

# Şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışının farklı koşullar altında sayısal analizi

**Bilal KORKMAZ<sup>1</sup>, Mehmet Salih KESKİN<sup>\*2</sup>**

<sup>1</sup> Şırnak Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şırnak

<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

Makale Gönderme Tarihi: 31.01.2017

Makale Kabul Tarihi: 04.04.2017

## Öz

*Bu çalışmada, kumlu zeminlere gömülü şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, prototip bir model oluşturulmuş ve farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılmıştır. Analizlerde, ankraj genişliği, gömülme derinliği ve kumun sıklık derecesi parametrelerinin, şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Tüm analizler iki farklı malzeme modeli (Mohr-Coulomb ve Hardening Soil) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen çekme kapasitesi değerleri, teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.*

*Analizler sonunda elde edilen sonuçlara göre, kuma gömülü şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi, plaka genişliği, ankraj gömülme derinliği ve kumun sıklığının artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Hardening Soil malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen çekme kapasitesi değerleri, Mohr-Coulomb malzeme modeli ile elde edilen değerlerden daha büyüktür. Ayrıca, sayısal analizlerden elde edilen çekme kapasitesi değerleri ile teorik çözümden elde edilen değerler arasında genel bir uyum söz konusudur. Ancak, teorik çözüm ile elde edilemeyen deplasman ve gerilme davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle gözlemlenmesi konunun daha rahat anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.*

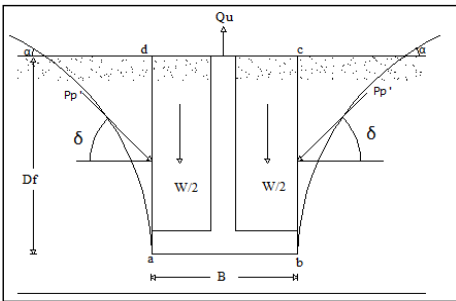
**Anahtar Kelimeler:** Ankraj plakası; sonlu elemanlar yöntemi; çekme kapasitesi; PLAXIS.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mehmet Salih KESKİN. [mskeskin@dicle.edu.tr](mailto:mskeskin@dicle.edu.tr); Tel: (412) 248 82 17 (3546)

## Giriş

Temellerin, çekme kuvvetlerinin ve devirme momentlerinin etkisinde kaldığı durumlar mevcuttur. Çekme kuvvetleri ve devirme momentleri, özellikle deniz yapıları, yüksek gerilim hatları, radyo ve televizyon kuleleri, trafik levhaları ve gömülü boru hatları gibi özel yapıların tasarımında önemli olmaktadır. Bahsedilen bu ve benzeri yapılar, suyun kaldırma kuvveti etkisi, kablolardan iletilen yükler veya rüzgar kuvvetinden meydana gelen devirme momenti etkisinden dolayı çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bu yüzden, bu yapıların temelleri çekme kapasitesi açısından da tasarlanmalıdır. Çekme kuvvetlerinin etkisindeki temellerde ankraj plakası sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Zemine gömülü bir ankraj plakasının çekme kapasitesi, temel ağırlığı, serbest yüzey boyunca oluşan sürtünme direnci ve kopma eğrisi üzerindeki serbest bölge içerisinde kalan zemin ağırlığından oluşmaktadır (Keskin, 2015).

Geoteknik mühendisliğinde, temellerin çekme kapasitesi üzerine deneysel çalışmalar yapılarak çeşitli teoriler önerilmiş ve çekme kapasitesinin tayini için amprik ifadeler elde edilmiştir. Meyerhof ve Adams (1968); yüzeysel temeller için çekme kapasitesinin belirlenmesinde, en gerçekçi yöntemlerden birini önermişlerdir. Bu teoriye göre; Şekil 1'de verilen, B genişlikli, çekme kuvvetine maruz, sürekli bir temel için, birim genişliğe gelen nihai çekme kapasitesi,  $Q_u$  ve kırılma yüzeyinin zemin üst yüzü ile yaptığı açı,  $\alpha$  olarak gösterilmiştir. (Das, 2009).



