

KOHEZYONSUZ ZEMİNLERE GÖMÜLÜ ANKRAJ PLAKALARININ ÇEKME DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Selçuk BİLDİK ve Mustafa LAMAN

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Karacaoğlan
Yerleşkesi, 80000, Osmaniye

sbildik@osmaniye.edu.tr, mustafalaman@osmaniye.edu.tr

(Geliş/Received: 21.09.2010; Kabul/Accepted: 05.04.2011)

ÖZET

Bu çalışmada, kum zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Ankraj plakası olarak 6 farklı boyut ve geometride metal plakalar kullanılmıştır. Model deneylerde, temel boyutu, temel geometrisi, gömülme oranı ve kum sıklığı parametrelerinin çekme kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda çekme kapasitesinin, ankraj gömülme oranı ve kum sıklığından önemli derecede etkilendiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar kopma faktörü cinsinden değerlendirildiğinde, boyut faktörünün kare ve dairesel ankraj plakaları çekme kapasitesini önemli derecede etkilemediği görülmüştür. Aynı zemin koşullarında yapılan deneylerde kare ve daire ankraj plakalarının kopma faktörlerinde aynı sonuçlar elde edilirken, dikdörtgen ankraj plakalarında en-boy oranının artmasıyla kopma faktöründe artış meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca sıkı kumda yapılan deneylerde elde edilen ankrajların çekme kapasitesi, ankraj plakaları üzerinde yapılan teorik çalışmalarla uyum içindedir. Fakat gevşek kumda yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar teorik çalışmalara göre daha küçük değerler vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ankraj plakası, çekme kapasitesi, kopma faktörü, gömülme oranı.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON UPLIFT BEHAVIOUR OF PLATE ANCHORS IN COHESIONLESS SOIL

ABSTRACT

In this study, uplift capacity of anchor plates embedded in sand was investigated by conducting model tests. Plate anchors with 6 different sizes and geometries were used in the tests. The parameters investigated for the uplift capacity of anchor plates were size, geometry and embedment ratio of the plates and density of sand. From the experiments it is observed that uplift capacity is effected substantially from anchor embedment ratio and density of sand. As the breakout factor is considered, in all experimental results, size factor did not have considerable effect on uplift capacity of square and circular anchor plates. In the case of same soil condition, although the same results were obtained for breakout factors of square and circular anchor plates, it is observed that the breakout factor is increased when the aspect ratio (L/B) is increased. On the other hand, uplift capacity of anchors obtained from the experiments and theoretical studies in the case of dense sand conditions is in good agreement. But, experimental results obtained for loose sand condition show lower values than those obtained from some of the theoretical studies.

Keywords: Plate anchors, uplift capacity, breakout factor, embedment ratio.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde yapıların birçoğunda temeller basınç kuvvetlerine maruz kalırlar ve bu basınç kuvvetleri

dikkate alınarak temel sistemi için çözümler yapılır. Ancak bazı durumlarda temeller çekme kuvvetlerine ve devirme momentlerine maruz kalmaktadırlar. Bu durum, özellikle deniz platformları (deniz üzerinde

yapılmış rıhtım yapıları, petrol platformları, su altındaki platformlar ve dalgakıran gibi yapılar), yüksek gerilim hatları, haberleşme kuleleri (radyo ve televizyon kuleleri vb.), otoban ve demiryollarındaki işaret levhaları ve reklam panolarını taşıyan direkler ve boru hatları gibi özel yapıların tasarımını yakından ilgilendirmektedir. Bu yapılar suyun kaldırma kuvveti, kablo yükleri veya rüzgar kuvvetinden kaynaklanan devirme momentleri nedeniyle çekme kuvvetine maruz kaldıklarından, yapı temelleri çekme kapasitesi açısından da tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada kum zemine gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi model deneyler ile araştırılmıştır. Ankraj plakaları olarak, çapları $D=50$ ve 75 mm olan daire kesitli, en ve boyları $B=L=50$ ve 75 mm olan kare kesitli, $B=25$ mm ve $L=50$ mm ile $B=12,5$ mm ve $L=50$ mm olan dikdörtgen kesitli levhalar kullanılmıştır. Deneylerde temel boyutu, temel geometrisi, gömülme derinliği ve kum sıklığı parametrelerinin çekme kapasitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR (PREVIOUS STUDIES)

Geoteknik mühendisliğinde, son elli yıldır temellerin çekme kuvvetleri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Çekme kuvvetlerine maruz yapılarda ankraj desteği yada çan kazığı gibi temel sistemleri kullanılmaktadır. Bir gömülü ankraj veya çan kazığının çekme kapasitesi, genellikle temelin kendi ağırlığı, serbest yüzey boyunca sürtünme direnci ve kopma eğrisi üzerindeki serbest bölge içerisinde kalan zemin ağırlığından oluşmaktadır. Şekil 1'de genişliği B , gömülme derinliği D_f olan bir sığ temel görülmektedir. Temelin nihai çekme kapasitesi Q_u , yenilme yüzeyi boyunca zeminin sürtünme dayanımı ve yenilme bölgesindeki zeminin ve temelin ağırlığının toplamı olarak ifade edilmektedir. Eğer temel, bir çekme yüküne (Q_u) maruz kalırsa, göreceli olarak küçük D_f/B değerleriyle zemindeki yenilme yüzeyinin tipik şekli Şekil 1'deki gibi kabul edilir. Burada, zemin seviyesiyle yenilme yüzeyinin keşişimi yatayla bir α açısı yapmaktadır. Ancak α 'nın büyüklüğü kumlu zeminlerde sıklığa, killi zeminlerde ise kıvama bağlı olarak değişmektedir. Eğer zemindeki yenilme, çekme yükü altında zemin yüzeyine doğru uzuyorsa, bu temeller, çekme altındaki bir sığ temel olarak tanımlanır. D_f/B 'nin daha büyük değerleri için, yenilme temel etrafında oluşur ve yenilme yüzeyi zemin yüzeyine kadar uzamaz. Bu tür temeller ise, çekme altındaki derin temeller olarak adlandırılırlar. Bir temelin sığ durumdan derin duruma geçtiği andaki gömülme oranı (D_f/B), kritik gömülme oranı (D_f/B)_{cr} olarak ifade edilir. Kritik gömülme oranının büyüklüğü (D_f/B)_{cr}; kumlarda 3-11 arasında, doymuş kilde ise, 3-7 arasında değişebilir [1].

