

## KAZIK KAPASİTE HESAPLARIYLA YÜKLEME DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: KATAR DOHA LİMANI TERMİNAL BİNASI

### COMPARISON OF PILE CAPACITY CALCULATIONS AND LOADING TEST RESULTS: DOHA PORT TERMINAL BUILDING-QATAR

Ceren Aydın<sup>1</sup>, Önder Akçakal<sup>2</sup>, İnanç Utku Kayahan<sup>3</sup>  
Ogan Sevim<sup>4</sup>, Recep İyisan<sup>5</sup>

#### ÖZET

Kazıklı temellerin tasarımı için günümüze kadar birçok farklı hesap yöntemi geliştirilmiştir. Bu hesap yöntemlerinde yapılan kabuller ve kullanılan malzeme özellikleri, derin temel sisteminin güvenliği, uygunluğu ve maliyeti açısından önem arz etmektedir. Saha koşullarının doğru modellenmesi ile kazık kapasitelerinin gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanması, geoteknik mühendisliğinin en önemli konuları arasında gelmektedir. Bu nedenle sahada yapılan kazık yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar hem kazık kapasitesinin belirlenmesi hem de hesaplarda yapılan kabullerin kontrolü açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada, Doha Limanı Terminal yapısı fore kazıklarında yapılan yükleme deney sonuçları ile uygulama öncesi farklı yöntemlerle yapılmış kazık kapasite hesapları karşılaştırılmaktadır. Uygulama sahasında zemin kesiti üstte gevşek kum tabakalarından oluşan deniz dolgusu altında ise boşluklar ihtiva eden kireçtaşı tabakasından oluşmaktadır ve çalışma platformu deniz seviyesine yakın teşkil edilmiştir. Kazık kapasiteleri analitik yöntemler ve yükleme deneyi sonuçları ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca günümüzde sıkça kullanılan sayısal analiz yöntemleri ile de modellenerek elde edilen sonuçlar, saha deneylerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Derin Temel, Fore Kazık, Kazık Kapasitesi, Kazık Yükleme Deneyleri

#### ABSTRACT

Many different calculation methods have been developed for the design of pile foundations. The assumptions taken in these calculation methods and the material properties used are important in terms of the safety, suitability, and cost of the deep foundation system. Accurate modeling of site conditions and calculation of pile capacities

<sup>1</sup> İnş. Müh., İTÜ, İnş. Müh. Anabilim Dalı, ZMGM Yüksek Lisans Programı, [aydinc15@itu.edu.tr](mailto:aydinc15@itu.edu.tr) (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> İnş. Y. Müh., İTÜ, İnş. Müh. Anabilim Dalı, ZMGM Doktora Programı, [onder.akcakal@zetas.com.tr](mailto:onder.akcakal@zetas.com.tr)

<sup>3</sup> İnş. Y. Müh., Zetaş Qatar Foundation Technology, [inanç.kayahan@zetas.com.tr](mailto:inanç.kayahan@zetas.com.tr)

<sup>4</sup> İnş. Y. Müh., Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., [ogan.sevim@zetas.com.tr](mailto:ogan.sevim@zetas.com.tr)

<sup>5</sup> Prof. Dr., İTÜ İnş. Fak. Geoteknik Müh., [iyisan@itu.edu.tr](mailto:iyisan@itu.edu.tr)

close to reality are among the most important issues of geotechnical engineering. For this reason, the results obtained from the pile loading tests carried out in the field are extremely important for the control of the acceptances. In this study, loading tests performed on bored piles of Doha Port Terminal structure are compared with the pile capacity calculations made with different methods before the application. The soil profile in the project site consists of loose sand layers on top, and a limestone layer containing voids under the sea fill, and the working platform is formed close to sea level. Pile capacities were calculated separately by analytical methods and loading test results. In addition, the results obtained by modeling with computer programs that are frequently used today were compared with the results obtained from field experiments.