Şekil 1. Çekme kuvveti altında sürekli temel

Şekil 1'de, zemin ve temelin ağırlığı  $W$ ,  $ad$  ve  $cb$  yüzeylerine etkiyen, yatayla  $\delta$  açısı yapan pasif toprak basıncı da  $P_p'$  olarak gösterilmektedir. Meyerhof ve Adams (1968) tarafından, temelin nihai çekme kapasitesi,  $Q_u$ ,

$$Q_u = W + K_u \cdot \gamma \cdot D_f^2 \cdot \tan \phi \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada,  $K_u$ , çekme katsayısı,  $D_f$ , temelin gömülme derinliği,  $\gamma$ , zeminin birim hacim ağırlığı,  $\phi$  ise zeminin içsel sürtünme açısı değerlerini göstermektedir.  $K_u$  çekme katsayısı, zeminin içsel sürtünme açısı  $\phi$  değerine bağlı bir katsayı olmakla birlikte, içsel sürtünme açısının  $\phi=30^\circ$  ile  $\phi=48^\circ$  arasındaki bütün değerleri için  $K_u=0,95$  alınabileceği ifade edilmiştir.

B genişlikli sürekli bir temel için nihai çekme kapasitesinin, A temel alanı olmak üzere, boyutsuz değişken olan kopma faktörü ( $F_q$ ) cinsinden ifadesi ise;

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma A D_f} \quad (2)$$

şeklinde dir.

Zemine gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışı üzerine gerçekleştirilmiş deneysel ve nümerik çalışmalar literatürde sınırlı sayıda mevcuttur. Geddes ve ark. (1996), kum zemine gömülü ve farklı konfigürasyonlarda, bir grup kare ankraj plakasının çekme kapasitesini belirlemek üzere, dikey yönlü çekme kuvvetinin uygulandığı model deneyler yapmışlardır. Deneyler, sığ temel koşulunu oluşturacak, sabit sıklığa sahip kuru kum içinde, tek bir gömülme derinliği ( $D_f/B=4$ ) altında yapılmıştır. Ankraj plakalarının çekme kapasitesi, plakalar arası mesafenin artmasına bağlı olarak kritik bir değere kadar artış göstermiştir. Ayrıca, ankrajların grup verimliliğinin, ankrajlar arası mesafenin,  $s$ , ankraj genişliğine,  $B$ , olan oranının ( $s/B$ ), nispeten küçük artışların da bile artış gösterdiği belirtilmiştir.

Patra ve ark. (2004), tabakalı ve homojen kum tabakasına gömülü ankraj plakasının, eksenel ve

eksenel olmayan çekme yükleri etkisindeki çekme kapasitesini incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ankraj plakasının çekme kapasitesinin, gömülme oranı ve taban genişliğinin artmasına bağlı olarak arttığı, eğik çekme yükü altında, çekme kapasitesinin, eğimli yüklemekten etkilendiği görülmüştür.

Dickin ve Laman (2007), kohezyonsuz zemine gömülü şerit ankrajların çekme kapasitesini, hem sonlu elemanlar yöntemi hem de model deneyler yaparak incelemişlerdir. Çalışmalar sonunda, çekme kapasitesi değerinin gömülme oranı ve kum sıklığı ile birlikte artış gösterdiği görülmüştür.

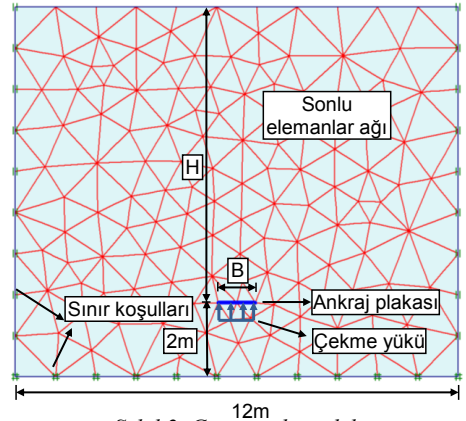
Bildik ve Laman (2011), kohezyonsuz zemine gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesini belirlemek üzere model deneyler yapmışlardır. Deneylerde, kare ve dikdörtgen ankraj plakaları kullanılarak gömülme derinliğinin, ankraj geometrisinin ve kum sıklığının çekme kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; sıkı ve gevşek kum durumları için, kopma faktörü-gömülme oranı eğrilerinden, genel bir denklem elde edilmiştir.

