



## Şevlere gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesinin deneysel olarak incelenmesi

**Mahmut Ebrahimi SADR**

(MSc) Çukurova Üniversitesi, Adana

**Selçuk BİLDİK\***

Nişantaşı Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
[Selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr](mailto:Selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr), Tel: (532) 502 45 00

**Mustafa LAMAN**

(PhD) Liverpool Üniversitesi, İngiltere

Geliş: 04.07.2017, Kabul Tarihi: 21.08.2017

### Öz

*Bu çalışmada, ankraj plakalarının çekme davranışı şevli ve şevsiz kum zeminlere gömülü olması durumunda araştırılmıştır. Deneylerde kare geometride ankraj plakaları kullanılmıştır. Deneylerde şev açısı 30° alınıp şev yüksekliği sabit tutulmuştur. Model deneylerde, ankrajın gömülme oranı, kum sıklığı ve ankrajın şev tepesine olan uzaklığının çekme kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Şevsiz zeminde yapılan deneylerde ankrajın gömülme derinliğinin ve zemin sıklığının çekme kapasitesini önemli mertebelerde etkilediği görülmüştür. Gömülme derinliği ve zemin sıklığının artmasıyla çekme kapasitesinde artışlar görülmüştür. Benzer sonuçlar şevli durumda da görülmüş olup, ayrıca ankrajın şev tepesinden uzaklaşması ile birlikte çekme kapasitesinin arttığı ve şevsiz durumdaki çekme kapasitesine yaklaştığı belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Ankraj plakası; model deney; şev; çekme kapasitesi; kopma faktörü, kum.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişimine bağlı olarak inşaat yapım tekniklerinde de önemli gelişmeler olmuştur. Bu gelişmeler ile birlikte büyük ölçekli ve farklı yüklere maruz temel sistemlerinin de tasarımı mümkün hale gelmiştir.

İnşaat mühendisliği uygulamalarında genel olarak yapı temelleri üst yapıdan gelen düşey yüklere maruz kalmakta olup, temel sistemleri basınç kuvvetlerine göre tasarlanmaktadır. Fakat bazı yapı temelleri kullanım amacı ve maruz kaldığı yüklerden ötürü çekme gerilmeleri etkisinde kalmaktadırlar. Son dönemlerde çekme kuvvetine maruz yapılarda ankraj sistemleri efektif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan bu ankraj sistemlerini, zeminin özellikleri, gömülme derinlikleri ve ankraj sisteminin uygulandığı arazinin topografik yapısı ciddi bir şekilde etkilemektedir (Bildik, 2010).

Çekme kuvvetlerine maruz temel sistemleri ile ilgili geçmişten günümüze kadar birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Adams ve Hayes (1967) yayın hattı kuleleri inşaatı için, ankrajlar üzerinde geniş ölçekli arazi deneyleri yapmışlardır. Ankrajların davranışlarını daha iyi anlamak amacıyla Balla (1961), Baker ve Kondner (1966), Meyerhof ve Adams (1968), Hanna ve Sparks (1972), Andreadis ve ark. (1981), Murray ve Geddes (1987) geleneksel olarak laboratuvarında küçük ölçekli model çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca diğer araştırmacılardan Ovesen (1981), Tagaya ve ark. (1988), Dickin (1988), Dickin ve Leung (1990, 1992) santrifüj modelleme tekniğini geliştirerek tam ölçekli prototipler üzerinde istenilen gerilme durumları için gerekli verileri elde etmişlerdir. Vesic (1971), Chattopadhyay ve Pise (1986), Rowe ve Davis (1982) teorik çalışmalar yapmışlardır.

Kumar 1997'de şev içine gömülü ankrajların davranışını sınır elemanlar yöntemi ile araştırmıştır. Bu çalışmada yatay ankraj plakalarının çekme kapasitesinin, şev açısının artmasıyla azaldığını belirlemiştir. Zurita ve ark. (2007) şevlere gömülü ankrajların çekme kapasitesini analitik yöntemlerle araştırmıştır. Bu çalışmada gömülme derinliğinin etkisi

incelenmiş ve gömülme derinliğinin artmasıyla çekme kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Sawwaf (2007) şev tepesi yakınına gömülü ankraj plakasının davranışını incelemiş ve ayrıca şevin donatı ile güçlendirilmesi durumunda çekme kapasitesindeki artışı araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, donatı kullanımının çekme kapasitesine önemli ölçüde etki ettiği görülmüş, tek bir donatı tabakasının ankraj üzerine yerleştirilmesi durumunda en efektif durum elde edilmiştir.