**Keywords:** Deep Foundation, Bored Pile, Pile Capacity, Pile Loading Tests

## 1. GİRİŞ

Kazıklar, üst yapının oturduğu zeminin taşıma kapasitesi yeterli olmadığında ya da izin verilen oturma sınırlarının aşıldığı durumlarda, yapı yüklerini daha derinde bulunan sağlam tabakalara güvenli bir şekilde aktarmaya yarayan derin temel sisteminin düşey elemanlarıdır. Kazıklar taşıyacağı yükleri imal edildiği zemin-kaya ortamına uç ve çevre sürtünme direnci ile aktarırlar. Kazıkların taşıma kapasitesi, zemin özelliklerini içeren bağıntılar ile tahmin edilebilmesine karşılık en doğru yaklaşım yerinde kazık yükleme deneyleri olmaktadır. Geçerliliği statik yükleme deneyleri ile gösterilmiş dinamik yükleme deneyleri de kazık kapasitesinin belirlenmesinde alternatif yöntem olmaktadır. Çeşitli amaçlar için uygulamada tercih edilen bu tür temel sistemi, deniz kumundan yapılan liman dolgularının taşıma kapasiteleri düşük olduğundan yüzeye yakın kısımlarda kaya tabakası bulunması durumunda kayaya soketlenen kazıklar uygulanabilir bir çözüm yolu olmaktadır (Arioğlu, E., Yılmaz, A. O., Tunçdemir, H., 2007). Kazıkların kayaya yeterli miktarda girmesi durumunda soketli kazıkların taşıma gücü, soket tabanından elde edilen uç direnci ile soket yüzeyi boyunca mobilize olan çevre sürtünme direncinden oluşmaktadır. Ancak uç direncinin oluşması için kazıkların yeteri kadar yer değiştirme yapması gerekmesi nedeniyle kapasite sürtünme direncinden belirlenmektedir. Bu çalışmada da deniz kenarında uygulanan bir proje kapsamında herhangi bir iyileştirme işlemi uygulanmamış, silt-kum içerikli bir liman dolgusu üzerinde inşa edilecek olan terminal binasının yükünü zemine güvenli bir şekilde aktarması için 15~16 m gibi görece sığ derinlikte bulunan kaya tabakalarına soketli kazıkların taşıma kapasitesi ve davranışı konu edilmiştir. Uygulama sahası Basra Körfezi'nde bulunan Katar'ın başkenti Doha'da yer almaktadır. Burada inşa edilecek terminalin, 2022 FIFA kupası ve devamında meydana gelecek tüm küresel aktiviteler için bir karşılama yeri olması da planlanmaktadır. Limanın bir parçası olan Büyük Terminal, aynı anda 6,000 yolcu kapasiteli iki adet mega gemiye ev sahipliği yapabilecek kapasitede olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, farklı yöntemlerle kazık kapasitesinin belirlenmesi ve kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi yoluyla elde edilen kapasitelerin karşılaştırılması, hesaplarda dikkate alınan mühendislik parametrelerinin uygunluğunun araştırılması, kazık yükleme deneyi yapılması mümkün olmayan projelerde kazık kapasitesinin gerçeğe uygun belirlenebilmesi için katkı sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda sonlu elemanlar yöntemi, ampirik yöntemler ile kapasite hesabı yapılmış ve kazık yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar Chin ve Decourt yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

## 2. YAPI VE YEREL ZEMİN KOŞULLARI

Terminal yapısı dikdörtgen geometriye ve 12 m yüksekliğe sahip 2 katlı bir bina olarak tasarlanmıştır. Yapı ve hareketli yükler dikkate alındığında yüzeysel temel sisteminin yeterli olmadığı anlaşılmış ve yapının kayaya soketli kazıklara taşıtılmasına karar verilmiştir. Uygulama sahasının bulduru haritası ve terminal binasının genel görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Projede çapı 80 cm olan boyları 26.5 m ile 31.5 m arasında değişen toplam 470 adet kazık bulunmaktadır. Düşey proje yükü en az 1,000 kN, en fazla 5,000 kN, yatay proje yükü ise en az 150 kN, en fazla 280 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Uygulama sahasını yeri ve inşa edilecek yapının genel görünümü

