



**BARET KAZIKLARDA TAŞIMA KAPASİTESİNİN LABORATUVAR
DENEYLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

Merve ERGİNER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

Merve ERGİNER tarafından hazırlanan “BARET KAZIKLARDA TAŞIMA KAPASİTESİNİN LABORATUVAR DENEYLERİYLE ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Murat ÖRNEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye Korkut Ata

Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 19/ 01 / 2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BARET KAZIKLARDA TAŞIMA KAPASİTESİNİN LABORATUVAR DENEYLERİYLE ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Merve ERGİNER

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

ÖZET

Temeller yapılardan gelen yükleri zemine aktaran taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Temel tasarımı yapılırken zemin türü ve koşulları, taşıma gücü, oturma, sıvılaşma gibi göz önüne alınması gereken birçok parametre mevcuttur. Zemin türü ve koşulları bu parametrelerden en önemlilerindedir ve temel tipinin belirlenmesinde doğrudan kullanılmaktadır. Zemin ortamında taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma gibi açılardan herhangi bir risk yoksa yüzeysel temeller kullanılmaktadır. Ancak üstyapıdan gelen yüklerin yüksek mertebelerde olduğu, yüzeysel temel kalınlığının ekonomik olmaktan çıktığı, geoteknik açıdan yüzeysel temelin yetersiz olduğu vb. durumlarda derin temel sistemleri tercih edilmektedir. Ülkemizde olduğu gibi birçok ülkede derin temel uygulamalarında yaygın olarak dairesel kesitli kazıklar kullanılmaktadır. Fakat son zamanlarda, ekonomi ve uygulama kolaylığı sağlaması gibi avantajlarından dolayı dairesel kesitli kazıklara alternatif olabilecek baret kazık uygulamalarının giderek arttığı görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında; dairesel kesitli kazıklar ile dikdörtgen kesitli baret kazıkların davranışını laboratuvar ortamında karşılaştırmak amacıyla model kazıklar oluşturulmuştur. Dikdörtgen kesitli model baret kazıklar, gerçek kazık ölçülerinin 1/10, 1/20, 1/30 ve 1/40'ına karşılık gelecek boyutlarda üretilmiştir. Dairesel kesitli model kazıklar ise baret kazıklarla yaklaşık olarak aynı kesit alana sahip olacak şekilde üretilmiştir. Ardından, model kazıklar üzerinde gevşek zemin durumunda basınç yükleme deneyleri yapılmış ve kazıkların taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Yükleme deneyleri sonucunda kazık geometrisinin, kazık kesit alanının ve kazık boyunun taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Dikdörtgen baret kazıklarda ölçek etkisi de incelenmiştir. Laboratuvar model deneyleri ile elde edilen sonuçlar, regresyon analizlerine tabi tutularak çeşitli modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde lineer, interaction, quadratic, pure-quadratic regresyon çeşitleri kullanılarak bir takım istatistik bağıntılar türetilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Baret kazık, taşıma kapasitesi, laboratuvar model deneyleri, ölçek etkisi, regresyon analizleri

Sayfa Adedi : 68

Danışman : Prof. Dr. Murat ÖRNEK

INVESTIGATION OF BEARING CAPACITY OF BARRETTE PILES WITH LABORATORY TESTS

(M. Sc. Thesis)

Merve ERGİNER

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

January 2021

ABSTRACT

Foundations are structural elements that transfer loads from structures to the soil. There are many parameters that need to be taken into consideration when designing the foundation, such as soil type and conditions, bearing capacity, settlement, liquefaction. Soil type and conditions are the most important of these parameters and they are used directly in determining the type of foundation. If there is no risk in terms of bearing capacity, settlement and liquefaction in the soil environment, shallow foundations are used. However, the structural loads are at high levels, the shallow foundation thickness is not economical, the shallow foundation is insufficient from geotechnical points etc. deep foundation systems are used. In many countries, as in our country, piles with circular cross sections are widely used in deep foundation applications. However, due to its advantages such as providing economy and ease of application, it is seen that the applications of barrette piles may be an alternative to circular section piles. In this study, model piles have been constructed to compare circular section piles and rectangular barrette piles in a laboratory environment. Rectangular shaped model barrette piles are produced in sizes that correspond to 1/10, 1/20, 1/30 and 1/40 of the real barrette pile dimensions. Circular shaped model piles are produced in approximately the same cross-sectional area as model barrette piles. Then, compressive loading tests were performed on model piles in case of loose soil conditions and bearing capacities of piles were investigated. As a result of loading tests, the effect of pile geometry, pile cross-sectional area and pile length on bearing capacity was analyzed. Scale effect was examined in rectangular barrette piles. Results obtained with laboratory model tests were subjected to regression analysis and models were formed. Linear, interaction, quadratic and pure-quadratic regression types were used in the created models and some statistical correlations were derived.

Keywords : Barrette pile, bearing capacity, laboratory model tests, scale effect, regression analyses
Page Number : 68
Supervisor : Prof. Dr. Murat ÖRNEK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilgi birikimini ve tecrübesini aktarıp yol gösteren, bilimsel çalışma ortamı hazırlayan, maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Murat ÖRNEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca sahip olduğu bilgi birikimini, tecrübelerini paylaşan, ihtiyaç duyduğum teknik konularda desteğini esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Yakup TÜREDİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca tecrübesini aktaran, bilimsel araştırma çalışmalarım da ve ihtiyaç duyduğum her anda desteğini hissettiren ağabeyim İnş. Yük. Müh. İbrahim ERGİNER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca her türlü desteğiyle yanımda olan değerli arkadaşlarım İnş. Müh. Gökçe Gizem GENÇ'e, İnş. Yük. Müh. Muhammet DİNGİL'e, İnş. Müh. Mehmet KARTAL'a ve İnş. Yük. Müh. Salih KUNDUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmam boyunca da maddi ve manevi her türlü desteğiyle yanımda olan, çok değerli annem Azime ERGİNER, babam Bekir ERGİNER ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Kazıklı Temeller.....	13
3.2. Kazık Türleri.....	13
3.3. Kazıklarda Taşıma Gücü Hesaplamaları	15
3.4. Baret Kazıklar	18
3.4.1. Baret kazık imalat aşamaları.....	19
3.4.2. Delgi ve kılavuz duvar imalatı.....	19
3.4.3. Donatılandırma aşaması	21
3.4.4. Betonlama aşaması	23
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	24
4.1. Deney Düzeneği.....	24
4.1.1. Deney kasası	24
4.1.2. Yükleme düzeneği	24

	Sayfa
4.1.3. Yük hücresi	25
4.1.4. Deplasman ölçer	28
4.1.5. Veri kaydetme ünitesi	31
4.1.6. Zemin aktarma düzeneği	32
4.1.7. Model deney kazıkları	33
4.2. Zemin Özelliklerinin Tayini	34
4.2.1. Elek analizi	34
4.2.2. Piknometre deneyi	35
4.2.3. Kesme kutusu deneyi	36
4.2.4. Doğal birim hacim ağırlık deneyi	37
4.3. Deney Programı	37
4.4. Deneyin Yapılışı	41
5. REGRESYON ANALİZLERİ.....	44
5.1. Lineer Regresyon Yöntemi.....	44
5.2. Interaction Regresyon Yöntemi	44
5.3. Quadratic Regresyon Yöntemi	45
5.4. Pure-Quadratic Regresyon Yöntemi.....	45
6. BULGULAR.....	46
6.1. Seri 1 (1/10 ölçek).....	46
6.2. Seri 2 (1/20 ölçek)	48
6.3. Seri 3 (1/30 ölçek)	50
6.4. Seri 4 (1/40 ölçek)	52
6.5. Ölçek Etkisi	54
6.6. Kazık Göçme Yükü Eşitlikleri.....	56

	Sayfa
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66
DİZİN.....	68



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Taşıma gücü faktörleri.....	17
Çizelge 4.1. 2 ton kapasiteli yük hücreğine ait teknik özellikler	26
Çizelge 4.2. 5 ton kapasiteli yük hücreğine ait teknik özellikler	26
Çizelge 4.3. 2 ton kapasiteli yük hücreğine ait kalibrasyon değerleri.....	27
Çizelge 4.4. 5 ton kapasiteli yük hücreğine ait kalibrasyon değerleri.....	27
Çizelge 4.5. 0.0-199.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri.....	29
Çizelge 4.6. 0.0-49.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri.....	30
Çizelge 4.7. Deney programı	38
Çizelge 6.1. Seri 1 için göçme yükü değerleri	48
Çizelge 6.2. Seri 2 için göçme yükü değerleri	50
Çizelge 6.3. Seri 3 için göçme yükü değerleri	52
Çizelge 6.4. Seri 4 için göçme yükü değerleri	54
Çizelge 6.5. Baret kazıkların göçme yükü değerleri.....	55
Çizelge 6.6. Baret kazıklar için korelasyon ve R^2 tablosu	57
Çizelge 6.7. Dairesel kazıklar için korelasyon ve R^2 tablosu	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. 2 ton kapasiteli yük hücresi için kalibrasyon grafiği.....	27
Şekil 4.2. 5 ton kapasiteli yük hücresi için kalibrasyon grafiği.....	28
Şekil 4.3.0.0-199.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi.....	30
Şekil 4.4.0.0-49.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi.....	31
Şekil 4.5. Zeminin granülometri eğrisi	35
Şekil 6.1. 1/10 ölçekli baret kazıklar için Q-s/B eğrisi.....	47
Şekil 6.2. 16.9 cm çaplı dairesel kazıklar için Q-s/D eğrisi.....	47
Şekil 6.3. 1/20 ölçekli baret kazıklar için Q-s/B eğrisi.....	49
Şekil 6.4. 8.5 cm çaplı dairesel kazıklar için Q-s/D eğrisi.....	49
Şekil 6.5. 1/30 ölçekli baret kazıklar için Q-s/B eğrisi.....	51
Şekil 6.6. 5.5 cm çaplı dairesel kazıklar için Q-s/D eğrisi.....	51
Şekil 6.7. 1/40 ölçekli baret kazıklar için Q-s/B eğrisi.....	53
Şekil 6.8. 4.5 cm çaplı dairesel kazıklar için Q-s/D eğrisi.....	53
Şekil 6.9. Göçme yükü-kesit alanı grafiği	56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kazık uç ve sürtünme direnci	16
Resim 3.2. Bentonit süspansiyonunun zeminden ayrıştırılması	20
Resim 3.3. Donatı kafesinin hazırlanması	22
Resim 3.4. Donatı kafesinin kuyuya indirilmesi.....	22
Resim 4.1. a) Deney kasası, b) yükleme düzeneği	25
Resim 4.2. a) 2 ton kapasiteli yük hücresi, b) 5 ton kapasiteli yük hücresi.....	26
Resim 4.3. a) 0.0-199.999 mm aralıklı deplasman ölçer, b) 0.0-49.999 mm aralıklı deplasman ölçer	29
Resim 4.4. Veri kaydetme ünitesi	31
Resim 4.5. Zemin aktarma düzeneği.....	32
Resim 4.6. a) Zemin aktarılması işlemi, b) zemin aktarımında elek kullanımı	33
Resim 4.7. Deneylerde kullanılan model kazıklar	33
Resim 4.8. Kum zemin ve elekler	35
Resim 4.9. Piknometre deneyi	36
Resim 4.10. a) Kum zeminin kesme kutusuna yerleştirilmesi, b) kesme kutusu deneyi uygulaması	36
Resim 4.11. Model kazık kesitleri	39
Resim 4.12. Deneylerde kullanılan tüm model kazıklar	39
Resim 4.13. Yağmurlama yöntemiyle deney kasasının doldurulması.....	41
Resim 4.14. a) Zemine gömülü baret kazık, b) Zemine gömülü dairesel kazık	42
Resim 4.15. Yükleme sistemine yerleştirilmiş yük hücresi	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
B	Kazık genişliği
c	Kohezyon
cm	Santimetre
d	Devir
D	Temel çapı
dak	Dakika
H	Kazık boyu
kg	Kilogram
kN	Kilo newton
kPa	Kilo pascal
L	Kazık uzunluğu
m	Metre
mm	Milimetre
R²	Determinasyon katsayısı
s	Oturma
Q	Yük
γ	Birim hacim ağırlık
°	Derece
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
Ø	Zeminin içsel sürtünme açısı

Kısaltmalar**Açıklamalar****ASTM**American Society for Testing and Materials (Amerikan
Test ve Malzeme Topluluğu)**İSTE**

İskenderun Teknik Üniversitesi

TS

Türk Standartları



1. GİRİŞ

Yapılardan gelen yüklerin güvenli bir şekilde zemine aktarılması ve zeminlerin bu yükleri belirli bir oturma değerinde taşıması, geoteknik mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle yapının inşa edileceği arazinin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Zemin ortamını tanımak ancak iyi bir zemin etüdü ile mümkün olmaktadır.

Zemin etüt çalışmaları ile arazinin, inşası planlanan yapı için uygun olup olmadığı veya zemin ortamının yapı için uygun duruma getirilip getirilemeyeceği gibi sorulara cevap bulunabilmektedir. Zeminlerin mühendislik özellikleri iyi bilindiğinde yapıdan gelen yükler altında zeminin davranışının nasıl olabileceği öngörülebilme ve zeminin yapı için elverişsiz olması durumunda farklı çözümler sunulabilmektedir. Bu çözümler yapının zemine göre tasarlanması, yapının farklı bir arazide inşasının düşünülmesi veya arazi ortamının iyileştirilmesidir.

Zeminlerin taşıma gücü ve oturma bakımından inşa edilecek yapı için yetersiz olduğu durumlarda yapı yüklerinin derinlerdeki sağlam zemin tabakası tarafından taşınmasını sağlamak yaygın bir uygulamadır (Yıldız, 2011). Bu amaçla genellikle dairesel kesitli kazıklar kullanılsa da bu kazıklara alternatif olarak baret kazık uygulamalarının giderek arttığı görülmektedir. Dairesel kesitli kazıklara göre daha fazla sürtünme yüzeyi olması, aynı miktarda malzeme kullanılmasıyla daha fazla taşıma kapasitesi sağlaması ve dolayısıyla ekonomi sağlaması baret kazıkların tercih edilme nedenlerindedir (Köpüklü, 2015; Okar, 2018; Yıldız, 2011).

Yapının planı, oturumu ve yükü dikkate alındığında +, T, H, Y, I gibi farklı kesitlerde imal edilebilen baret kazıklar genel olarak dikdörtgen kesitli fore kazıklar olarak bilinmektedir. Sadece betonarme olarak imal edilen baret kazık boyutları uzun kenar 2,20-3,0 m arasında kısa kenar 0,60-1,20 m arasında değişmektedir (Köpüklü, 2015; Yeşilbaş, 2019; Yıldız, 2011).

Baret kazıklar ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların genellikle arazi ortamında yapıldığı veya sayısal analiz programları aracılığıyla bilgisayar ortamında tam ölçekli olarak gerçekleştirildiği görülmüştür (Algın, Ekmen ve Yenmez 2017; Charles,

Rigby, Sean ve Lei 2000; Johnson, Lemcke, Karunasena ve Sivakugan 2005; Lei ve Charles, 2007; Lin, Luo, Kuo, Su ve Mulowayi 2014). Önceki çalışmalar incelendiğinde dikdörtgen kesitli baret kazıklar ile dairesel kesitli kazıkların laboratuvar ortamında taşıma gücü bakımından karşılaştırıldığı ve ölçek etkisinin incelendiği çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür (El Wakil ve Nazir, 2013; Okar, 2018).

Bu tez çalışması kapsamında; baret kazıkların gerçek boyutlarının 1/10, 1/20, 1/30 ve 1/40'ına karşılık gelen ölçülerde üretilen model dikdörtgen kesitli baret kazıklar ile bu baretlerin kesit alanıyla yaklaşık aynı kesit alanına sahip olacak şekilde model dairesel kesitli kazıklar üretilmiştir. Laboratuvar ortamında model ölçekte oluşturulan dairesel kesitli kazıklar ile dikdörtgen kesitli baret kazıklar üzerinde gevşek zemin durumunda yükleme deneyleri yapılmıştır. Yapılan yükleme deneyleriyle hem kazık geometrisinin hem de ölçek etkisinin taşıma gücü ile ilişkisi laboratuvar ortamında ele alınmıştır. Bu bağlamda yapılan tüm çalışmalar bu tez kapsamında aşağıdaki düzende sunulmuştur.

İlk bölümde tezin konusu ve kapsamından bahsedilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, çalışma konusuna ilişkin literatür taraması yapılarak baret kazıklarla ilgili önceki yapılan çalışmalar sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, derin temel sistemlerinden biri olan kazıklı temellerden bahsedilmiş, kazık türleri ve kazık taşıma gücü hesapları hakkında genel bilgiler aktarılmıştır. Ayrıca bu bölümde baret kazıklar ve baret kazıkların uygulama aşamalarından bahsedilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneği tanıtılmış ve deneylerde kullanılan zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, regresyon analizlerinde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde, laboratuvar deneyleri ve regresyon analizleri ile elde edilen bulgulardan bahsedilmiş, grafikler ve formüller halinde sunulmuştur. Elde edilen bulgular hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Yedinci bölümde ise tez çalışması ile elde edilen sonuçlar özet halinde verilmiş ve bu tez çalışması esas alınarak gelecekte yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Baret kazıklar ve dairesel kazıkların farklı yüklemeler altında gösterdikleri davranışların ele alındığı birtakım deneysel ve sayısal çalışmalar aşağıda derlenmiştir.

Charles ve diğerleri (2000) tarafından yapılan çalışmada, Kowloon Bay'da (Hong Kong) bir dikdörtgen baret kazık tabakalı zeminde inşa edilmiştir. Baret kazığın imal edilmesinde kullanılan betonun su/çimento oranı 0,45 ve slump değeri 180mm olarak belirlenmiştir. Kazık düşey yönde dört adet yükleme-boşaltma çevrimi ile test edilmiş ve yük-deplasman, yerel deplasman-yüzey sürtünmesi, düşey efektif gerilme-mobilize olan kesme gerilmesi gibi grafikler elde edilmiştir. Çalışma ile granit, alüvyon, kum ve marine kil zeminde yüzey sürtünmesinin kumlu kil zeminin yüzey sürtünmesine göre daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca tüm zemin katmanlarındaki kayma gerilmesinin, zeminde yumuşama davranışı gözlenmeden veya çok az gözlenerek, eşdeğer kazık çapının yaklaşık % 2,4'ünde tamamen oluştuğu görülmüştür.

Zhang (2003) tarafından yapılan çalışmada, Hong Kong'da tabakalı bir zeminde farklı kesit ve farklı uzunluktaki iki dikdörtgen baret temel yanal yüke maruz bırakılmıştır. Yanal yükleme (statik ve döngüsel) deneyleri tam ölçekli olarak yapılmış ve üç boyutlu sonlu elemanlar programı FLPIER kullanılarak baret temellerin sayısal modellemesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda yük-deplasman eğrileri ve yükleme yönüne bağlı nihai yanal yük kapasiteleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan, baret temelin yanal tepkisinin yükleme yönünden etkilendiği, büyük eksen boyunca yüklenen baret temellerde yanal yük kapasitesinin küçük ekseninde yüklenenlere göre daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

England (2003) tarafından çift yönlü statik yükleme deneyleri anlatılmış ve tek yönlü statik yükleme deneyleri ile arasındaki farklara değinilmiştir. Çift yönlü statik yükleme deneylerinin avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Çalışma ile tek yönlü statik yükleme deneylerinin maliyetinin çift yönlü statik yükleme deneylerine göre daha düşük olduğu, çift yönlü yükleme deneylerinde daha yüksek mertebelerde yükleme yapılabildiği, alan ve güvenlik bakımından çift yönlü yükleme deneylerinin daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır.

Johnson ve diğerkleri (2005) tarafından yapılan çalışma kum zeminde ABAQUS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kum özellikleri, kazık kesiti, kazık uzunluğu değiştirilerek yapılan bu çalışmada aksenal, yanal ve 45° eğik yüklemeler uygulanmıştır. Sayısal analiz sonucunda Şekil faktörünün kumun yoğunluğuna bağlı olduğu, kare kesitli kazıkların dairesel kesitlere göre daha fazla Őaft kapasitesine sahip olduğu ve kare kesitlerde kum yoğunluğu arttıka dayanma direncinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca kazığın enine kesitinin kazığın yanal ve eğik taşıma kapasitesinde önemli bir etkisi olduğu anlaşılmıştır.

Lei ve Charles (2007) tarafından yapılan çalışmada, Hong Kong'da saprolit zeminde dairesel kazık ve baret kazık için basınç yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca farklı bir zemin ortamında da her iki kazık türü için basınç yükleme deneyi yapılmış ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda maksimum birim Őaft direncine karşılık efektif düşey gerilme ve yerel deplasman vb. grafikler elde edilmiştir.