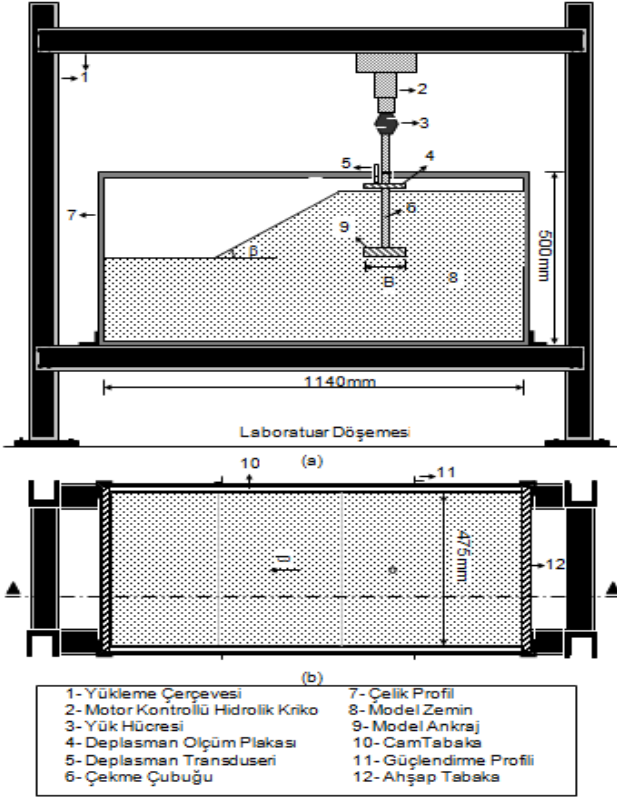
Bildik ve ark. (2013) kumlu zeminlerde şev yakın konumlanan ankraj plakalarının çekme kapasitesi sayısal olarak analiz etmişlerdir. Kumun yoğunluğu, ankraj plakasının gömülme oranı, şev eğimi ve ankraj plakasının şev tepesine göre konumu gibi birçok faktör sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Analizleri yapmak için Plaxis 2D paket programı kullanılmıştır. Sonuçlar, ankraj plakaları için boyutsuz bir faktör olan, çekme kapasitesi oranı (UCR) cinsinden sunulmuş olup ankraj plakasının şev tepesine olan mesafesinin ankrajın çekme kapasitesini etkilediği açıkça görülmüştür. Ankrajın çekme kapasitesi şev tepesinden uzaklaştıkça artış göstermiş ve ayrıca sonlu elemanlar yöntemine dayalı bu analizde kumun yoğunluğu ve ankraj plakasının gömülme oranının, ankrajın çekme kapasitesindeki temel etmenler olduğu ortaya koyulmuştur.

Tek bir ankraj plakası üzerine teorik ve deneysel çalışmalar oldukça fazla olmasına rağmen şevli zemin yüzeyleri içine gömülü ankrajların davranışının incelenmesine yönelik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada kum zemine gömülü bir kenarı B=50 mm olan kare kesitli ankraj plakasının çekme kapasitesi model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneylerde gömülme derinliği, kum sıklığı ve şev tepesine mesafe gibi etmenlerin ankrajın çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

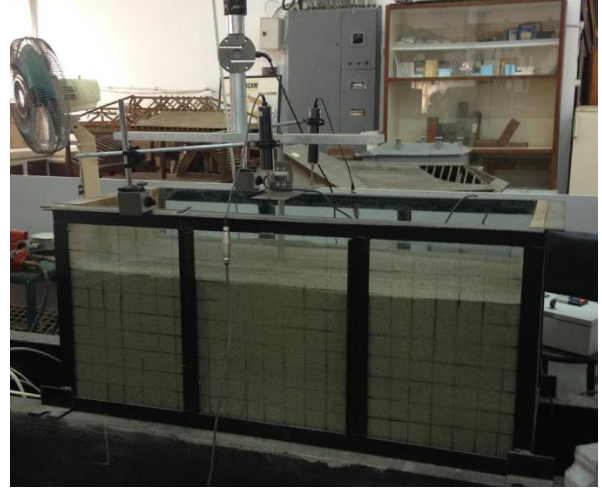
Çalışmada, kum zemine gömülü tek bir ankrajın çekme davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar kum doldurularak çekme

yükününün uygulanabildiği kum kasası ve kasaya yük verebilen yükleme çerçevesinden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin boyutları ve şematik gösterimi Şekil 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Deney düzeneği

Deneyler yükleme çerçevesine yerleştirilmiş, şevli ve şevsiz kum içerisine yerleştirilen ankraj plakalarına çekme yükü uygulanması ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda; geometrisi kare olan model ankraj plakası kullanılmıştır. Model ankraj; 50mm × 50mm boyutunda olup, 10mm kalınlıktadır. Ankraj elemanı ile yükleme düzeneği arasında yük hücresi yerleştirilerek çekme yükleri belirlenmiştir. Ankraj plakasının bağlı olduğu çekme çubuğuna yerleştirilen düzenek ile deplasman ölçümleri yapılmıştır. Deplasman ölçerler ve yük hücrelerinden alınan veriler veri kaydetme ünitesi yardımıyla toplanarak, yük – deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Deney düzeneği Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Deney düzeneği

Deneysel çalışmalarda ankraj plakasının şevli zeminde farklı gömülme derinlikleri ve şev tepesine farklı uzaklıklarda olması durumunda çekme kapasitesi değişimi incelenmiştir. Deneylerde şevin oluşturulması amacıyla Keskin (2009) tarafından geliştirilen bir düzenek kullanılmış olup, şevde zemin sıklığının sağlanması için düzenek aşamalı olarak doldurulmuştur. Kullanılan şev düzeneği Şekil 3’de gösterilmektedir.



