

## HELİSEL ANKRAJ PLAKALARININ TABAKALI ZEMİNLERDEKİ ÇEKME KAPASİTELERİNİN İNCELENMESİ

<sup>1</sup>Ahmet DEMİR, <sup>2</sup>Bahadır OK

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

<sup>2</sup>Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

<sup>1</sup>ahmetdemir@osmaniye.edu.tr, <sup>2</sup>bahadirok@adanabtu.edu.tr

(Geliş/Received: 27.01.2015 ; Kabul/Accepted in Revised Form: 14.05.2015)

**ÖZET:** Bu çalışmada, tabakalı zeminlere (kil-kum) inşa edilen helisel ankraj plakalarının çekme kapasitesi laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneylerde 50mm çapında helisel model ankraj plakası kullanılmıştır. Model deneylerde tabakalı zeminlerde kum tabakası sıklığının ankraj plakasının çekme kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kum sıklığının artması ile ankraj plakasının çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, model deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS 2D bilgisayar programı ile modellenip analiz edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve gerekli öneriler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Helisel ankraj, tabakalı zemin, çekme kapasitesi, zemin sıklığı

### An Investigation of Uplift Capacity of Helical Anchor Plates in Layered Soil

**ABSTRACT:** In this study, uplift capacity of helical anchor plate embedded in layered soil (clay-sand) was investigated by conducting small scale model tests in laboratory. Model anchor plate with 50mm diameters of helix were used in the tests. The parameter investigated for the uplift capacity is density of sand. It was observed that uplift capacity of anchor plate increased with increasing density of sand. In addition, the tests were modelled by using the finite element program called PLAXIS 2D. The experimental results were compared with the numerical results and finally, some necessary suggestions for continuation of this work were put forward.

**Key Words:** Helical anchor, layered soil, uplift capacity, density of soil

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Temel Mühendisliği, zemin mekaniği ve zemin dinamiği bölümlerine ayrılan geoteknik mühendisliğinde, son 45 yıldır temellerin çekme (uplift) kuvvetleri ile ilgili çalışmalar yer almakta olup, konu ile ilgili tasarım kriterleri geliştirilmektedir. Çekme kuvveti alan temel sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, basınç kuvveti alan temel sistemleri üzerine yapılan çalışmalara kıyasla oldukça azdır. Bir gömülü ankrajın çekme kapasitesi, genellikle temelin kendi ağırlığı, serbest yüzey boyunca sürtünme direnci ve yenilme bölgesi içerisinde kalan zeminin ağırlığından oluşmaktadır. Gerekli olan çekme kapasitesi ancak temel boyutu, gömülme derinliği ve dolgu sıklığı artırılarak elde edilebilir. Bir ankraj davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla bu parametrelerin, kum içerisindeki temellerin çekme kapasitesi üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. (Adams ve Hayes, 1967; Balla, 1961; Meyerhof ve Adams, 1968; Das ve Seeley, 1975; Dickin ve Leung, 1990)

Adams ve Hayes (1967) yayın hattı kuleleri inşaatı için, ankrajlar üzerinde geniş ölçekli arazi deneyleri yapmışlardır. Ankrajların davranışlarını daha iyi anlamak amacıyla Balla (1961), Meyerhof ve Adams (1968), Das ve Seeley (1975) Sutherland ve diğ. (1982) ve Ghaly ve diğ. (1991) geleneksel olarak laboratuarda küçük ölçekli model çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca diğer araştırmacılardan Dickin (1988) ve Dickin ve Leung (1990, 1992) santrifüj modelleme tekniğini geliştirerek tam ölçekli prototipler üzerinde istenilen gerilme durumları için gerekli verileri elde etmişlerdir.

Teorik analizler ise, Vesic (1971)'in boşluk genişleme teorisini, Chattopadhyay ve Pise (1986), Saran ve diğ. (1986)'in sınır denge analizini ve Rowe ve Davis (1982)'in elastoplastik sonlu eleman analizlerini içermektedir. Bu geniş araştırma kaçınılmaz olarak farklı dizayn metotlarını ortaya çıkarmıştır. Dickin (1988) ve Dickin ve Leung (1990) kum içerisinde ankraj plakalarının çekme kapasitesini veren mevcut dizayn metotlarının büyük bir kısmını özetlemiştir.

Literatürde, homojen zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme davranışları üzerine nümerik ve deneysel çalışmaların oldukça fazla olduğu, buna karşın tabakalı zeminlere gömülü temellerin çekme davranışlarının yeterince incelenmediği görülmektedir. Stewart (1985), tabakalı zeminde (kil-kum) dairesel ankraj plakalarının çekme kapasitelerini farklı koşullarda model deneylerle araştırmıştır. Patra ve diğ. (2004), iki farklı sıklıktaki tabakalı kum zeminde model deneyler yaparak sıklığın etkisini araştırmışlardır. Niroumand ve diğ. (2011), tabakalı kum zeminlerde ve tabakalı kil kum zeminlerde düzensiz şekilli ankraj plakaları üzerinde model deneyler yaparak çekme kapasitesini incelemiştir. Üzerinde yeterince çalışma olmamasına rağmen, mühendisler şantiyede sık sık tabakalı zeminlerle karşılaşmaktadır. Bu tür zeminlerde çekme kuvveti alan temellerin tasarım parametreleri tam belirlenmiş olmamasından dolayı tasarım safhasında belirsizliklerle karşılaşmakta inşa sonrasında ise güvenliğinden tam emin olunmamaktadır.