Emirler ve ark. (2015), tabakalı zeminlere gömülü kare ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışını nümerik olarak analiz etmişlerdir. Çalışma sonunda, çekme kapasitesi davranışının, tabaka kalınlığı ve gömülme derinliğinden önemli miktarda etkilendiği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, kumlu zeminlere gömülü şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışı büyük ölçekli bir model oluşturularak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Analizlerde, ankraj genişliği, gömülme derinliği ve kumun sıklık derecesi parametrelerinin, şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Ayrıca, literatürde mevcut diğer çalışmalardan farklı olarak, tüm analizler iki farklı malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş ve çekme kapasitesi davranışı üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Çalışmada, kuma gömülü şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde, sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan iki boyutlu PLAXIS v8.2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Program, geoteknik uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Çalışmada, problem iki boyutlu ve şerit ankraj plakası geometrisine uygun olarak düzlem-şekil değiştirme koşullarında analiz edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Geometrik model

Analizlerde kullanılan prototip modelin genişliği 12 metre, gömülme derinliği, H, ankraj plakası genişliği, B, değerine bağlı olarak değişkendir. Tüm analizlerde, ankraj plakası ile model tabanı arasında, sınır etkisini önlemek amacıyla, 2 metrelik mesafe bulunmaktadır. Ankraj plaka genişlikleri, B=50-70-100 cm. olarak seçilmiştir. Sayısal çözümlerde, geometri oluşturulduktan sonra, sınır koşulları belirlenmiş ve sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Malzeme özellikleri belirlendikten sonra, başlangıç gerilmeleri oluşturulmuş ve çekme yükü uygulanarak çözüm elde edilmiştir. Çekme yükü, plaka genişliği boyunca yukarı doğru (pozitif) üniform yayılı basınç değeri girilerek uygulanmıştır.

Çalışmada, zemin sıklığının etkisinin araştırılması amacıyla gevşek ve sıkı zemin

durumlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Kum zemin, Mohr-Coulomb (MC) ve Hardening Soil (HS) zemin modelleri kullanılarak modellenmiştir. MC model, elasto-plastik zemin modelidir. Modelde, giriş verileri olarak, programa Elastisite modülü, E, Poisson oranı,  $\nu$ , kohezyon, c, içsel sürtünme açısı,  $\phi$  ve dilatasyon açısı,  $\psi$  girilmektedir. Zemin rijitliği (E), bütün zemin tabakalarında sabittir. HS model ise, yumuşak ve sert zeminlerin davranışlarını modellemekte kullanılan ve MC modeline oranla daha gelişmiş bir zemin modelidir. Modelde, gerilme seviyesi, kohezyon, sürtünme açısı ve dilatasyon açısı, ile sınırlandırılmıştır. Model, gerilme bağımlı rijitlik modülünü dikkate almaktadır. Yani, zeminin rijitlik değeri basınçla birlikte artış göstermektedir. HS model, eksenel deformasyon-deviatorik gerilme ilişkisinin yaklaşık hiperbol şeklinde olması esasına dayanmaktadır (Keskin, 2009). MC ve HS model için sayısal analizlerde kullanılan zemin parametreleri Tablo 1 ve 2’de verilmektedir.

**Tablo 1.** MC model zemin parametreleri

Parametre	Gevşek kum	Sıkı kum
Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.4	17.0
Elastisite modülü, E (kN/m <sup>2</sup> )	21600	30000
Poisson oranı, $\nu$ (-)	0.25	0.25
İçsel sürtünme açısı, $\phi$ (°)	39	44
Kohezyon, c (kN/m <sup>2</sup> )	0.5	0.5
Dilatasyon açısı, $\psi$ (°)	9	14

**Tablo 2.** HS model zemin parametreleri

Parametre	Gevşek kum	Sıkı kum
Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.4	17.0
$E_{50}$ (kN/m <sup>2</sup> )	21600	30000
$E_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )	64800	90000
$E_{oed}$ (kN/m <sup>2</sup> )	21600	30000
Poisson oranı, $\nu$ (-)	0.25	0.25
İçsel sürtünme açısı, $\phi$ (°)	39	44
Kohezyon, c (kN/m <sup>2</sup> )	0.5	0.5
Dilatasyon açısı, $\psi$ (°)	9	14
Ref. basınç değeri, $P_{ref}$ , kN/m <sup>2</sup>	100	100
Zemin basınç katsayısı, $K_0$ (-)	0.43	0.33
Göçme oranı, $R_f$ (-)	0.90	0.90

Analizlerde şerit ankraj plakası, çelik malzeme özellikleri kullanılarak kiriş eleman ile modellenmiştir. Şerit ankraj plakası elemanın

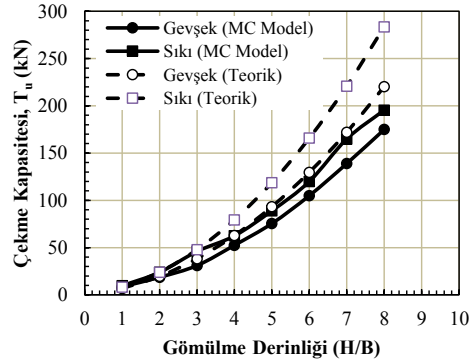
malzeme özellikleri, EI=1750 kNm<sup>2</sup>/m, EA=2.1x10<sup>6</sup> kN/m, kalınlığı ise d=0.10 m.’dir.

## Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, farklı genişliklere sahip şerit ankraj plakaları (B=50cm, 75cm ve 100cm), değişik sıklıklardaki kum zemine ( $\phi=39^\circ$  ve  $\phi=44^\circ$ ), farklı gömülme derinliklerinde (H=1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B ve 8B) yerleştirilerek farklı malzeme modelleri ile (MC Model ve HS Model) analiz edilmişlerdir. Analizlerde göçme kriteri olarak yük-deplasman eğrisindeki belirgin göçme noktaları seçilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, Meyerhof ve Adams (1968) tarafından önerilen teorik çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, analizler sonucunda elde edilen deplasman ve gerilme konturları kullanılarak kum zemine gömülü şerit ankraj plakalarının göçme mekanizması irdelenmiştir.

## Gömülme Derinliği ve Sıklık Etkisi

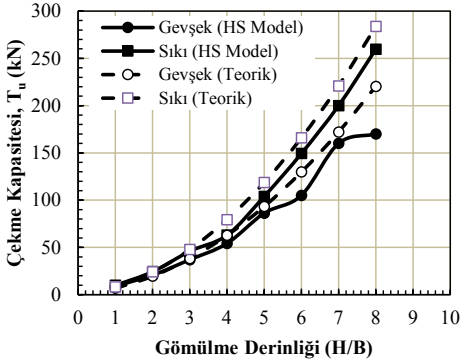
B=50mm genişliğindeki şerit ankraj plakası üzerinde, gevşek ve sıkı kumda, H/B=1-8 aralığında gerçekleştirilen MC model analizler ve teorik çözüm sonucunda elde edilen çekme kapasitesi ( $T_u$ ) – gömülme derinliği (H/B) ilişkileri Şekil 3’de verilmektedir.



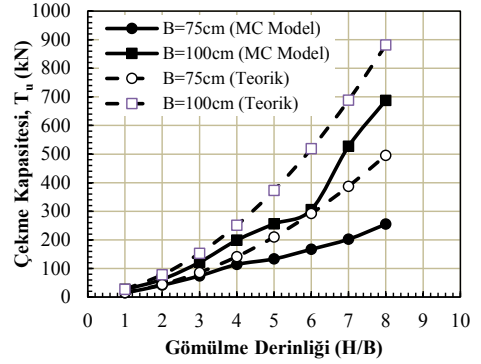
Şekil 3.  $T_u$ -H/B ilişkisi (B=50cm, MC model)

HS model analizler ile teorik çözümden elde edilen  $T_u$ -H/B ilişkisi ise Şekil 4’de verilmektedir.

Şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışının farklı koşullar altında sayısal analizi



Şekil 4.  $T_u$ - $H/B$  ilişkisi ( $B=50$ cm, HS model)



Şekil 5.  $T_u$ - $H/B$  ilişkisi (Gevşek kum-MC model)

Beklendiği gibi, sıkı kumda hem sayısal analizler hem de teorik çözümlerde daha yüksek çekme kapasitesi değerleri elde edilirken, gevşek ve sıkı kum durumlarında gömülme oranının artmasıyla birlikte, çekme kapasitesi değerlerinin arttığı görülmüştür.

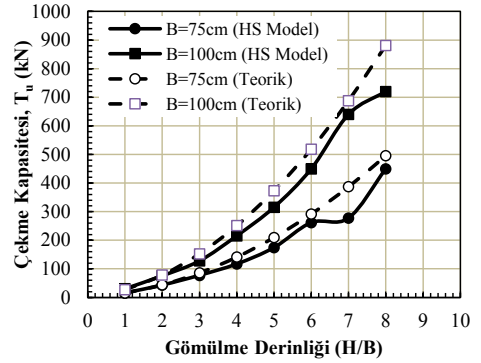
Her iki sıklık durumunda da teorik değerlerin daha büyük çıkmasıyla birlikte, özellikle  $H/B=4$  gömülme derinliğine kadar sayısal sonuçlarla genel bir uyumun olduğu görülmektedir.