Basu, Prezzi, Salgado ve Chakraborty (2008) tarafından yapılan çalışmada aksenal yükün etkisinden dolayı aksenal kazık sapmasının derinliğin bir fonksiyonu olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Üç boyutlu çok katmanlı zemine yerleştirilmiş aksenal yük altındaki farklı boyutlarda dikdörtgen kazıklar için bir analiz yöntemi geliştirilmiştir. Analitik yaklaşım ile elde edilen sonuçlar, üç boyutlu sonlu elemanlar programı ABAQUS ile modellenerek karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile analitik yaklaşım sonuçlarının sonlu elemanlar sonuçlarıyla olduğa iyi bir Şekilde eşleştiği, kesit Őeklinin kazık kapasitesini etkilediği ve baret ile aynı kesit alanına sahip dairesel kazıklarda sapma miktarının baret kazıklardaki sapmadan daha fazla olduğu görölmüştür.

Seo, Basu, Prezzi ve Salgado (2009) tarafından yapılan çalışmada, çok katmanlı zeminlere yerleştirilmiş dikdörtgen veya dairesel kazıklar için oturma analizi sunulmuştur. Aynı zeminde bulunan aynı kesit alanına, aynı uzunluğa sahip dikdörtgen ve dairesel kazıklara aksenal yükleme yapılmış ve analitik sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan sayısal analiz (ABAQUS) sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemle yapılan analizlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği görölmüştür. Baret kazık deplasmanlarının dairesel kazık deplasmanlarından daha az olduğu görölmüştür.

Akgüner ve Kirkit (2011) tarafından Türkiye'de dört farklı ilde olmak üzere 10 adet kayaya soketli dairesel kazığın taşıma kapasitesi yükleme deneyleri ve ampirik yöntemlerle

incelenip karşılaştırılmıştır. Yükleme deneyleri için çeşitli matematiksel modellere dayalı yöntemler kullanılmıştır. Ampirik yöntemlerle taşıma kapasitesi araştırılırken çevre ve uç kapasitesi de ayrıca incelenmiştir. Soketlendiği kaya türü farklı olan değişik boy ve çaplardaki kazıklar üzerinde standart aksenal basınç yükleme deneyleri yapılmış, yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Matematiksel modellere dayalı yöntemlerle yükleme deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Analizler sonucunda ampirik yöntemler kullanılarak ulaşılan değerlerle kazık yükleme deneylerinden elde edilen değerlerin arasında büyük fark olmadığı anlaşılmıştır.

Yıldız (2011) tarafından yapılan çalışmada, baret temellerin düşey yük taşıma mekanizmaları, oturma davranışı, imalat yöntemi ve kalite kontrol deneyleri anlatılmıştır. Ülker Arena ve Alpella Gençlik Şehri Projesi vaka analizi şeklinde sunulmuştur. Çalışmalar kapsamında çift yönlü statik yükleme deneyi yapılmış, dolgu ve kaya zemindeki birim çevre sürtünme değerleri belirlenmiştir. Proje tasarımında öngörüldüğü gibi baret kazıkların sürtünme direncini büyük oranda taban kaya tarafından sağladığı tespit edilmiştir. Yapılan deneylerle öngörülen tasarımın proje ihtiyaçlarına cevap verdiği görülmüş ve kazık metraji ile radye temel kalınlığı azaltılarak projenin temelinde ekonomik bir çözüm oluşturulmuştur.

Koçak (2013) tarafından yapılan çalışmada, Plaxis 3D Foundation V2.2 sonlu elemanlar programı kullanılarak farklı özellikteki kum zeminlerde farklı aralıklarla yerleştirilen baret kazık grupları için 65 adet model oluşturulmuştur. Baret temeller birbirine göre paralel veya dik olacak şekilde yerleştirilmiş ve bu yerleşimin grup etkileşim faktörüne etkisi incelenmiştir. Düşey yüklemeye bağlı olarak elde edilen sonuçların kum sıklığının artmasıyla yüksek grup etkileşim faktörlerine daha düşük oturma değerlerinde ulaşıldığı, çevresel efektif çapın katları halinde yerleştirilen baret gruplarında grup etkileşim faktörünün baret temellerin dik veya paralel yerleşiminden etkilenmediği görülmüştür.

Uncuoğlu ve Laman (2013) tarafından yapılan çalışmada, gevşek ve sıkı kum zeminde kısa kazıkların yanal yük taşıma kapasitesini araştırmak amacıyla küçük ölçekli model deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerde kazık boyunun, çapının, enkesit geometrisinin ve kazığın yapıldığı malzemenin yanal yük taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Model deneyler sonucunda sıkı zemin durumunda elde edilen yanal yük taşıma kapasitesinin gevşek durumdakinden yaklaşık olarak 5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Kazık boyu ve kazık çapı etkisinin incelendiği deneylerde, L/D oranına karşılık olarak elde edilen yanal yük

taşıma kapasitesi değerlerine dayanılarak kazık boyunun etkisinin çapa göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Gevşek ve sıkı kum zemin ortamlarının her ikisinde de kare kesitli kazıkların dairesel kesitli kazıklara göre yanal yük taşıma kapasitesinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kazığın imal edildiği malzemenin özelliklerinin kazığın yanal taşıma kapasitesi üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır.

El Wakil ve Nazir (2013) tarafından yapılan çalışmada baret kazıklara uygulanan yanal yükün etkisi araştırılmıştır. Kum zeminde bulunan yanal yüklü baret kazıkların davranışını incelemek amacıyla üç farklı kesitten oluşan 28 adet laboratuvar model deneyi yapılmıştır. Oluşturulan bu modellerde kum bağıl yoğunluğunun, kazık kesitinin en/boy oranının, yükleme yönünün ve yük eksantrikliğinin etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda kum sıklığının baret kazıkların yanal kapasitesi üzerinde önemli bir etkisinin olduğu, daha sıkı kum zeminlerde yanal kapasitenin daha fazla olduğu, büyük eksende yüklenen baret kazıkların küçük eksende yüklenenlere göre yanal direncinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca yanal yükleme yönünde baret kazık kesitinin eğilme rijitliğinin artmasıyla baret kazık başındaki yanal deplasmanın azaldığı ve yük eksantrisitesinin artmasının baret kazığın yanal direncini azalttığı anlaşılmıştır.

Lin, Lu, Kuo, Su ve Mulowayi (2014) tarafından çakıl katmana soketli enjeksiyonlu ve enjeksiyonsuz baret kazıkların eksenel performansı incelenmiştir. Tapei'de (Tayvan) iki farklı yerde oluşturulan iki baret kazığın tüm boyutları birbiriyle aynı iken bunlardan biri enjeksiyonla 6m çakıl katmana soketlenmiş diğeri enjeksiyonsuz olarak 3m çakıl katmana soketlenmiştir. Baret kazıklar oluşturulurken su/çimento değeri 1 olarak alınmış ve oluşturulduktan 67 ve 68 gün sonra basınç yükleme deneyleri yapılmıştır. Baret kazık başındaki yüke karşılık deplasmanlar incelenmiş, üst zemin katmanı ile alt çakıl tabakasının τ -z eğrileri ayrıca incelenip hiperbolik modellerle karakterize edilmiş ve uç direnci ile deplasman ilişkileri sunulmuştur.

Salihi, Yılmaz ve Tonyalı (2015) tarafından farklı zemin ortamına yerleştirilmiş 28 adet fore kazıkta yapılan yükleme deneylerinden elde edilen oturma değerleri teorik, ampirik ve yarı ampirik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çeşitli yaklaşım yöntemleri kullanılarak yapılan analizlerde kazık çevresi ve kazık ucunun kohezyonlu olup olmama durumları incelenmiş, arazi yükleme deneylerinin sonuçları referans alınarak analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda, "Poulos ve Davis (1980) Yaklaşımı" ile elde edilen

sonuçların arazide kazık yüklemesiyle ulaşılan değerlere en yakın sonuçları verdiği görülmüştür.

Köpüklü (2015) tarafından yapılan çalışmada baret kazıkların imalat, hesap yöntemleri, kalite kontrolü ve diğer kazıklı sistemlere göre avantajları ile dezavantajları ele alınmıştır. Ayrıca Tüpraş Fuel Oil Dönüşüm Projesi Coke Drum vaka analizi yapılmıştır. Detaylı olarak incelenen projede baret kazıklarının düşey taşıma gücü, yapılan teorik hesaplamalar ve Osterberg hücresi kazık yükleme deneyleri ile karşılaştırılmıştır. Kazık yükleme deneyi, sonlu elemanlar programı Plaxis 3D Foundation kullanılarak modellenmiştir. Sayısal analizle elde edilen sonuçlar teorik hesaplarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplarla elde edilen sürtünme direnci değerleriyle analizlerde Osterberg hücresi kazık yükleme deneyleriyle elde edilen sürtünme direnci değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca teorik yöntemlerle hesaplanan oturma değerleri ile kazık yükleme deneyleri ile elde edilen oturma değerlerinin oldukça yakın mertebelerde olduğu tespit edilmiştir.

Tuna ve Yıldız (2015) tarafından yapılan çalışmada, İzmir ilinde geoteknik bir projede uygulanan Osterberg test uygulaması ve deney sonuçlarının anlatılması amaçlanmıştır. Zeminin genellikle killi olduğu ve yer yer siltli kumlu geçişlerin olduğu belirlenen arazide yapılan yükleme deneyleri ile ön tasarım sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada belirli derinliklerde oluşan çeper deplasmanları ve 16 adet yük hücresi kullanılarak yük hücreleri arasındaki derinliklerde oluşan çeper sürtünmeleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerle geri hesap yapılarak tasarımın revize edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca Osterberg deney metodu ile yanal çevre sürtünmelerinin ve uç taşıma gücünün yerinde ölçülebilmesi sonucunda daha doğru ve ekonomik tasarımlar yapılabileceği savunulmuştur.

Mangushev (2016) tarafından yapılan çalışmada, Rusya'da kullanılan kazıkların alan değerlendirme yöntemleri açıklanmıştır. 396m yüksekliğindeki Ohta-Center iş merkezinin inşaatı sırasında yumuşak zemin katmanları içine iki adet dairesel pilot kazık ve beş adet dikdörtgen pilot baret kazık inşa edilmiştir. Osterberg hücreleri kullanılarak yapılan kazık yükleme deney sonuçları Plaxis 3D sonlu elemanlar sonuçları ve analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Arazi deneyleri, dairesel kazıklar ile baret kazıkların toplam taşıma kapasitesini belirlemek ve bu kapasiteye kazığın hangi kısmının ne kadar katkıda bulunduğunu belirlemek amacıyla yapılmıştır. Arazide yapılan yükleme deneyleriyle elde

edilen taşıma gücü değerlerinin dairesel pilot kazıklarda Rus Standartları ve Plaxis 3D ile elde edilen değerlerden yaklaşık %200 kadar daha büyük olduğu görülmüştür. Pilot baret kazıklarda ise arazi deneyi sonuçları Plaxis 3D sonuçlarından %15, Rus Standartları'ndan ise %2,5 daha büyük olarak ölçülmüştür.

Keawsawasvong ve Ukritchon (2016) tarafından kil zeminde dikdörtgen kazıkların nihai yanal taşıma kapasitesi için yeni bir sayısal çözüm sunulmuştur. İki boyutlu sonlu elemanlar (Plaxis 2D) yazılımı kullanılarak dikdörtgen kazık büyük eksen ve küçük eksen boyunca yanal yüklemeye maruz bırakılmıştır. Dikdörtgen kazıklar farklı en/boy oranları ve zemin-kazık arasındaki adhezyon faktörünün farklı değerleri için incelenmiştir. Kazık en/boy oranı ve kazık-zemin arasındaki adhezyon faktörünün bir fonksiyonu olarak boyutsuz yük faktörü elde edilmiştir. Çalışma sonucunda adhezyon faktörünün azalmasının ve kazık yüksekliğinin kazık genişliğine oranının artmasının daha düşük nihai yanal taşıma kapasitesi elde edilmesine sebep olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada dikdörtgen kazıkların nihai yanal kapasitesini hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edebilmek amacıyla ampirik bir denklem sunulmuştur.

Alğın ve diğerleri (2017) tarafından baret kazıklı radye temellerin sayısal üç boyutlu modellerinin görüntü işleme tekniğiyle daha gerçekçi olarak yapılabildiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Viyana'da Donau City kulelerinin temelleri modellenmiştir. Çalışma kapsamında üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri ile baret kazıklı radye temellerin oturma analizi yapılmış ve birbirine çok yakın olan kulelerin birbirine etkisi incelenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen oturma değerleri gerçek ölçümler ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Abaqus programı kullanılarak yapılan analizler sonucunda radye temeller üzerine üniform olarak yükleme yapılmasına rağmen baret kazıkların ve Continuous Flight Auger (CFA) kazıklarının uzunluklarına ve yerleşimine bağlı olarak maksimum oturmaların merkezden dışa doğru kaydığı görülmüştür.

Rafa ve Moussai (2018) tarafından Plaxis 3D kullanılarak fore kazıklar ve baretler üzerinde düşey yükleme durumu için üç boyutlu analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca test kazığı ile reaksiyon kazığı arasındaki etkileşim ve test bareti ile reaksiyon bareti arasındaki etkileşimler de incelenmiştir. Bu etkileşimin kazığın şekline, narinliğine, reaksiyon kazıkları ile test kazıkları arasındaki mesafeye bağlı olduğu ve test kazığı ile reaksiyon kazığı

arasındaki etkileşimin test baretleri ile reaksiyon baretleri arasındaki etkileşimden daha önemli olduğu anlaşılmıştır.

Çobanoğlu (2018) tarafından yapılan çalışmada, kil zeminlerde baret kazıkların grup etkileşimi incelenmiştir. Baret kazık grupları için yeni bir kazık aralığı yaklaşımı tanımlamak amaçlanmıştır. Plaxis 3D Foundation yazılımı kullanılarak yumuşak kil ve sert kilden oluşan iki tabakalı zeminde baret grubu modellenmiştir. Kısa kenar ve uzun kenar doğrultusunda farklı kazık aralıkları için baret kazık gruplarının eksenel yayılı yük altında taşıma kapasitesi ve grup etkileşim faktörleri elde edilmiştir. Sayısal analiz sonuçları baret kısa kenar uzunluğunun 12 katı, baret uzun kenar uzunluğunun 10 katı kazık aralıklarında oluşturulan baret grubundaki baretlerin taşıma kapasitesinin tekil baretlere yakın olduğunu göstermiştir. Ayrıca uzun ya da kısa kenar doğrultusunda kazık aralığı değiştirmenin grup etkileşim faktörü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kısa kenar doğrultusunda kazık aralıklarının değişmesinin uzun kenar doğrultusunda kazık aralıklarının değişmesi durumuna göre grup etkileşim faktörü üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

Okar (2018) tarafından kum zeminde yanal yük etkisindeki baret kazıkların davranışı incelenmiştir. Bu amaçla, kazıklar üzerinde 1/40 ölçekli laboratuvar model deneyleri ve Plaxis 3D sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Deneyler ve analizler, gevşek kum ve sıkı kum zeminde kare kesit profil, dikdörtgen kesit profil, + kesit profil için gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile sayısal analizlerden yük-deplasman davranışları ve moment değerleri elde edilip karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yük-deformasyon davranışları bakımından sonlu elemanlar analiz sonuçlarıyla model deney sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde hem sayısal analizde hem model deneylerde + kesit profil için taşıma kapasitesi ve moment değerlerinin diğer kesitlere göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Gevşek ve sıkı kum zeminde baret kazıklara gelen yüklerde kum sıklığının etkisinin baret kazık rijitliğine göre daha etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Poulos, Chow ve Small (2019) tarafından yapılan çalışmada, dikdörtgen kazıklara eşdeğer boyutta dairesel kazıklar belirlenerek CLAP programında analizleri yapılmış ve sonrasında dikdörtgen kazıkların sonlu elemanlar analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca yapılan analizlerin bir kısmında kazık-zemin arasındaki etkileşimi araştırmak amacıyla Plaxis 3D programı da kullanılmıştır. Analizlerde kazıklar, tekil kazık ve grup olarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlarda düşey olarak yüklenmiş baret kazık gruplarının davranışları için ana kaya üzerine oturan ve oturmayan baret temellerde baret temelle aynı çevre genişliğine ve aynı taban alanına sahip yeterli bir grup eşdeğer kazık grubu kullanılarak modelleme yapılabileceği görülmüştür. Yanal yüklemeye maruz kalan tekil bir baret temel için eşdeğer kazığın eğilme rijitliğinin önemli olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak baret temellerin davranışlarının modellenmesi için eşdeğer dairesel kazıkların kullanılmasının daha karmaşık sonlu eleman sonuçlarını kontrol edebilmek için yeterli ve kullanışlı olduğu görülmüştür.

Znamenskii, Bakholdin, Parfenov ve Musatova (2019) tarafından Moskova'da (Rusya) inşası yapılan 56 katlı bir konut binasının inşaat alanındaki tam ölçekli baret temel yükleme deneyleri ve sonlu elemanlar yöntemini esas alan 'MIDAS GTS NX' yazılımı yardımıyla bir baret temelin sayısal analizi sunulmuştur. Analiz ve deneylerin sonucunda 3600 tonluk bir yük uygulanması durumunda sayısal deneyde elde edilen deplasmanın, tam ölçekli deneyde elde edilen deplasmandan yaklaşık %26 oranında daha büyük olduğu görülmüştür. Ancak genel olarak tam ölçekli deneyler ve sayısal modeller için uygulanan yük-oturma grafiklerinin benzer ve doğrusal olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak baretlerin sayısal analizleri için 'MIDAS GTS NX' yazılımı yardımıyla sonlu elemanlar yönteminin kabul edilebilir doğrulukla kullanılabileceği savunulmuştur.

Literatür taraması neticesinde incelenen çalışmalardan bu tez kapsamında yer alacak çalışmanın yöntemini ve içeriğini belirleyecek ölçüde çeşitli çıkarımlarda bulunulmuştur. Buna göre:

- ✓ Baret kazık taşıma gücü tayini ile ilgili çalışmaların laboratuvar ortamında yapıldığı çalışmaların sayısının oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.
- ✓ Baret kazıklar ile dairesel kesitli kazıkların taşıma gücü bakımından karşılaştırılması çalışmalarının daha çok arazi ortamında veya sayısal analiz programları aracılığıyla yapıldığı, laboratuvar ortamında yapılan sınırlı sayıda çalışmanın olduğu fark edilmiştir.
- ✓ Literatürde laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda model kazıklar üzerinde deneyler yapılırken kazığın ölçek etkisinin incelendiği çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; baret kazıkların taşıma gücünün araştırılması amacıyla laboratuvar ortamında elde edilecek verilerin arazi uygulamalarına referans olacağı öngörülmüştür. Bu amaçla

laboratuvar ortamında dikdörtgen kesitli baret kazıkların ve dairesel kesitli kazıkların model ölçeklerinin oluşturulup taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması ve ölçeğin kazıkların davranışına etkisinin incelenmesi bu tez çalışmasının özgün değeri olarak nitelendirilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kazıklı Temeller

Yüzeeye yakın zemin tabakalarının tasarlanan yapının temeli için taşıma gücü ve oturma koşulları bakımından yetersiz olduğu durumlarda derin temel sistemlerine başvurulmaktadır. Derin temel uygulamalarının birçok yöntemi olup zeminin türü, sıklığı, mevcut yeraltı su seviyesi, ekonomi gibi etkenlere göre uygun bir yöntem seçilmektedir. İstenilen boy ve çapta üretimlerin yapılmasına olanak vermesi, uygulama ekipmanları ve ekonomi göz önüne alındığında yaygın olarak kazıklı temel uygulamalarının kullanıldığı görülmektedir. Kazıklı temeller ile yapı altında kolonlar inşa edilerek yapıdan gelen yükler güvenli bir şekilde sağlam zemin tabakalarına aktarılmaktadır. Kazıklı temeller arazi şartlarına, üzerine gelecek yük miktarına ve izin verilebilir oturma değerlerine göre farklı türlerde tasarlanabilmekte olup kazık türleri aşağıda açıklanmıştır.

3.2. Kazık Türleri

Kazıklar üretildikleri malzemeye göre ahşap, çelik ve betonarme olarak imal edilebildiği gibi bu malzemelerin bir arada kullanılmasıyla kompozit kazık olarak da teşkil edilebilmektedir.

Ahşap kazıkların, hafifliği ve kazık boyunun kolay bir şekilde ayarlanabilmesi gibi avantajları olsa da ahşap malzemenin böcek, mantar ve su gibi etkenlerden dolayı kolayca çürümesi gibi dezavantajları da mevcuttur. Ahşap kazık uygulamalarında çürümeyi engelleyebilmek için emprenye işlemi yapılması gerekmektedir (Yeğit, 2017).

Çelik kazıklar, farklı şekil ve boyutlarda, 70 m'ye kadar uzunluğa sahip olabilen çelik malzemedan üretilen kazıklardır (Sağbazar, 2019).

Betonarme kazıklar farklı yöntemlerle imal edilebilmektedir. Şantiyede yerinde dökülerek, üretim tesislerinde üretilip zemine çakılarak ya da zemini sıkıştırarak oluşturulmaktadır. Çakma betonarme kazıklarda nakliye işleminden dolayı maliyetteki artış, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametredir. Yerinde dökülerek üretilen betonarme

kazıklar zeminde delgi yapıldığı sırada zemine boru geçirilmesi ve ardından betonlama yapılması ile elde edilmektedir. Boru zemin durumuna göre çıkarılabildiği gibi kuyu içinde de bırakılmaktadır.