Proje sahası, mevcut liman tesisleri içerisinde dolgu yapılarak kazanılmış bir alanın üzerinde yer almaktadır. Dolgu malzemesinin kalınlığı 5.0 m~17.0 m arasında değişmektedir. Bu tabaka, çok gevşek- sıkı, silt ve örtü kayacı ara katmanları içeren dolgu malzemesi ve siltli kum ve çakıldan oluşan deniz tortusu olarak tanımlanmıştır. Dolgu tabakası altında çok ayrılmış, çok zayıf- zayıf Simsima Kireçtaşı, bu zayıf kaya tabakasının altında ise daha dayanımlı olan az ayrılmış - orta ayrılmış, zayıf- dayanımlı Simsima Kireçtaşı bulunmaktadır. Dammam Formasyonunun Simsima Kireçtaşı üyesi, Doha bölgesi de dahil olmak üzere Katar’ın kara yüzeyinin %80’inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu stratigrafik yapı, hafif tektonik hareketlerden etkilenmediğinden Doha’nın tamamında devamlılık



### 3. KAZIK KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Kazıklar üzerlerine etkiyen yükü, bulundukları zemine çeperlerinde oluşan çevre sürtünmesi ve kazık ucunda zeminin oluşturduğu tepki kuvveti ile aktarmaktadırlar. Geçmiş tecrübeler, fore kazıklarda tam sürtünme yükünün kazık çapının yüzde 0.5 ile 1'ine eşit bir oturmada mobilize olduğunu ve tam uç direncinin, kazık çapının yüzde 10 ile 20'si oranında oturma gözlemlendiğinde aktifleştğini göstermektedir (Tomlinson, 2001).

Proje kazıklarında uç direncinin mobilize olmasına imkân verecek derecede oturmaya izin verilmediğinden kapasite hesabında yalnızca çevre sürtünmesi dikkate alınmıştır. Bu kısımda hesaplar ampirik yöntemler ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

#### 3.1. Ampirik Yöntemler

Kayaya soketli kazıkların taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemlerde kullanılan katsayılar kazık yükleme deneyleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak belirlenmiştir. Kayaya soketli kazıkların kapasitelerinin belirlenmesinde tek eksenli basınç deneyi sonucu parametre olarak kullanılmaktadır. Birim çevre sürtünmesi değerinin elde edilmesi için kullanılan denklemler ve bu denklemler kullanılarak elde edilen birim çevre sürtünmeleri Tablo 2'de verilmiştir. Emniyetli birim çevre sürtünmelere geçişte 2.5 güvenlik sayısı kullanılmıştır ve emniyetli değerler parantez içinde verilmiştir.

Tablo 2. Kaya tabakalarının çevre sürtünmesi değerinin belirlenmesi (Look & Lacey, 2013)

| Tasarım Yöntemi           | Birim çevre sürtünmesi denklemleri (fs)                                   | q <sub>uc</sub> =2.5 MPa | q <sub>uc</sub> =14 MPa |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Hovath and Kenny (1979)*  | $0.65 \sqrt{\frac{q_{uc}}{Pa}}$                                           | 327.5<br>(131)           | 775<br>(310)            |
| Rowe and Armitage (1987)  | $\frac{f_{su}}{Pa} = 1.42 \sqrt{\frac{q_{uc}}{Pa}}$                       | 715<br>(286)             | 1691<br>(676.5)         |
| Carter and Kulhawy (1988) | Alt sınır $\rightarrow \frac{f_{su}}{Pa} = 0.63 \sqrt{\frac{q_{uc}}{Pa}}$ | 317<br>(127)             | 750<br>(300)            |
|                           | Üst sınır $\rightarrow \frac{f_{su}}{Pa} = 1.42 \sqrt{\frac{q_{uc}}{Pa}}$ | 715<br>(286)             | 1691<br>(676.5)         |
| Prakoso (2002)            | $\frac{f_{su}}{Pa} = \sqrt{\frac{q_{uc}}{Pa}}$                            | 503<br>(201)             | 1190<br>(476)           |

\* Zhang (1999) ve Reese & O'Neill (1988) tarafından da tasdiklenmiştir.