Bir çekme ankrajının davranışını, temel boyutu, gömülme derinliği, temel geometrisi ve dolgu sıklığı

gibi parametreler etkilemektedir. Bu parametrelerin ankraj davranışı üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

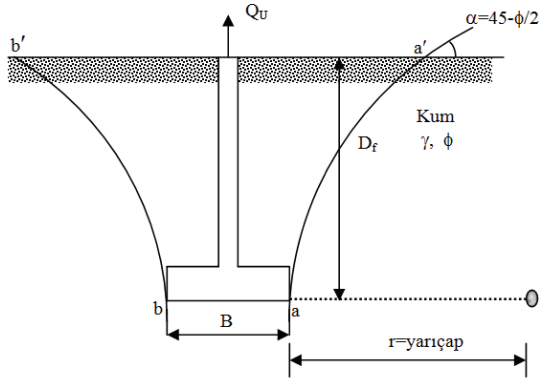
Balla, sıkı zeminde yürütülen bir çok model ve arazi deneyine dayanarak, sığ dairesel temeller için zemindeki yenilme yüzeyinin Şekil-1'deki gibi gösterilebileceğini ileri sürmüştür. Balla teorisine göre, meydana gelen yenilme yüzeyleri daire şeklinde oluşmaktadır. Şekil 1'de, aa' ve bb' eğrileri bu dairenin yaylarını göstermektedir. Zemin yüzeyi ile yaylar arasında oluşan α açısı ise, $45-\phi/2$ ye eşit kabul edilmiştir. Genelde; Balla teorisi, sıkı kumda gömülme oranının $D_f/B \leq 5$ olduğu sığ temellerin çekme kapasitesi için iyi sonuçlar vermektedir. Ancak gevşek ve orta sıkı kumlarda yer alan temeller için bu teori, nihai çekme kapasitesini olduğundan daha büyük vermektedir [2].

Bir sığ temelin nihai çekme kapasitesinin tahmini için en rasyonel metotlardan biri, Meyerhof ve Adams tarafından ileri sürülmüştür [3]. Bu yöntemde nihai çekme kapasitesi Q_u 'ya eşit olan B genişlikte bir sürekli temel tanımlanmaktadır.

Nihai yük altında zemindeki dairesel yenilme yüzeyi yatayla bir α açısı yapar ve α açısının büyüklüğü ise sıklık ve zeminin içsel sürtünme açısı gibi birçok faktöre bağlıdır. α açısının büyüklüğü $90-(1/3)\phi$ ile $90-(2/3)\phi$ arasında değişmektedir.

Kuma gömülü dairesel temellerin nihai çekme kapasitesi için Saeedy bir teori önermiştir. Yenilme yüzeyinin izlediği yolun, logaritmik bir eğrinin yayı olduğu farz edilmektedir. Bu teoriye göre, sığ temeller için yenilme yüzeyi zemin yüzeyine kadar uzamakta iken, derin temeller için ($D_f > D_{f(cr)}$) yenilme yüzeyi yalnızca temel üzerindeki $D_{f(cr)}$ mesafesine kadar uzar. Saeedy temel olarak bu analizde, D_f/B oranı ve Q_u 'nun değişik değerleri için nihai çekme kapasitesini kopma faktörü cinsinden açıklamaktadır. Kopma faktörü ise, temelin toplam çekme kapasitesinin, temel alanı, temelin gömülme derinliği ve zeminin birim hacim ağırlığı çarpımına bölünmesiyle elde edilen boyutsuz bir büyüklüktür. Saeedy'e göre, temelin çekilmesi sırasında ankraj üstünde yer alan zemin yavaş yavaş sıkışmaya başlar, bu arada zeminin kayma dayanımı artar ve zemin nihai çekme kapasitesine ulaşır [4].

Dickin ve Leung laboratuvarında yapmış oldukları santrifüj deneylerde, kum içerisindeki geniş tabanlı kazıkların çekme davranışını gömülme oranı, kazık taban çapı ve kum sıklığı etkilerini göz önünde bulundurarak araştırmışlardır [5]. Ayrıca düz kazıklarla karşılaştırmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, çan kazıkların çekme kapasitesinin, kazığın gömülme oranı ve kum sıklığından önemli derecede etkilendiği gözlenmiştir.



Şekil 1. Çekmeye maruz sığ temel (Shallow foundation subjected to uplift) [1]

Ankraj plakaları üzerinde geçmişte yapılan deneysel ve teorik çalışmalar dikkate alındığında, sıkı kumdaki kazıkların çekme kapasitesi değerlerinin günümüzdeki çalışmalarla uyum içerisinde olduğu fakat, gevşek kumdaki kazık temellerin çekme kapasitesinin ise, günümüz çalışmalarına göre önemli derecede düşük değerler verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sıkı kumdaki deneyler, ankraj plakaları üzerinde santrifüj deneyleri sonucunda elde edilen amprik ifadelerle ve sonlu elemanlar yöntemine dayanan bir programla karşılaştırıldığında, sonuçlar arasında makul bir ilişki olduğu gözlenmesine rağmen, ankraj plakaları için yapılmış olan çok sayıda teorik yaklaşımlarla karşılaştırıldığında hem gevşek hem de sıkı kum için, teorik yaklaşımların aşırı büyük değerler verdiği ifade edilmektedir [5].

Dickin ve Leung laboratuvar santrifüj model deneylerde, kum içerisindeki geniş tabanlı kazıkların çekme kapasitesi üzerinde, kazık gövde çapının genişletilmiş taban çapına oranı ve kazık gövde çapı ile genişletilmiş taban çapı arasındaki eğimin etkilerini araştırmışlardır [6]. Çap oranındaki artış ve kazık açısındaki artış, kazığın net çekme kapasitesinde ve yenilme anındaki yer değiştirmesinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu durumun, ankraj plakaları ile çan kazıkların çekme kapasitesi arasındaki farklılığı gösterdiği iddia edilmektedir. Kazıkların ankraj plakalarına göre daha düşük çekme kapasitelerinin olması, daha düşük zemin yer değiştirmelerinin olmasıyla açıklanmıştır. Son olarak çan kazıkların amprik dizayn yöntemi için, temel geometrisini de içeren, uygun parametreleri kullanan basit ve sürekli ankraj formülünün kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca, model çan kazıklar ile ankraj plakalarının yenilme mekanizmaları için yapılan çalışmalar, temel tipleri arasında önemli ölçüde farklı davranış karakteristiklerinin olduğunu göstermiştir [6].

Patra ve diğ. homojen ve tabakalı kum içerisine gömülü geniş tabanlı model kazıkların eksenel ve eğik çekme yükleri altındaki davranışlarını araştırmak amacıyla, 914mm×914mm×62mm boyutlarındaki bir