Helisel ankrajların en önemli avantajları, auger ekipmanına sahip herhangi bir kamyon ya da taşıyıcı aracılığıyla, araziye en az düzeyde rahatsız ederek zemin içerisine çok hızlı bir şekilde inşa edilebilmeleridir. Diğer ankraj sistemleri kullanıldığında zemin önce istenilen derinliğe kadar kazılır. Ankraj plakası yerleştirilir. Plakanın üzeri kontrollü dolgu yapılarak kapatılır. Kazma ve dolgu işlemleri zaman alıcıdır ve kazma sırasında zemin daha çok örselendiğinden taşıma gücü kayıpları daha fazladır. Ancak helisel ankraj sistemleri kullanıldığında kazma işlemi olmadan auger elemanı ile ankraj plakası istenilen derinliğe yerleştirilir. Böylece hem zemin daha az örselenerek inşaat tamamlanmış olur hem de zamandan kazanç elde edilmiş olur. Zamandan elde edilen kazançla temel inşaat maliyeti daha makul düzeylere inebilir. Literatürde helisel ankraj sistemlerinin çekme davranışları üzerine çalışmalar oldukça azdır. Mitsch ve Clemence (1985)'te kum zeminlere gömülü çoklu helisel ankraj plakalarının nihai çekme kapasitesinin tahmini için yarı ampirik çözümler önermişlerdir. Ghaly ve diğ. (1991)'de kum zeminlere gömülü tekli helisel ankraj plakalarının çekme davranışlarını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Merifield (2011)'de killi zeminlerde çoklu helisel ankraj plakalarının çekme davranışını daha iyi anlamak için sayısal modelleme teknikleri geliştirmiştir.

Bu çalışmadaki model deneylerle amaçlanan arazide kolay inşa edilebilen helisel ankraj plakalarının tabakalı zeminlerde çekme kapasitesinin hakkında bir bilgi vererek arazideki denemelere ışık tutmaktır. Yapılan model deneylerle helisel ankraj plakalarının tabakalı zeminlerdeki çekme kapasiteleri incelenmiştir. Tabakalı zeminde kumun sıklığı parametresinin çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, model deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS 2D bilgisayar programı ile modellenip analiz edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve gerekli öneriler yapılmıştır.

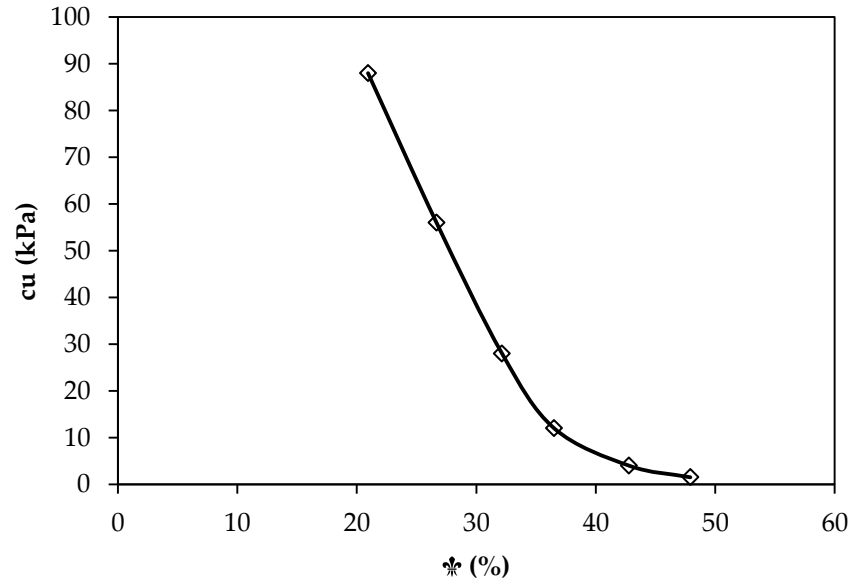
## 2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Deneysel çalışmada kullanılacak kil zemin numuneleri Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisleri içerisinde bulunan, kullanılmayan ve üzerinde herhangi bir yapının teşkil edilmediği bir araziden, muayene çukuru açılarak (yaklaşık 1.5-2.0m derinlikten) alınmıştır. Daha önceki akademik çalışmalarda bu araziden alınan kil numuneler üzerinde laboratuvar deneyler yapılmış, kil numunelerin fiziksel ve

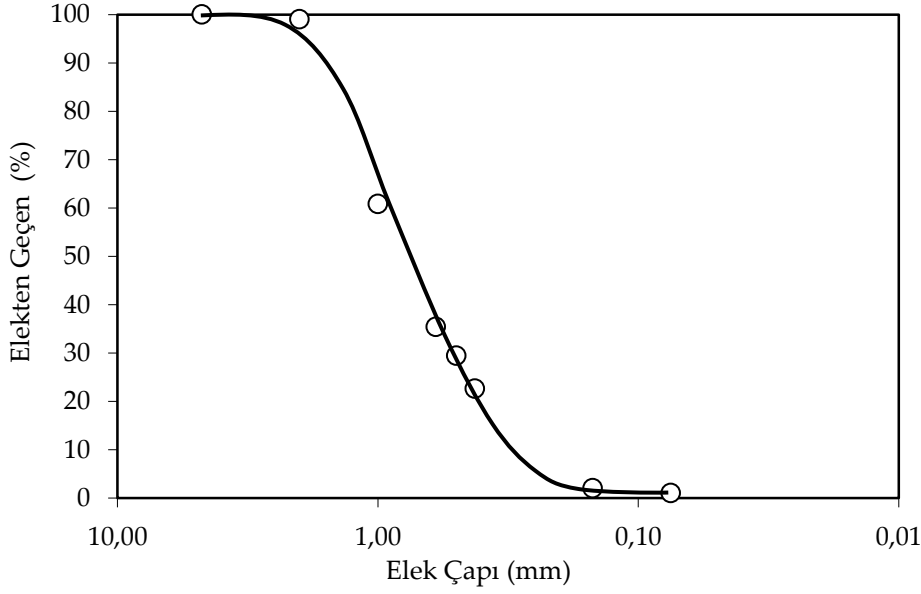
mühendislik özellikleri belirlenmiştir (Demir, 2011). Deneyleerde kullanılan kil zeminin özellikleri toplu olarak Çizelge 1’de verilmiştir. Laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen su içeriği drenajsız kayma mukavemeti ilişkisi Şekil 1’de gösterilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılacak kum zemin numuneleri Ceyhan nehir yatağından alınmıştır. Kum numuneler üzerinde, zemini sınıflamaya yönelik ve mukavemet özelliklerini tespit etmek için ASTM standartlarına uygun (ASTM D854, ASTM D3080-90) bir seri deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne (USCS) göre kullanılan kumun zemin sınıfı, kötü derecelenmiş iri (kaba) ve temiz kum (SP) ve dane birim hacim ağırlığı  $\gamma_s=27.3$  kN/m<sup>3</sup>olarak bulunmuştur. Kum zeminin granülometre eğrisi Şekil 2’de sunulmuştur.