Vibreks kazıklar adı verilen zemini sıkıştırarak yapılan kazık imalatı, betonarme kazıklardaki diğer bir üretim yöntemidir. Bu kazıklarda silindirik bir boru düşey şekilde zemine çakılarak kuyu açılırken aynı zamanda da zemin sıkıştırılmaktadır. İmalat sırasında kazı ve hafriyat yapılmaması, hızlı ve ekonomik olması bu tip kazıkların sağladığı önemli avantajlardandır. Ancak sadece sıkıştırılabilir boşluklu zeminlerde uygulanabilir olması kısıtlayıcı yönlerindedir (Demir, 2018).

Betonarme kazıklarda proje şartlarına bağlı olarak dairesel kesitlerle istenilen taşıma gücünün elde edilmesinde ekonomiklikten uzaklaşıldığı durumlarda, baret kazık olarak adlandırılan özel kesitli betonarme kazıklar kullanılabilir. Baret kazık uygulamaları, fore kazık uygulamalarına alternatif olan önemli bir betonarme kazık çeşididir.

Kazıklar, yük taşıma şekline göre uç kazığı, sürtünme kazığı ve çekme kazık olarak üretilmektedir. Yükün büyük bir kısmını kazığın uç kısmından zemin tabakasına transfer eden kazıklar uç kazığı, yükün kazık çevresinde sürtünme ile taşındığı kazıklar ise sürtünme kazığı olarak adlandırılmaktadır. Çekme kazığı ise çekme yükünü karşılayan kazık türüdür (Köpüklü, 2015).

Kazık türlerine karar verilirken zeminin özellikleri, yeraltı su seviyesi, maliyet, çevre yapılar ve ulaşım gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır (Toğrol ve Tan 2009). Taşıma gücü ve oturma koşullarına göre verimliliği yüksek ve aynı zamanda ekonomik olan kazık tipi seçilmektedir.

Kazıklar, tekil kazık veya grup kazığı olarak teşkil edilebilmektedir. Ancak bir yapı altında kazıklı temel inşa edilirken genellikle tekil kazık uygulamaları yerine kazık grupları tercih edilmektedir. Kazık grupları tekil kazıkların belirli ara mesafelerle yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Kazık gruplarında taşıma gücü hesabında kazıklar arası mesafe toplam taşıma gücünü etkilemektedir. Bu nedenle kazık grupları oluşturulurken üst yapı yükleri dikkate alınarak olabildiğince düzenli ve simetrik bir şekilde kazıklar yerleştirilmelidir.

Kazıkların uç kazığı veya sürtünme kazığı olması kazık gruplarında taşıma kapasitesini etkilemektedir. Uç kazığı olarak imal edilen kazık gruplarında toplam taşıma kapasitesi her bir kazığın taşıma gücünün toplamına eşit olmaktadır. Ancak sürtünme kazığı olarak imal edilen kazık gruplarında kazıkların birbirine etkisinden dolayı kazık grubunun taşıma kapasitesi kazıkların taşıma gücü toplamlarından farklı olmaktadır. Kazıklar arası mesafeye bağlı olarak taşıma gücü değerleri değişmektedir. Kazıklar arası mesafe azaldığında kazıkların etki alanları daha çok çakıştığından daha az taşıma gücü elde edilirken, kazıklar arası mesafenin olması gerekenden fazla olması durumunda da kazıklar tekil kazık gibi davranarak grup etkisi ortadan kalkmaktadır.

Bir kazık grubunun taşıma gücünün, kazık grubundaki kazıkların taşıma gücü toplamlarına oranı kazık grubunun verimliliğini ifade etmektedir (Koçak, 2013). Verimliliği kazıklar arası mesafe, kazık geometrisi, kazık uzunluğu ve kazık sayısı gibi birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörlerin proje tasarım aşamasında dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

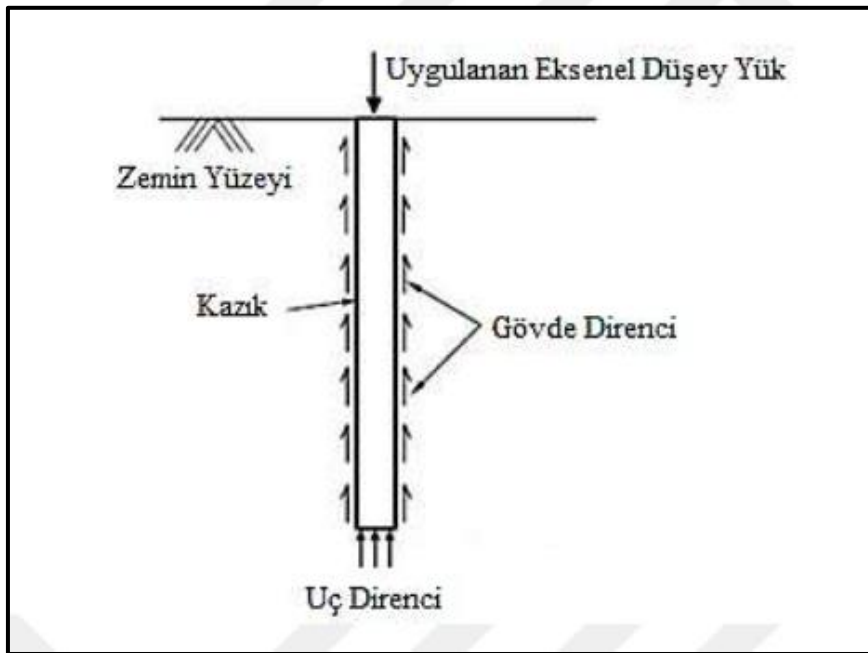
3.3. Kazıklarda Taşıma Gücü Hesaplamaları

Bir kazık yüklenirken oturmaların aniden arttığı fakat yükte değişimin olmadığı sınır değer kazığın taşıma gücüdür. Ancak taşıma gücü ve oturma açısından güvenli bir tasarım yapabilmek için bu sınır değer hesaplamalarda doğrudan kullanılmamakta, bir güvenlik sayısına bölünerek emniyetli bir tasarım gerçekleştirilmektedir. Zeminde kırılmaya karşı güvenli olarak ve zeminde kayma meydana gelmeden, zeminin birim alanına uygulanabilecek olan emin taşıma yükü (Q_{emin}) kullanılmaktadır (Uzuner ve Özmen, 1991).

Kazıklarda taşıma gücü hesaplamaları ve kazıkların yük altındaki davranışı kesin bir şekilde belirlenemediğinden günümüzde hala karmaşıklığını sürdürmektedir. Kazık davranışı ve taşıma gücü belirlenirken bazı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bunlardan biri zeminin mühendislik özelliklerini doğru bir şekilde belirleyip taşıma gücü formüllerini kullanarak taşıma gücünü tayin etmeyi amaçlarken, bir başka yaklaşımda da dinamik kazık formülleri kullanılarak taşıma gücünün belirlenmesi amaçlanmaktadır. Taşıma gücü formüllerini kullanmak yerine arazi ortamında deneme kazıkları oluşturarak yükleme deneyleriyle taşıma gücünü belirlemek proje tasarımı yapılırken önemli bir rehber olabilecek bir diğer yaklaşımdır (Çinicioğlu, 2005).

Kazık formülleri kullanılarak yapılan taşıma gücü hesabının maliyete etkisi olmazken arazi yükleme deneyleri ile taşıma gücü belirlenmesinde maliyet artmaktadır. Ancak arazi ortamında elde edilen sonuçlar, kazık taşıma gücü formülleri ile belirlenene göre daha net sonuçlar vermektedir. Çünkü taşıma gücü formülleri ile yaklaşık sonuçlar elde edilmektedir.

Kazıklarda taşıma gücü hesaplanırken kazığın uç kazığı veya sürtünme kazığı olması ya da hem uç kazığı hem sürtünme kazığı olması dikkat edilmesi gereken bir unsurdur. Resim 3.1’de sürtünme direnci ve uç direnci gösterilmektedir. Uç kazığı olması kazığın sadece uç kısmında yükün taşındığı anlamına gelmekte olup nihai taşıma gücü yüzeysel temellerde kullanılan taşıma gücü bağıntılarıyla elde edilebilmektedir. Kazık çevresindeki sürtünme ile yükün taşınmasına olanak sağlayan sürtünme kazıklarının nihai taşıma gücü ise, sürtünme direnci ile sürtünme yüzey alanları kullanılarak hesaplanmaktadır. Kazık uç kapasitesi, kazık sürtünme kapasitesi ve kazık taşıma kapasitesi eşitlikleri sırasıyla Eş. 3.1, Eş. 3.4 ve Eş. 3.7’de verilmiştir.



Resim 3.1. Kazık uç ve sürtünme direnci (Basu ve diğerleri, 2008)

$$Q_{uç} = q_{uç} * A_{uç} \quad (3.1)$$

Eş. 3.1’de verilen ifadede $Q_{uç}$ kazık ucunda taşınan yük kapasitesini, $q_{uç}$ birim uç taşıma direncini, $A_{uç}$ kazık uç kesit alanını temsil etmektedir. Kazık ucundaki göçme mekanizması ile yüzeysel temellerin tabanında oluşan göçme mekanizması neredeyse aynı olduğundan kazık uç kapasitesi hesaplanırken yüzeysel temellerde kullanılan taşıma gücü formülleri kullanılmaktadır (Çinicioğlu, 2005). $Q_{uç}$ kazık ucundaki yük kapasitesi hesaplanırken, Terzaghi’nin yüzeysel temeller için taşıma gücü yaklaşımı kullanılmakta olup Eş. 3.2’de kazık ucundaki birim uç taşıma direnci eşitliği verilmiştir.

$$q_{uç} = c * N_c + \gamma * L * N_q + 0,5 * \gamma * B * N_\gamma \quad (3.2)$$

Eş. 3.2’de verilen ifadede L kazık derinliğini, B taban genişliğini, γ zemin birim hacim ağırlığını N_c , N_q ve N_γ taşıma gücü faktörlerini temsil ederken c ile zeminin kohezyonu temsil edilmektedir. N_c , N_q ve N_γ taşıma gücü faktörleri zeminin içsel sürtünme açısı (θ)’ye bağlı olarak Terzaghi tarafından oluşturulan abaklardan elde edilmektedir (Çizelge 1). Eş. 3.2’de verilen eşitlik kohezyonsuz zeminler için yazıldığında ifade Eş. 3.3’te verildiği hale dönüşmektedir.

$$q_{uç} = \gamma * L * N_q + 0,5 * \gamma * B * N_\gamma \quad (3.3)$$

Çizelge 1.1. Taşıma gücü faktörleri (Terzaghi, 1943)

θ	N_c	N_q	N_γ	θ	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1,0	0,0	24	23,6	11,4	8,5
2	6,2	1,2	0,2	26	27,2	14,0	11,0
4	6,7	1,5	0,4	28	31,2	17,0	15,5
6	7,5	1,8	0,7	30	37,2	23,0	20,0
8	8,6	2,3	0,9	32	44,0	28,0	27,0
10	9,6	2,7	1,2	34	52,5	36,0	36,0
12	11,0	3,3	1,7	36	64,0	47,0	51,0
14	12,3	4,0	2,2	38	80,0	64,0	74,0
16	13,8	4,9	2,9	40	96,0	82,0	101,0
18	15,6	6,1	3,8	42	118,0	114,0	148,0
20	17,6	7,4	5,0	44	153,0	155,0	222,0
22	20,4	9,2	6,5	45	172,0	173,0	296,0

$$Q_{yan} = f_s * A_{yan} \quad (3.4)$$

Eş. 3.4 ile verilen kazık çevresiyle taşınan yük kapasitesi Q_{yan} hesaplanırken (f_s) çevre gerilmeleri ve (A_{yan}) kazığın zeminle temas halinde olan yüzey alanı dikkate alınmaktadır. Eş. 3.5'te verildiği gibi çevre gerilmeleri adhezyondan ve danelerin sürtünmesinden kaynaklanmaktadır.

$$f_s = f_{s_1} + f_{s_2} \quad (3.5)$$

Eş. 3.5 ile verilen ifadeye adhezyon gerilmesi değeri zeminin kohezyon değerine bağlı bir değer olup zemin kohezyonunun 0,50-0,70 katına tekabül etmektedir. Danelerin sürtünmesinden kaynaklanan gerilme ise Eş. 3.6'da verilmiştir.

$$f_s = \frac{1}{2} * \gamma * L * K_0 \tan \delta \quad (3.6)$$

Eş. 3.6'da, γ zemin birim hacim ağırlığını, K_0 yanal gerilmeyi, $\tan \delta$ sürtünme katsayısını temsil etmektedir.

Eş. 3.1 ve Eş. 3.4 ile verilen ifadeler hesaplanıp Eş. 3.7'de yerine yazıldığında bir kazığın taşıma gücü eşitliği aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$Q_d = Q_{uç} + Q_{yan} \quad (3.7)$$

Burada $Q_{uç}$ kazık ucunda taşınan yük kapasitesini, Q_{yan} kazığın çevre sürtünmesiyle taşıdığı yük kapasitesini, Q_d ise kazığın toplam yük taşıma kapasitesini ifade etmektedir.

3.4. Baret Kazıklar

Günümüzde uygulamaları giderek artan baret kazıklar özel kesitli fore kazıklar olarak tanımlanmaktadır (Köpüklü, 2015; Okar, 2018). Kazık taşıma gücü hesaplamaları dairesel kesitli kazıklarla aynı olan baret kazıklar dikdörtgen, T, H, L, I ve + kesitlerde imal edilebilmektedir. Diğer kazıklardan farklı olarak sadece betonarme olarak imal edilen baret kazıkların sağladığı birçok avantaj bulunmaktadır (Yıldız, 2011).

Eşdeğer kesit alanına sahip dairesel kesitli kazığa göre daha fazla sürtünme yüzeyi bulunduğundan baret kazıklarda sürtünme ile taşınan yük de daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla aynı kesit alanında daha fazla sürtünme yüzeyi elde edildiğinden daha küçük boyutlarda imal edilebilmektedirler. Böylece kazık imalatında kullanılan malzeme ihtiyacı azaltılarak maliyet düşürülmekte ve tasarruf sağlanmaktadır.

Baret temeller, yatay ve düşey yükler altında yüksek taşıma kapasitesine sahip olduklarından dolayı yüksek katlı yapılarda yaygın olarak kullanılan temel türüdür (Rabaiotti, Malecki, 2018). Baret kazıklar, yatay yönde etki eden kuvvetler altında dairesel kesitli kazıklara göre daha yüksek kesme kuvveti ve eğilme momenti kapasitesine sahiptir (Mazzucato ve Natali, 1988).

Her türlü zeminde uygulanması, kaya soket boyunun kolayca ayarlanabilmesi, zeminde kabarma meydana getirmemesi, imalat sırasında çok fazla titreşim ve gürültü oluşturmaması baret kazıkların sağladığı önemli avantajlardandır. Baret kazıkların taşıma gücü hesap yöntemleri, klasik dairesel kesitli fore kazık taşıma gücü hesap yöntemleri ile aynı olup bu yöntemden Bölüm 3.3'te bahsedilmiştir.

3.4.1. Baret kazık imalat aşamaları

Farklı kesitlerde üretilebilen baret kazıklar yaygın olarak dikdörtgen kesitli olarak imal edilmektedir. Dikdörtgen kesitli baret kazıkların uzun kenarı 2,20-3,0 m, kısa kenarı ise 0,60-1,20 m arasında değişmektedir. Baret kazık imalatı için zemin türüne bağlı olarak hidrofreze, mekanik grab ve hidrolik grab denilen özel makineler kullanılmaktadır. Bu makinelerin kullanımı ile diğer kazı yöntemlerine göre daha kontrollü kazı yapılması sağlanmaktadır. Baret kazık imalatı delgi ve kılavuz duvar imalatı, donatılendirma ve betonlama işlemleri ile tamamlanmaktadır (Yıldız, 2011).

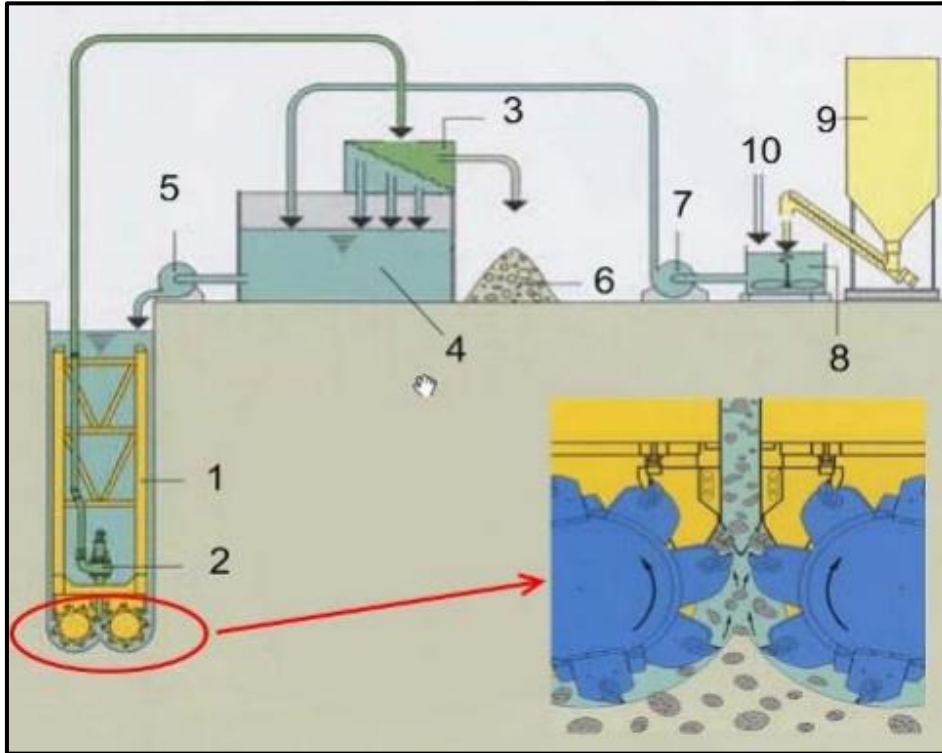
3.4.2. Delgi ve kılavuz duvar imalatı

Zemin koşulları, kazık boyutları ve arazi ortamına bağlı olarak belirlenen delgi ekipmanlarıyla istenilen derinlikte delik (kuyu) açma işlemidir. Delgi işleminin yapıldığı zemin eğer kendini tutamayan türden ise kılavuz duvar ile kazı desteklenmelidir. Kazıklı temel üretiminde genellikle muhafaza borusu kullanılarak kazı desteği sağlanırken baret

kazıklarda kesit geometrisinden dolayı bu işlem zorlaşmaktadır. Bu nedenle baret kazıklarda kazı desteği montmorillonit tipi bir kil olan bentonitin süspansiyonu kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Bentonit, volkanik kül, tuf ve lavların ayrışması ile oluşan çok küçük kristallere sahip killerden oluşan bir maddedir. İçeriğinde başlıca montmorillonit tipi kil olan bentonitin su emme ve iyonlaşma kapasitesi oldukça yüksektir (www.mta.gov.tr).

Kazı desteği sağlamak amacıyla kullanılan, temiz su ile bentonitin karıştırılmasıyla elde edilen bentonit süspansiyonu, pahalı bir malzeme olmasına rağmen süspansiyonun tekrar kullanılabilme özelliği ile kazı daha ekonomik bir hale gelmektedir. Bentonit süspansiyonu ile kazı desteği sağlanarak yapılan delgi işlemi sonrasında zeminle karışan süspansiyon desander ünitesi aracılığıyla zeminden arındırılmakta ve tekrar kullanılabilir duruma getirilmektedir. Bentonit süspansiyonunun zeminden arındırılması döngüsü Resim 3.2’de gösterilmiştir.



Resim 3.2. Bentonit süspansiyonunun zeminden ayrıştırılması (Zetaş katalog, 2011)

Bu döngüye ait tüm elemanlar aşağıda sıralanmaktadır.

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1. Cutter | 6. Kazılan Zemin |
| 2. Cutter Çamur Pompası | 7. Santrifüj Pompa |
| 3. Desander | 8. Bentonit Karıştırıcısı |
| 4. Bentonit Tankı | 9. Bentonit Silosu |
| 5. Santrifüj Pompa | 10. Su |

Bentonit süspansiyonu hazırlanırken bentonit tozu ile su, kazı cidarlarının stabilitesi ve dökülecek betonun istenilen kaliteyi sağlayabileceği oranlarda karıştırılmalıdır (Zetaş katalog, 2011).