Ayrıca, Şekil 3 ve 4'den HS model sonuçlarının MC model sonuçlarından daha büyük olduğu ve teorik sonuçlara daha yakın değerler verdiği görülmektedir.

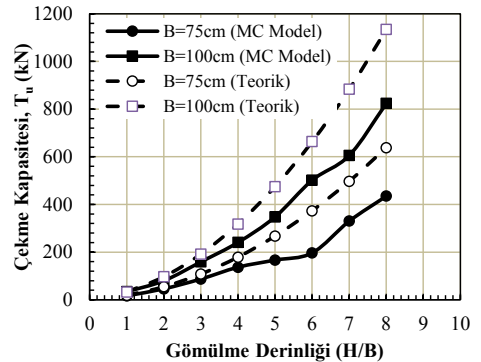
Gömülme derinliği ve zemin sıklığının artmasına bağlı olarak çekme kapasitesinde meydana gelen artış, ankraj plakası üzerinde kalan zemin ağırlığı ve yoğunluğun artmasıyla açıklanabilmektedir.

#### Ankraj Plakası Genişliği Etkisi

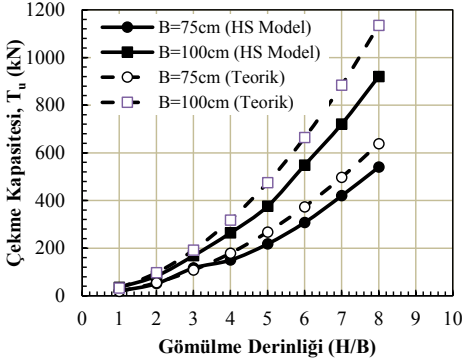
$B=50$ mm genişliğindeki şerit ankraj plakasına ek olarak  $B=75$ cm ve  $B=100$ cm genişliğindeki plakalar üzerinde gevşek ve sıkı kumda,  $H/B=1-8$  aralığında gerçekleştirilen MC ve HS model analizler ile teorik çözüm sonucunda elde edilen çekme kapasitesi ( $T_u$ ) – gömülme derinliği ( $H/B$ ) ilişkileri Şekil 5-6-7 ve 8'de verilmektedir.



Şekil 6.  $T_u$ - $H/B$  ilişkisi (Gevşek kum-HS model)



Şekil 7.  $T_u$ - $H/B$  ilişkisi (Sıkı kum-MC model)



Şekil 8.  $T_u$ - $H/B$  ilişkisi (Sıkı kum-HS model)

Hem sayısal analizler hem de teorik çözümdede daha büyük ankraj plakası genişliklerinde daha yüksek çekme kapasitesi değerleri elde edilmiştir.

Her iki sıkılık durumunda da teorik değerlerin daha büyük çıkmasıyla birlikte, sayısal sonuçlarla genel bir uyumun olduğu görülmektedir.

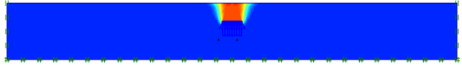
Ayrıca, Şekil 5, 6, 7 ve 8'den HS model sonuçlarının MC model sonuçlarından daha büyük olduğu ve teorik sonuçlara daha yakın değerler verdiği görülmektedir.

Ankraj plaka genişliğinin artmasına bağlı olarak çekme kapasitesinde meydana gelen artış, ankraj plakası genişliğinin artmasıyla plaka yüzey alanının artması ve plaka üzerindeki zemin miktarının artışıyla açıklanabilmektedir.

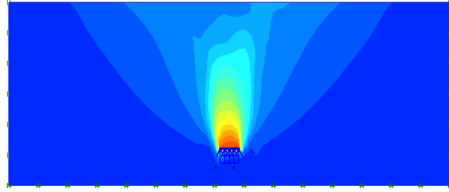
### Göçme Mekanizması

Kum zemine gömülü şerit ankraj plakalarının göçme mekanizmalarının irdelenmesi amacıyla, analizler sonucunda farklı durumlar için elde edilen deplasman konturları incelenmiştir.

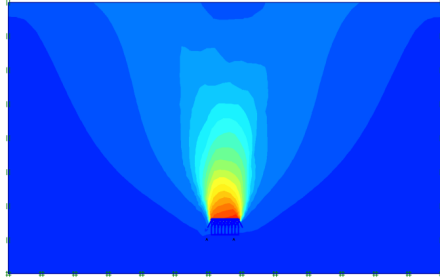
Şekil 9'da gevşek kum durumu için MC model kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda 50cm, 75cm ve 100cm genişliğindeki şerit ankraj plakalarının  $H/B=1$  ve 8 gömülme derinliklerinde elde edilen deplasman konturları görülmektedir.