**Çizelge 1.** Deneyleerde Kullanılan Kil Zeminin Özellikleri (Ok, 2014) (*Properties of Clay Soil Which Used in the Experiments*)

Parametre	Değer
Dane Birim Hacim Ağırlığı $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	26
Likit limit, LL (%)	55
Plastik limit, PL (%)	22
Sınıflandırma	CH
Su Muhtevası, $\omega$ (%)	35
Yoğunluk, $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.2
Drenajsız kayma mukavemeti $c_u$ (kPa)	12



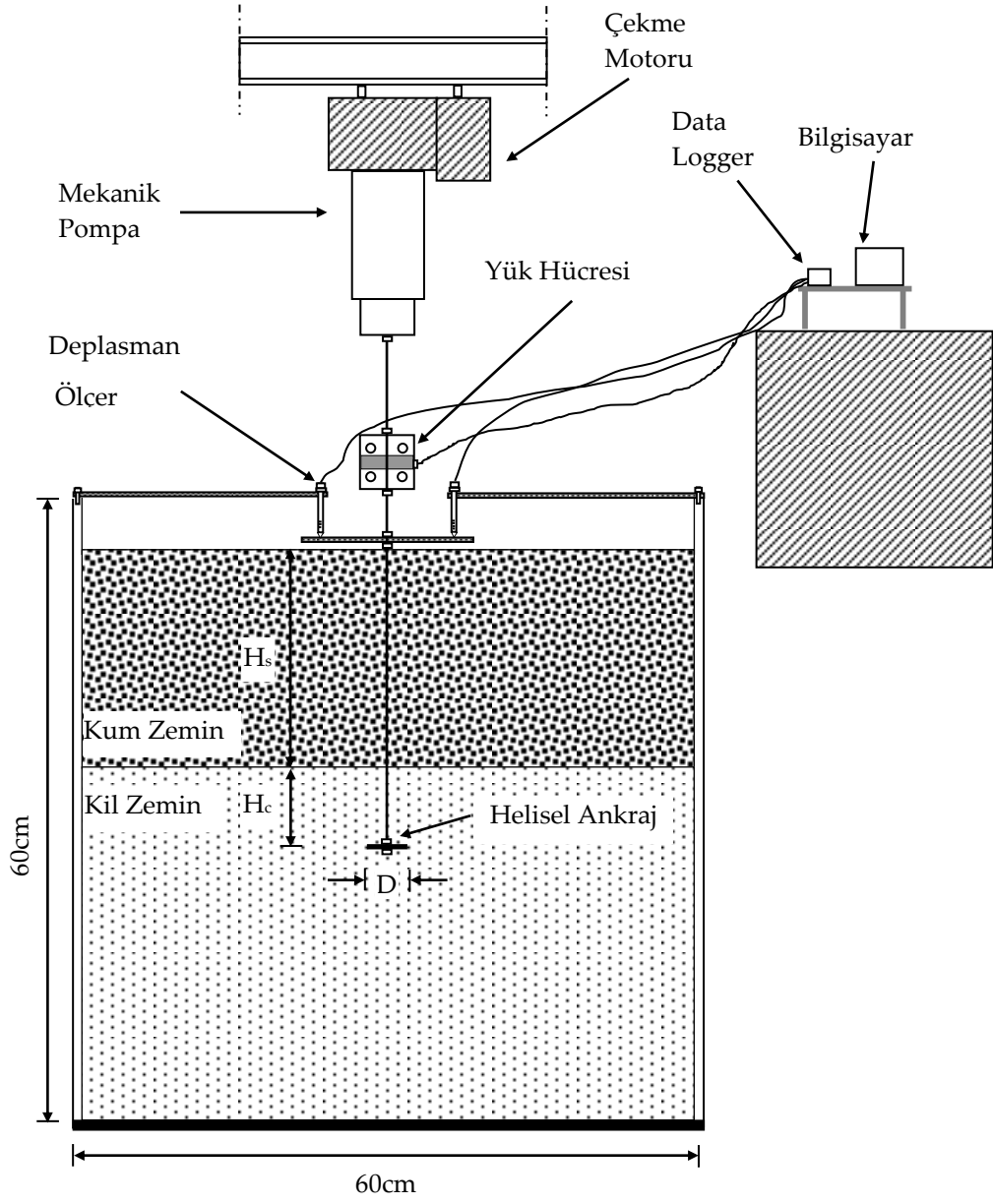
**Şekil 1.** Su İçeriği Drenajsız Kayma Mukavemeti İlişkisi ( $\omega$ - $c_u$ ) (Ok, 2014)  
(*Undrained Shear Strength of Water Content Relationship*)



Şekil 2. Granülometre Eğrisi (Ok, 2014) (*Grain Size Curve*)

Deney kumunun, minimum ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve belirli sıklık değerlerine denk gelen birim hacim ağırlıkları ASTM D4253 ve D4254'e standartlarına göre belirlenmiştir. Kum zemin deney tankı içerisine  $D_r=80$ ,  $D_r=60$  ve  $D_r=40$  olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiştir. Bu üç sıklıktaki kumun kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla  $\gamma_k=17.1$  kN/m<sup>3</sup>,  $\gamma_k=16.7$  kN/m<sup>3</sup> ve  $\gamma_k=16.4$  kN/m<sup>3</sup>'dir. Kum zeminin kayma mukavemeti parametrelerini tespit etmek için ASTM D3080-90 standardına göre kesme kutusu deneyleri yapılmış ve kayma mukavemet açısı, üç farklı sıklık için ( $D_r=80$ ,  $D_r=60$ ,  $D_r=40$ ) sırasıyla  $\phi=41,5^\circ$ ,  $\phi=38,5^\circ$  ve  $\phi=35,5^\circ$  olarak bulunmuştur.