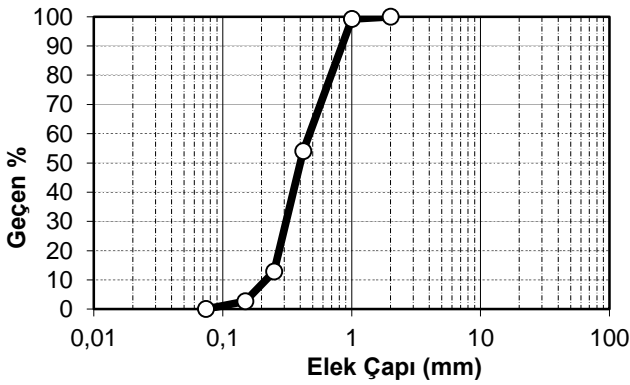
Şekil 3. Şev hazırlama düzeneği

### Kum Zemin

Deneysel çalışmalarda, zemin olarak kum zeminler kullanılmış olup, kum zeminler Çukurova Bölgesi, Seyhan Nehri yatağından temin edilmiştir. Kum zeminler ASTM D2487 (American Standarts of Testing Materials) standartlarına göre 18 No’lu (1mm çaplı) ve 200

No'lu (0.074mm çaplı) eleklerden yıkanarak elenmiş ve kurularak deneylerde kullanılmıştır. Kumların endeks ve mukavemet parametreleri klasik zemin mekaniği deneyleri ile belirlenmiştir (Bildik, 2013).

ASTM D2487 standartlarına göre kum zemin bir seri elekten elenerek, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre sınıflandırılmıştır. Kum zemin kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Elek analizinden elde edilen granülometri eğrisi Şekil 4'de, kum zemin özellikleri ise Tablo 1'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Kum zemin granülometri eğrisi

Deney kumunun, minimum ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ASTM D4253 ve D4254'e göre belirlenmiştir. Minimum kuru birim hacim ağırlık için en büyük dane boyutu için önerilen hacimde kap kullanılmıştır ( $V=940\text{cm}^3$ ).  $\gamma_{kmin}$  değeri elde edilirken, kum numuneler kap içerisine, herhangi bir sıkıştırmaya tabi tutulmadan yerleştirilmiştir.  $\gamma_{kmaks}$  değeri ise, kum numuneler ıslatılarak, yoğunluk kabına çekiç ile titreşim verilerek suretiyle sıkıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ASTM D4253 ve D4254'de belirtilen yöntem kullanılarak, belirli sıkılık değerlerine denk gelen birim hacim ağırlıklar elde edilmiştir. Model deneylerde kum numuneler, kasa içerisine sıkılık derecesi  $D_r=\%35$  ( $\gamma_k=15.715\text{ kN/m}^3$ ),  $D_r=\%65$  ( $\gamma_k=16.585\text{ kN/m}^3$ ) ve  $D_r=\%85$  ( $\gamma_k=17.165\text{ kN/m}^3$ ) olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu durumda deneylerde kumun sıkılık derecesi literatürdeki sıkılık dereceleri dikkate alındığında %35 için gevşek-orta sıkı, %65 için orta sıkı-sıkı ve %85 için sıkı-çok sıkı arasında kalmaktadır.

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan kumun endeks özellikleri

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Kaba Kum Yüzdesi	%	0.0
Orta Kum Yüzdesi	%	46.90
İnce Kum Yüzdesi	%	54.10
Efektif Dane Çapı, $D_{10}$	mm	0.20
$D_{30}$	mm	0.30
$D_{60}$	mm	0.50
Üniformluk Katsayısı, $C_u$	-	2.50
Derecelenme Katsayısı, $C_c$	-	0.90
Zemin Sınıfı	-	SP

## Deney Programı

Bir ankraj plakasının kapasitesini ankrajın kendi ağırlığı ile göçme anında serbest yüzey boyunca sürtünme direnci ve ankraj üzerinde kalan zeminin ağırlığı belirleyen temel faktörlerdir. Ankrajların gömüldüğü zeminin sıkılığı da ankraj kapasitesini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Bunun yanı sıra ankrajın gömülme derinliği de çekme kapasitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bunlara ek olarak ankrajın gömüldüğü zeminin şevli olup olmaması da ankrajın çekme kapasitesini etkileyen bir başka önemli faktördür. Bu sebeplerden ötürü bu çalışmada 50x50mm boyutlarında kare kesitli bir ankraj üzerinde 39 adet laboratuvar model deneyi gerçekleştirilmiştir. Şevli ve şevsiz durumda yapılan deneylere ait program Tablo 2' ve Tablo 3'de özetlenmektedir. Şevli deneyler  $30^\circ$  şev açısı için gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 2.** Şevsiz durumda deney programı

