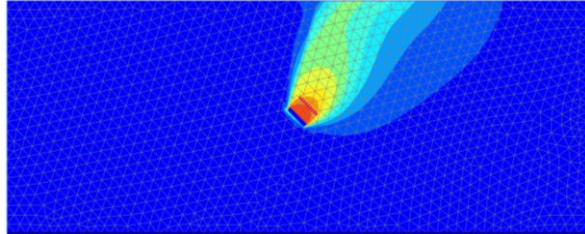
Şekil 15. Sıkı kum zeminde $H/B=2$ gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri



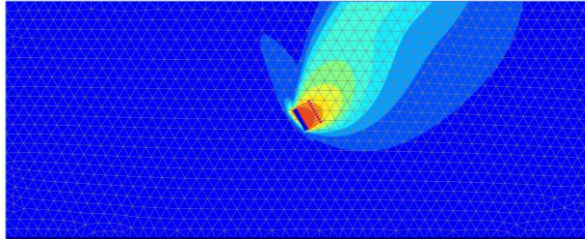
a) $\beta=15^\circ$



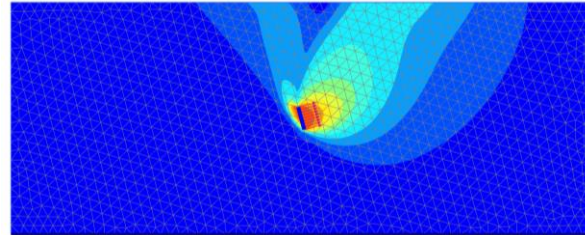
b) $\beta=30^\circ$



c) $\beta=45^\circ$



d) $\beta=60^\circ$



e) $\beta=75^\circ$

Şekil 16. Sıkı kum zeminde $H/B=5$ gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri

Sonuçlar

Bu çalışmada ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda zemin içerisine gömülmesi durumunda çekme davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Analizler kum zemin koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemine dayalı Plaxis 2017 2D programı kullanılmış olup, 1 m genişliğinde şerit bir ankraj, iki boyutlu düzlem deformasyon durumunda analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Gevşek ve sıkı kum zemin durumu için gömülme derinliğinin çekme davranışına etkisi incelenmiştir. Analizlerde elde edilen sonuçlar boyutsuz parametre olan kopma faktörü kullanılarak karşılaştırılmıştır. Gevşek zemin koşullarında ankrajın H/B=1 gömülme derinliğinden H/B=8 gömülme derinliğine yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesi 2 kata kadar artış göstermektedir. Bu artış sıkı zemin koşullarında 3 kata kadar çıkmaktadır.
2. Gevşek kum zemin koşullarında kopma faktörü değerinin H/B=5 gömülme derinliğine kadar arttığı ve daha sonra yatayla asimptota yaklaştığı görülmektedir. Bu durum H/B=5 gömülme derinliğinden sonra derin temel koşullarının oluştuğunu göstermektedir.
3. Elde edilen sonuçlar, ankraj plakalarının çekme kapasitesi ile çekme yükü altında göçme mekanizmalarının ankrajın gömülme derinliği ve zemin sıklığı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.
4. Gevşek ve sıkı kum koşullarında ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesi artmaktadır. Gömülme derinliği dikkate alındığında ankrajın daha yüzeysel derinliklerde eğimli olarak yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesi açısından daha yüksek performans elde edilmektedir.

5. Gevşek zemin koşullarında ankraj açısının 75° olması durumunda H/B=8 gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi yaklaşık 1.3 kata çıkarken bu değer H/B=2 gömülme derinliği için yaklaşık 1.8 kat mertebesindedir. Sıkı zemin koşullarında ise H/B=8 gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi 1.5 kata çıkarken bu değer H/B=2 gömülme derinliği için yaklaşık 3.5 kat mertebesindedir.

Kaynaklar

- Balla, A., 1961. The Resistance to Breaking out of Mushroom Foundations for Pylons in Proc., V Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Paris, France, 1, 569.
- Bildik, S. (2010). Temel mühendisliğinde çekme dayanımının irdelenmesi ve farklı tiplerdeki temellerin çekme dayanımının analizi, *Yüksek Lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Dickin, E. A. and Leung, C. F., 1990. Performance of Piles with Enlarged Bases Subject to Uplift Forces, *Canadian Geot. J.*, Vol. 27, pp. 546-556.
- Dickin, E.A., Laman, M. (2007). Uplift response of strip anchors in cohesionless soil. *Advances in Engineering Software*. 38, 618-625.
- Goel, S. & Patra, N. R. (2006). Break out resistance of inclined anchors in sand. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24: 1511-1525.
- Hanna, A., Foriero, A. & Ayadat, T. (2015). Pullout capacity of inclined shallow single anchor plate in sand. *Indian Geotechnical Journal*, 45(1): 110-120.
- Merifield, R.S. (2009). Uplift capacity of inclined plate ground anchors in soil. *Linear and Non-linear Numerical Analysis of Foundations*; Spon Press, Page: 85-130.
- Meyerhof, G.G. and Adams, J.I. (1968). The ultimate uplift capacity of foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, 5(4), 225-244.
- Plaxis 2D 2017, Delft University of Technology & Plaxis bv, The Netherlands.
- Saeedy, H.S., 1987. Stability of Circular Vertical Earth Anchors, *Canadian Geotech. J.*, 24 (3), 452.