Deneyler Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde ankraj plakalarının çekme kapasitesini ölçmek için STCS-S tipi yük hücresi, düşey deplasmanı ölçmek için deplasman transducerleri elde edilen verileri kayıt etmek içinse Data Logger kullanılmıştır. Deney Düzeneği şematik olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Deneyler et kalınlığı 1cm, çapı ve yüksekliği 60cm olan çelik malzemeden yapılmış dairesel bir tankta gerçekleştirilmiştir. 5cm çapında çelikten yapılmış rijit helisel ankraj plakaları kullanılmıştır. Ankraj plakaları bağlantı elemanına bulonlarla sabitlenmiştir. Bağlantı elemanı ile birlikte helisel ankraj Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney Düzenegi Şeması (Ok, 2014) (Test Setup)



Şekil 4. Helisel Ankraj Plakası (Ok, 2014) (*Helical Anchor Plate*)

Deneylerde aşağıdaki aşamalara uyularak gerçekleştirilmiştir.

- Model ankraj plakası deney tankının ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır.
- Deneylerde deney tankına bir tabaka zemin yerleştirilmiş (5cm) onun yüzüne ankraj plakası oturtulmuş ankaraj plakasının üzerine tabakalar halinde istenilen gömülme derinliğine kadar kil ve kum zemin yerleştirilmiştir.
- Daha önceden %35 su içeriğine getirilen kil numuneleri birim hacim ağırlığı 1,82 g/cm<sup>3</sup> olacak şekilde 5cm tabakalar halinde el yardımı ile deney tankına yerleştirilmiştir. Deney tankının kenarı ölçeklendirilmiştir. Her tabaka için gerekli kil ağırlığı önceden hesaplanmıştır. Hesaplanan kadar kil sabit yükseklikten düşürülen ağırlıkla düzgün bir şekilde deney tankına yerleştirilmiştir. İstenilen su içeriğinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolü için, yerleştirilen tabakadan rasgele su içeriği örnekleri alınmıştır. Alınan su içeriği örnekleri %35±1.5 aralığında çıkmıştır. Bu şekilde kil istenilen derinliğe kadar tabaka tabaka yerleştirilmiştir (Şekil 5). Kil zeminin üzerine kum zemin  $D_r$ =%80,  $D_r$ =%60 ve  $D_r$ =%40 olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiştir. Bu üç sıklıktaki kumun kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla  $\gamma_k$ =1.71 g/cm<sup>3</sup>  $\gamma_k$ =1.67 g/cm<sup>3</sup>  $\gamma_k$ =1.64 g/cm<sup>3</sup>'dir. Kum zemin 5 cm tabakalar halinde dinamik yöntem kullanılarak yerleştirilmiştir (Şekil 6). İstenilen sıklığı deney koşullarında sağlamak amacıyla, her bir tabaka için gerekli olan kum ağırlığı önceden hesaplanarak, kontrollü bir şekilde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Sıkıştırma aletinin alt kısmına derlin malzemedan imal edilmiş dairesel kesitli parça bulonlarla sabitlenerek sıkıştırma işlemi sırasında kum zeminin örselenmesinin önüne geçilmiştir. Ayrıca her bir tabaka dolgu yüzeyinin düzgün olup olmadığı su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir.
- Çekme yükü, yük hücresi ve model ankraj plakasının bağlandığı rijit bir çubukla sağlanmış olup, uygulanan yükün eksantrik olmamasına dikkat edilmiştir. Deneyler elektrikli bir motor yardımıyla 2.33 mm/dk.'lık sabit bir hızda yapılmıştır.



Şekil 5. Kil Zeminin Sıkıştırılması (Ok, 2014) (*The Preparation of Clay Soil*)



Şekil 6. Kum Zeminin Sıkıştırılması (Ok, 2014) (*The Preparation of Sand Soil*)

Deneylerin sayısal analizini yapmak için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, deneysel çalışmadaki deney düzeneği, yükleme koşulları ve malzeme özellikleri sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS 2D bilgisayar programında modellenerek sayısal çözümler elde edilmiştir.

Deney kasesinin geometrik modeli, iki boyutlu ve eksenel simetrik olarak oluşturulmuştur (Şekil 7.). Geometrik modelin genişliği eksenel simetrik koşullarda 30 cm ve toplam zemin yüksekliği 60 cm'dir. Zemin ortamı 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir. Model ankraj, Lineer Elastik malzeme modeli kullanılarak modellenmiş olup, malzeme özellikleri ise,  $EA=5.00 \times 10^6$  kN/m,  $EI=8500$  kNm<sup>2</sup>/m'dir.

Analizlerde kum zeminin davranışı Hardening Soil (Pekleşen Zemin), kil zeminin davranışı ise Soft Soil (Yumuşak Zemin) modelleri ile modellenmiştir. Kil zeminin model parametreleri Çizelge 2'de, kum zeminin model parametreleri Çizelge 3'te verilmektedir. Deney ortamı sonlu elemanlara ayrılırken,

tabakalı ve homojen kum zeminde ankraj etrafında ağ sıklaştırması yapılmıştır. Model ortamında kullanılan eleman sayısı genel olarak 150-200 arası tutulmuştur.