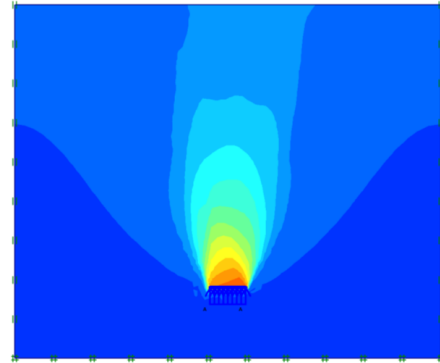
(a)  $H/B=1$ , MC model,  $B=50$ cm, gevşek kum



(b)  $H/B=8$ , MC model,  $B=50$ cm, gevşek kum



(c)  $H/B=8$ , MC model,  $B=75$ cm, gevşek kum



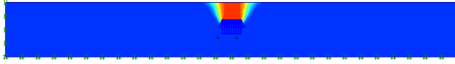
(d)  $H/B=8$ , MC model,  $B=100$ cm, gevşek kum

Şekil 9. MC model deplasman konturları (gevşek kum durumu)

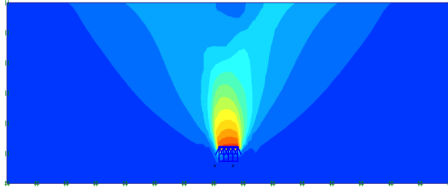
*Şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışının farklı koşullar altında sayısal analizi*

Şekil 9 (a)'da  $H/B=1$  gömülme derinliğinde, plaka üzerindeki zemin kütesinin azlığından dolayı deplasmanlar zemin yüzeyine kadar büyük değerlerde oluşmakta ve çekme kapasitesini aşarak göçmeye neden olmaktadır. Şekil 9 (b) incelendiğinde,  $H/B=8$  gömülme derinliğinde deplasmanların büyük bölümünün ankraj plakasının hemen üzerindeki bölgede yoğunlaştığı ve zemin yüzeyine doğru azalarak devam ettiği görülmektedir. Bu durum daha büyük çekme kapasitesi değerlerinin oluşmasını sağlamaktadır. Şekil 9 (c) ve 9 (d)'den görüldüğü üzere, daha büyük ankraj genişliklerinde, deplasman konturlarının daha geniş bir alana yayıldığı ve çekme kapasitesinin genişliğin artmasına bağlı olarak arttığı gözlenmektedir.

Şekil 10'da sıkı kum durumu için MC model kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda 50cm genişliğindeki şerit ankraj plakasının  $H/B=1$  ve 8 gömülme derinliklerinde elde edilen deplasman konturları görülmektedir.



(a)  $H/B=1$ , MC model,  $B=50\text{cm}$ , sıkı kum

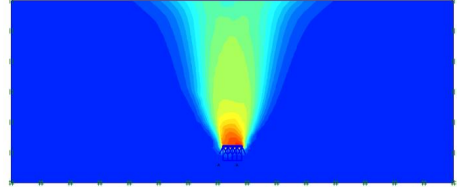


(b)  $H/B=8$ , MC model,  $B=50\text{cm}$ , sıkı kum

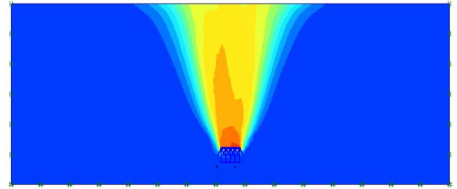
*Şekil 10. MC model deplasman konturları (sıkı durum)*

Şekil 10 (a) ve (b)'den sıkı durum için elde edilen deplasman konturlarının yoğunluğunun gevşek kum durumuna göre daha fazla olduğu görülmektedir. Sıkı durumda, deplasman ve gerilme iletimi, danelerin birbirine daha yakın olmasından dolayı, gevşek kum durumuna göre daha iyi olmakta ve bu durum daha büyük deplasman ve çekme kapasitesi değerlerine yol açmaktadır.

Şekil 11 (a)'da gevşek kum durumu, Şekil 11 (b)'de ise sıkı durum için HS model kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda 50cm genişliğindeki şerit ankraj plakasının  $H/B=8$  gömülme derinliğinde elde edilen deplasman konturları görülmektedir.