Tasarımda emniyetli birim çevre sürtünmesi değeri üstteki tabaka için 131 kPa, alttaki tabaka için 310 kPa dikkate alınmıştır. Üstteki tabakanın ilk 5 metresi çok ayrılmış olduğundan, güvenlik nedeniyle ihmal edilmiştir. 15.5m dolgu derinliği için efektif gerilme yöntemiyle dolgunun tüm uzunluğu boyunca negatif yüzey sürtünmesini 500 kN hesaplanmıştır. Kazığın ağırlığı ile negatif çevre sürtünmesi toplamı ise 700 kN civarındadır. Çok aşınmış kireçtaşı tabakasının ilk 5 metresinin taşıma kapasitesine etkisi ihmal edilse de,

negatif çevre sürtünmesi kontrolünde 880 kN direnç sağlamış ve ek bir güvenlik payı yaratmıştır.

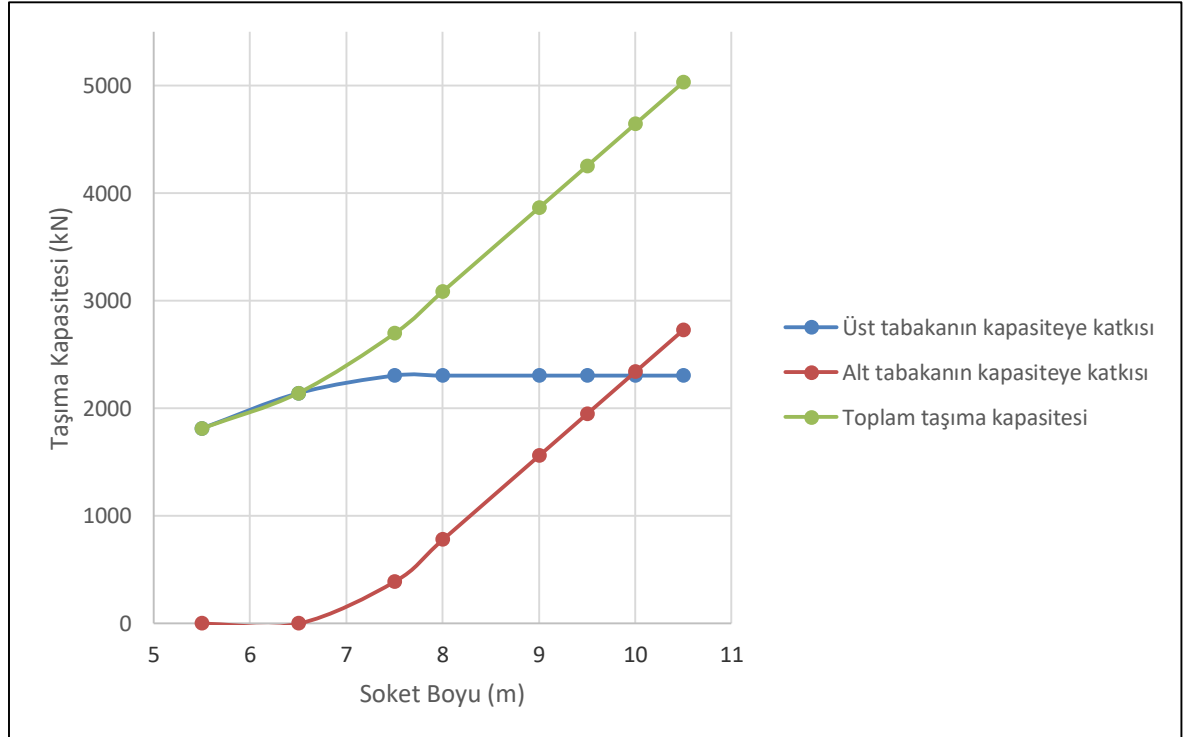
Kayaya soketli uzunluğa göre kapasite kontrolü Tablo 3'te verilmiştir. Kapasite hesabı 1 numaralı denklem ile yapılmıştır.