**Çizelge 2.** Kil Zemin İçin Model Parametreler (Ok, 2014) (*Clay Soil Parameters*)

Parametre Adı	Simge	Birim	Değer
Birim hacim ağırlık	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18.2
Kohezyon	c	kN/m <sup>3</sup>	12
Kayma mukavemet açısı	$\phi$	(°)	25
Dilatasyon açısı	$\psi$	(°)	0
Poisson oranı	$\nu$	-	0.15
Lambda*	$\lambda^*$	-	0.085
Kappa*	$\kappa^*$	-	0.035
Rijitlik	$R_{inter}$	-	1.00

**Çizelge 3.** Kum Zemin İçin Model Parametreler (Ok, 2014) (*Sand Soil Parameters*)

Parametre Adı	Simge	Birim	$\gamma_k=16.4$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_k=16.7$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_k=17.1$ kN/m <sup>3</sup>
Referans basınç değeri	$p^{ref}$	kN/m <sup>3</sup>	100	100	100
Üç eksenli yükleme rijitliği	$E_{50}$	kN/m <sup>3</sup>	10000	20000	30000
Üç eksenli yükleme-boşaltma rijitliği	$E_{ur}$	kN/m <sup>3</sup>	10000	20000	30000
Ödometre yükleme rijitliği	$E_{oed}$	kN/m <sup>3</sup>	24000	48000	72000
Kohezyon	c	kN/m <sup>3</sup>	0.00001	0.00001	0.00001
Kayma mukavemet açısı	$\phi$	(°)	35	37.5	40
Dilatasyon açısı	$\psi$	(°)	5	7.5	10
Poisson oranı	$\nu$	-	0.2	0.2	0.2
Sükûnetteki yanıl zemin basınç katsayısı	$K_0$	-	0.426	0.391	0.357
Göçme oranı	$R_f$	-	0.9	0.9	0.9
Rijitlik	$R_{inter}$	-	0.67	0.67	0.67

Helisel ankraj plakasının adımlarını modellemedeki zorlukları ortadan kaldırmak için helisel ankraj plakaları dairesel ankraj plakaları olarak modellemiştir (Merifield, 2011). Deneylerde kullanılan helisel ankraj plakası, helisel in çapına eşit çaplı dairesel ankraj plakası ile modellenmiştir.

### 3. BULGULAR (RESULTS)

Çalışma kapsamında helisel ankraj plakası %35 su içeriğindeki kile 1D sabit derinlikte gömülmüş üzerine 3D sabit derinlikte farklı sıklıklarda kum zemin yerleştirilerek tabaklı bir zemin oluşturulmuştur. Kum zemin tabakası %40, %60 ve %80 olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiş, tabakalı zeminde kum örtüsünün sıklığının çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapmak için kil zemine 1D (5cm) gömülü helisel ankrajın çekme kapasitesi belirlenmiştir. Tabakalı zeminde kum zeminin sıklığının değiştiği üç deney yapılmıştır. Deneylerinde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır.

Deney sonuçlarını daha genel ifade edebilmek için boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü ( $F_c$ ) kullanılmıştır. Kopma faktörü aşağıdaki denklemlerde tanımlanmıştır (Das, 1978).

$$Q_0 = Q_u - W_f \quad (1)$$

Bu ifadede  $Q_0$ , net nihai çekme yükü  $Q_u$ , toplam nihai çekme yükü  $W_f$ , temel ağırlığıdır.

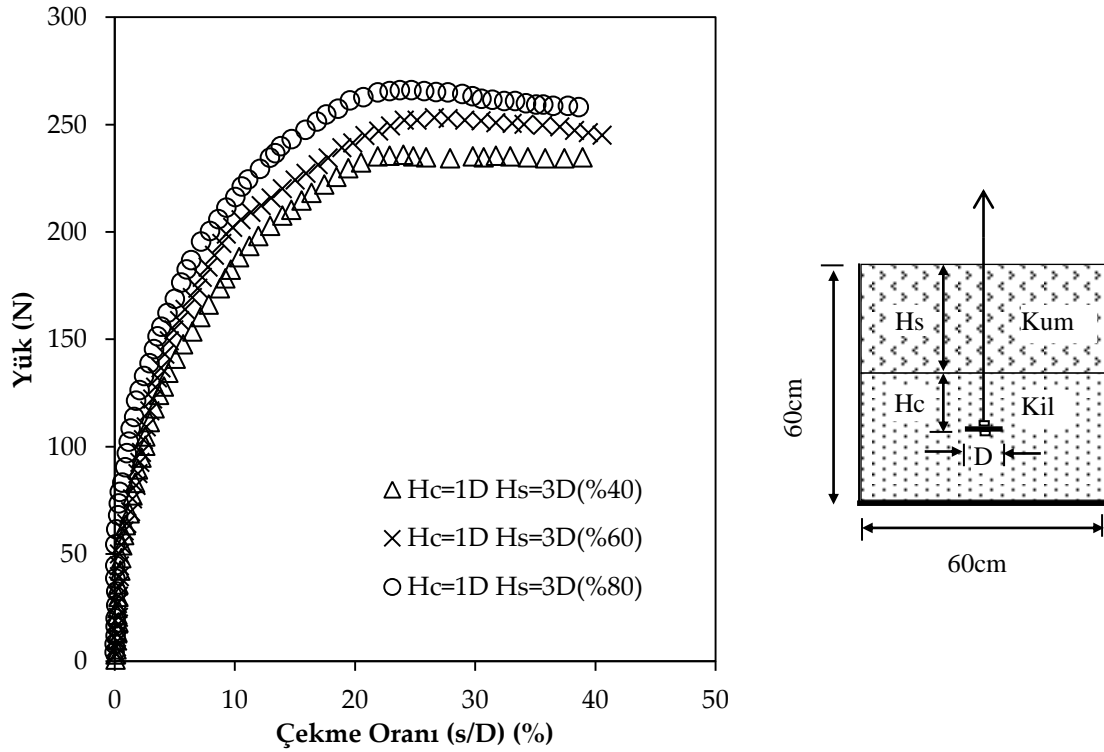
$$q_0 = \frac{Q_0}{A} = c_u F_c + \gamma H \quad (2)$$