(a)  $H/B=8$ , HS model,  $B=50\text{cm}$ , gevşek kum



(b)  $H/B=8$ , HS model,  $B=50\text{cm}$ , sıkı kum

*Şekil 11. HS model deplasman konturları*

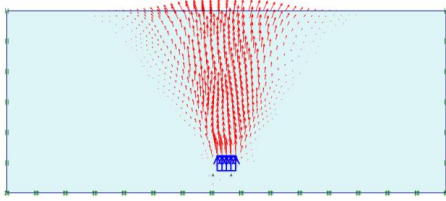
Şekil 11 (a) ve (b) incelendiğinde, HS modelde, sıkı kum durumu için elde edilen deplasman konturlarının, gevşek kum durumu için elde edilen deplasman konturlarına göre, zemin yüzeyine doğru daha yoğun olduğu görülmektedir. Bu durum, sıkı kum durumunda daha fazla çekme kapasitesi değeri elde edilmesine yol açmaktadır. Ayrıca, HS modelde göçme mekanizmasının, MC modele göre daha stabil ve düzgün olduğu, bu yönüyle, Şekil 1'de verilen teorik göçme mekanizmasına daha uygun olduğu görülmektedir. Bu durum, HS modelin MC modele göre daha gelişmiş bir model olmasından ve zemin rijitliğinin, derinliğe bağlı olarak, basınçla birlikte artmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 12 (a), (b), (c) ve (d)'de, sıkı kum durumu için HS model kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda 50cm genişliğindeki şerit ankraj plakasının  $H/B=8$  gömülme derinliğinde

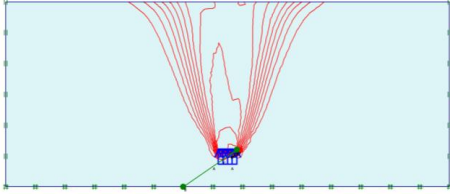


elde edilen göçme mekanizmasının, deplasman ve gerilmelere göre farklı gösterimleri sunulmaktadır.

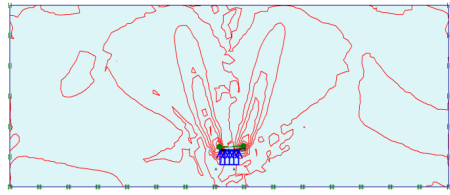
Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilebilen göçme mekanizmaları, teorik yöntemlere göre, problemin daha rahat anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.



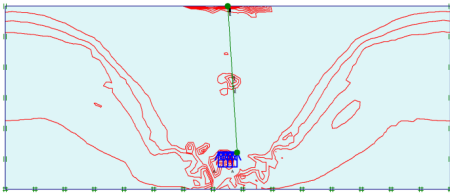
(a) Vektörel deplasman



(b) Deplasman konturları



(c) Artımsal şekil değiştirmeler



(d) Kayma gerilmeleri

Şekil 12. HS model göçme mekanizmaları

## Sonuçlar

Bu çalışmada, kumlu zeminlere gömülü şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, prototip bir model oluşturulmuş ve farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmaktadır:

Kumlu zeminlere gömülü şerit ankraj plakalarının çekme kapasitesi değerleri, kumun sıklığının, gömülme derinliğinin ve plaka genişliğinin artmasına bağlı olarak önemli miktarda artmaktadır.

Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile teorik yöntem arasında davranış bakımından genel bir uyum görülmektedir. Gömülme derinliğinin  $H/B=5$  değerine kadar çekme kapasitesi değerleri teorik ve sayısal bakımdan her iki malzeme modelinde de birbirine yakınken, daha büyük gömülme derinliklerinde, teorik çözüm sayısal analiz sonuçlarına göre daha büyük çekme kapasitesi değerleri vermektedir.

Mohr-Coulomb (MC) modele oranla daha gelişmiş bir zemin modeli olan Hardening Soil (HS) model kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizlerden, teorik çözüme daha yakın çekme kapasitesi değerleri elde edilmektedir.

Analizler sonucunda elde edilebilen göçme mekanizmasının irdelenerek, ele alınan problemin daha iyi anlaşılabilmesi bakımından, sonlu elemanlar yöntemi, teorik yöntemle göre daha avantajlıdır.