3.4.3. Donatılendirma aşaması

Sadece betonarme olarak imal edilen baret kazıklarda delgi işleminde istenilen derinliğe inildikten sonra donatılendirma işlemine başlanmaktadır. Donatılar bir kafes haline getirildikten sonra kuyu içine indirilerek yapılan bu işlemde aynı zamanda betonlama için gerekli olan tremi boruları da kuyu dibine indirilmektedir. Dökülen betonda istenilen kalite ve dayanımı sağlayabilmek amacıyla donatı kafesi ve tremi boruları kuyuya indirilmeden önce kuyu dibi iyice temizlenmelidir. Kuyu dibinde zemin parçalarının olmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde kuyu dibinde bulunan zemin taze betonla karışarak beton kalitesinde düşüşe sebep olabilmektedir. Donatıların hazırlanması ve kuyuya indirilmesi aşamaları sırasıyla Resim 3.3 ve Resim 3.4'te gösterilmektedir.



Resim 3.3. Donatı kafesinin hazırlanması (www.egezemin.com)

Donatılar dışarıda hazırlanırken projede belirtilen şartlara göre enine ve boyuna donatılar bağlanarak bir kafes haline getirilmekte ve ardından vinç yardımıyla kuyuya indirilmektedir.



Resim 3.4. Donatı kafesinin kuyuya indirilmesi (Geotem Jeoteknik İnşaat Müh. Müş. A.Ş., 2017)

Kafes haline getirilen donatılar vinç yardımıyla kuyuya indirilmekte ve betonlama aşamasına geçilmektedir.

3.4.4. Betonlama aşaması

Beton dayanım ve dayanıklılığını etkilediği için kuyu içinin temiz olup olmadığı kontrol edilmekte ve sonrasında betonlama aşamasına geçilmektedir. Betonlama işlemi donatı kafesi ile birlikte kuyuya indirilen tremi boruları aracılığıyla yapılmaktadır. Kuyu tabanından başlayarak sürekli ve belirli bir hızda beton dökülürken bentonit süspansiyonu yukarıya doğru çıkmaktadır. Buradan çıkan zeminle karışmış haldeki bentonit süspansiyonu depolama ünitesi olan desandere aktarılmaktadır. Zemin numunelerinden arındırılan bentonit süspansiyonu tekrar kullanılabilir duruma getirilmektedir. Baret kazık imalatının tamamlanmasının ardından üretilen kazıkların projede belirtilen standartları sağlayıp sağlamadığı kalite kontrol deneyleri ile belirlenmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, gevşek kum zemin durumunda, model ölçekte üretilen dikdörtgen kesitli baret kazıklar ile dairesel kesitli model kazıkların taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kazık kesit geometrisi, kazık boyları, kazık genişliği, kazık uzunluğu ve kazık çapları değişken parametreler olarak kullanılmıştır. Bu bölümde deney düzeneği tanıtılmış, deneylerin yapıldığı zemin ortamından bahsedilmiş, deney programı açıklanmış ve deneysel çalışma aşamaları anlatılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

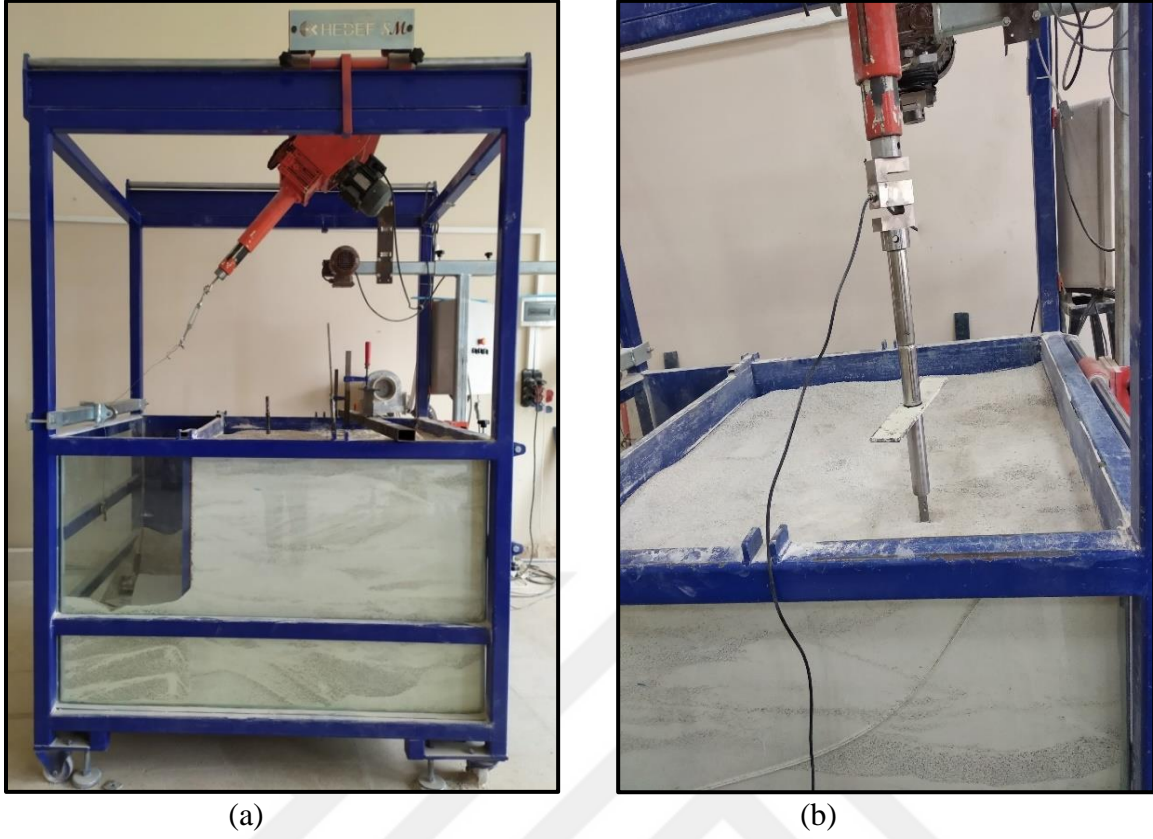
4.1. Deney Düzeneği

4.1.1. Deney kasası

Deneyler, uzunluğu 1500 mm, genişliği 1200 mm ve yüksekliği 950 mm olan dikdörtgen kesitli bir kasa içerisinde yapılmıştır. Deney kasasının iskeleti 8 mm kalınlığa sahip çelik profilden oluşmaktadır. Deney kasasının ön ve sol yan yüzeyi 5 mm kalınlıkta cam panelden oluşmaktadır. Arka yüzey ile sağ yan yüzey 3 mm kalınlıkta metal sac malzemeden oluşturulmuştur. Deney kasasında üç farklı bölüm oluşturacak şekilde paneller mevcut olup deneyler 1200 mm x 1000 mm alana sahip bölümde gerçekleştirilmiştir.

4.1.2. Yükleme düzeneği

Deney kasasının üst kısmında yükleme motoru bulunmaktadır. Yükleme motoru raylı bir sisteme monte edilmiş olup deney kasasının istenilen herhangi bir noktasında yükleme yapılabilmektedir. Deney kasası ve yükleme düzeneği Resim 4.1'de gösterilmiştir.

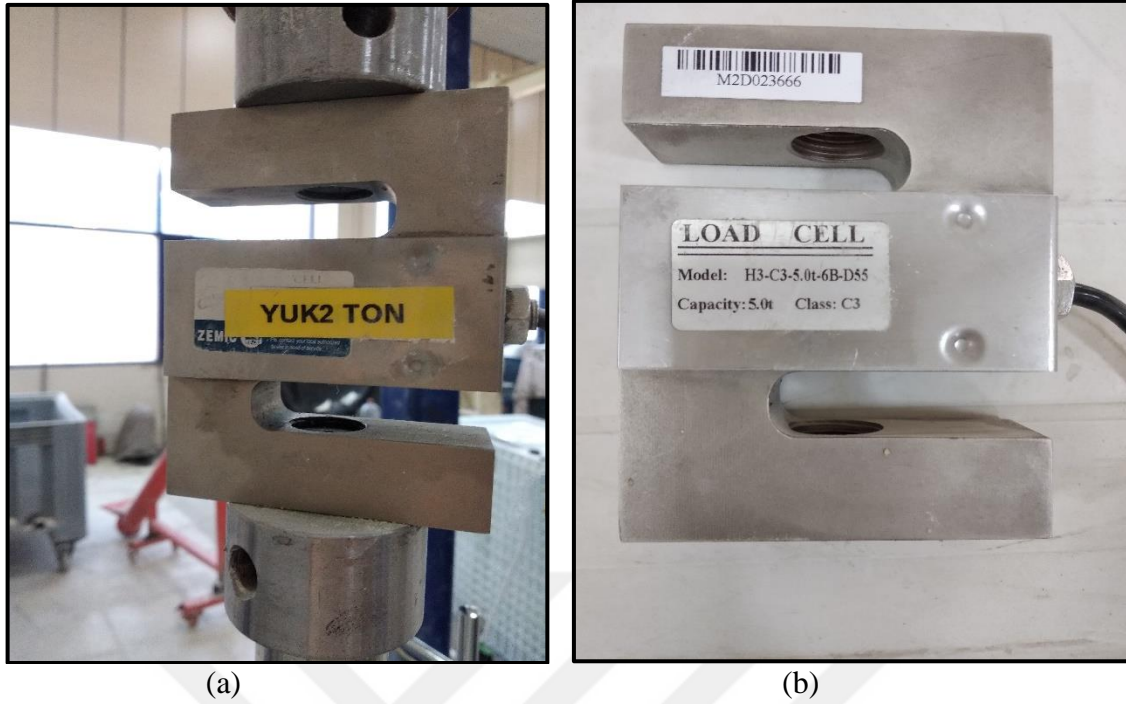


Resim 4.1. a) Deney kasası, b) Yükleme düzeneği

Yükleme motoru 10 d/dak- 300 d/dak arasındaki hızlarda yükleme yapabilmekte olup bu çalışma kapsamında yapılan tüm deneylerde yükleme hızı 50 d/dak olarak sabit tutulmuştur.

4.1.3. Yük hücresi

Yapılan deneysel çalışmalarda dikdörtgen baret kazıklar ile dairesel kesitli kazıklar üzerine gelen yük değerlerini okumak amacıyla pistonla yerleştirilen 2 ton kapasiteli ve 5 ton kapasiteli elektronik yük hücreleri kullanılmıştır. Yapılan yüklemeler sonucunda elde edilen yük değerleri veri kayıt ünitesinde toplanmıştır. Deneylerde kullanılan yük hücreleri Resim 4.2’de gösterilmiştir. Yük hücrelerinin teknik özellikleri Çizelge 4.1 ile Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.2. a) 2 ton kapasiteli yük hücresi, b) 5 ton kapasiteli yük hücresi

Çizelge 4.1. 2 ton kapasiteli yük hücresine ait teknik özellikler

Teknik Özellikler	Birim	Açıklama
Model	-	H3-C3-2.0t-6B
Maksimum Kapasite (E_{max})	kg	3000
Aşırı Yükleme Kapasitesi	kg	6000
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	°C	-35...+65
Yük Hücresi Malzemesi	-	Alaşımlı çelik

Çizelge 4.2. 5 ton kapasiteli yük hücresine ait teknik özellikler

Teknik Özellikler	Birim	Açıklama
Model	-	H3-C3-5.0t-6B
Maksimum Kapasite (E_{max})	kg	7500
Aşırı Yükleme Kapasitesi	kg	10000
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	°C	-35...+65
Yük Hücresi Malzemesi	-	Alaşımlı çelik

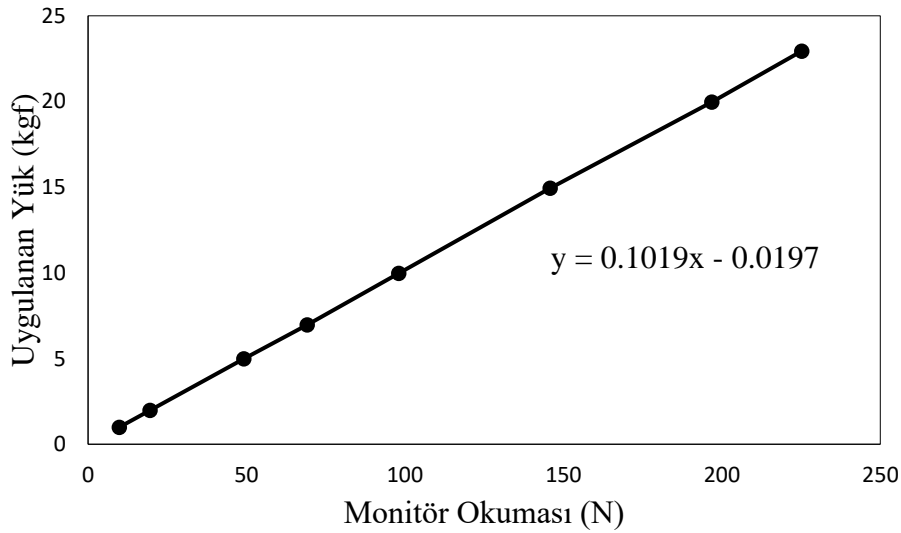
Yük hücrelerinin kalibrasyon değerleri Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te, kalibrasyon eğrileri ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. 2 ton kapasiteli yük hücresine ait kalibrasyon değerleri

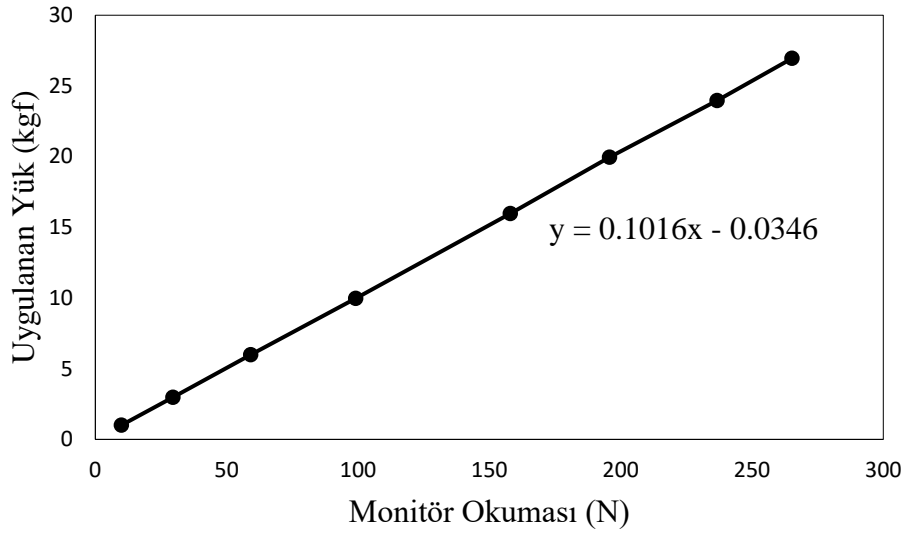
Uygulanan Yük Değeri (kgf)	Yük Hücresi Okuması (N)
0,996	9,88
1,979	19,53
4,980	49,18
6,965	69,12
9,982	98,02
14,951	145,85
19,963	196,80
22,945	225,23

Çizelge 4.4. 5 ton kapasiteli yük hücresine ait kalibrasyon değerleri

Uygulanan Yük Değeri (kgf)	Yük Hücresi Okuması (N)
0,997	9,86
2,976	29,50
5,977	59,15
9,967	99,14
15,980	158,00
19,948	195,82
23,960	236,77
26,943	265,21



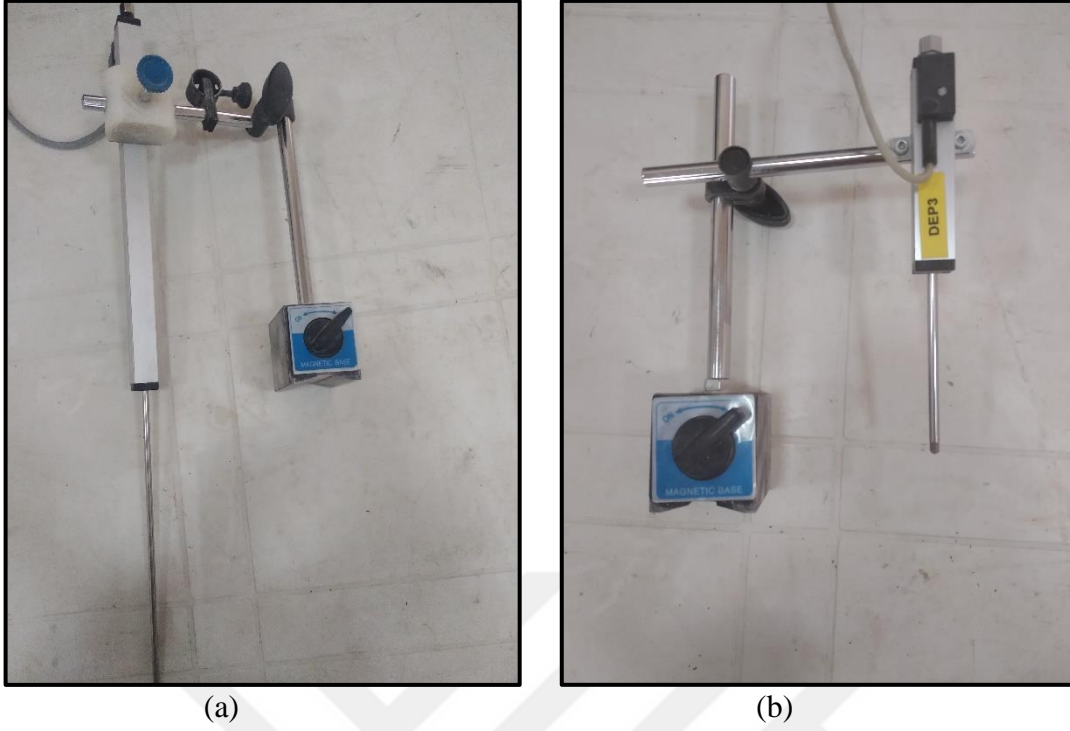
Şekil 4.1. 2 ton kapasiteli yük hücresi için kalibrasyon grafiği



Şekil 4.2. 5 ton kapasiteli yük hücresi için kalibrasyon grafiği

4.1.4. Deplasman ölçer

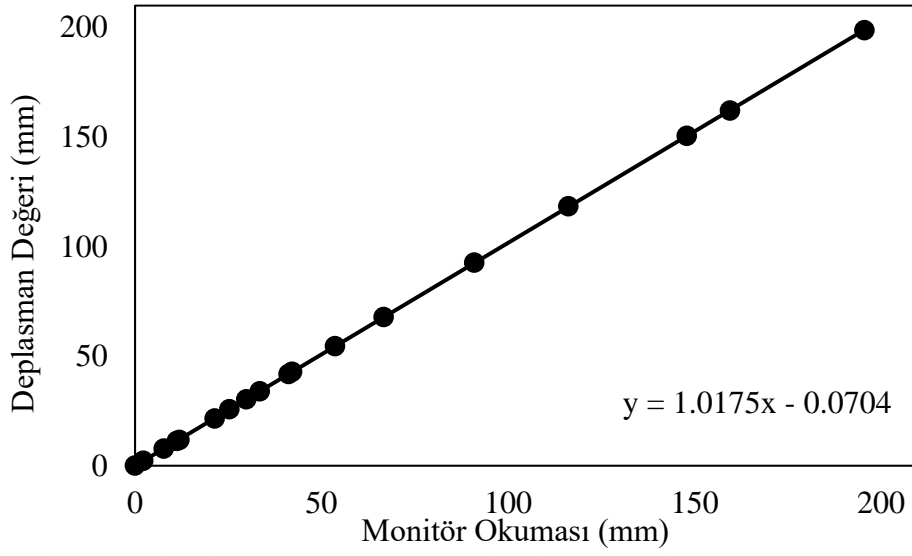
Deneysel süreçte yüklemeye altınada meydana gelen düşey deplasmanları ölçebilmek amacıyla, ATEK firması tarafından üretilen 0.0-199.999 mm aralığında ve 0.0-49.999 mm aralığında deplasman değerlerini ölçebilen LTR 200 5K tipi 2 adet deplasman ölçer kullanılmıştır. Deneysel süreçte deplasman ölçerlerden doğru ve tutarlı veriler alabilmek amacıyla deneysel süreç başlamadan önce deplasman ölçerlerin kalibrasyonu yapılmıştır. Resim 4.3'te gösterilen deplasman ölçerlerin kalibrasyon değerleri Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da, kalibrasyon eğrileri ise Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



Resim 4.3. a) 0.0-199.999 mm aralıklı deplasman ölçer, b) 0.0-49.999 mm aralıklı deplasman ölçer

Çizelge 4.5. 0.0-199.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri

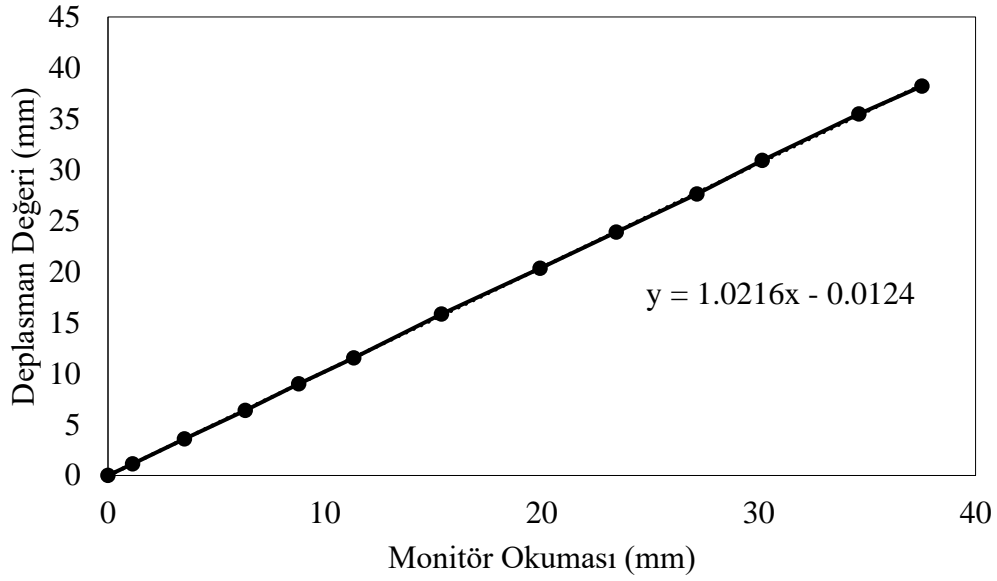
Deplasman Değeri (mm)	Monitör Okuması (mm)
0,00	0,000
2,23	2,234
7,68	7,750
11,23	11,245
11,95	11,781
21,33	21,530
25,28	25,754
29,90	30,300
33,44	33,974
41,15	41,817
42,16	42,902
53,62	54,481
66,64	67,848
90,99	92,674
116,24	118,450
147,94	150,571
159,52	162,043
195,63	198,816



Şekil 4.3. 0.0-199.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi

Çizelge 4.6. 0.0-49.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri

Deplasman Değeri (mm)	Monitör okuması (mm)
0,00	0,000
1,13	1,133
3,52	3,592
6,33	6,375
8,79	8,993
11,33	11,530
15,38	15,854
19,92	20,321
23,44	23,874
27,15	27,617
30,17	30,912
34,62	35,481
37,53	38,214



Şekil 4.4. 0.0-49.999 mm aralıklı deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi

4.1.5. Veri kaydetme ünitesi

Deneysel çalışmalarda yük hücresi ve deplasman ölçerlerden elde edilen veriler AL 816011 seri numaralı, 8 kanal girişine sahip ATRON veri kayıt (Data Logger) ünitesine aktarılmıştır. Veri kayıt ünitesine kaydedilen bu veriler Universal Data Logger AL-8G yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Böylece deneylerde elde edilen veriler sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Veri kaydetme ünitesi Resim 4.4'te gösterilmiştir.