kasa içerisinde, çekme deneyleri yapmışlardır [7]. Deneylerde, model kazık olarak 12mm ve 16mm çaplı yumuşak çelik kullanılmıştır. Deneyler, gömülme oranı $L/D=20, 25$ ve 30 olacak şekilde, model kazık iki farklı sıklıktaki kum tabakası içerisine yerleştirilerek yapılmıştır. Burada model kazık, tamamen sıkı yada tamamen orta sıkı kum içerisine yerleştirilmeyip, gömülme oranının yarısına kadar orta sıkı, diğer yarısı ise sıkı kum içerisinde kalmıştır. Çalışmada, farklı sıklıktaki zemin tabakalarının, kazık tabanının genişlemesinin ve yük eğim açılarının, eksenel ve eğik çekme yüklerine maruz, geniş tabanlı kazıkların nihai çekme kapasitesi ve yük-deplasman davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kazıkların eksenel ve eğik çekme yükleri altındaki yük-deplasman eğrileri genellikle doğrusal olmayan bir davranış göstermiştir. Deneyde kullanılan tüm model kazıklar, eksenel ve eğik çekme yükleri altında 2-8mm aralığında bir yer değiştirme yaparak, nihai çekme kapasitelerine ulaşmışlardır. Model kazığın çekme kapasitesinin, gömülme oranı L/D ile ve kazık taban genişlemesi ile arttığı ve kazığın alt tarafı orta sıkı, üst tarafı ise sıkı kum tabakası içerisinde bulunduğu halde, model kazığın nihai çekme kapasitesinin, kazığın alt kısmı sıkı ve üst kısmı orta sıkı kum içerisinde iken elde edilen nihai çekme kapasitesinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Eğik çekme durumunda kazığın maksimum çekme kapasitesinin, kazığın gömülme oranına (L/D), taban genişleme oranına (B/L), çekme yükünün eğimine ve kum sıklığına bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Literatürde mevcut çalışmalar dikkate alındığında, sınırlı geometrilerdeki ankraj plakaları için yapılan deneyler dikkate alınarak teoriler oluşturulmaya çalışılmıştır. Aynı zemin koşullarında farklı şekil ve boyuttaki ankraj plakaları ile yapılan çalışmaların birlikte değerlendirildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, farklı şekil ve boyuta sahip ankraj plakaları üzerinde deneyler yapılarak, ankraj plakalarının farklılıklarının sonuçlara etkileri araştırılmış ve literatürde mevcut teorilerle uyumu incelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

3.1. Deney Kasası ve Model Ankrajlar (Test Box and Model Anchors)

Deneysel çalışmalar kum zemin içerisine, farklı geometrilerdeki ankraj plakalarının, farklı gömülme derinliklerinde yerleştirilip, plakalara çekme kuvvetleri uygulanması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında mevcut 70cm genişlik, 70cm yükseklikteki kare kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir [8] (Şekil 2 ve 3). Deney kasası iskeleti çelik profilden olup, ön ve arka yüzü 8mm kalınlığında cam, yan yüzler ile alt taban ise 20mm kalınlıkta ahşap malzemenin imal

edilmiştir [9]. Deneylerde kare, daire ve dikdörtgen şeklinde ankraj plakaları kullanılarak farklı gömülme derinliklerinde ankraj boyut ve geometrisinin çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Model ankrajlar 10mm kalınlıktaki rijit çelik plakalardan elde edilmiştir. Deneylerde 5,0 ve 7,5cm çapında daire, 5cm×5cm ve 7,5cm×7,5cm boyutlarında kare ile 2,5cm×5cm ve 1,25cm×5cm boyutlarında dikdörtgen plakalar olmak üzere 6 farklı ankraj plakası kullanılmıştır (Şekil 4).

3.2. Zemin Özellikleri (Soil Properties)

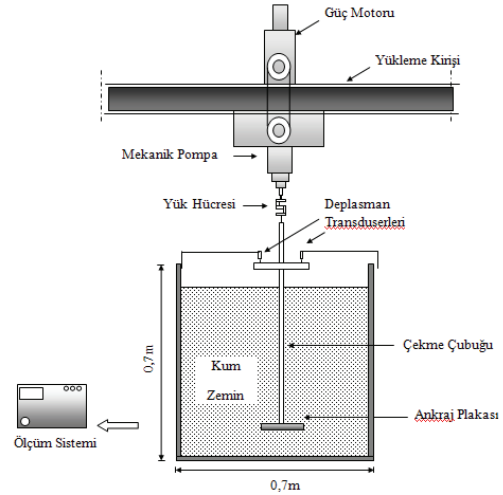
Deneyel çalışmalarda, Çukurova Bölgesi, Çakıt nehir yatağından getirilen kum zemin kullanılmıştır. Kum zemin, ASTM standartlarına göre sırasıyla 18 no'lu (1mm çaplı) ve 200 no'lu (0,074mm çaplı) eleklerden yıkanarak elenmiştir. Bu işlem sonunda No. 18 ile No. 200 arasında kalan kumlar, 105°C'de etüvde kurutulduktan sonra geniş bir alana serilerek oda sıcaklığında havalandırılmıştır.

Deney kumunun endeks ve kayma mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarında bir seri deney yapılmıştır. Deneyel çalışmada kullanılan kum zemin, ASTM standartlarına göre önceden belirlenen bir seri elekten elenerek dane çapı dağılımı elde edilmiştir (Şekil 5). Dane çapı dağılım eğrisinden, zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak elde edilmiştir. Elek analizi deney sonuçları toplu olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Zemin özellikleri (Soil properties)

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Kaba Kum Yüzdeleri	%	0,0
Orta Kum Yüzdeleri	%	46,40
İnce Kum Yüzdeleri	%	53,60
Efektif Dane Çapı, D_{10}	mm	0,18
D_{30}	mm	0,30
D_{60}	mm	0,50
Üniformluk Katsayısı, C_u	-	2,78
Derecelenme Katsayısı, C_c	-	1,00
Zemin Sınıfı	-	SP

Gevşek ve sıkı haldeki kum numunelerin kayma mukavemet parametrelerini belirlemek amacıyla konsolidasyonlu-drenajlı (CD) üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde numunelere $\sigma_3=50\text{kPa}$, 100kPa ve 150kPa değerinde hücre basınçları uygulanmıştır. Deneyler sonucunda gevşek kum zeminin kayma mukavemeti açısı $\phi=38^\circ$, sıkı kum zeminin kayma mukavemeti açısı ise, $\phi=44^\circ$ olarak elde edilmiştir. Hem gevşek hem de sıkı kum zeminde kohezyon değeri $c=0 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur [8].



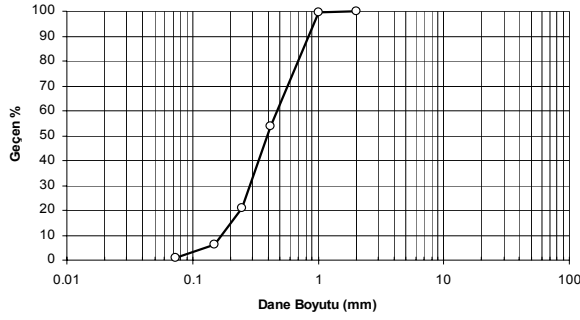
Şekil 2. Deney düzeneği (Test equipment)



Şekil 3. Deney Kasası (Test Box)



Şekil 4. Model ankrajlar (Model anchors)



Şekil 5. Kuma ait dane dağılımı (Grain size distribution of the sand)

3.3. Deney Programı (Test Program)

Bir çekme ankrajının çekme kapasitesi, genellikle ankrajın kendi ağırlığı, ankraj taban seviyesi üzerindeki serbest bölge içerisinde kalan zeminin ağırlığı ve serbest yüzey boyunca sürtünme direncine eşittir. Kum zemine gömülü ankrajların çekme kapasitesine etki eden en önemli faktörlerden birisi, ankraj plakasının gömüldüğü kumun sıklık derecesidir. Bunun yanı sıra temel geometrisi, temel boyutu ve temelin gömülme derinliği de ankraj plakasının çekme kapasitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu çalışmada farklı geometrilerdeki ankraj plakaları üzerinde bu parametrelerin ankraj çekme kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla bir seri laboratuvar model deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyler aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilerek gerçekleştirilmiştir.