Kum Sıkılığı	Kumun Birim Hacim Ağırlığı	Gömülme Oranı
Gevşek	$\gamma_k = 15.7\text{ kN/m}^3$	H/B=1~8
Orta Sıkı	$\gamma_k = 16.5\text{ kN/m}^3$	H/B=1~8
Sıkı	$\gamma_k = 17.1\text{ kN/m}^3$	H/B=1~8

**Tablo 3.** Şevli durumda deney programı

Kum Sıklığı	Şev Tepesine Mesafe	Gömülme Oranı
Orta Sıkı	b/B = 1	H/B=1~5
Orta Sıkı	b/B = 2	H/B=1~5
Orta Sıkı	b/B = 3	H/B=1~5

Deney sonuçlarının genel değerlendirilmesi amacıyla sonuçlar boyutsuz parametreler ile deneleştirilmiştir. Kopma faktörü  $F_q$  ve şevli durumdaki ankraj kapasitesinin, şevsiz durumdaki ankraj kapasitesine oranlayarak elde edilen UCR (çekme kapasitesi oranı), boyutsuz parametreler olarak kullanılmıştır.

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

Burada;

A : Ankraj Plaka Yüzey Alanı

$F_q$  : Kopma Faktörü

$Q_u$  : Çekme Yüğü

$\gamma$  : Zeminin Birim Hacim Ağırlığı olarak tanımlanmaktadır.

$$UCR = \frac{Q_{sevli}}{Q_{sevsiz}} \quad (2)$$

Burada;

UCR: Çekme kapasitesi oranı

$Q_{sevli}$  şevli durumdaki ankrajın çekme kapasitesini

$Q_{sevsiz}$  ise şevsiz durumdaki ankrajın çekme kapasitesini ifade etmektedir.

## Bulgular ve Tartışma

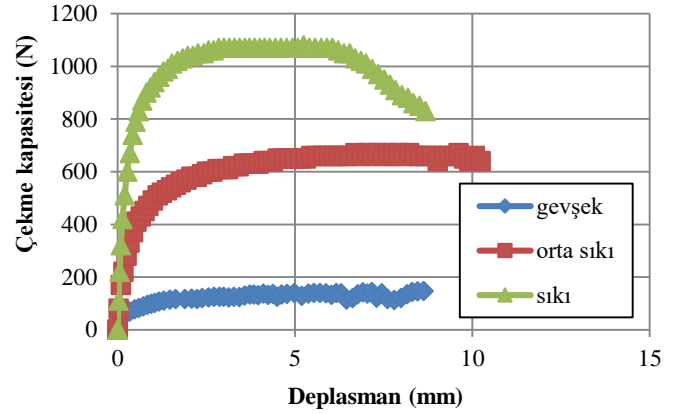
### Şevsiz Zeminde Yapılan Deneyler

#### Sıklığın Çekme Kapasitesine Etkisi

İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), kohezyonun sıfır olduğu zeminlerde taşıma kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Sıklık derecesi ise zeminlerin

içsel sürtünme açısını etkileyen en önemli faktördür (Özaydın, 1989). Kumun sıklığına bağlı olarak temel sistemlerinin yenilme mekanizmaları doğrudan etkilenmekte olup, taşıma kapasitesi kumun sıklığına ve buna bağlı olarak zeminin içsel sürtünme açısına bağlıdır.

Deneylerde sıklığın çekme kapasitesine etkisinin incelenmesi amacıyla kum zemine gömülü ankrajlar üzerinde üç farklı zemin sıklığında deneyler yapılmıştır. Kum zeminin gevşek durumdaki birim hacim ağırlığı  $\gamma_k=15.7\text{kN/m}^3$ , orta sıkı durumdaki birim hacim ağırlığı  $\gamma_k=16.5\text{kN/m}^3$  ve sıkı haldeki birim hacim ağırlığı ise,  $\gamma_k=17.1\text{kN/m}^3$ 'tür. Homojen bir sıklık ve zemin ortamı sağlanması amacıyla zemin tabakalar halinde kasaya doldurulmuştur. H/B=8 gömülme oranında sıklık etkisi Şekil 5'de gösterilmektedir.