Resim 4.4. Veri kaydetme ünitesi

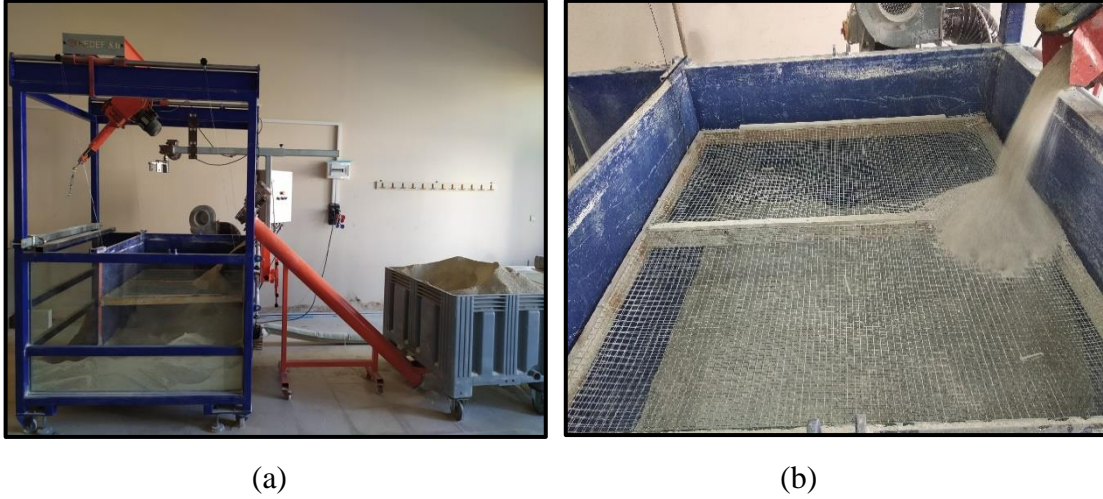
4.1.6. Zemin aktarma düzeneği

Deney kasasında gevşek zemin durumunda yapılan deneylerde herhangi bir noktada yükleme yapıldığında zeminde sıkışma meydana geldiğinden, tekrar aynı noktada deney yapılamayıp belirli bir mesafe uzakta deney yapılabilmiştir. Bu durumda aynı zemin koşullarını sağlayabilmek için deney kasası içerisindeki kumun boşaltılıp tekrar doldurulması gerekmektedir. Kumun boşaltılıp tekrar doldurulmasında iş gücünden tasarruf etmek amacıyla Resim 4.5'te verilen zemin aktarma düzeneği kullanılmıştır. Bu düzeneğin üst kısmında GAMAK firması tarafından üretilmiş elektrik motoru bulunmaktadır. ART.NR.023526 seri numaralı bu motor 50 d/dak hızla dönebilmektedir. Başka bir zemin haznesinden zemini alıp motor gücüyle deney kasasına aktaran bu sistem 25 cm çaplı ve 45° eğimli çelik borudan oluşmaktadır.



Resim 4.5. Zemin aktarma düzeneği

Resim 4.5'te verilen düzenek aracılığıyla boşaltılan zemin tekrar deney kasasına doldurulurken 5 mm x 5 mm göz açıklığına sahip, 1190 mm x 1190 mm boyutunda elek kullanılmıştır. Deney kasasının kum ile doldurulması sırasında gevşek zemin koşullarının sağlanması amacıyla zeminin belirli bir yükseklikten elek üstüne akması sağlanmıştır. Bu aşama Resim 4.6'da gösterilmiştir.



Resim 4.6. a) Zemin aktarılması işlemi, b) Zemin aktarımında elek kullanımı

4.1.7. Model deney kazıkları

Tez çalışması kapsamında, betondan imal edilmiş dikdörtgen kesitli model baret kazıklar ile dairesel kesitli model kazıklar kullanılmıştır. Model kazıklar üzerinde tam orta noktadan basınç yüklemesi yapabilmek amacıyla, orta noktalarında 1 cm delik olan metal levhalar model kazıklar üzerine yapıştırılmıştır. Model kazıklar Resim 4.7’de gösterilmiştir.



Resim 4.7. Deneylerde kullanılan model kazıklar



(c) Kazıklar üzerinde metal levhalar

Resim 4.7. (Devam) Deneysel çalışmalarda kullanılan model kazıklar

4.2. Zemin Özelliklerinin Tayini

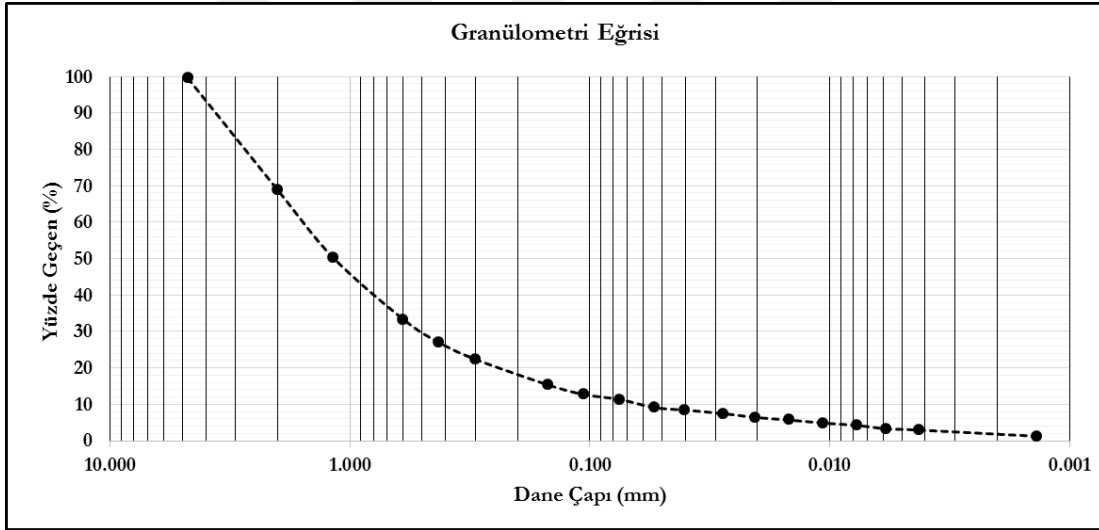
Deneysel çalışmalarda kullanılan zemin, Orak A.Ş. İskenderun Asfalt Plenti'nden temin edilmiş olup 28 gün boyunca serilerek oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla bir seri deney yapılmıştır. TS (Türk Standartları) ve ASTM (American Standards of Testing Materials) standartlarında yapılan elek analizi, piknometre deneyi, kesme kutusu deneyi ve doğal birim hacim ağırlık deneyleri ile zeminin özellikleri belirlenmiştir.

4.2.1. Elek analizi

Deneysel çalışmalarda kullanılan zeminin dane çapı dağılımını ve zemin sınıfını belirlemek amacıyla, zemin malzemesi bir seri elekten geçirilerek eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işlemi ile zeminin granülometri eğrisi elde edilmiş olup zeminin, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ye göre iyi derecelenmiş kum (SW) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Resim 4.8'de verilen zemin numunesi ve elekler kullanılarak yapılan elek analizi sonucunda, elekten geçen yüzde ve dane çapına bağlı olarak elde edilen granülometri eğrisi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Resim 4.8. Kum zemin ve elekler



Şekil 4.5. Zeminin granülometri eğrisi

4.2.2. Piknometre deneyi

Deney kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla piknometre deneyi yapılmıştır. Piknometre deneyi sonucunda deney kumunun dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s=27,28 \text{ kN/m}^3$ olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma Resim 4.9'da verilmiştir.



Resim 4.9. Piknometre deneyi

4.2.3. Kesme kutusu deneyi

Zeminlerin kayma mukavemetini belirlemek amacıyla yapılan kesme kutusu deneyi, 15 cm x 15 cm boyutlarında kesme kutusuna 10 cm yüksekliğinde gevşek kum yerleştirilerek yapılmıştır (Resim 4.10). Kesme kutusu deneyi ile normal gerilmeler altında kum zeminin içsel sürtünme açısı $\phi=33^\circ$ ve kohezyon değeri $c=20$ kPa elde edilmiştir.



(a)

(b)

Resim 4.10. a) Kum zeminin kesme kutusuna yerleştirilmesi, b) Kesme kutusu deneyi uygulaması

4.2.4. Doğal birim hacim ağırlık deneyi

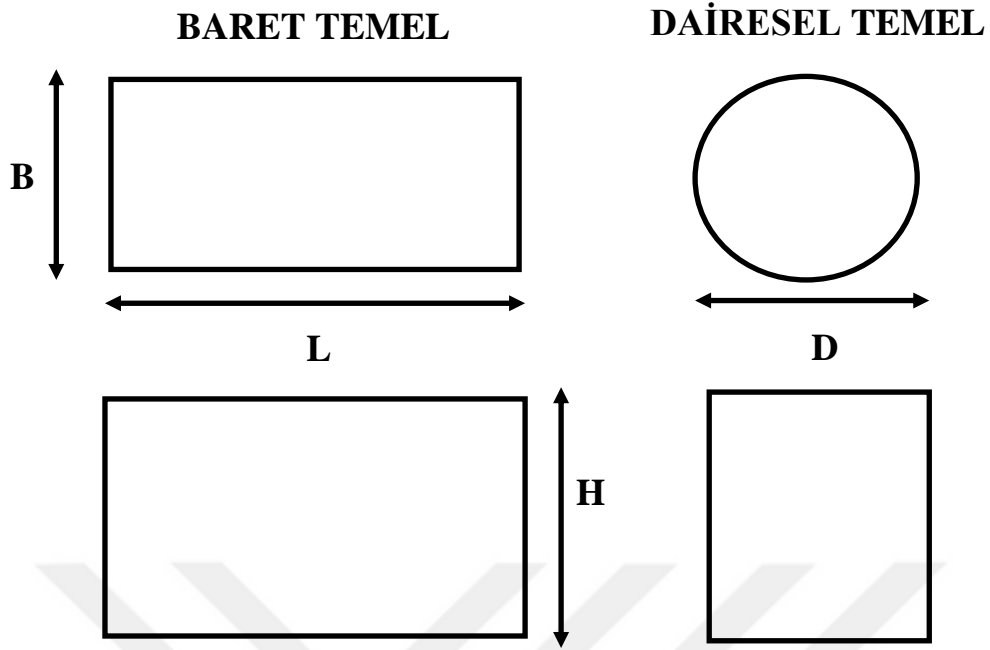
Dane birim hacim ağırlığı belirlenen deney kumunun doğal haldeki birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla 40 cm x 40 cm boyutlarında kare kesitli bir kap içerisine 5 cm yüksekliğinde kum yerleştirilmiştir. Darası alınan ve hacmi belirlenen kap içerisindeki zemin tartılarak ağırlığı ölçülmüştür. Böylece doğal birim hacim ağırlık $\gamma_n=17,59\text{kN/m}^3$ olarak elde edilmiştir.

4.3. Deney Programı

Tez çalışması kapsamında 20 farklı geometride dikdörtgen kesitli model baret kazık ve 20 farklı geometride dairesel kesitli model kazık kullanılarak aksenal basınç yüklemeleri yapılmıştır. Baret kazıklar, gerçek baret kazık boyutlarınının 1/10, 1/20, 1/30 ve 1/40 ölçeğinde üretilmiştir. Model baret kazıklar üretilirken gerçek kazık boyutu olarak 80 cm x 280 cm (genişlik x uzunluk) kesit alanına sahip baret kazıklar referans alınmıştır. Her bir ölçekte 5 farklı boyda model baret kazık üretilmiştir. Bu kazıklarla yaklaşık olarak aynı kesit alanına sahip dairesel kesitli model kazıklar üretilmiştir. Baret kazıklar ve dairesel kazıklar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler regresyon analizine tabi tutularak regresyon modelleri oluşturulmuş ve göçme yükü değerleri için denklemler geliştirilmiştir. Ayrıca tez kapsamında baret kazıkların farklı ölçeklerde üretilmesi ile ölçek etkisi de incelenmiştir. Çizelge 4.7’de deney programı verilmiştir. Çizelgede, B baret temel genişliğini, L baret temel uzunluğunu, D dairesel temel çapını ve H baret temel/dairesel temel boyunu ifade etmekte olup model kazık kesitleri Resim 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Deney programı

SERİ	DENEY NO	TEMEL TÜRÜ	TEMEL GEOMETRİSİ				AÇIKLAMA	
			B (cm)	L (cm)	H (cm)	D (cm)	KESİT ALANI (cm ²)	ÖLÇEK
1 a	1	BARET	8	28	8	---	224	1 / 10
	2	BARET	8	28	16	---	224	
	3	BARET	8	28	24	---	224	
	4	BARET	8	28	32	---	224	
	5	BARET	8	28	40	---	224	
1 b	6	DAİRE	---	---	8	16,9	224	---
	7	DAİRE	---	---	16	16,9	224	---
	8	DAİRE	---	---	24	16,9	224	---
	9	DAİRE	---	---	32	16,9	224	---
	10	DAİRE	---	---	40	16,9	224	---
2 a	11	BARET	4	14	8	---	56	1 / 20
	12	BARET	4	14	16	---	56	
	13	BARET	4	14	24	---	56	
	14	BARET	4	14	32	---	56	
	15	BARET	4	14	40	---	56	
2 b	16	DAİRE	---	---	4	8,5	56	---
	17	DAİRE	---	---	8	8,5	56	---
	18	DAİRE	---	---	12	8,5	56	---
	19	DAİRE	---	---	16	8,5	56	---
	20	DAİRE	---	---	20	8,5	56	---
3 a	21	BARET	2,66	9,33	8	---	24,82	1 / 30
	22	BARET	2,66	9,33	16	---	24,82	
	23	BARET	2,66	9,33	24	---	24,82	
	24	BARET	2,66	9,33	32	---	24,82	
	25	BARET	2,66	9,33	40	---	24,82	
3 b	26	DAİRE	---	---	2,66	5,5	23,75	---
	27	DAİRE	---	---	5,32	5,5	23,75	---
	28	DAİRE	---	---	7,98	5,5	23,75	---
	29	DAİRE	---	---	10,64	5,5	23,75	---
	30	DAİRE	---	---	13,30	5,5	23,75	---
4 a	31	BARET	2	7	8	---	14	1/40
	32	BARET	2	7	16	---	14	
	33	BARET	2	7	24	---	14	
	34	BARET	2	7	32	---	14	
	35	BARET	2	7	40	---	14	
4 b	36	DAİRE	---	---	2	4,5	15,9	---
	37	DAİRE	---	---	4	4,5	15,9	---
	38	DAİRE	---	---	6	4,5	15,9	---
	39	DAİRE	---	---	8	4,5	15,9	---
	40	DAİRE	---	---	10	4,5	15,9	---



Resim 4.11. Model kazık kesitleri

Model kazık kesitleri ve ölçüleri verilen 40 adet model kazık Resim 4.12’de verilmiştir.



(a) Seri 1.a



(b) Seri 1.b

Resim 4.12. Deneylerde kullanılan tüm model kazıklar



(c) Seri 2.a



(d) Seri 2.b



(e) Seri 3.a



(f) Seri 3.b

Resim 4.12. (Devam) Deneylerde kullanılan tüm model kazıklar



(g) Seri 4.a



(h) Seri 4.b

Resim 4.12. (Devam) Deneylerde kullanılan tüm model kazıklar

4.4. Deneyin Yapılışı

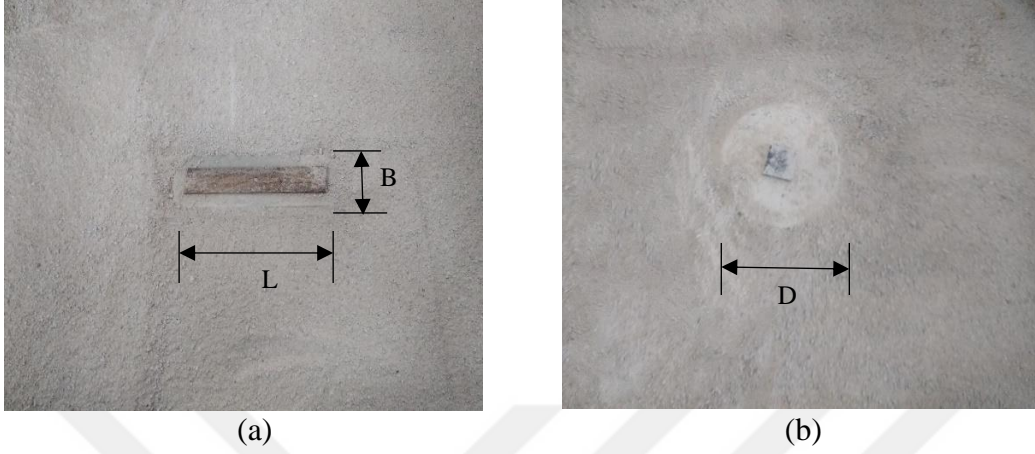
Deneyler, Resim 4.13'te görüldüğü gibi kum zeminin yağmurlama yöntemiyle doldurulduğu deney kasası içerisinde gerçekleştirilmiştir. Gevşek zemin koşullarında yapılan deneylerde zeminin sıkılık oranı %30 olarak sabit tutulmuştur.



Resim 4.13. Yağmurlama yöntemiyle deney kasasının doldurulması

Model kazıklar, kazık boyu kadar zemine gömülmüş olup yüklemeler kazık yüzeyinden yapılmıştır. Yüklemelerin tam orta noktadan yapılabilmesi amacıyla orta noktasında 1 cm oyuk olan metal levhalar, kazık üst yüzeyine yapıştırılmıştır. Böylece model kazıkların

merkezinden yükleme yapılarak eksantrisite oluşması engellenmiştir. Resim 4.14'te kazık boyu kadar zemine gömülü model kazıklar gösterilmiştir.



Resim 4.14. a) Zemine gömülü baret kazık, b) Zemine gömülü dairesel kazık

Yüklemeler Resim 4.15'te verilen S tipi 2 ton ve 5 ton yük kapasitesine sahip yük hücrelerinin bağlı olduğu bir pistonla yapılmıştır. Kazık kesit alanı 224 cm^2 olan model kazıklarda 5 ton kapasiteli yük hücresi kullanılmış olup diğer tüm model kazıklarda 2 ton kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır.



Resim 4.15. Yükleme sistemine yerleştirilmiş yük hücresi

Pistonla yükleme yaparken yük altında oluşan deplasmanları ölçebilmek amacıyla 2 adet deplasman ölçer kullanılmıştır. Deplasman lerden elde edilen verilerin ortalaması alınarak hata payı azaltılmaya çalışılmıştır. Yük hücresi ve deplasman ölçerlerden elde edilen veriler veri kaydetme ünitesinde toplanmıştır. Toplanan bu veriler, Universal Data Logger AL-8G yazılımı ile analiz edilerek sayısal değerlere dönüştürülmüş ve yük-oturma grafikleri elde edilmiştir.