1. Deney düzeneğinin hazırlanması sırasında, öncelikle ankraj plakası deney kasasının merkezine gelecek şekilde farklı gömülme oranlarında kasa içerisine yerleştirilmiştir.
2. Kum numuneler kasa içerisine 5cm'lik tabakalar halinde birim hacim ağırlığı ilk aşamada %35 sıklıkta $\gamma_k=15,03\text{kN/m}^3$ olacak şekilde, ikinci aşamada ise, %85 sıklıkta $\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$ olacak şekilde dinamik yöntem ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir.

Bu amaçla, deney kasasının kenarları ölçeklendirilmiş ve her tabaka için gerekli kum ağırlığı önceden hesaplanarak kontrollü bir şekilde sıkıştırma yapılmıştır. Ayrıca, her bir tabakada dolgu yüzeyinin düzgün olup olmadığı su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir. Bu işleme hedeflenen zemin tabaka kalınlığı elde edilinceye kadar devam edilmiştir.

3. Çekme yükü, yük hücresi ile ankraj plakasına bağlı olan ara çubuk eleman vasıtasıyla gerçekleştirilmiş, yükün eksantrik olmamasına dikkat edilmiştir.
4. Deneyler, model ankraj ile üzerinde mevcut zemin arasında yenilme koşulunun oluşmasına kadar elektrik motorlu yükleme düzeneği yardımıyla gerçekleştirilmiştir.
5. Her bir deneyde, model ankraj plakası taşıma kapasitesine ulaşıncaya kadar deplasman değerleri ve buna karşılık gelen yük değerleri saniyede 4 okuma alacak şekilde bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Deneyler küçük boyutlu ankraj plakalarında sekiz farklı gömülme oranı için ($H/D=1\sim 8$), büyük ankraj plakalarında ($B=D=75\text{mm}$) ise 5 farklı gömülme oranı için ($H/D=1\sim 5$) tekrarlanmıştır. Yapılan deneylere ait program Tablo 2'de sunulmuştur.

4. DENEY SONUÇLARI (TEST RESULTS)

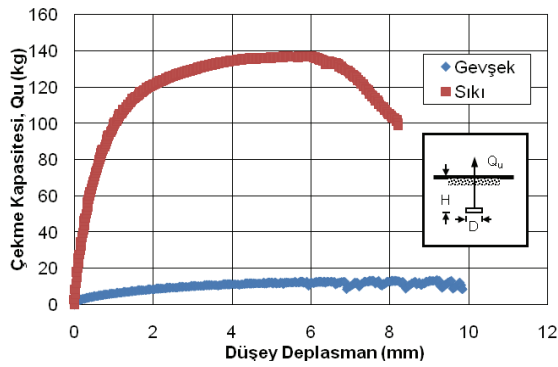
4.1. Sıklığın Çekme Kapasitesine Etkisi (The Effect of Relative Density on Uplift Capacity)

Deneylerde iki farklı sıklıkta hazırlanmış, kum zemin içerisine yerleştirilen ankraj plakalarının çekme kapasitesi araştırılmıştır. Kum zeminin gevşek durumdaki birim hacim ağırlığı $\gamma_k=15,03\text{kN/m}^3$, sıkı haldeki birim hacim ağırlığı ise $\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$ 'tür. Sıklığın ankraj plakalarının çekme kapasitesine etkisini göstermek amacıyla, dairesel ankraj plakası

Tablo 2. Deney programı (Test program)

Deney No	Zemin Özellikleri	Temel Şekli	Temel Boyutu	Gömülme Oranı
GD50	$\gamma_k=15,03\text{ kN/m}^3$, $\phi=38^\circ$	Dairesel	D=50mm	H/D=1~8
GD75	$\gamma_k=15,03\text{ kN/m}^3$, $\phi=38^\circ$	Dairesel	D=75mm	H/D=1~5
GK50	$\gamma_k=15,03\text{ kN/m}^3$, $\phi=38^\circ$	Kare	B=L=50mm	H/B=1~8
GK75	$\gamma_k=15,03\text{ kN/m}^3$, $\phi=38^\circ$	Kare	B=L=75mm	H/B=1~5
GS12	$\gamma_k=15,03\text{ kN/m}^3$, $\phi=38^\circ$	Dikdörtgen	B=50mm, L=12,5mm	H/B=1~8
GS25	$\gamma_k=15,03\text{ kN/m}^3$, $\phi=38^\circ$	Dikdörtgen	B=50mm, L=25,0mm	H/B=1~8
SD50	$\gamma_k=17,06\text{ kN/m}^3$, $\phi=44^\circ$	Dairesel	D=50mm	H/D=1~8
SD75	$\gamma_k=17,06\text{ kN/m}^3$, $\phi=44^\circ$	Dairesel	D=75mm	H/D=1~5
SK50	$\gamma_k=17,06\text{ kN/m}^3$, $\phi=44^\circ$	Kare	B=L=50mm	H/B=1~8
SK75	$\gamma_k=17,06\text{ kN/m}^3$, $\phi=44^\circ$	Kare	B=L=75mm	H/B=1~5
SS12	$\gamma_k=17,06\text{ kN/m}^3$, $\phi=44^\circ$	Dikdörtgen	B=50mm, L=12,5mm	H/B=1~8
SS25	$\gamma_k=17,06\text{ kN/m}^3$, $\phi=44^\circ$	Dikdörtgen	B=50mm, L=25,0mm	H/B=1~8

(D=50mm) üzerinde H/D=8 gömülme oranında yapılan deney sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Aynı gömülme oranında sıkı durumda elde edilen çekme kapasitesi, gevşek durumda elde edilen çekme kapasitesine göre yaklaşık 7 kat daha fazla olup, sıklık derecesi ankraj plakalarının çekme kapasitesini önemli derecede etkilemektedir. Aynı gömülme derinliğindeki model ankraj plakalarının göçme yüklerine karşılık gelen düşey deplasmanları göz önüne alındığında, sıkı kumda gözlenen göçme anındaki yer değiştirmenin gevşek kuma göre daha büyük olduğu görülmüştür. Şekil 6'daki yük-deplasman grafiği dikkate alındığında, gevşek kumda yer alan ankraj plakası 4,5cm deplasmanda göçmeye ulaşırken, sıkı kuma gömülü aynı ankraj plakası 6cm deplasmanda göçme noktasına ulaşmıştır.