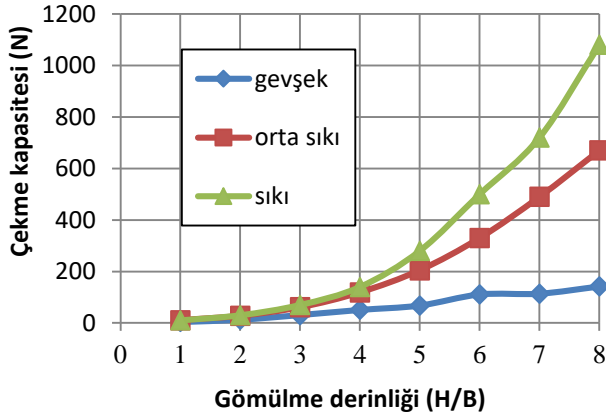
Şekil 5. Sıklığın çekme kapasitesine etkisi (H/B=8)

Ankraj plakasının kapasitesinin belirlenmesinde göçme yükü belirlenmiş olup, bu yük değeri eğrinin dönmeye başladığı yer olarak belirlenmiştir. Deplasman değeri ise göçme anındaki deplasman olarak belirlenmiştir.

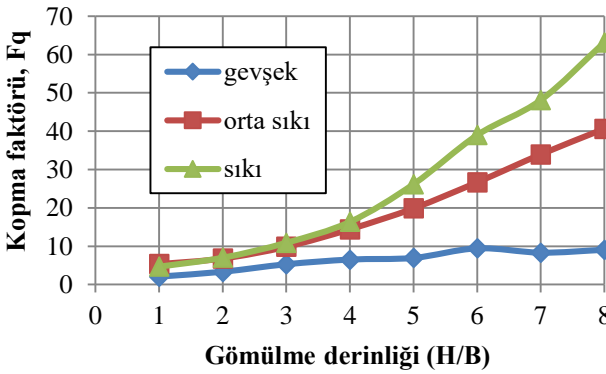
Deney sonuçlarına göre; orta sıkı kuma gömülü ankraj plakası, gevşek kuma gömülü ankraj plakasının yaklaşık 4 katı kadar, sıkı kuma gömülü ankraj plakası ise yaklaşık 7 katı kadar çekme kapasitesine sahiptir. Elde edilen sonuçlar sıklığın çekme kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

## Gömülme Derinliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi

Çekme kapasitesinin gömülme derinliği ile ilişkisinin belirlenmesi amacıyla kare ankrajlar üç farklı sıklıktaki zemin içine  $H/B=1\sim 8$  oranlarında yerleştirilerek, ankraj davranışı incelenmiştir. Üç farklı sıklık için elde edilen çekme kapasitesi değişimi Şekil 6'da sunulmaktadır. Üç farklı sıklık durumu için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde gömülme oranının artmasıyla birlikte, çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca kopma faktöründeki değişimin, gevşek kum durumunda belirli bir gömülme oranından sonra asimptota yaklaştığı, orta sıkı ve sıkı kum durumunda ise parabolik olarak arttığı görülmüştür (Şekil 7). Üç farklı sıklık değeri içinde gömülme derinliğinin artmasıyla çekme kapasitesinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.