Fore kazıklarda, yük- oturma eğrilerinden göçme yükünün belirlenemediği durumlarda oturma değerinin 20 mm olduğu esnadaki ulaşılan yük miktarı fore kazıkların göçme yükü olarak alınmaktadır (DIN 4014). Bu durum referans alınarak, deneylerde yükleme işlemi, yük altında 20 mm deplasman oluşana kadar yapılmış ve 20 mm deplasman oluştuğunda yk boşaltılmıştır. Yükün boşaltılmaya başlandığı yük değeri göçme yükü olarak alınmıştır.

5. REGRESYON ANALİZLERİ

Birçok mühendislik problemlerinde, iki veya daha fazla sayıda değişkenin aldığı değerlerin istatistiki açıdan birbirleriyle bağımlı olduğu görülmektedir. Bu değişkenlerin birbirlerini etkilediği, dolayısıyla aralarında bir ilişki olduğu bilinmektedir (Bayazıt ve Oğuz, 2005: 165).

Değişkenlerden biri, diğer değişkenlerden etkileniyorsa etkilenen bu değişken bağımlı değişken, bağımlı değişkeni etkileyen diğer değişkenler ise bağımsız değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Bağımlı değişkenin, bağımsız değişkenin bir fonksiyonu şeklinde tanımlanması ile değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi regresyon olarak ifade edilmektedir (İ. Erginer, 2018).

Bu tez çalışması kapsamında; lineer, interaction, quadratic ve pure-quadratic regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Modeller oluşturulurken baret kazıklar için kazık genişliği, kazık uzunluğu ve kazık boyu bağımsız değişken, göçme yükü değeri bağımlı değişken olarak analiz yapılmıştır. Dairesel kazıklarda yapılan analizlerde ise kazık çapı ve kazık boyu bağımsız değişken, göçme yükü bağımlı değişken olarak alınmıştır.

5.1. Lineer Regresyon Yöntemi

Sabit ve birinci dereceden terimlerin yer aldığı regresyon yöntemidir. Lineer regresyon yönteminin genel denklemi Eş. 5.1’de verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 \quad (5.1)$$

5.2. Interaction Regresyon Yöntemi

Sabit, birinci dereceden ve etkileşimli terimlerin yer aldığı regresyon yöntemi olup genel ifadesi Eş. 5.2’de verilmiştir. Eşitlikte görüldüğü gibi lineer regresyon yönteminden farklı olarak bağımsız değişkenler birbirleriyle çarpılarak yeni bir değişken gibi modele dahil edilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1 * X_2 \quad (5.2)$$

5.3. Quadratic Regresyon Yöntemi

Sabit, birinci derece, etkileşimli terimler ve ikinci dereceden terimlerin yer aldığı regresyon yöntemidir. Bu yöntemin genel denklemi Eş. 5.3'te verilmiş olup interaction regresyon yönteminden farklı olarak her bağımsız değişkenin karesi alınarak yeni bir değişken gibi modele dahil edilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1 * X_2 + \beta_4 * X_1^2 + \beta_5 * X_2^2 \quad (5.3)$$

5.4. Pure-Quadratic Regresyon Yöntemi

Sabit, doğrusal ve ikinci dereceden terimlerin bulunduğu bu regresyon yönteminin genel denklemi Eş. 5.4'te verilmiştir. Bu regresyon yönteminin lineer regresyon yönteminden farkı her bir bağımsız değişkenin karesinin farklı bir değişken olarak modele dahil edilmesidir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1^2 + \beta_4 * X_2^2 \quad (5.4)$$

Regresyon yöntemleri için Eş. 5.1, Eş. 5.2, Eş. 5.3 ve Eş. 5.4'te verilen ifadelerde; X_1 , X_2 ve X_3 bağımsız değişkenleri, β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 ve β_5 regresyon katsayılarını, y ise bağımlı değişkeni temsil etmektedir.

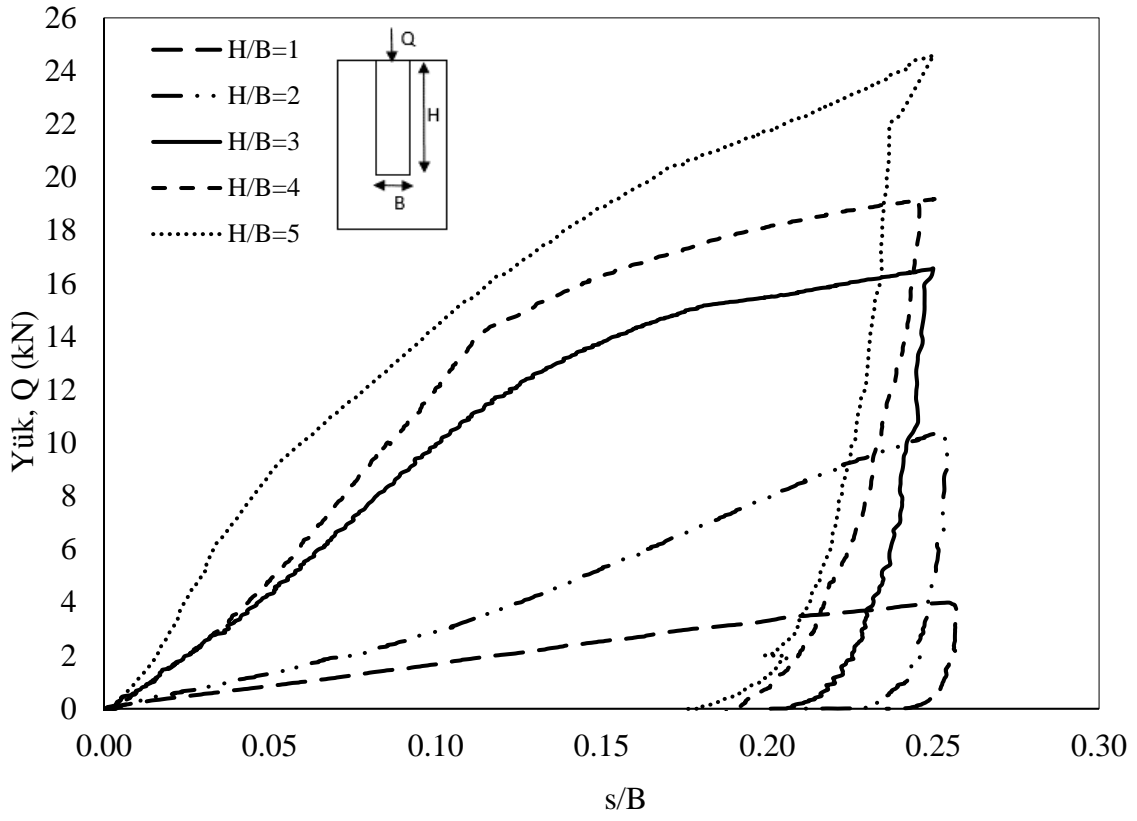
6. BULGULAR

Tez çalışması kapsamında, laboratuvar ortamında gevşek kum zemin durumunda 40 adet model kazık üzerine aksel basınç yükü uygulanmış ve uygulanan yük altında meydana gelen oturma değerleri incelenmiştir. Deneylerde kazık boyunun, kazık geometrisinin ve kazık kesit alanının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar regresyon analizlerine tabi tutularak çeşitli formülasyonlar elde edilmiştir.

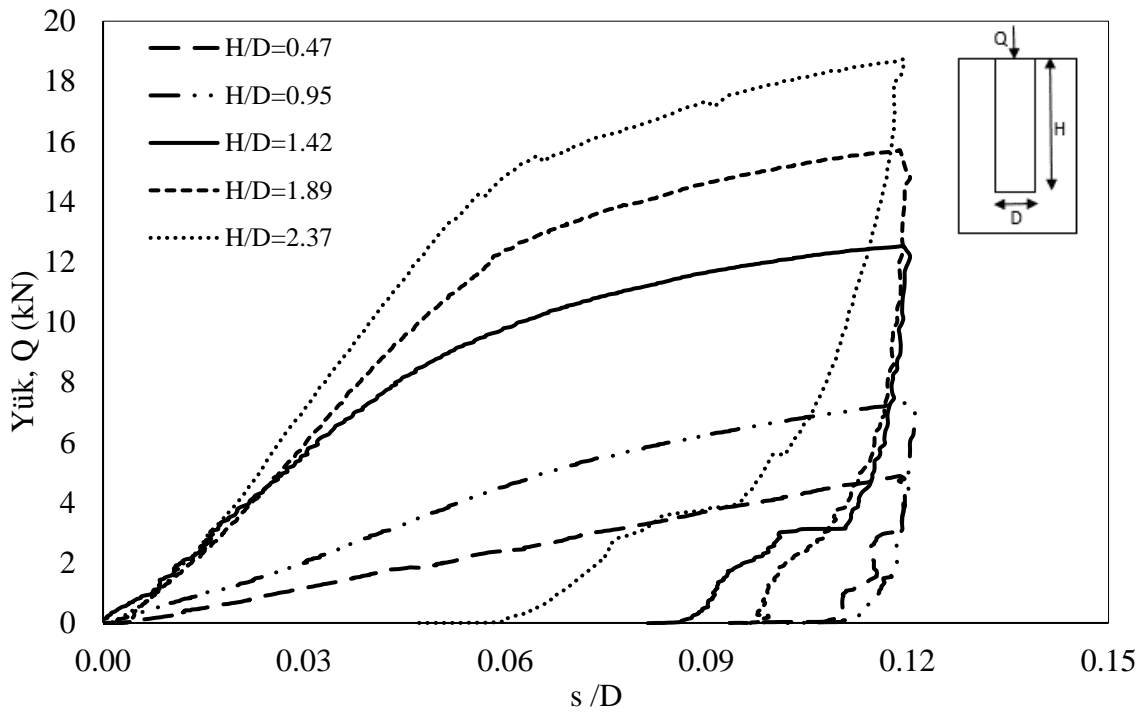
Deneyler 4 seri halinde yapılmış olup her seride baret kazıkların kesit alanları ile dairesel kazıkların kesit alanları yaklaşık olarak aynıdır. Seri 1’de, 1/10 ölçeğinde üretilen baret kazıkların boyları ile dairesel kazıkların boyları eşit tutulmuştur. Diğer serilerde sırasıyla 1/20, 1/30 ve 1/40 ölçeğinde üretilen baret kazıklar ve bu baret kazıklarla yaklaşık olarak aynı kesit alanına sahip farklı boylarda üretilen dairesel kazıklar üzerinde aksel basınç yüklemesi yapılmıştır (Çizelge 4.7). Böylece aksel yük altında, dikdörtgen baret kazıklar ile dairesel kazıklar karşılaştırılmış ve baret kazıklarda ölçek etkisi incelenmiştir.

6.1. Seri 1 (1/10 Ölçek)

Bu seride yapılan deneyler, 1/10 ölçekli dikdörtgen baret kazıklar ile bu baret kazıklarla aynı kesit alanına sahip ve aynı boylarda üretilen dairesel kesitli kazıkları kapsamaktadır. Bu seri içinde baret kazıklarla eşdeğer kesit alanına sahip dairesel kesitli model kazıkların çapları sabit olup 16,9 cm’dir. Deneylerde yapılan yüklemelere karşılık oturma (s) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu oturma değerleri baret kazıklarda temel genişliğine bölünerek s/B, dairesel kazıklarda kazık çapına bölünerek s/D boyutsuz büyüklükleri elde edilmiştir. Kazık boyunun kazık genişliğine oranının (H/B, H/D) değişmesiyle aksel yük altında Q-s/B ve Q-s/D grafikleri elde edilerek sırasıyla Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1. 1/10 ölçekli baret kazıklar için Q - s/B eğrisi



Şekil 6.2. 16,9 cm çaplı dairesel kazıklar için Q - s/D eğrisi

Seri 1’de kullanılan baret kazıklar ile dairesel kazıklar üzerine uygulanan aksel yüklemeler sonucunda elde edilen göçme yükleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Göçme yüklerinin belirlenmesinde her bir yükleme için elde edilen en yüksek yük değeri (tepe noktası yükü) kullanılmıştır.

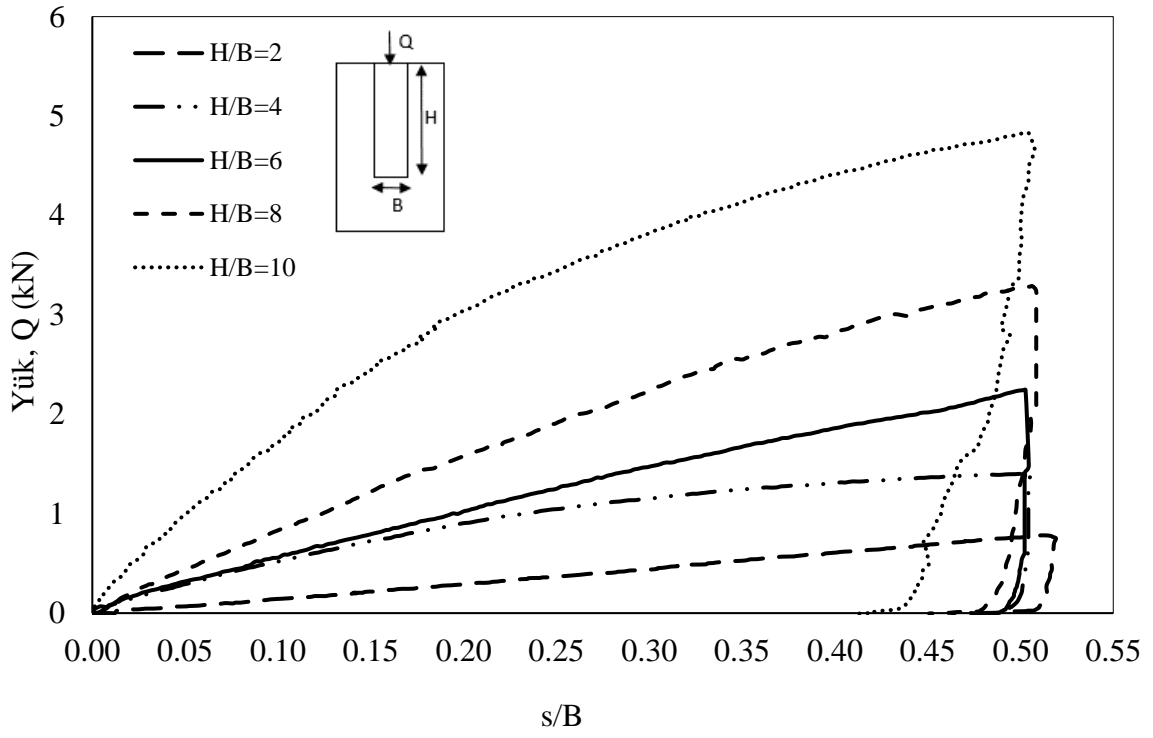
Çizelge 6.1. Seri 1 için göçme yükü değerleri

Kazık Kesiti	H (cm)	Q (kN)
Baret	8	3,993
Baret	16	10,416
Baret	24	16,563
Baret	32	19,179
Baret	40	24,610
Daire	8	4,883
Daire	16	7,306
Daire	24	12,522
Daire	32	15,703
Daire	40	18,698

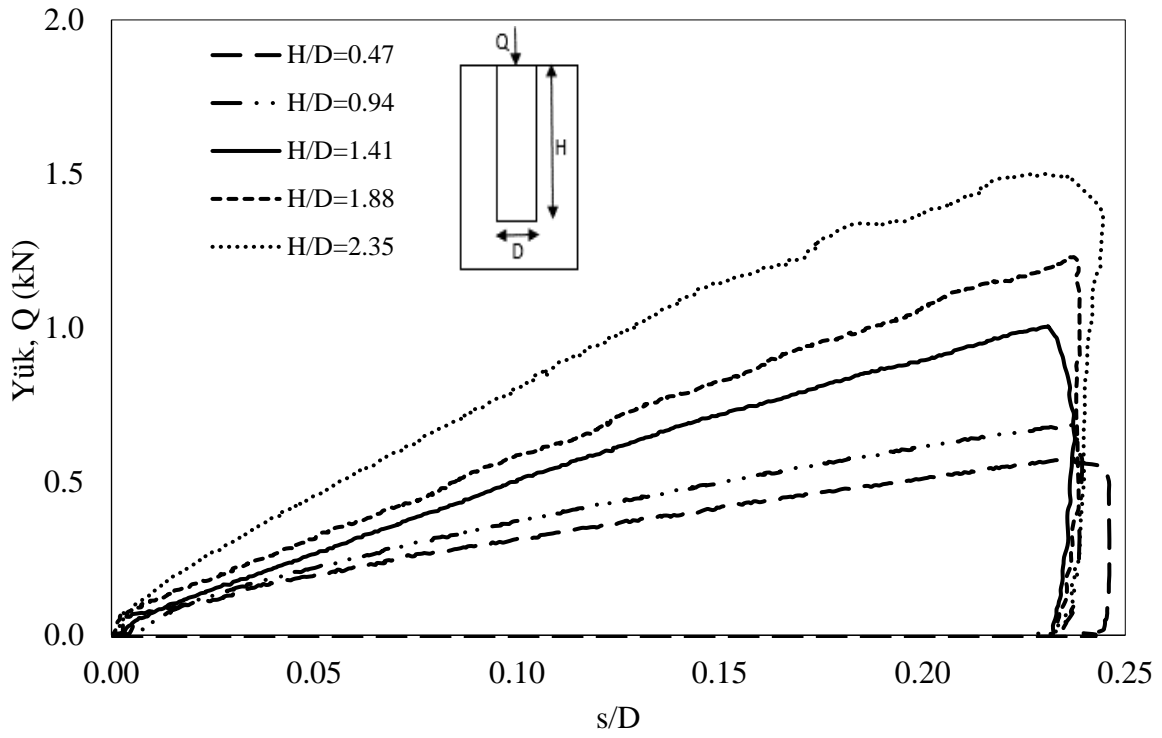
Elde edilen Q-s/B ve Q-s/D eğrilerinden, her iki kazık türü için kazık boyunun kazık genişliğine oranının artmasıyla kazık taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca aynı kesit alanına ve aynı boya sahip kazıklardan dikdörtgen kesitli baret kazıkların dairesel kesitli kazıklara göre daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Çizelge 6.1’de verilen göçme yükü değerleri dikkate alınarak, baret kazıkların göçme yükünün dairesel kazıkların göçme yükünden 1,22-1,42 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı kesit alanı ve aynı boya sahip kazıklarda, baret kazıkların sürtünme yüzey alanı dairesel kazıklara göre daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla baret kazıklarda çevre sürtünmesi ile taşınan yük, dairesel kazıklarda çevre sürtünmesi ile taşınan yüke göre daha fazla olmaktadır.