Şekil 6. Çekme kapasitesine sıklığın etkisi (The effect of relative density on uplift capacity) (D=50mm, H/D=8)

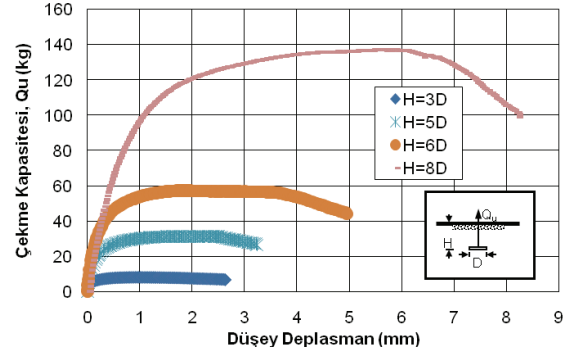
4.2. Gömülme Oranının Çekme Kapasitesine Etkisi (The Effect of Embedment Ratio on Uplift Capacity)

Ankraj plakalarının çekme kapasitesini etkileyen bir diğer faktör, ankrajın gömülü olduğu derinliktir. Gömülme oranı H/D'nin, ankraj plakaları üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, çapı D=50mm olan dairesel ankraj plakası üzerinde farklı gömülme oranlarında bir seri deney yapılmış ve elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 7'de verilmiştir. Bu grafikte aynı ankraj plakası üzerinde sıklık ($\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$), temel boyutu (D=50 mm) ve yükleme hızı parametreleri sabit tutularak, H/D oranı 1'den 8'e kadar değiştirilerek deneyler yapılmıştır. H/D=3, 5, 6 ve 8'e ait yük-deplasman eğrileri Şekil 7'de sunulmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına göre, ankraj plakasının çekme kapasitesi, gömülme oranının artmasıyla artmaktadır.

4.3. Ankraj Boyutunun Çekme Kapasitesine Etkisi (The Effect of Anchor Size on Uplift Capacity)

Deneylerde, ankraj plakası boyutunun çekme kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla, sıkı kum zeminde aynı gömülme oranına yerleştirilen iki farklı boyuttaki ankraj plakası üzerinde çekme deneyleri yapılmıştır (D=50mm ve D=75mm, H/D=5 ve $\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$). D=75mm olan dairesel ankraj

plakasının çekme kapasitesi yaklaşık 110 kg iken D=50mm olan ankraj plakasının çekme dayanımı yaklaşık 32 kg olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla büyük çaplı ankraj plakasının (D=75mm), küçük çaplı ankraj plakasına göre (D=50mm), alan oranı 2,25 iken yaklaşık 4 katı kadar çekme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 7. Gömülme oranının çekme kapasitesine etkisi (The effect of embedment ratio on uplift capacity) (D=50mm, $\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$)

4.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison of Experimental Results)

Bu çalışma kapsamında, farklı geometri ve gömülme oranlarında çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu bölüme kadar deney sonuçları geleneksel yük-deplasman eğrileri şeklinde verilmiştir. Sonuçların daha genel ifade edilmesi amacıyla bundan sonraki bölümlerde deney sonuçlarının gösterilmesinde ve karşılaştırılmasında, boyutsuz bir parametre olan, kopma faktörü (F_q) kullanılmıştır. Kopma faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [1].

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

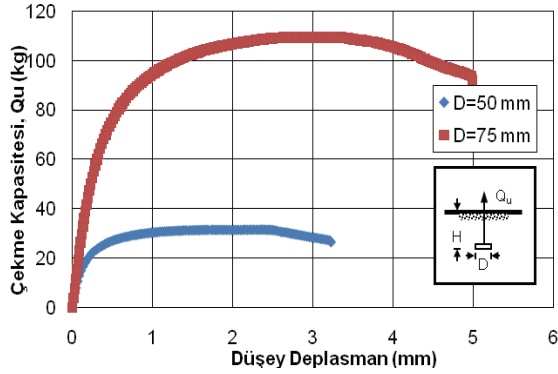
4.4.1. Dairesel Ankrajların Çekme Kapasitesi (The Uplift Capacity of Circular Anchors)

D=50mm ve D=75mm çapındaki ankraj plakaları üzerinde, gevşek ve sıkı kumda, H/D=1~8 aralığında deneyler yapılmıştır.

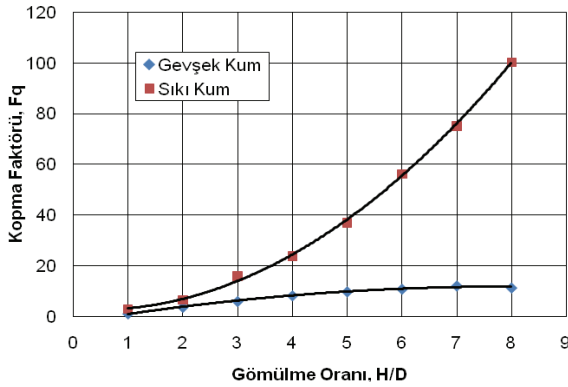
D=50mm çaplı ankraj plakası ile gevşek ve sıkı kum zemin durumu için yapılan deney sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gömülme oranının artmasıyla, çekme kapasitesinin arttığı, kopma faktöründeki değişimin gevşek kumda belirli bir gömülme oranından sonra azalarak asimptota yaklaştığı görülmüştür.

Sıkı kumda yapılan deneylerde ise, çekme kapasitesinin gömülme oranıyla arttığı ancak gevşek kumda gözlenen durumun aksine, gömülme oranının artmasıyla parabolik şekilde artmaya devam ettiği görülmüştür. Benzer sonuçlar D=75mm çaplı dairesel

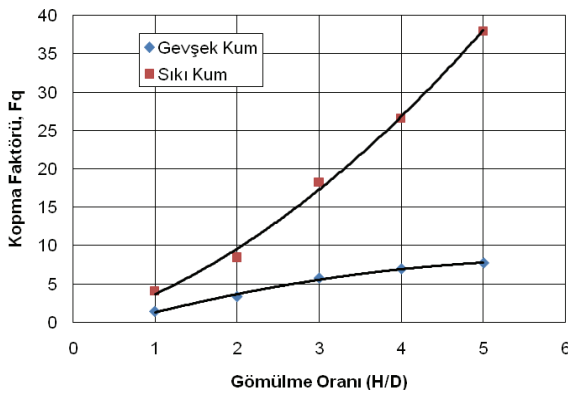
ankraj kullanılması durumunda da elde edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 8. Ankraj boyutunun çekme kapasitesine etkisi (The effect of anchor size on uplift capacity) ($H/D=5$; $\gamma_k=17,04\text{kN/m}^3$)



Şekil 9. Dairesel ankraj için kopma faktörü değişimi (The change of the breakout factor for circular anchor) ($D=50\text{mm}$)

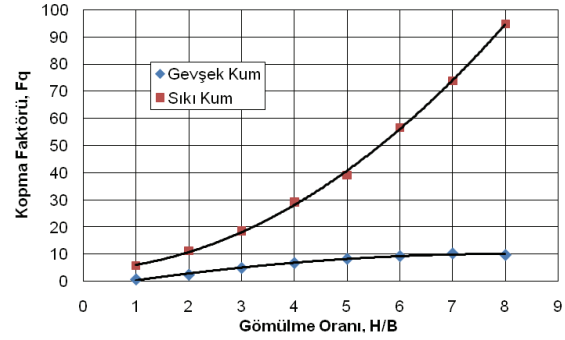


Şekil 10. Dairesel ankraj için kopma faktörü değişimi (The change of the breakout factor for circular anchor) ($D=75\text{mm}$)