Şekil 6. Gömülme derinliğinin çekme kapasitesine etkisi

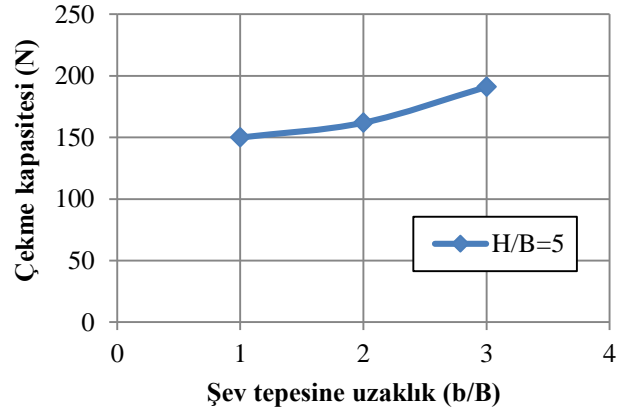


Şekil 7. Gömülme derinliğinin kopma faktörüne etkisi

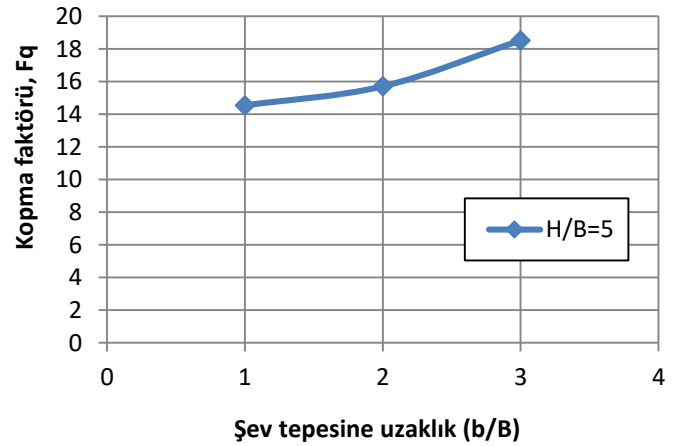
## Şevli Zeminde Yapılan Deneyler

### Sıklığın Çekme Kapasitesine Etkisi

Ankrajın şevli zemin ortamında etkisinin incelenmesi amacıyla, ankraj plakası şev tepesinden farklı uzaklıklara yerleştirilerek deneyler yapılmış olup, deneyler  $D_r=\%65$  sıklık ve  $\beta=30^\circ$  şev açısında gerçekleştirilmiştir. Ankrajın şev tepesine farklı mesafelerde yerleştirilmesinin, çekme kapasitesine etkisini araştırmak için gerçekleştirilen deneylerden,  $b/B$  oranı arttıkça, yani şev tepesinden uzaklaştıkça, şevli zemine gömülü ankrajın çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Şev tepesine uzaklığın çekme kapasitesine etkisini göstermek amacıyla,  $H/B=5$  gömülme oranında yapılan deneyin sonuçları Şekil 8'de, kopma faktörü değişimi ise Şekil 9'da gösterilmiştir.

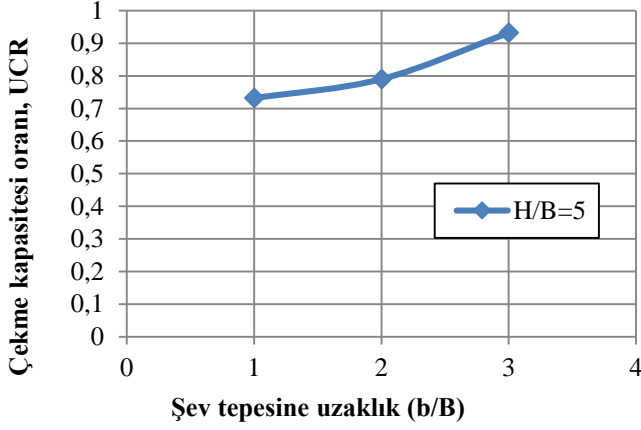


Şekil 8. Şev tepesine uzaklığın çekme kapasitesine etkisi



Şekil 9. Şev tepesine uzaklığın kopma faktörüne etkisi

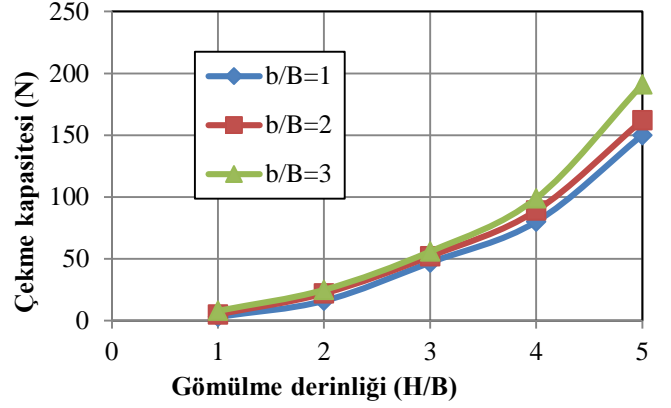
Ankraj plakasının şev tepesine uzaklığının etkisinin belirlenmesi amacıyla sonuçlar ayrıca çekme kapasitesi oranı (UCR) cinsinden Şekil 10'da gösterilmektedir. Şev tepesinden uzaklaştıkça  $b/B=3$  mesafesinden itibaren, şevin ankrajın çekme kapasitesi üzerindeki etkisini yitirdiği ve şevsiz durumdaki çekme kapasitesine %93 oranında yaklaştığı gözlemlenmiştir.



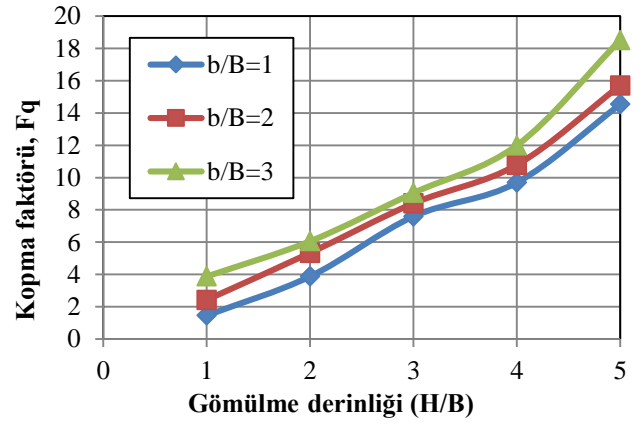
Şekil 11. Farklı  $b/B$  oranlarında UCR değişimi

### Gömülme Derinliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi

Daha önce şevsiz durumda iken ankrajın çekme kapasitesi üzerine gömülme derinliğinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında şevli durum için de bu etki araştırılmıştır ve beklenildiği gibi gömülme derinliğinin ankrajın çekme kapasitesi üzerinde şevsiz durumda olduğu gibi önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Şev tepesine üç farklı mesafe ( $b/B=1, 2$  ve  $3$ ) için gömülme derinliğinin çekme kapasitesi üzerindeki etkisi Şekil 11'de gösterilmiştir. Sonuçlar ayrıca Şekil 12'de kopma faktörü cinsinden verilmektedir. Elde edilen sonuçlar gömülme derinliğinin artmasıyla birlikte çekme kapasitesinin önemli mertebelerde arttığını göstermektedir.