Numerical investigation of uplift capacity of inclined strip anchor plates

Extended abstract

The foundations of engineering structures are usually subjected to pressure stresses due to loads from the superstructure. If the foundation soil where the structure interacts is not problematic in terms of bearing capacity and settlement, the foundation soil performs well under the pressure stresses. However, many structures such as, towers, marine structures, tension cables for suspension bridges and tent-type roofs, are subjected uplift forces from their foundations due to the superstructure loads. Foundation systems that provide good performance against pressure forces should be designed by taking into account the uplift forces in this case. In general, the foundations or anchorage systems are used against the uplift forces. The uplift forces are covered by the foundation or anchor weight embedded in the soil and the soil weight on the anchor. In addition, shear stresses along the slip surfaces also contribute to the uplift capacity. Therefore, the shear strength properties of the soil directly affect the uplift capacity. The shape and arrangement type of the anchor plate are important parameters that affect the slip surface and thus the uplift behavior of the anchor plate. The behavior of anchors in the case of horizontal placement in soil has been investigated by many researchers. The first study on the uplift behavior of anchor plates was made by Balla (1961). Balla worked on model and field experiments for determination of the slip surfaces under the uplift load of the foundations. It was seen that the slip surface was directly related to the shear strength of the soil and hence the density properties of the soil. Meyerhof and Adams (1968) investigated the uplift behavior of a shallow foundation in their study. In the study, it was determined that the uplift capacity depends on the density of the soil and internal friction angle. Dickin and Leung (1990) investigated the uplift behavior of the wide-based piles in the sand with centrifugal experiments and determined that the pile base diameter and the sand density were the main parameters that affected the uplift capacity. Dickin and Laman (2007) studied the uplift behavior of strip anchors embedded on cohesionless soil experimentally and numerically. They determined that the breakout factor increases with the position of the anchor in the soil and the density of the soil. Bildik (2010) investigated the uplift capacity of different types of anchors experimentally. The

parameters which the embedment depth of the anchor, the soil density and the anchor geometry were found to be affecting uplift capacity of anchors. A limited number of studies have been carried out for the inclined placement of anchors in the soil, while there are many studies on horizontal placement of anchors. Goel and Patra (2006) investigated the behavior of the inclined anchors in the sand with the limit equilibrium analysis. It has been observed that the uplift capacity increases with the increase of the slope of anchor for different soil densities and embedment ratio. Merifield (2009) studied the behavior of anchors under uplift loads with the boundary element method. Merifield determined that how the uplift capacity is affected if the anchors have different embedment ratios and inclination angles. According to the results obtained, it is seen that the uplift capacity increased with the increase in the slope of anchor and the embedment ratio of anchor. Hanna et al. (2015) investigated the capacity of strip anchors in the sand experimentally and analytically. In their study, they emphasized the effect of the sand dilation angle, the stiffness of the anchor and the effect of the shape factor on the behavior. When the studies in the literature were estimated, it was determined that the slope of anchor, soil properties and geometric conditions affect the uplift behavior of anchor significantly. In this study, the behavior of uplift capacity of the strip anchors in different embedment ratios and different anchor slopes is investigated with numerical analysis. The analyzes were performed with the Plaxis 2D 2017 program based on the finite element method. Finite element analyzes were carried out under plane deformation conditions in two different sand densities. When the results of the analysis are evaluated, it can be concluded that the uplift capacity of the anchors increases with increasing embedment ratio of anchors. In addition, it is observed that deep foundation conditions are formed in the case of anchor embedment ratio $H/B = 5$ in the loose and dense sand conditions. The analysis also investigated the inclination of the anchor at 15° , 30° , 45° , 60° and 75° degree angles. When the obtained results are evaluated, the uplift capacity increases as the slope of anchor increases.

Keywords: finite element method; inclined anchors; uplift capacity; breaking factor, anchor capacity ratio.