$$Q_p = \pi D L_s f_{s,em} \quad (1)$$

Tablo 3. Soket boyuna göre kazık taşıma kapasitesi hesabı

| Kazık Tipi | Kazık Çapı (m) | Üst tabaka Soketi (m) | Alt tabaka Soketi (m) | Emniyetli Kazık Kapasitesi (kN) | Tasarım Yüğü (kN) |
|------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|
| P1         | 0.8            | 5.5                   | 0                     | 1,810                           | 1,000             |
| P2-P2A     | 0.8            | 6.5                   | 0                     | 2,140                           | 1,500             |
| P3-P3A     | 0.8            | 7                     | 0.5                   | 2,694                           | 2,500             |
| P4-P4A     | 0.8            | 7                     | 1                     | 3,084                           | 3,000             |
| P5         | 0.8            | 7                     | 2                     | 3,863                           | 3,500             |
| P6         | 0.8            | 7                     | 2.5                   | 4,252                           | 4,000             |
| P7         | 0.8            | 7                     | 3                     | 4,642                           | 4,500             |
| P8         | 0.8            | 7                     | 3.5                   | 5,031                           | 5,000             |

Kazıkların kaya soketi arttıkça taşıma kapasitelerinde beklendiği gibi bir artış söz konusu olmaktadır. Soket boyu ve kazık kapasitesi arasındaki ilişki Şekil 3'te verilmiştir. Üstte bulunan zayıf kaya tabakasının kapasite artışına katkıda bulunduktan sonra tabaka geçildiğinde sabit kaldığı, soket alttaki daha dayanımlı kayaya girdiğinde aynı boy zamasında bu tabakanın kapasiteye katkısının daha fazla olduğu, taşıma kapasitesi artışının hızlandığı grafikten yorumlanmaktadır.