Şekil 11. Farklı  $b/B$  oranlarında gömülme derinliğinin çekme kapasitesine etkisi



Şekil 12. Farklı  $b/B$  oranlarında gömülme derinliğinin kopma faktörüne etkisi

## Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, şevli ve şevsiz kum zeminlere gömülü  $B=L=50\text{mm}$  boyutlarındaki ankraj plakasının çekme kapasitesi laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Deneylerde, gömülme derinliği, kullanılan kumun sıkılığı ve ankrajın şev tepesine olan mesafesinin, ankrajın çekme kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

1. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney kumunun sıkılık oranının artmasıyla, ankrajın çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Bu durum kumun sıkılığının artmasıyla, ankrajın çekme kapasitesinde

etkili olan zemin ağırlığının artması, içsel sürtünme açısındaki artış ve kopma yüzeylerinde oluşan direncin artmasından kaynaklanmaktadır.

2. Sıkı kuma gömülü ankraj plakası üzerinde yapılan deneyler sonucu belirlenen çekme kapasitesinde, gevşek duruma göre yaklaşık 7 kat artış olduğu görülmüştür. Orta sıklıktaki kuma gömülü ankraj plakası üzerinde yapılan deneyler sonucu belirlenen çekme kapasitesi ise gevşek duruma göre yaklaşık 4 kat daha fazla bulunmuştur.
3. Şevli ve şevsiz durumda ankrajın gömülme derinliğinin artmasıyla çekme kapasitesinin önemli mertebelerde arttığı görülmüştür.
4. Şeve gömülü ankraj plakalarında şev tepesinden uzaklaştıkça, ankrajın çekme kapasitesi artmaktadır. Şev tepesinden uzaklaştıkça, şev etkisini yitirmekte ve  $b/B=3$  mesafesinden itibaren hemen hemen şev etkisi kalmamaktadır.

## Kaynaklar

- Adams, J. K., and Hayes, D. C., 1967. The Uplift Capacity of Shallow Foundations, Ontario Hydro. Res. Quarterly, 19 (1), 1.
- Andreadis, A., Burley, E., and Harvey, C. (1981). "Embedded anchor response to uplift loading." *J. Geotech. Engrg. Div.*, 107(1), 59–78.
- 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.
- Baker, W., and Kondner, R. (1966). "Pullout load capacity of a circular earth anchor buried in sand." Highway Research Record No. 108, National Academy of Sciences, 1–10.
- Bildik, S. (2010). Temel mühendisliğinde çekme dayanımının irdelenmesi ve farklı tiplerdeki temellerin çekme dayanımının analizi, *Yüksek Lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bildik, S., Laman, M., and Suleiman, M., 2013. Uplift Behavior of Anchor Plates in Slope. Geo-Congress 2013: pp. 1795-1803.
- Bildik, S. (2013). Farklı zemin ve yükleme koşullarındaki gömülü boru sistemlerinin davranışının araştırılması, *Doktora tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Chattopadhyay, B. C., and Pise, P. J. (1986). "Breakout resistance of horizontal anchors in sand." *Soils Found.*, 26, 16–22.
- Das, B. M. (2009). *Shallow foundations: bearing capacity and settlement*, 384, CRC Press, USA.
- Dickin, E. A. (1988). "Uplift behaviour of horizontal anchor plates in sand." *J. Geotech. Engrg.*, 114(11), 1300–1317.
- 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. and Leung, C. F., 1992. The Influence of Foundation Geometry on the Uplift Behaviour of Piles with Enlarged Bases, *Canadian Geot. J.*, 29 (3): 498-505.
- Dickin, E.A., Laman, M. (2007). Uplift response of strip anchors in cohesionless soil. *Advances in Engineering Software*. 38, 618-625.
- Hanna, T., Sparks, R., Yilmaz, M., 1972. Anchor Behaviour in Sand, *J Soil Mech Found Eng Div ASCE*, 98 (11): 1187–1207.
- Keskin, M.S. (2009). Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik analizi, *Doktora tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kumar, J. (1997). "Upper Bound Solution for Pullout Capacity of Anchors on Sandy Slopes." *Int. J. for Num. and Analytical Met. in Geo.*, Vol. 21, 477-484.
- Meyerhof, G.G. and Adams, J.I. (1968). The ultimate uplift capacity of foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, 5(4), 225-244.
- Murray, E. J., and Geddes, J. D. (1987). "Uplift of anchor plates in sand." *J. Geotech. Engrg.*, 113(3), 202–215.
- Ovesen, N. K. (1981). "Centrifuge tests of uplift capacity of anchors." *Proc., 10th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Sweden, 717–722
- Özaydın, K., 1989. Zemin Mekaniği, Birsen Kitabevi, İstanbul.
- Rowe, R. K., Davis., E. H., 1982. The Behaviour of Anchor Plates in Sand, *Geotechnique*, Vol. 32, No. 1, June, pp. 25-41.
- Sawwaf, M. A. E. (2007). "Uplift Behavior of Horizontal Anchor Plates Buried in Geosynthetic Reinforced Slopes." *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 30(5).
- Sutherland, H. B., Finlay, T. W., and Fadl, M. O. (1982). "Uplift capacity of embedded anchors in sand." *Proc., 3rd Int. Conf. Offshore Structures*, 2, Cambridge U.K., 451–463.