Bu ifadede  $Q_0$ , net nihai çekme yükü  $A$ , ankraj plakasının alanı  $c_u$ , zeminin drenajsız kayma mukavemeti  $\gamma$ , zeminin birim hacim ağırlığı  $H$ , zeminin yüzeyden ölçülen gömme derinliği  $F_c$ , boyutsuz kopma faktörüdür. Denklem (2)'den kopma faktörü denklemi aşağıdaki gibi elde edilir (Das, 1978).

$$F_c = \frac{q_0 - \gamma H}{c_u} \quad (3)$$

Deney sonuçlarında ankraj plakasının yaptığı deplasman boyutsuz bir parametre olan çekme oranı (%) ile ifade edilmiştir. Çekme oranı ( $s/D$ ) ankrajın yaptığı deplasmanın temel çapına göre yüzdesidir (Ok, 2014). Deney sonuçları yüke karşılık çekme oranı eğrileri şeklinde verilmiştir. Deney sonuçları Şekil 7'de gösterilmiş Çizelge 4'te özetlenmiştir. Deneylerinde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır (Ok, 2014).

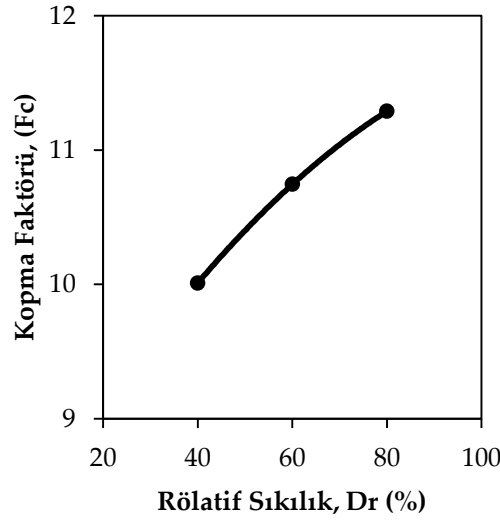


Şekil 7. Deney Sonuçları (Ok, 2014) (Test Results)

Çizelge 4. Deney Sonuçları Özeti (Ok, 2014) (Summary of Test Results)

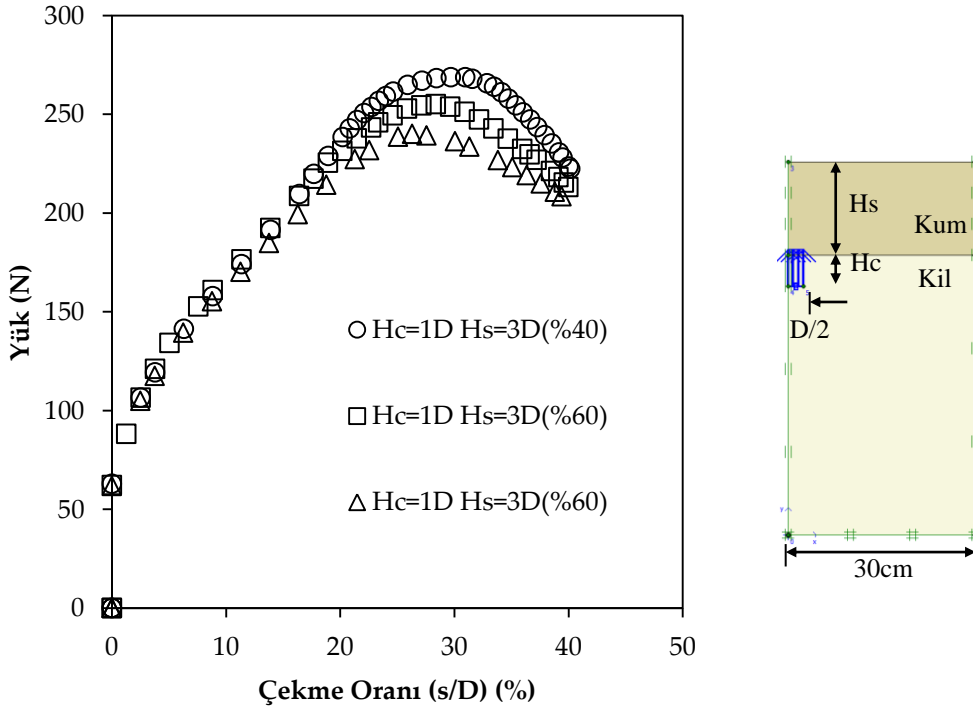
Hc/D	Hs/D	Dr (%)	$Q_0$ (N)
1	3	40	235.83
1	3	60	253.15
1	3	80	265.99

Ankraj plakası kil zemine gömülü olduğu için kopma faktörü ( $F_c$ ) kil zemine göre Denklem (3)'den hesaplanmıştır (Şekil 8) (Ok, 2014).