6.2. Seri 2 (1/20 Ölçek)

Bu seride yapılan deneyler 1/20 ölçekli dikdörtgen baret kazıklar ve bu baret kazıklarla eşdeğer kesit alanına sahip 8,5 cm çaplı dairesel kesitli kazıkları kapsamaktadır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen Q-s/B ve Q-s/D eğrileri sırasıyla Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’te, göçme yükü değerleri ise Çizelge 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.3. 1/20 ölçekli baret kazıklar için Q-s/B eğrisi



Şekil 6.4. 8,5 cm çaplı dairesel kazıklar için Q-s/D eğrisi

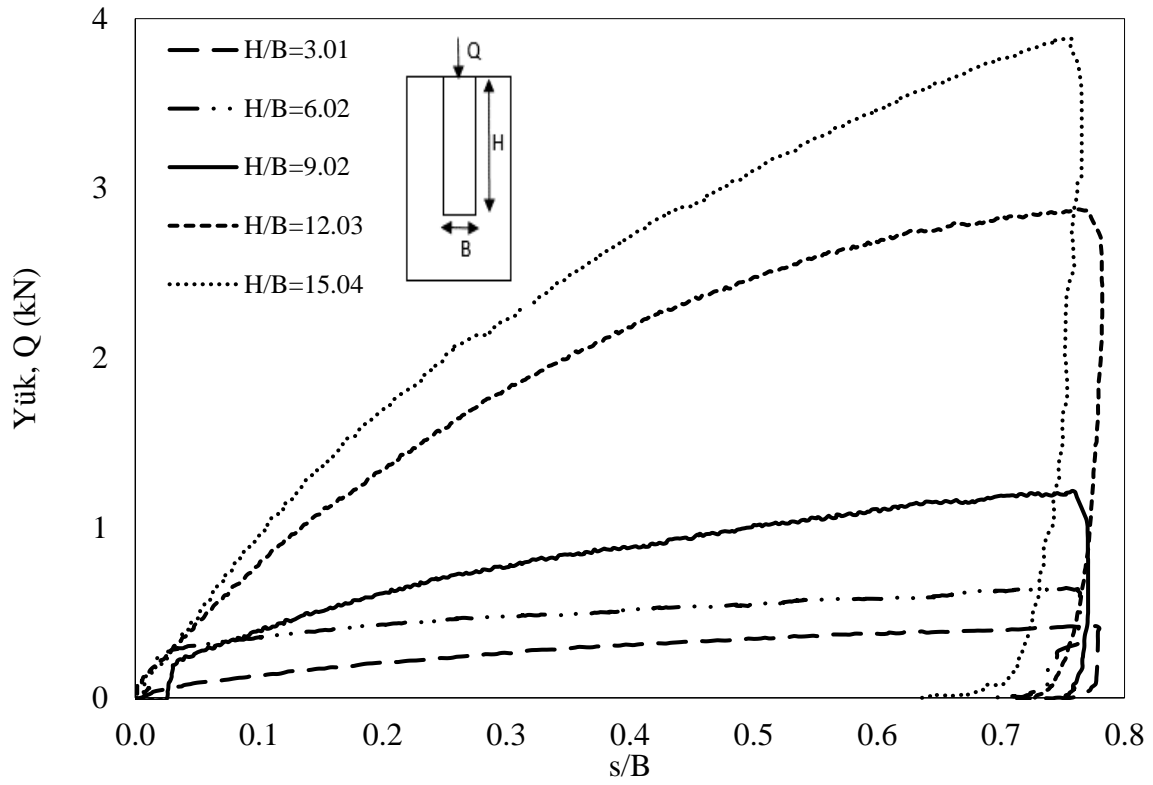
Çizelge 6.2. Seri 2 için göçme yükü değerleri

Kazık Kesiti	H (cm)	Q (kN)
Baret	8	0,782
Baret	16	1,401
Baret	24	2,244
Baret	32	3,288
Baret	40	4,834
Daire	4	0,575
Daire	8	0,684
Daire	12	1,004
Daire	16	1,228
Daire	20	1,499

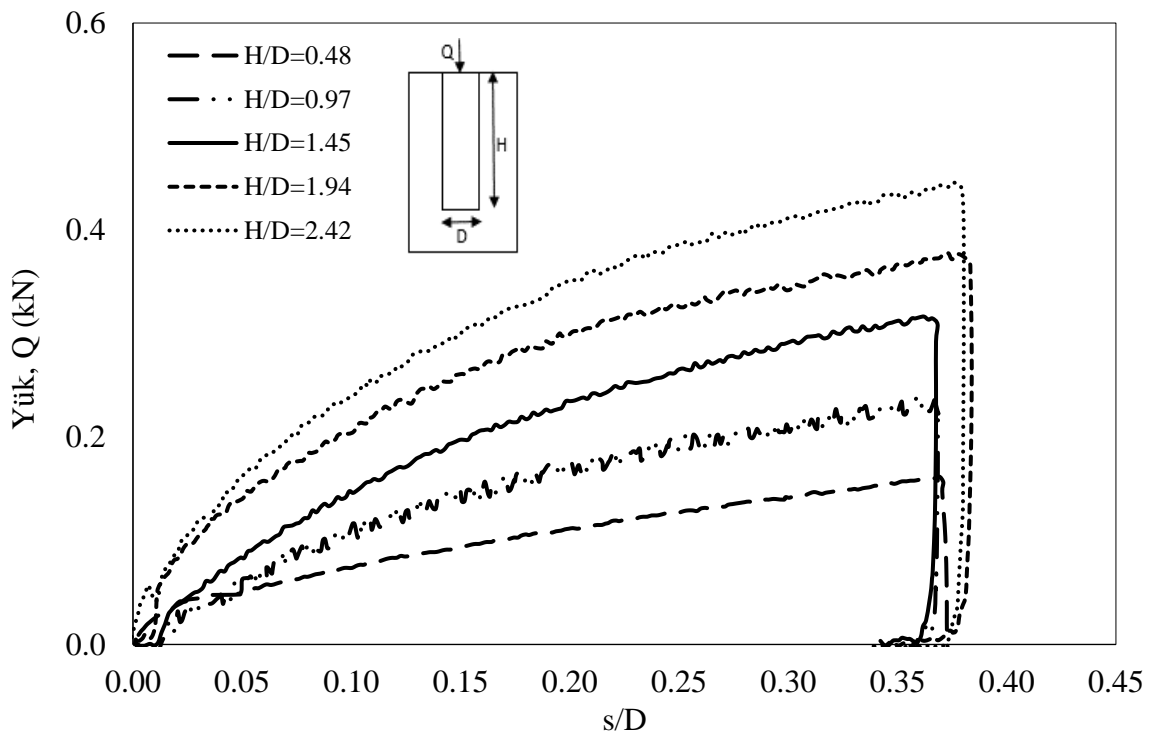
Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te verilen eğrilerde, kazık boyunun kazık genişliğine oranı arttıkça taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür. Dairesel kazıklarla aynı kesit alanı ve aynı boya sahip baret kazıklarda sürtünme yüzey alanı dairesele kazıklara göre daha fazla olmaktadır. Dairesel kazık boylarının iki katı kazık boyuna sahip baret kazıklarda zemin ile temasta olan kazık yüzeyi daha fazla olduğundan çevre sürtünmesi ile taşınan yük miktarı da daha fazla olmaktadır. Deneylerden elde edilen verilerden, baret kazıkların göçme yükünün dairesele kazıkların göçme yükünden 1,36-3,23 kat daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Kazık boylarının artmasıyla, baret kazık göçme yükünün dairesele kazık göçme yüküne oranının da arttığı görülmüştür. Bu seride eşdeğer kazık boyuna sahip baret kazıklar ile dairesele kazıklar karşılaştırıldığında (kazık boyunun 8 cm ve 16 cm olduğu kazıklar) baret kazıkların dairesele kazıklardan %14 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

6.3. Seri 3 (1/30 Ölçek)

Bu serideki deneyler dikdörtgen baret kazıkların uygulamalarda kullanılan gerçek boyutlarının 1/30 ölçeğinde üretilen baret kazıklar ile baret kazıklarla yaklaşık eşdeğer kesit alanına sahip 5,5 cm çaplı dairesele kazıklar üzerinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilen Q-s/B ve Q-s/D eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 6.5. 1/30 ölçekli baret kazıklar için Q-s/B eğrisi



Şekil 6.6. 5,5 cm çaplı dairesel kazıklar için Q-s/D eğrisi

Yükleme deneyleri sonucunda elde edilen göçme yükü değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

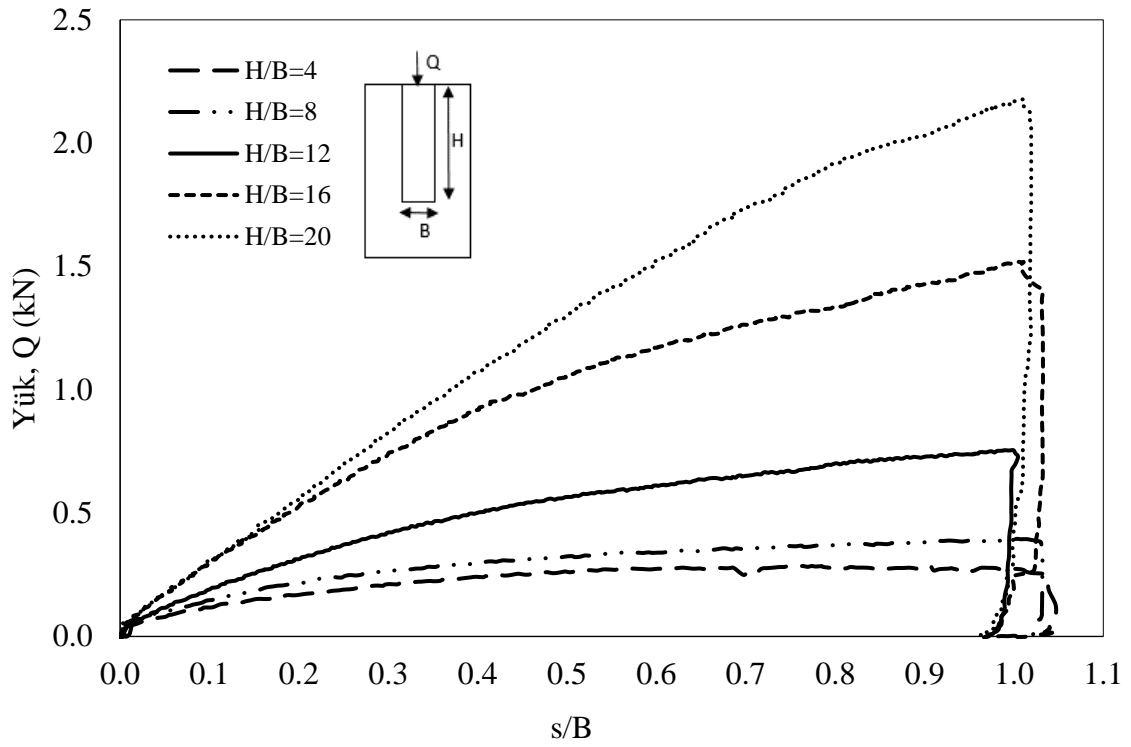
Çizelge 6.3. Seri 3 için göçme yükü değerleri

Kazık Kesiti	H (cm)	Q (kN)
Baret	8	0,422
Baret	16	0,641
Baret	24	1,219
Baret	32	2,877
Baret	40	3,883
Daire	2,66	0,162
Daire	5,32	0,237
Daire	7,98	0,317
Daire	10,64	0,378
Daire	13,30	0,446

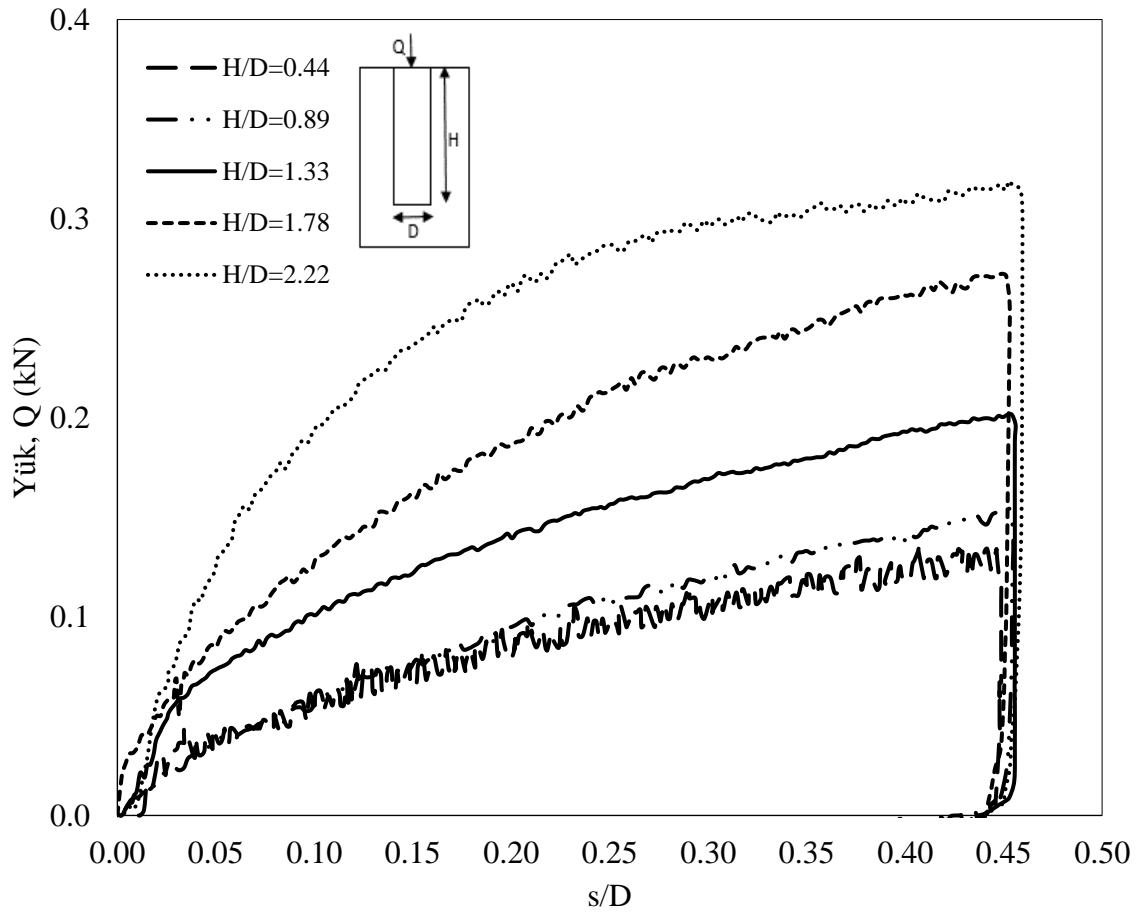
Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilen eğrilerde görüldüğü gibi her iki kazık türünde kazık boyunun kazık genişliğine oranının artmasıyla kazıkların taşıma kapasitesi artmıştır. Dairesel kazıklarla yaklaşık aynı kesit alanına sahip baret kazıkların boyları dairesel kazıkların boylarından daha fazla olduğundan kazık çevresinin zeminle temas eden yüzeyi baret kazıklarda dairesel kazıklara oranla oldukça fazladır. Bu nedenle çevre sürtünmesi ile taşınan yük miktarının baret kazıklarda daha fazla olduğu görülmüştür. Her iki kazık türünün kesit alanı yaklaşık olarak aynı olduğundan kazık uç kısmı ile taşınan yük miktarı da yaklaşık olarak aynı olmaktadır. Dolayısıyla baret kazıkların nihai taşıma kapasitesinin dairesel kazıkların nihai taşıma kapasitesinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Baret kazık boylarının, dairesel kazık boylarının yaklaşık olarak 3 katına sahip olduğu bu seride, baret kazıkların taşıma kapasitesinin dairesel kazıkların taşıma kapasitesine oranla 2,61-8,70 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu oranın, kazık boyunun artmasıyla doğrusal bir şekilde arttığı görülmüştür.

6.4. Seri 4 (1/40 Ölçek)

Bu seride, uygulamalarda kullanılan gerçek baret kazık boyutlarının 1/40'ına karşılık gelen boyutlara sahip dikdörtgen baret kazıklar ile bu kazıklarla yaklaşık eşdeğer kesit alanına sahip 4,5 cm çaplı dairesel kazıklar kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen Q-s/B ve Q-s/D eğrileri Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de, göçme yükü değerleri ise Çizelge 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.7. 1/40 ölçekli baret kazıklar için Q - s/B eğrisi



Şekil 6.8. 4,5 cm çaplı dairesel kazıklar için Q - s/D eğrisi

Çizelge 6.4. Seri 4 için göçme yükü değerleri

Kazık Kesiti	H (cm)	Q (kN)
Baret	8	0,286
Baret	16	0,394
Baret	24	0,755
Baret	32	1,519
Baret	40	2,177
Daire	2	0,129
Daire	4	0,166
Daire	6	0,201
Daire	8	0,272
Daire	10	0,319

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de verilen Q-s/B ve Q-s/D eğrileri ile kazık taşıma kapasitesinin kazık boyu ve kazık genişliğiyle doğrudan ilgili olduğu görülmüştür. Kazık boyunun kazık genişliğine oranı arttıkça, oluşan oturma miktarının kazık genişliğine oranı belirli bir yük değeri için azalmıştır. Kazık boyunun artmasıyla kazığın zeminle temas eden yüzeyi arttığından taşıma kapasitesi artmaktadır. Kazık genişliğinin artmasıyla ise belirli bir yük değerinde meydana gelen oturma miktarı azalmaktadır. Çizelge 6.4 ile verilen göçme yükü değerleri incelendiğinde, yaklaşık eşdeğer kesit alanına sahip iki kazık türünde, dairesel kazık boylarının 4 katı kazık boyuna sahip baret kazıkların göçme yüklerinin, dairesel kazıkların göçme yüklerinden 2,21-6,83 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Kazık boylarının artmasıyla, kazık türleri arasındaki göçme yükü oranının arttığı belirlenmiştir.

6.5. Ölçek Etkisi

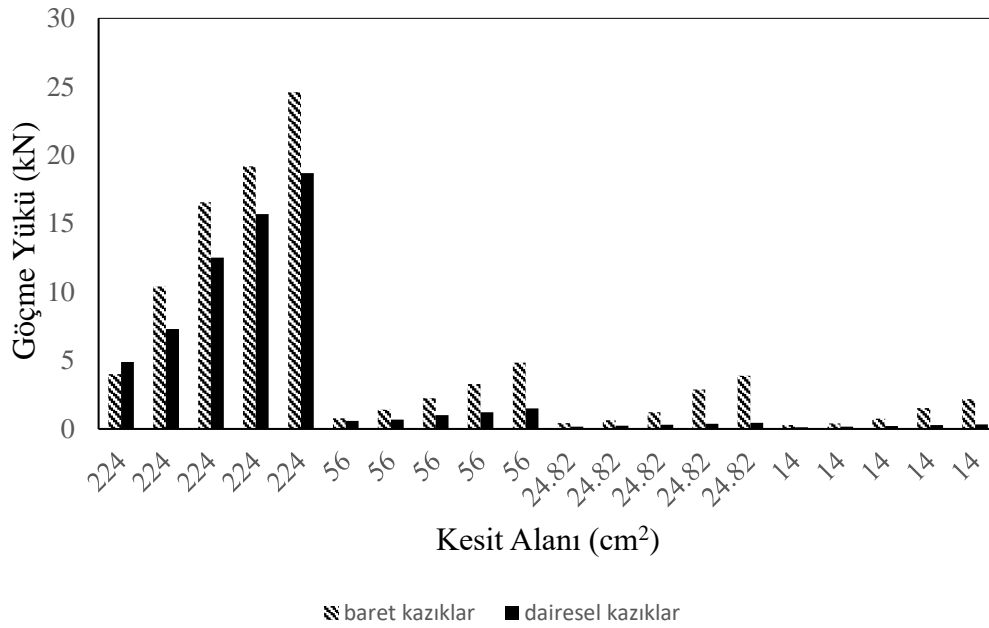
Küçük ölçekte gerçekleştirilen model deneyler ile büyük ölçekli deneyler arasındaki ilişki ölçek etkisiyle açıklanmaktadır. Küçük ölçekli deneyler ile büyük ölçekli deneyler arasındaki ilişkinin belirlenmesi temel mühendisliği açısından oldukça önemlidir (Örnek, 2009). Bu amaçla, tez çalışması kapsamında 4 seri halinde gerçekleştirilen deneylerde, uygulamalarda kullanılan gerçek baret kazık boyutlarının 1/10, 1/20, 1/30 ve 1/40 ölçeklerinde üretilen dikdörtgen kesitli model baret kazıklar kullanılmıştır. Ölçeğin taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini belirlemek ve tam ölçekli deneyler için çıkarım yapılabileceğini gösterebilmek amacıyla deneylerden elde edilen baret kazıkların göçme yükü değerleri Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Baret kazıkların göçme yükü değerleri

H (cm)	Ölçek	Q (kN)
40	1/40	2,177
	1/30	3,883
	1/20	4,834
	1/10	24,610
32	1/40	1,519
	1/30	2,877
	1/20	3,288
	1/10	19,179
24	1/40	0,755
	1/30	1,219
	1/20	2,244
	1/10	16,563
16	1/40	0,393
	1/30	0,641
	1/20	1,401
	1/10	10,416
8	1/40	0,286
	1/30	0,422
	1/20	0,782
	1/10	3,993

Çizelge 6.5'ten elde edilen verilerde baret kazık boyunun artmasıyla ölçek etkisinin azaldığı görülmüştür. Kazık boyunun 40 cm ve 32 cm olduğu baret kazıklarda 1/10 ölçekli baret kazıkların göçme yükünün, 1/40 ölçekli baret kazıkların göçme yükünden yaklaşık olarak 12 kat, 1/30 ölçekli baret kazıklardan yaklaşık olarak 6,5 kat ve 1/20 ölçekli baret kazıklardan yaklaşık olarak 5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kazık boyunun 24 cm olduğu baret kazıklarda ölçek etkisi incelendiğinde, 1/10 ölçekli kazıkların göçme yükünün 1/40, 1/30 ve 1/20 ölçekli kazıkların göçme yükünden sırasıyla 21,94; 13,59 ve 7,38 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Baret kazık boylarının 16 cm olduğu kazıklarda 1/10 ölçekli baret kazıkların göçme yükü, 1/40, 1/30 ve 1/20 ölçekli baret kazıkların göçme yüklerinden sırasıyla 26,47; 16,24 ve 7,44 kat daha fazla olarak elde edilmiştir. Kazık boylarının 8 cm olduğu baret kazıkların göçme yükleri karşılaştırıldığında 1/10 ölçekli kazıkların göçme yükünün 1/40, 1/30 ve 1/20 ölçekli kazıkların göçme yüklerinden sırasıyla 13,95; 9,46 ve 5,11 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kazık boyları ve kazık kesit alanına bağlı olarak elde edilen göçme yükü değerleri Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Göçme yükü-kesit alanı grafiği

Şekil 6.9'da verilen grafikte kesit alanının artması ile hem baret kazıklarda hem de dairese kazıklarda göçme yükü değerinin arttığı görülmüştür.