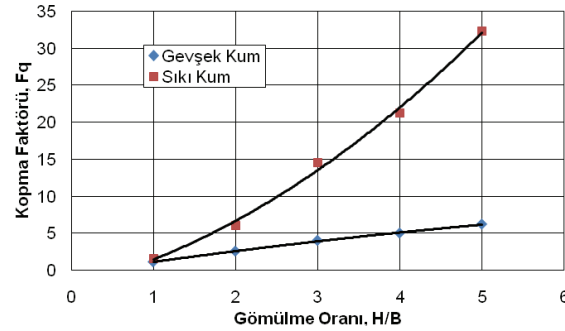
4.4.2. Kare Ankrajların Çekme Kapasitesi (The Uplift Capacity of Square Anchors)

$B=L=50\text{mm}$ boyutlarındaki kare ankraj plakaları üzerinde, gevşek ve sıkı kumda, $H/B=1\sim 8$ aralığında deneyler yapılmıştır. Gevşek ve sıkı kum zemin durumu için yapılan deney sonuçları Şekil 11'de

gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar dairesel ankraj plakaları ile benzer olup, gevşek ve sıkı kum durumunda gömülme oranının artmasıyla birlikte, çekme kapasitesinin arttığı, kopma faktöründeki değişimin ise gevşek kum durumunda belirli bir gömülme oranından sonra asimptota yaklaştığı, sıkı kum durumunda ise parabolik olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca gevşek ve sıkı kum içine gömülü, $B=L=75\text{mm}$ boyutlarındaki kare ankraj plakaları için de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 11. Kare ankraj için kopma faktörü değişimi (The change of the breakout factor for square anchor) ($B=L=50\text{mm}$)

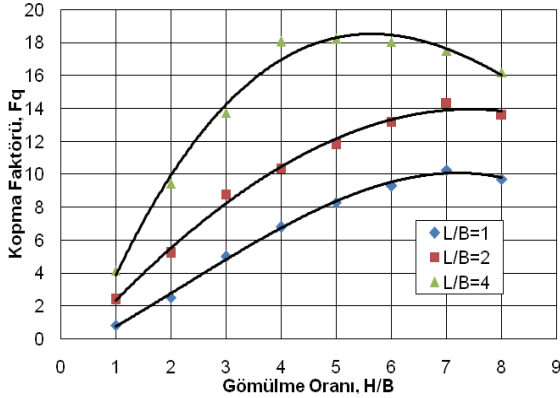


Şekil 12. Kare ankraj için kopma faktörü değişimi (The change of the breakout factor for square anchor) ($B=L=75\text{mm}$)

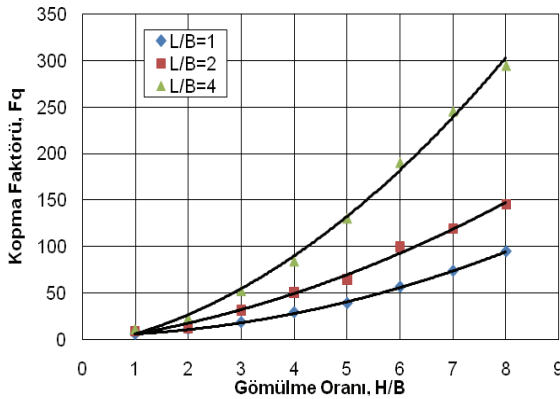
4.4.3. Dikdörtgen Ankrajların Çekme Kapasitesi (The Uplift Capacity of Rectangular Anchors)

Yapılan deneysel çalışmalarda, ankraj plakalarının en-boy oranının, çekme kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla, iki farklı kum sıklığında, en-boy oranları $L/B=1, 2$ ve 4 olan ankraj plakaları üzerinde deneyler yapılmıştır. İki farklı sıklıktaki zeminde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan, en-boy oranının artmasıyla ankraj plakasının çekme kapasitesinin ve kopma faktörünün arttığı görülmüştür. Sonuçlar Şekil 13 ve Şekil 14'de verilmiştir. Gevşek kuma gömülü, her üç en-boy oranına sahip ankraj plakasında gömülme oranının artmasıyla kopma faktöründeki değişimin azaldığı ve asimptota yaklaştığı görülmüştür. Bu durum gevşek kum koşullarında yerel göçmelerin meydana gelmesi ve göçmenin zemin sıklığı ile ilişkili olması şeklinde açıklanabilir. Sıkı kumda ise, kare ve dairesel ankraj plakalarına

benzer şekilde, gömülme oranının artmasıyla kopma faktörünün parabolik olarak arttığı görülmektedir. Bu artış durumu ise, sıkı zemin koşulları nedeniyle göçmenin yerel olarak değil gömülme oranına bağlı olarak gerçekleşmesi nedeniyle olduğu şeklinde izah edilebilir. Her iki sıklıkta elde edilen sonuçlara göre belirli sıklıkta ve belirli bir gömülme oranında en-boy oranının artmasıyla kopma faktörünün arttığı görülmektedir.



Şekil 13. Dikdörtgen ankraj plakalarının kopma faktörünün karşılaştırılması (The comparison of the breakout factor for rectangular anchors) ($\gamma_k=15,03\text{kN/m}^3$)

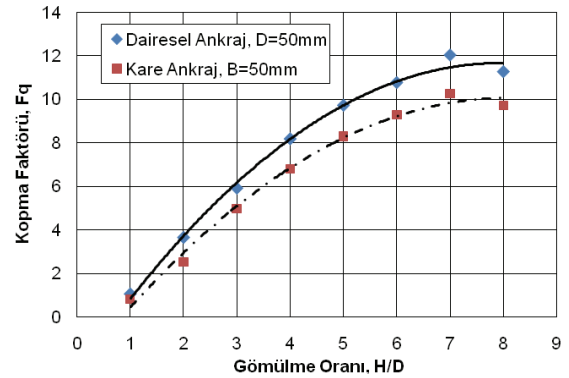


Şekil 14. Dikdörtgen ankraj plakalarının kopma faktörünün karşılaştırılması (The comparison of the breakout factor for rectangular anchors) ($\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$)

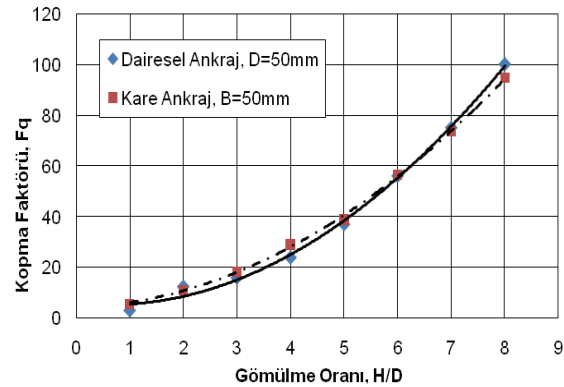
4.5. Kare ve Dairesel Ankrajların Karşılaştırılması (Comparison of Square and Circular Anchors)