Şekil 8. Deneysel Çalışmada Elde Edilen Kopma Faktörü Değişimi (Ok, 2014) (The Changing of Breakout Factor for Experimental Study)

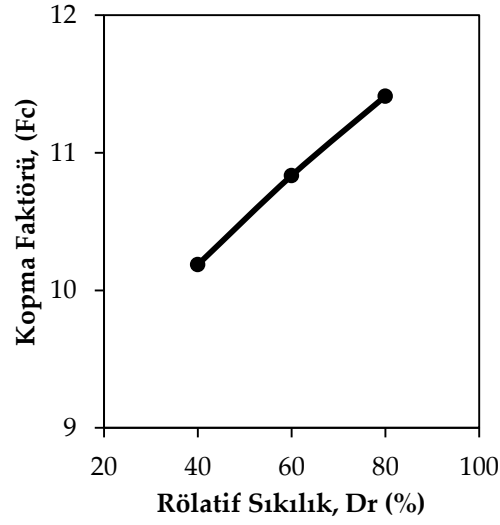
Aynı deney koşulları dikkate alınarak yapılan nümerik analiz sonuçları Şekil 9'da gösterilmiş Çizelge 5'te özetlenmiştir. Deneylerinde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır. Ayrıca Denklem 3'ten hesaplanan kopma faktörleri değişimi Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Sayısal Analiz Sonuçları (Ok, 2014) (Numerical Analysis Results)

Çizelge 5. Sayısal Analiz Sonuçları Özeti (Ok, 2014) (Summary of Numerical Analysis Results)

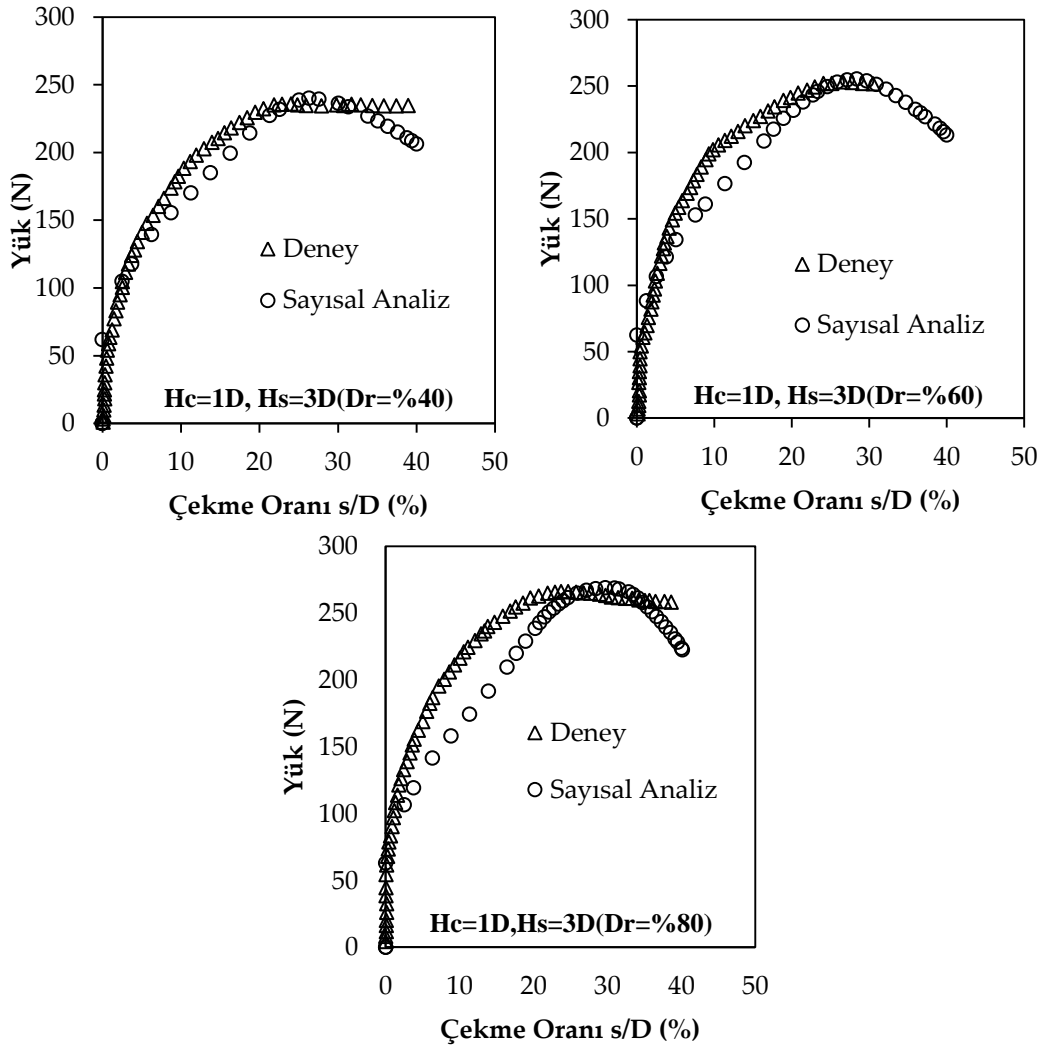
Hc/D	Hs/D	$D_r$ (%)	$Q_0$ (N)
1	3	40	240
1	3	60	255
1	3	80	268



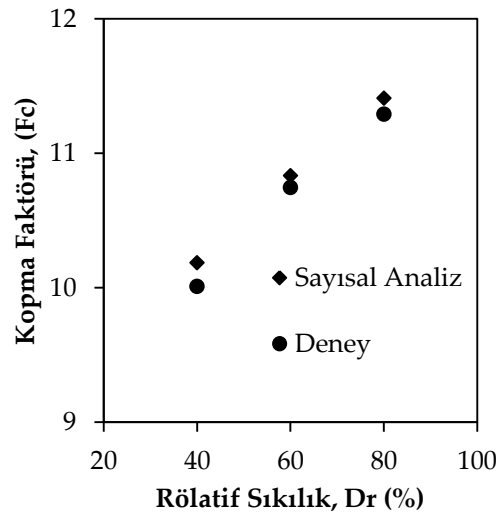
Şekil 10. Nümerik Analizlerde Elde Edilen Kopma Faktörü Değişimi (Ok, 2014) (The Changing of Breakout Factor for Numerical Analysis)