6.6. Kazık Göçme Yükü Eşitlikleri

Deneylerde kullanılan farklı kesit ve geometrilerdeki model kazıklar üzerine uygulanan aksenal basınç yüklemeleri sonucunda her bir kazık için göçme yükü değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu göçme yüklerini etkileyen kazık genişliği, kazık uzunluğu, kazık boyu ve kazık çapı gibi faktörler olduğundan bu faktörlere bağlı olarak formülizasyon geliştirilmiştir. Dikdörtgen baret kazıklarda kazık genişliği kazık uzunluğu ve kazık boyu değişkenleri bağımsız değişken, dairese kazıklarda ise kazık çapı ve kazık boyu bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Her iki kazık türünde de göçme yükü bağımlı değişken olarak alınmış ve regresyon analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde lineer, interaction, quadratic ve pure-quadratic regresyon modelleri oluşturulmuştur. Analizler sonucunda baret kazıklar için lineer, interaction, quadratic ve pure-quadratic modellere ait denklemler sırasıyla Eş. 6.1, Eş. 6.2, Eş. 6.3 ve Eş. 6.4'te verilmiştir. Bu eşitliklerde H baret kazık boyunu, B baret kazık genişliğini, L baret kazık uzunluğunu ve Q baret kazık göçme yükünü

temsil etmektedir. Baret kazıklar için oluşturulan regresyon modellerinin korelasyon değerleri ve determinasyon katsayıları (R^2) Çizelge 6.6'da verilmiştir.

$$Q = -10,7491 + 0,2314 * H - 90,2223 * B + 26,4732 * L \quad (6.1)$$

$$Q = 7,2295 - 0,1887 * H + 58,9726 * B - 17,9888 * L - 7,1606 * H * B + 2,0740 * H * L + 0,1128 * B * L \quad (6.2)$$

$$Q = 7,5107 - 0,3083 * H - 4,95 * 10^{13} * B + 1,4160 * 10^{13} * L - 8,3854 * H * B + 2,4234 * H * L + 4,75 * 10^{13} * B * L + 0,0029 * H^2 - 7,39 * 10^{13} * B^2 - 7,5422 * 10^{12} * L^2 \quad (6.3)$$

$$Q = 2,2301 + 0,0189 * H - 1,02 * 10^{15} * B + 2,92 * 10^{14} * L + 0,0036 * H^2 + 1,92 * 10^{14} * B^2 - 1,57 * 10^{13} * L^2 \quad (6.4)$$

Çizelge 6.6. Baret kazıklar için korelasyon ve R^2 tablosu

Regresyon Modeli	Korelasyon	R^2
Lineer	0,903	0,815
Interaction	0,993	0,986
Quadratic	0,989	0,978
Pure-Quadratic	0,909	0,826

Korelasyon değerinin yüksek olması, eşitliklerdeki yük değeri ile deneysel çalışmalardan elde edilen yük değerlerinin birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Korelasyon değerinin karesi alınarak elde edilen R^2 değeri ise modelin deneysel verilerle uyumluluğunu ifade etmektedir.

İstatistiksel modeller değerlendirilirken korelasyon değerlerinin 0.90-1.00 aralığında olması istenmektedir (M. Erginer, Cansız, İ. Erginer, 2020). Bu durum göz önüne alındığında, oluşturulan tüm regresyon modellerinin istatistiksel açıdan başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Baret kazıklar için oluşturulan regresyon modelleri birbirleriyle kıyaslandığında, interaction regresyon modelinin diğer regresyon modellerine göre deneysel verilerle uyumluluğunun daha fazla olduğu görülmüştür. Bu regresyon modeli ile deneysel çalışmalarda kullanılan boyut aralığında farklı B, L ve H değerleri için Eş. 6.2 kullanılarak bu değerlere karşılık gelen göçme yükleri belirli bir yaklaşıklıkla tahmin edilebilecektir.

Dairesel kazıklar için yapılan regresyon analizleri sonucunda lineer, interaction, quadratic ve pure-quadratic regresyon modellerinin denklemleri sırasıyla Eş. 6.5, Eş. 6.6, Eş. 6.7 ve Eş. 6.8’de verildiği gibi elde edilmiştir.

$$Q = -5,2467 + 0,3284 * H + 0,5062 * D \quad (6.5)$$

$$Q = 0,7049 - 0,3164 * H - 0,0108 * D + 0,0462 * H * D \quad (6.6)$$

$$Q = 2,7696 - 0,2293 * H - 0,6249 * D + 0,0424 * H * D - 8,55 * 10^{-4} * H^2 + 0,0298 * D^2 \quad (6.7)$$

$$Q = 2,8599 - 0,0576 * H - 0,8860 * D + 0,0098 * H^2 + 0,0646 * D^2 \quad (6.8)$$

Yapılan regresyon analizleri sonucunda dairesel kazıklar için elde edilen regresyon denklemlerinde H dairesel kazık boyunu, D dairesel kazık çapını, Q ise dairesel kazık göçme yükünü ifade etmektedir. Dairesel kazıklar için oluşturulan regresyon modellerinin korelasyon ve R² değerleri Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Dairesel kazıklar için korelasyon ve R² tablosu

Regresyon Modeli	Korelasyon	R ²
Lineer	0,948	0,899
Interaction	0,996	0,992
Quadratic	0,998	0,996
Pure-Quadratic	0,990	0,980

Oluşturulan regresyon modelleri ile elde edilen verilerle deneysel çalışmalarla ulaşılan verilerin birlikte hareket ettiğini gösteren korelasyon değerleri ve sonuçların birbirleriyle uyumunu ifade eden R² değerleri Çizelge 6.7’de verilmiştir. Çizelge 6.7 incelendiğinde,

dairesel kazıklar için oluşturulan regresyon modellerinden quadratic regresyon modelinin deney sonuçlarıyla daha uyumlu olduğu görülmüştür. Deney programında (Çizelge 4.7) kullanılan boyut aralığında, Eş. 6.7’de dairesel kazık boyutları için göçme yükü değeri belirli bir yaklaşıklıkla tahmin edilebilecektir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında; laboratuvar ortamında gevşek kum zeminde gerçek baret kazık boyutlarının 1/10, 1/20, 1/30 ve 1/40 ölçeğinde üretilen baret kazıklar ile bu kazıklarla yaklaşık eşdeğer kesit alanına sahip dairesel kazıklar üzerinde aksenal basınç yükleme deneyleri yapılmıştır. Basınç yükleri altında model kazıkların davranışı incelenmiştir. Yapılan deneylerde kazık geometrisi, kazık boyu (H), kazık çapı (D), kazık genişliği (B) ve ölçek etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Aksenal basınç yükü altında kazık boyunun artmasıyla kazık taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.
- Kazık genişliğinin oluşan oturma miktarını doğrudan etkilediği ve kazık genişliğinin artmasıyla oluşan oturma miktarının azaldığı tespit edilmiştir.
- Kazık boyunun kazık genişliğine oranının artmasıyla yük altında oluşan oturma miktarının azaldığı görülmüştür.
- Aynı kesit alanına sahip dairesel kazıklar ile baret kazıklarda kazık boyları eşit tutulduğunda, baret kazık taşıma kapasitesinin dairesel kazık taşıma kapasitesinden 1,22-1,42 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin baret kazık yüzey alanının dairesel kazık yüzey alanından fazla olmasından dolayıyla çevre sürtünmesiyle taşınan yükün baret kazıklarda dairesel kazıklara göre daha fazla olmasından ileri geldiği belirlenmiştir.
- Aynı kesit alanına sahip baret kazıklar ile dairesel kazıklar kazık boyu bakımından karşılaştırıldığında, dairesel kazık boyunun 2 katı kazık boyuna sahip baret kazıklarda taşıma kapasitesinin dairesel kazıkların taşıma kapasitesinden 1,36-3,23 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bu taşıma kapasitesi oranının, kazık boyunun artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu seri içinde aynı kazık boyuna sahip (8 cm ve 16 cm boylarındaki kazıklar) dairesel kazıklar ile baret kazıklar karşılaştırıldığında baret kazıkların göçme yükünün dairesel kazıkların göçme yükünden %14 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

- Dairesel kazıkların kesit alanları ile yaklaşık olarak eşdeğer olan ancak kazık boyları dairesel kazık boylarından yaklaşık 3 kat fazla olan baret kazıklar göçme yükü bakımından karşılaştırıldığında kazık boylarına bağlı olarak baret kazıkların göçme yükünün dairesel kazıkların göçme yükünden 2,61-8,70 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Eşdeğer kesit alanına sahip baret kazıklar ile dairesel kazıklar, kazık boyu bakımından kıyaslandığında, dairesel kazık boylarının 4 katı kazık boylarına sahip baret kazıkların göçme yüklerinin dairesel kazıkların göçme yüklerinden 2,21-6,83 kat daha fazla olduğu ve bu oranın kazık boyunun artmasıyla arttığı belirlenmiştir.
- Farklı kesit ve geometrilerde model kazıklar üzerinde yapılan aksel yüklemeye deneyleri ile elde edilen göçme yükü değerleri arasında bir bağlantı oluşturabilmek amacıyla regresyon analizleri yapılmış, hem baret kazıklar için hem de dairesel kazıklar için formülizasyon geliştirilmiştir.
- Ölçek etkisinin araştırılması ile küçük ölçekli dikdörtgen baret kazıkların yük altındaki davranışından yola çıkılarak büyük ölçekli dikdörtgen baret kazıkların yük altındaki davranışı hakkında çıkarım yapılabilir. Böylece iş yükü ve maliyeti yüksek olan arazi deneyleri yerine laboratuvar ortamında küçük ölçekli model dikdörtgen baret kazıklar üzerinde yüklemeye deneyleri yapılarak tam ölçekli dikdörtgen baret kazıkların yük altındaki davranışı daha ekonomik ve daha kolay bir şekilde öngörülebilir.
- Laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler regresyon analizine tabi tutulmuş ve lineer, interaction, quadratic ve pure-quadratic regresyon modelleri oluşturulmuştur.
- Oluşturulan regresyon modellerinden dairesel kazıklar için en iyi model quadratic regresyon yöntemiyle elde edilirken baret kazıklarda en iyi model interaction regresyon yöntemiyle elde edilmiştir.
- Oluşturulan regresyon modelleri ile kazıkların göçme yükü değerleri için kazık boylarına bağlı olarak eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitlikler ile deneysel

çalışmalarda kullanılan kazık boyutlarının aralığında farklı kazık boyutları için göçme yk değerleri elde edilebilecektir.

Bu alışma esas alınarak gelecekte yapılabilecek çalışmalar için sunulan öneriler aşağıda verilmektedir.

- Bu çalışmada, gevşek kum zeminde dikdörtgen kesitli model baret kazıklar ve dairesel kesitli model kazıklar üzerinde aksenal basınç yüklemesi yapılmıştır. Farklı geometriye sahip baret kazıklar (+, H, T, L, Y) kullanılarak farklı zemin koşullarında ve farklı yükleme koşullarında laboratuvar deneyleri gerçekleştirilebilir.
- Bu çalışmada model kazıklar tekil olarak yükleme deneylerine tabi tutulmuştur. Benzer model kazıklar kullanılarak kazık grupları oluşturularak baret kazıklarda grup etkisi incelenebilir.
- Bu çalışmada 4 farklı ölçek kullanılarak ölçek etkisi araştırılmıştır. Baret kazıkların davranışını ve ölçek etkisini laboratuvar ortamında daha kapsamlı öngörebilmek amacıyla daha farklı geometrilere sahip kazıklar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Akgüner, C., Kirkit, M. (2011). Kayaya soketli kazıkların yükleme deneyi ve ampirik yöntemlerle belirlenen kapasitelerinin karşılaştırılması. *Teknik Dergi*, 22(109), 5713-5723.
- Algın, H. M., Ekmen, A. B., Yenmez, L. (2017). Baret kazıklı radye temellerin üç boyutlu sonlu elemanlar analizi. 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul.
- Basu, D., Prezzi, M., Salgado, R., Chakraborty, T. (2008). Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils. *Computers and geotechnics*, 35(4), 563-575.
- Bayazıt, M., & Oğuz, E. B. Y. (2005). Mühendisler için istatistik. Birsen Yayınevi.
- Charles, W. W., Rigby, D. B., Sean, W. L., Lei, G. H. (2000). Field studies of well-instrumented barrette in Hong Kong. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(1), 60-73.
- Çinicioğlu, S. F. (2005). Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı. Seminer, IMO İstanbul Şubesi.
- Çobanoğlu, E. (2018). Kil zeminlerde imal edilen baret kazıklarda grup etkileşimi üzerine bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Demir, M. E. (2018). Kazık taşıma gücünün kazık yükleme testi ve statik formüller vasıtası ile tayini ve değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Deutsches Institut für Normung (DIN 4014), German Association for Earthworks and Foundation Engineering, (1990).
- El Wakil, A. Z., Nazir, A. K. (2013). Behavior of laterally loaded small scale barrettes in sand. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(3), 343-350.
- England, M. (2003). Bidirectional static load testing—State of the art. In *Proceedings of 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on BAP*, Ghent, Belgium (pp. 309-313).
- Erginer, İ. (2018). Modifiye bitümlü karışımların marshall stabilite değerlerinin yapay sınır ağı ile tahmini. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Erginer, M., Cansız, Ö. F., Erginer, İ. (2020). Trafik Kaza Sayısının ve Yaralı Sayısının Yapay Sınır Ağları ile Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 29-35.
- Geotem Jeoteknik İnşaat Müh. Müş. A. Ş., Baret Kazık İmalatı. İstanbul. 2017

- Johnson, K., Lemcke, P., Karunasena, W., Sivakugan, N. (2005). Modelling the load–deformation response of deep foundations under oblique loading. *Environmental Modelling & Software*, 21(9), 1375-1380.
- Keawsawasvong, S., Ukritchon, B. (2016). Ultimate lateral capacity of two dimensional plane strain rectangular pile in clay. *Geomech Eng*, 11(2), 235-52.
- Koçak, B. (2013). Kum zeminlerde imal edilen baret kazıklarda grup taşıma faktörünün sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Köpüklü, H. (2015). Baret kazıklı temeller ile ilgili hesap yöntemleri, imalat ve kalite kontrol esasları. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Lei, G. H., Charles, W. W. (2007). Rectangular barrettes and circular bored piles in saprolites. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 160(4), 237-242.
- Lin, S. S., Lu, F. C., Kuo, C. J., Su, T. W., Mulowayi, E. (2014). Axial capacity of barrette piles embedded in gravel layer. *Journal of GeoEngineering*, 9(3), 103-107.
- Mangushev, R. (2016). Analytical and field evaluation methods of the bearing capacity of deep piles and barrettes in soft soil at St. Petersburg. *Architecture and Engineering*, 1(1), 54-59.
- Mazzucato, A., Natali, A. (1988). Analysis of non-linear behaviour of reinforced concrete diaphragm walls under horizontal load. In *International geotechnical seminar on deep foundations on bored and auger piles*. 1 (pp. 239-244).
- Okar, M. (2018). Kum zeminlerde, yatay yüklü baret kazıkların davranışının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Örnek, M. (2009). Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Poulos, H. G., Chow, H. S. W., Small, J. C. (2019). The use of equivalent circular piles to model the behaviour of rectangular barrette foundations. *Geotech Eng J SEAGS AGSSEA*, 50(3), 106-109.
- Rabaiotti, C., Malecki, C. (2018). In situ testing of barrette foundations for a high retaining wall in molasse rock. *Geotechnique*, 68(12), 1056-1070.
- Rafa, S. A., Moussai, B. (2018). Three-dimensional analyses of bored pile and barrette load tests subjected to vertical loadings. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 55(3), 146-152.

- Sağbazar, M. (2019). Farklı yöntemlerle kazık taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Salihi, G., Yılmaz, Y., Tonyalı, İ. (2015). Teorik ve ampirik yaklaşımlarla elde edilen kazık oturma değerlerinin arazi yükleme deneyi sonuçları ile kıyaslanması. 6. Geoteknik Sempozyumu, Adana.
- Seo, H., Basu, D., Prezzi, M., Salgado, R. (2009). Load-settlement response of rectangular and circular piles in multilayered soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(3), 420-430.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons. New York.
- Toğrol, E., Tan, O. (2009). *Kazıklı temeller*. Birsen Yayınevi. İstanbul.
- Tuna, Ş. Ç., Yıldız, R. (2015). Osterberg deneyi ile kazık taşıma gücünün belirlenmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi* 485. 44-48.
- Uncuoğlu, E., Laman, M. (2013). Experimental investigation of the behaviour of the laterally loaded short piles. *Teknik Dergi*, 24, 6257-6278.
- Uzuner, B. A., Özmen, F. (1991). Zeminin emin taşıma gücünün belirlenmesi. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sempozyumu, İMO İzmir Şubesi.
- www.egezemin.com
- www.mta.gov.tr
- Yeğit, M. (2017). Farklı çapta, derinlikte ve sayıdaki kazıkların grup davranışı. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Afyonkarahisar.
- Yeşilbaş, Y. (2019). Baret kazıkların şev stabilitesinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Yıldız, K. (2011). Baret kazıklı temellerde düşey taşıma kapasitesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.
- Zetaş, Katalog. 2011.
- Zhang, L. M. (2003). Behavior of laterally loaded large-section barrettes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(7), 639-648.
- Znamenskii, V. V., Bakholdin, B. V., Parfenov, E. A., Musatova, M. V. (2019). Investigation of the load-carrying capacity of barrettes for a 56-storey residential building. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 56(1), 1-6.

DİZİN

A

adhezyon · 10, 19
 analiz · 2, 5, 6, 8, 11, 12, 32, 46, 47
 arazi · 1, 2, 8, 9, 12, 13, 14, 17, 21, 65, 69
 avantaj · 20

B

bağımlı · 47, 48, 60
 bağımsız · 47, 48, 60
 baret · iv, ix, xi, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 23, 25, 27, 35, 38, 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 64, 65, 66, 68, 69
 basınç · iv, 5, 6, 8, 35, 38, 49, 60, 64, 66
 Bentonit · x, 21, 22, 23
 betonarme · 1, 14, 15, 20, 23
 boyut · 62, 63

D

dairesel · iv, ix, xi, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 25, 27, 35, 38, 45, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 62, 63, 64, 65, 66
 deneysel · 2, 4, 25, 27, 61, 62, 63, 66
 deplasman · viii, ix, x, 4, 5, 6, 8, 11, 30, 31, 32, 46
 dikdörtgen · iv, 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 20, 21, 25, 26, 27, 35, 38, 49, 52, 54, 56, 58, 65, 66
 düşey · 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 29, 70

E

ekonomik · iv, 7, 9, 15, 16, 22, 66
 eksantrisite · 45
 eksenel · 5, 6, 8, 11, 38, 49, 50, 51, 60, 64, 65, 66
 eşdeğer · 4, 11, 49, 52, 54, 56, 58, 64, 65

F

fore · 1, 8, 10, 15, 20, 21, 46
 formülizasyon · 60, 65

G

gevşek · iv, 2, 7, 11, 25, 33, 34, 38, 49, 64, 66
 göçme · viii, 18, 39, 46, 47, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 66
 grab · 21

İ

ilişki · 47, 58
 istatistik · iv, 67

K

kalibrasyon · viii, ix, 28, 29, 30, 31, 32
 kesit · iv, ix, 2, 4, 6, 11, 18, 20, 21, 25, 39, 45, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 64, 65
 kum · 4, 5, 7, 11, 25, 34, 36, 38, 44, 49, 64, 66

L

laboratuvar · iv, v, 2, 3, 7, 11, 12, 13, 39, 49, 64, 65, 66, 67

M

maliyet · 16, 17, 20
 model · iv, v, vi, x, 2, 7, 11, 13, 25, 35, 38, 42, 43, 44, 45, 49, 58, 60, 64, 65, 66, 69

O

oturma · iv, 1, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 17, 46, 49, 50, 57, 64, 69

Ö

ölçek · iv, v, vi, 2, 13, 39, 49, 58, 59, 64, 67

R

regresyon · iv, v, 3, 39, 47, 48, 49, 60, 61, 62, 63, 65, 66

S

sayısal · 2, 4, 6, 10, 11, 12, 32, 46
 seri · 32, 33, 36, 49, 58, 65
 sıkı · 7, 8, 11
 sürtünme · x, xii, 1, 6, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 38, 52, 53
 süspansiyon · 22

T

taşıma kapasitesi · v, 1, 6, 7, 10, 11, 16, 17, 25, 55, 58, 65, 70
 temel · iv, 2, 4, 7, 12, 14, 16, 20, 21, 39, 50, 58
 ton · viii, ix, x, 27, 28, 29, 45

Y

yük · viii, ix, x, xi, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 27, 28, 29, 32, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 58, 61, 64, 65
 yükleme · iv, x, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 17, 26, 27, 29, 33, 45, 46, 51, 64, 65, 66, 67, 68, 69
 yüzey · 4, 17, 19, 26, 52, 53, 64
 yüzeysel · iv, 17, 18

Z

zemin · iv, x, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 19, 20, 21, 23, 25, 33, 34, 36, 38, 44, 49, 53, 66
 Zemin · iv, vi, x, 1, 21, 22, 24, 33, 34, 35, 36, 70



TEKNOVERSİTE