Deneysel çalışmalarda, farklı sıklıktaki kum zemine gömülü, 50mm kenar uzunluklu kare ve 50mm çaplı dairesel ankraj plakalarının davranışının, çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Gevşek kum için elde edilen sonuçlar Şekil 15'de, sıkı kum için elde edilen sonuçlar ise Şekil 16'da gösterilmiştir. Gevşek kuma gömülü ankraj plakalarına ait kopma faktörleri sonuçlarında, dairesel ankraj plakasının, kare ankraj plakasına göre daha fazla çekme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Gevşek kumda oluşan bu farklılığın, çekme hareketinin başlangıcından itibaren uygulanan çekme kuvvetine bağlı olarak, öncelikle gevşek zemin yenilme yüzeyi içerisindeki kumun

sıkışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, kare ve dikdörtgen gibi köşeli yüzeye sahip ankrajlarda yenilme yüzeyleri süreksizlikten dolayı daha kolay oluşurken, daire şeklindeki eğri yüzeyli ankrajlarda yenilme yüzeyleri daha zor oluşmaktadır. Bu durum daire gibi eğri yüzeyli ankrajların daha fazla çekme kapasitesine ulaşmasını sağlamaktadır. Bu farklılığın küçük mertebe düzeyinde olmasından dolayı sonuçları önemli derecede etkilemediği düşünülmektedir. Sıkı durumda çekme hareketi başladığı andan itibaren, yenilme düzlemi içerisindeki zeminin sıkı durumda olması nedeniyle ilave bir sıkışma meydana gelmemektedir. Bu sebepten, sıkı zeminde elde edilen sonuçlar birbirine daha yakın olmaktadır.



Şekil 15. Kare ve dairesel ankraj plakaların kopma faktörünün karşılaştırılması (The comparison of the breakout factor for circular and square anchors) ($\gamma_k=15,03\text{kN/m}^3$)

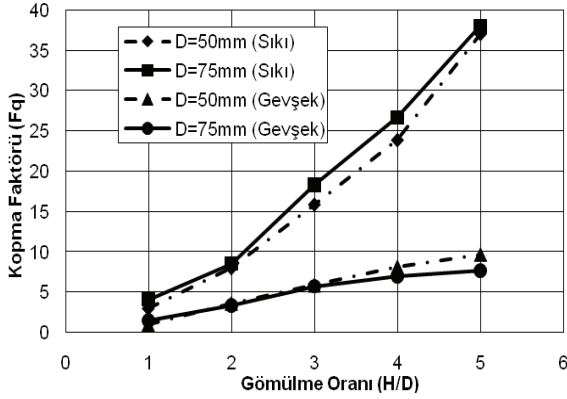


Şekil 16. Kare ve dairesel ankraj plakaların kopma faktörünün karşılaştırılması (The comparison of the breakout factor for circular and square anchors) ($\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$)

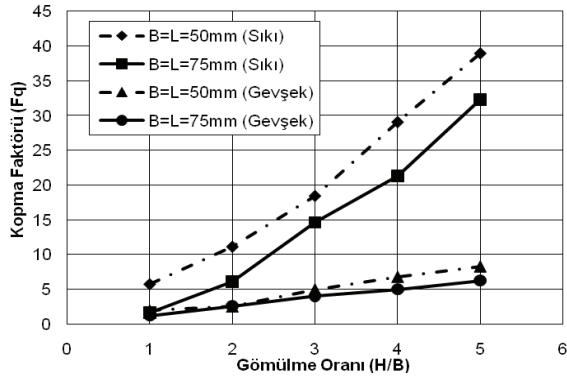
4.6. Ankraj Plaka Boyutunun Çekme Kapasitesine Etkisi (The Effect of Anchor Size on Uplift Capacity)

Yapılan deneysel çalışmalarda, farklı boyutlardaki dairesel ve kare ankraj plakalarında, boyutun çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, ankraj plakalarının kopma faktörleri değişimindeki davranışın genel olarak benzer olduğu görülmüş olup, sonuçlar toplu halde Şekil 17 ve 18'de sunulmuştur.

Dairesel ankraj plakalarının kopma faktörleri incelendiğinde, boyut etkisinin hem gevşek hem sıkı kum durumunda kayda değer olmadığı, dolayısıyla boyut etkisinden bahsedilemeyeceği görülmüştür. Kare ankraj plakalarının kopma faktörleri arasında davranış benzer olmasına rağmen kopma faktörleri arasında farklar olduğu, dolayısıyla boyut etkisinin olduğu görülmüştür.



Şekil 17. Dairesel ankraj plakalarında temel boyut etkisi (The effect of plate size on circular anchor plates)



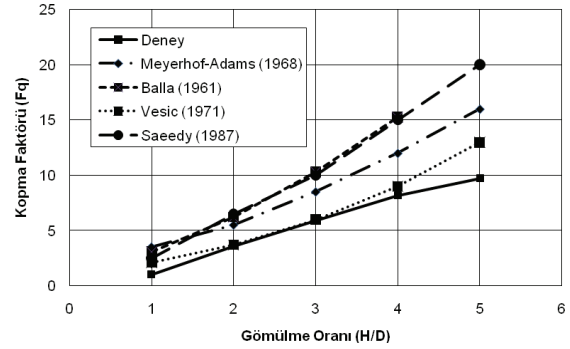
Şekil 18. Kare ankraj plakalarında temel boyut etkisi (The effect of plate size on square anchor plates)

4.7. Teorik Çalışmalarla Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması (Comparison Between Results of Theoretical and Experimental Studies)

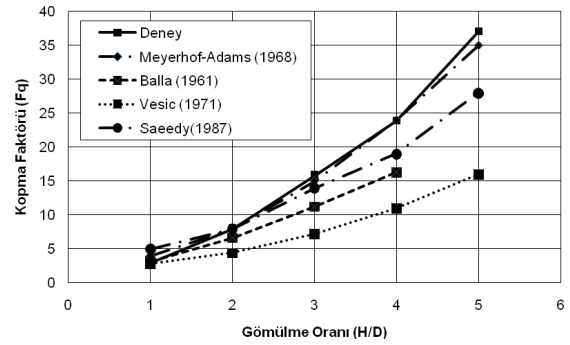
Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan teorik çalışmalarda elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Dairesel temellerin teorik yaklaşımlarla yapılan karşılaştırılması Şekil 19 ve 20'de sunulmuştur.

Dairesel ankraj plakalarının kopma faktörleri karşılaştırıldığında, gevşek ve sıkı kumda yapılan deneysel çalışmaların davranış açısından teorilerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Kopma faktörü değerleri cinsinden karşılaştırıldığında ise, gevşek kumda yapılan deney sonuçlarının Vesic [10] teorisi ile uyum içinde olduğu, sıkı kumda yapılan deney sonuçlarının ise, Meyerhof ve Adams [3] teorisiyle uyum içinde olduğu görülmektedir.

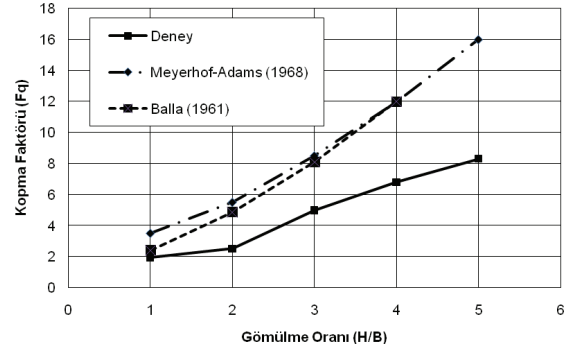
Kare ankraj plakaları için elde edilen sonuçlar ve teorik sonuçlarla yapılan karşılaştırmalar Şekil 21 ve 22'de sunulmuştur. Bu karşılaştırmalardan davranışın benzer olduğu ancak gevşek kumda teorik yaklaşımların deney sonuçlarına göre yüksek değerler verdiği görülmektedir. Sıkı kum durumunda ise elde edilen deneysel sonuçların Meyerhof ve Adams teorisine daha yakın sonuç verdiği ve elde edilen deney sonuçları ile Meyerhof ve Adams sonuçları arasında %15 mertebelerinde farklar olduğu görülmüştür.