#### 4. SONUÇLARIN İRDELENMESİ (DISCUSSIONS)

Deney ve sayısal analiz sonuçlarından tabakalı zeminlerde kum zeminin sıklığı ile kopma faktörü değişimini davranışı benzerdir. Deneyler ve yapılan sayısal analiz sonuçlarından tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üsteki kum tabakası sıklığının artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca kopma faktörünün üsteki kum tabakası sıklığının artması ile artmıştır. Deney ve sayısal analiz sonuçları Şekil 11 ve Şekil 12'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 11. Deney ve Nümerik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması (Ok, 2014) (Comparison of Results of Experimental and Numerical Analysis)



Şekil 12. Deney ve Nümerik Analiz Sonuçlarından Kopma Faktörü Değişimi (Ok, 2014) (The Changing of Breakout Factor for Experimental and Numerical Analysis)

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, tabakalı zeminlere gömülü helisel ankraj plakalarının çekme kapasitesi laboratuvar ortamında deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneylerde kum zeminin sıklığının çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca tabakalı zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi, sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS 2D bilgisayar programı yardımı ile 2 boyutlu eksenel simetrik koşullarda modellenip sayısal çözümler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Aşağıda mevcut çalışmadan çıkarılan sonuçlar sunulmaktadır.

- Tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üsteki kum tabakası sıklığının artması ile çekme kapasitesi ve kopma faktörünün arttığı görülmüştür.
- Kopma faktörü kum zeminin sıklığı,  $D_r=40'$ tan  $60'$ a çıkarıldığında %7,29'a kadar,  $80'$ e çıkarıldığında ise, %12,78'e kadar bir artış olmuştur.
- Sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS 2D paket programı kullanılarak geliştirilen sayısal analizler ile laboratuvar deney sonuçlarından yük-çekme oranı davranışları ve kopma faktörü davranışlarının uyumlu olduğu görülmüştür.
- Özellikle sayısal analizlerde her üç sıklık içinde çekme oranı %20'ye kadar benzer davranış göstermiştir. Çekme oranı %20 den sonra sıklığın etkisi açık bir şekilde görülmüştür.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Adams, J.I., Hayes, D.C., 1967, "The uplift capacity of shallow foundations", *Ontario Hydro Research Quarterly*, Cilt 19, Sayı 1, ss. 1-13
- ASTM D 854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Soils by Water Pycnometer.
- ASTM D 3080-98: Standard Test Methods for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- ASTM D 4253-00: Standart Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.
- ASTM D 4254-00: Standart Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.
- 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,
- Chattopadhyay, B. C., Pise, P. J., 1986, "Uplift Capacity of Piles in Sand", *Journal of Geotechnical Engineering*, Cilt 112, Sayı 9, ss. 888-904
- Das, B. M., 1978, "Model tests for uplift capacity of foundations in clay", *Soils and Foundations*, Cilt 18, Sayı 2, ss. 17
- Das, B.M., Seeley, G. R., 1975, "Breakout Resistance of Horizontal Anchors", *Journal of Geotechnical Engineering Div., ASCE*, Cilt 101, Sayı 9, ss. 999
- Demir, A., 2011, "Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Dickin, E. A., 1988, "Uplift Behaviour of Horizontal Anchor Plates in Sand", *J Geotech Eng Div, ASCE*, Cilt 114, Sayı 11, ss. 1300-1317
- Dickin, E. A., Leung, C. F., 1990, "Performance of Piles With Enlarged Bases Subject to Uplift Forces" , *Canadian Geotech. J.*, Cilt 27, ss. 546-556
- Dickin, E. A., Leung, C. F., 1992, "The Influence of Foundation Geometry on The Uplift Behaviour of Piles With Enlarged Bases", *Canadian Geotech. J.*, Cilt 29, ss. 798-505
- Ghaly, A. M. Hanna, A. M., Hanna, M., 1991. "Uplift Behaviour of Screw Anchors in Sand", *II: Hydrostatic and Flow Conditions, Journal of Geotechnical Engineering., ASCE*, Cilt 117, Sayı 5, ss. 794-808
- Merifield, R. S., 2011, "Ultimate Uplift Capacity of Multiplate Helical Type Anchors in Clay", *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, Cilt 137, Sayı 7, ss. 704-716

- Meyerhof, G. G., Adams, J. I., 1968, "The Ultimate Uplift Capacity of Foundations", *Canadian Geotech. J.*, Cilt 5, Sayı 4, ss. 225
- Mitsch, M. P., Clemence, S. P., 1985, "Uplift capacity of helix anchors in sand", *Uplift Behavior of Anchor Foundations in Soil*, ASCE, New York, ss. 26-47,
- Niroumand H., Kassim K. A., Nazir R., 2011, "Uplift Capacity of Anchor Plates in Two-Layered Cohesive-Frictional Soils", *Journal of Applied Science*, Cilt 11, Sayı 3, ss. 589-591
- Ok B., 2014, "Ankraj Plakalarının Farklı Zemin Koşullarındaki Çekme Kapasitelerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye
- Patra, N. R., Deograthias, M., James, M., 2004, "Pullout Capacity of Anchor Piles", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*, ss. 2004-0340
- Rowe, R. K., Davis, E. H., 1982, "The Behaviour of Anchor Plates in sand". *Geotechnique*, Cilt 32, Sayı. 1, ss. 25-41
- Saran, S., Ranjan G., Nene A. S., 1986, "Soil anchors and constitutive laws", *Journal of Geotechnical Engineering*, Cilt 112, Sayı 12, ss. 1084-1100
- Sutherland, H.B., Finlay, T.W., Fadl, M.O., 1982, "Uplift capacity of embedded anchors in sand", In *Proceedings of the 3rd International Conference on the Behaviour of Offshore Structures*, Cambridge, Mass., 2, ss. 451-463,
- Stewart W., 1985, "Uplift Capacity of Circular Plate Anchors in Layered Soil", *Can. Geotech. J.* Cilt 22, ss. 589-592
- Vesic, A. S., , 1971, "Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom", *Journal of Soil Mech. Found. Div.*, ASCE, Cilt 97, Sayı 9, ss. 1183