Şekil 3. Kazık boyu – taşıma kapasitesi ve tabakaların katkıları

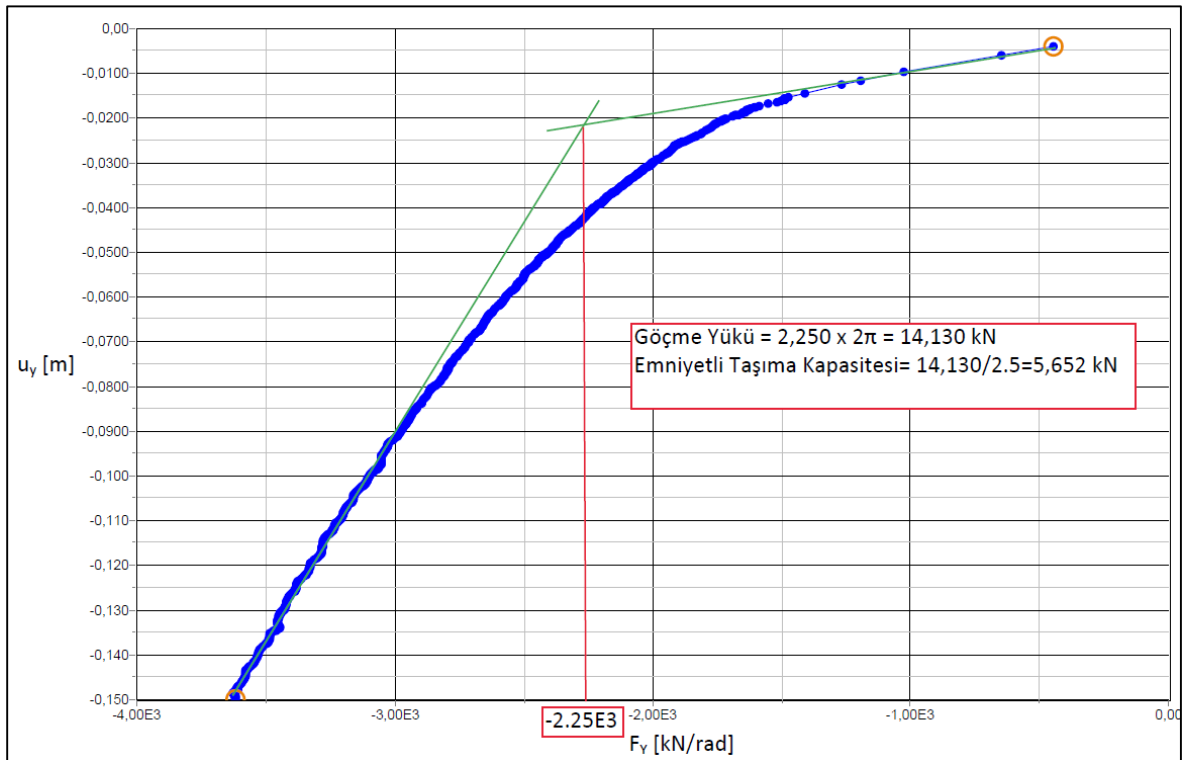


### 3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

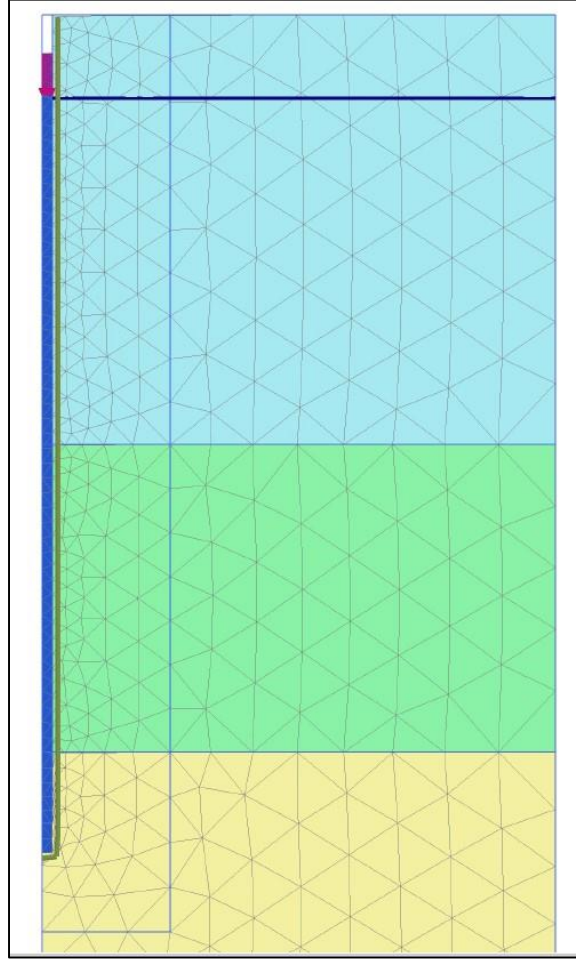
Sonlu elemanlar yöntemi, yapısal analizde yaygın kullanılan ve gerçeğe yakın sonuçlar veren bir yöntemdir. Bu yöntemde yapısal analizi yapılmak istenen bir ortam sonlu sayıda küçük elemanlara ayrılıp birbirlerini etkileyen her bir eleman ikilisi için etkileşim denklemleri oluşturulmakta ve bu denklemler ortak bir sonlu elemanlar matrisinde çözülmektedir. Yapılan bu işlem sonucunda her bir elemanın üzerinde oluşan fiziksel büyüklükler (şekil değiştirme, gerilme vs.) belirlenmiş olur.