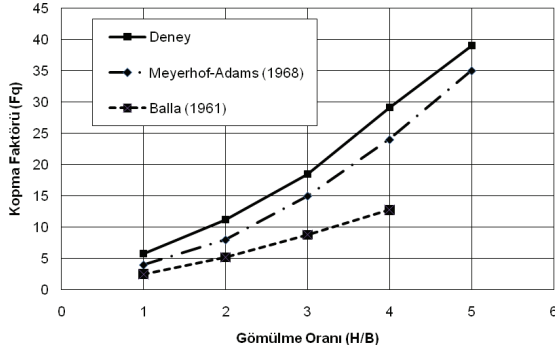
Şekil 19. Dairesel ankrajlarda teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Comparison between theoretical and experimental results of circular anchors) ($\gamma_k=15,03\text{kN/m}^3$)



Şekil 20. Dairesel ankrajlarda teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Comparison between theoretical results of circular anchors) ($\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$)



Şekil 21. Kare ankrajlarda teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Comparison between theoretical and experimental results of square anchors) ($\gamma_k=15,03\text{kN/m}^3$)



Şekil 22. Kare ankrajlarda teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Comparison between theoretical and experimental results of square anchors) ($\gamma_k=17,06\text{kN/m}^3$)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, kum zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Ankraj plakası olarak 6 farklı boyut ve geometride metal plakalar kullanılmıştır. Model deneylerde, temel boyutu, temel geometrisi, gömülme oranı ve kum sıklığı parametrelerinin çekme kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çekme kapasitesinin, ankraj gömülme oranı ve kum sıklığından önemli derecede etkilendiği görülmüştür. Farklı geometri ve boyutlardaki çekme deneylerinin tamamında, kum zeminlerin sıklık oranlarının artmasıyla, çekme kapasiteleri de (göçme yükleri) artmaktadır.

2. Elde edilen sonuçlar kopma faktörü cinsinden değerlendirildiğinde, şekil faktörünün aynı geometrideki ankraj plakalarının çekme kapasitesini önemli derecede etkilemediği görülmüştür. Aynı zemin koşullarında yapılan deneylerde kare ve daire ankraj plakalarının kopma faktörlerinde aynı sonuçlar elde edilirken, dikdörtgen ankraj plakalarında en-boy oranının artmasıyla kopma faktöründe artış meydana geldiği gözlenmiştir.

3. Sıkı kum zemin koşullarında yapılan deneylerde ankrajların çekme kapasitesinin, ankraj plakaları üzerinde yapılan teorik çalışmalarla uyum içinde olduğu, fakat gevşek kumda yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçların bazı teorik çalışmalara göre daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür.

4. Gevşek kumda yapılan deneylerde, gömülme oranının artmasıyla, kopma faktöründeki değişim azalmakta ve asimptota yaklaşırken, sıkı kumda yapılan deneylerde, gömülme oranının artmasıyla, kopma faktörü parabolik olarak artmaktadır.

5. Model ankraj plakalarının göçme yüklerine karşılık gelen düşey deplasmanlar göz önüne alındığında, sıkı kumda görülen göçme yer değiştirmesinin gevşek kuma göre daha büyük olduğu görülmüştür.

6. Dairesel ankraj plakalarının kopma faktörleri karşılaştırıldığında, gevşek ve sıkı kumda yapılan deneysel çalışmaların davranış açısından teorilerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Kopma faktörü değerleri cinsinden karşılaştırıldığında ise gevşek kumda yapılan deney sonuçlarının Vesic [10] teorisi ile uyum içinde olduğu, sıkı kumda yapılan deney sonuçlarının ise Meyerhof ve Adams [3] teorisiyle uyum içinde olduğu görülmüştür.

7. Kare ankrajlarda yapılan deneysel çalışmalar teorik yaklaşımlarla karşılaştırıldığında ise davranışın benzer olduğu, ancak gevşek kumda teorik yaklaşımların deney sonuçlarına göre yüksek değerler verdiği görülmektedir. Sıkı kum durumunda ise elde edilen deneysel sonuçların Meyerhof ve Adams [3] teorisine daha yakın sonuç verdiği ve elde edilen sonuçlar arasında %15 mertebelerinde farklar olduğu görülmüştür.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

A	Temel alanı
B	Sığ temel eni
C_u	Üniformluk katsayısı
C_c	Derecelenme katsayısı
D	Sığ temel çapı
D_f	Sığ temel gömülme derinliği
D_f/B	Sığ temel gömülme oranı
$(D_f/B)_{cr}$	Sığ temel kritik gömülme oranı
L	Sığ temel boyu
Q_u	Temel çekme yükü
α	Yenilme eğrisinin zemin yüzeyi ile yapmış olduğu açı
ϕ	Zemin içsel sürtünme açısı
γ	Zemin birim hacim ağırlığı
γ_k	Zemin kuru birim hacim ağırlığı

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın birinci yazarı TUBİTAK tarafından yurt içi yüksek lisans bursu ile desteklenmiştir. Birinci yazar, bu destek için TUBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Das, B. M., **Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement**. CRC Press, U.S.A., 1999.
2. Balla, A., "The Resistance to Breaking out of Mushroom Foundations for Pylons", in **Proc. V Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.**, Paris, France, 1, 569, 1961.
3. Meyerhof, G. G. ve Adams, J. I., "The Ultimate Uplift Capacity of Foundations", **Canadian Geotech. J.**, 5(4), 225, 1968.
4. Saeedy, H. S., "Stability of Circular Vertical Earth Anchors", **Canadian Geotech. J.**, 24(3), 452, 1987.

5. Dickin, E. A. ve Leung, C. F., "Performance of Piles With Enlarged Bases Subject to Uplift Forces", **Canadian Geot. J.**, Vol. 27, 546-556, 1990.
6. Dickin, E. A. ve Leung, C. F., "The Influence of Foundation Geometry on The Uplift Behaviour of Piles With Enlarged Bases,," **Canadian Geotech. J.**, Vol. 29, 798-505, 1992.
7. Patra, N. R., Deograthias, M., ve JAMES, M., "Pullout Capacity of Anchor Piles", **Electr. Journal of Geotech. Engi (EJGE)**, Vol. 9, 2004.
8. Bildik, S., **Temel Mühendisliğinde Çekme Dayanımının İrdelenmesi ve Farklı Tiplerdeki Temellerin Çekme Dayanımının Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
9. Yıldız, A., **Donatılı Zemine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi**, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
10. Vesic, A. S., "Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom", **Journal of Soil Mech. Found. Div., ASCE**, 97(9), 1183, 1971.