## Kaynaklar

- Bildik, S., Laman, M. (2011). Experimental investigations on uplift behaviour of plate anchors in cohesionless soil, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(2), 486-496.
- Das, B. M. (2009). *Shallow foundations: bearing capacity and settlement*, 384, CRC Press, USA.
- Dickin, E.A. and Laman, M. (2007). Uplift response of strip anchors in cohesionless soil, *J. Adv. Eng. Softwares*, 38(8-9), 618-625.
- Emirler, B., Bildik, S., Laman, M. (2015). Numerical investigation of anchor plates in layered soils, *International Journal of Material Science&Engineering*, 2(1), 10-15.
- Geddes, J. D., Murray, E. J. (1996). Plate anchor groups pulled vertically in sand, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122 (7), 509-516.
- Keskin, M.S. (2009). Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik analizi, *Doktora tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Keskin, M.S. (2015). Geogrid donatılı kohezyonsuz zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme davranışının incelenmesi, 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Meyerhof, G.G. and Adams, J.I. (1968). The ultimate uplift capacity of foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, 5(4), 225-244.
- Patra, N. R., Deoathias, M., James, M. (2004). Pull-out capacity of anchor piles. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 9 (C).
- PLAXIS, (2002). User Manual. 2D version8, (Edited by Brinkgrvee, R.J.B.), Delft University of Technology&PLAXIS b.v., The Netherlands.

## Numerical analysis of uplift capacity behaviour of strip plate anchors under different conditions

### Extended abstract

There are many structures need a footing system that provides sufficient support by resisting loads that are affected by vertical and horizontal uplift forces. Examples include transmission towers, anchored bulkheads, submerged pipelines, and tunnels. Stability and support of such structures can be provided by transferring the loads from the structures foundation through the use of tension elements. These elements are soil anchors, which are generally fixed to structures and are embedded to sufficient soil depths to provide adequate amounts of support within required safety limits. Plate anchors are light structural members employed to withstand uplift forces. They are generally made of steel, precast concrete, poured concrete or timber and may be formed into shapes such as square, rectangular, circular and strip. Horizontal plate anchors can be constructed by excavating the ground to certain design depths, placing the plate in position, connecting to cable and then backfilling and compacting with good quality of soil material.

In this study, uplift capacity of plate anchors in sand was investigated using finite element method. Finite element analyses were performed using commercially available computer program PLAXIS. The PLAXIS v8.2 program is a geotechnical finite element package specifically intended for two-dimensional analysis of deformation and stability of any geotechnical engineering project. The simple graphical input procedure enables a quick generation of complex finite element models, and the enhanced output facilities provide a detailed presentation of the computational results. The calculation itself is fully automated and based on robust numerical procedures. In the analysis, strip shaped plates were used as anchor plates and was modeled under plain-strain conditions. The sand soil was modeled using two different soil model as Mohr-Coulomb and Hardening Soil model.

In study, the effect of embedment depth ( $H/B=1-2-3-4-5-6-7-8$ ), the relative density of sand ( $\phi=39^\circ-44^\circ$ ) and width of the plate anchors ( $B=50\text{cm}-75\text{cm}-100\text{cm}$ ) on the uplift capacity were investigated.

The  $H/B$  ratios were varied from 1.00 to 8.00. The results show that the general trends of finite element analysis agree well with those of the theoretical results. It can be seen that the ultimate uplift load,  $T_u$  increases significantly with an increase in embedment ratio,  $H/B$ . Plate anchor in maximum embedment ratio,  $H/B=8$ , had higher uplift capacity than in minimum embedment ratio such as  $H/B=1$ .

Results show that the values of  $T_u$  increase with an increase in relative density of sand both theoretically and numerically. It is evidence that relative density of sand is one of the main parameters affecting the uplift capacity of the plate anchor. This increase in uplift capacity of plate anchor with relative density of sand can be attributed to the weight of soil and shearing resistance. The weight of the soil increases with relative density and embedment ratio. In addition those, failure surface length increases with embedment ratio. Thus, the uplift capacity of anchors in sand is strongly influenced by their embedment ratio and by the relative density of the sand. The results also show that  $T_u$  increase with an increase in width of the plate anchors. This increase in uplift capacity of plate anchor with plate width can be attributed to the weight of soil on the plate surface.

The uplift capacity of strip plate anchors embedded in sand was investigated numerically. Based on the results, the following main conclusions can be drawn:

Both experimental and theoretical studies show that uplift capacity for strip plate anchors in sand increase with an increase in anchor embedment ratio, relative density of sand and width of the plate anchor.

A satisfactory agreement between the experimental and theoretical results on general trend of behaviour is observed. However, the values obtained from finite element analysis appears to be smaller than that obtained from the theoretical values.

Finite element method has some advantages to recognize the failure mechanism of plate anchors in sand.

**Keywords:** Anchor plate, Finite element method, Uplift capacity, PLAXIS.