- Tagaya, K., Scott, R. F., and Aboshi, H., 1988. Pullout Resistance of Buried Anchor in Sand. *Soils and Foundations* 28 (3), pp. 114-130.
- Vesic, A. S., 1971. Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom, *Journal of Soil Mech. Found. Div., ASCE*, 97(9), 1183.
- Zurita, E. B., Williams, D. M., Bledsoe, J. K., Pugh, A. D., and Newman, F. B. (2007). "AEP 765 kV Transmission Line: Uplift Capacity of Shallow Foundations on Sloping Ground." *Electrical Transmission Line* 2006. ASCE, 215-226.

## Experimental investigation of uplift capacity of anchor plates embedded on sandy slopes

### Extended abstract

Anchor systems are the most commonly used structures to support overturning moments. Various studies have conducted by numerous researchers about anchor plates (Balla 1961; Meyerhof and Adams 1968; Vesic 1971; Hanna et al. 1972). The uplift resistance of anchors in sand has been investigated in various studies by means of laboratory experiments and numerical analyses (Andreadis et al. 1981; Ovesen 1981; Dickin 1988; Dickin and Laman 2007). In addition to these, theoretical studies about anchor plates have been conducted by using a rigid plastic analysis (Chattopadhyay and Pise 1986; Murray and Geddes 1987). Rowe and Davis (1982) studied behavior of anchor plates using finite element methods based on Mohr-Coulomb failure criterion. Sutherland (1988) stated that the finite element analysis for cohesionless soils shows unsatisfactory results. Previous studies of elastoplastic finite element analysis have not fully considered the progressive failure (Tagaya et al. 1983). Research about anchors conducted two categories can be identified: a shallow anchor and a deep anchor (Baker and Kondner 1966; Sutherland et al. 1982). When the failure surface in soil extends up to the ground surface at ultimate load, it is defined as a shallow foundation. For larger values of embedment ratio, failure takes place around the foundation and the failure surface does not extend to the ground surface. These foundations are defined as deep foundation (Das, 2009). The literature, researchers concentrated on behavior of shallow and deep anchors in horizontal surfaces. It has been limited studies about uplift behavior of anchor plates in slope.

Kumar (1997) investigated anchor plate behavior in a slope by upper bound solution. Pullout capacity of horizontal anchors, even on slopes, remains the same as that on horizontal ground surface for equal embedment ratios. However, for anchors, which are placed parallel to the slope, the pullout capacity decreases continuously with increase in the inclination of ground surface. Zurita et al. (2007) investigated uplift capacity of shallow foundations on sloping ground. They presented an analytical method to estimate the increased depth required for foundations in sloping ground to match the level

ground uplift capacity. Their procedure is based on changes resulting from the sloping ground in the active and passive pressures on the sides of the soil prism above the foundation. Sawwaf (2007) studied uplift behavior of horizontal anchor plates located near sandy earth slopes with and without geosynthetic reinforcement in model tests. Tests results showed that using geosynthetic reinforcement has a significant effect in improving the uplift capacity of the anchorage plate. It was found that inclusion of one layer that is placed resting directly on top of the anchor plate was more effective in enhancing the anchor capacity than reinforcing the slope itself.

In this study, the uplift capacity of the anchor plate with dimensions of  $B = L = 50$  mm embedded in sloped and sand grounds was investigated by conducting laboratory model tests. In the experiments, the relative density of sand, embedment ratio of anchor plate, and the location of the anchor plate relative to the slope crest were investigated.

It has been observed that the uplift capacity of the anchor is increased by increasing the embedment ratio of anchors and the relative density of the sand used in experimental studies. In addition, the results show that setback distance of the anchor from the slope crest is affected uplift capacity of anchor plates.

**Keywords:** anchor plate, model test, slope, uplift capacity, breakout factor, sand.