Zemin modellenmesi için kullanılan Plaxis 2D programında kum dolgu tabakası hardening soil model (HSM) zemin bünye modeli ile, Simsima kireçtaşından oluşan tabakalar ise Mohr-Coulomb zemin bünye modeli ile temsil edilmiştir.

Tekil kazık kapasitesi için aksisimetrik model kullanılmıştır. Aksisimetrik modelde eksen etrafında 360 derece dönerek hacme dönüştüğü yaklaşımı olduğundan kazık çapının yarısı modele girilmiştir. Kazık kapalı geometride lineer elastik, boşluksuz malzeme olarak modellenmiş, C60 betona uygun olacak şekilde elastisite modülü 38,000 MPa alınmıştır. Kazık üst noktasından göçme kriteri kadar (15 cm) yer değiştirme uygulanmıştır. Çözüm yapıldıktan sonra kazık tepesinin ortasındaki düğüm noktasının yük, şekil değiştirme grafiği Şekil 4'te verildiği gibi elde edilmiş, Teğet Yöntemi ile emniyetli taşıma kapasitesi 5,652 kN elde edilmiştir. Plaxis 2D programı kullanılarak oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı Şekil 5'deki gibidir.



Şekil 4. 2D sayısal analiz sonucu:  $F_y - u_y$  Grafiği



Şekil 5. Sonlu elemanlar ağı

#### 4. KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ

Kazık yükleme deneyleri, kazık taşıma gücü kapasitesinin doğru tahmin edilmesi için yaygın uygulanan saha deneyleridir. Bu deneyde kazık üzerine yük uygulanmakta ve kazığın yaptığı yer değiştirme miktarı ölçülmektedir. Yükleme kazık göçene kadar, bir diğer deyişle, aynı yük kademesinde aniden artan yer değiştirme gözlenene kadar ya da kazığın tasarlanan servis yükünün belli bir katına kadar yapılmaktadır.

##### Kazık Yükleme Deneyi Düzenegi

Deney düzeneginde sabit kirişler ve hidrolik kriko bulunmaktadır. Kiriş, üzerindeki yükü hidrolik krikoya, hidrolik kriko ise kazığa yükü aktarmaktadır. Deney düzenegi kurulurken dikkat edilmesi gereken hususlar, reaksiyon kazıklarının çekme kapasitesini sağlayacak boyda olması, krikonun deney sırasında maruz kalacağı yükleri taşıyabilecek kadar rijit olması, reaksiyon kazıkları ile test kazığı arasında yeterli mesafenin bulunmasıdır. Mesafe kriteri sağlanmadığı durumda gerilme alanlarında etkileşim olmaktadır. Dolayısıyla reaksiyon kazıkları ve test kazığı arasında kazık çapının en az 3-4 katı mesafe bulunması gerekmektedir. Özellikle sürtünme kazıkları için bu mesafenin artırılması önerilmektedir.



Düzenek kurulduktan sonra yükün ölçülebilmesi amacıyla yük hücreleri, oturmaların ölçülebilmesi için ise ölçme saatleri kullanılmaktadır. Şekil 6'da sahada uygulanan kazık yükleme deney düzeneğine ilişkin görsel verilmiştir.



Şekil 6. Kazık yükleme testi düzeneği

Sahada 4 adet araştırma kazığı yükleme deneyi, 7 adet de proje kazıkları üzerinde ispat yükleme deneyi yapılmıştır. Bu deneylere ait detaylar Tablo 3'te sunulmaktadır. Tüm kazıkların çapı 800mm'dir ve tüm kazıklarda C60 beton kullanılmıştır. Deneylerde ASTM D 1143-07 & OCS 2014 Bölüm 4, Kısım 4 şartnameleri uygulanmıştır.

Tablo 4. Kazık Yükleme Deneylerinin Detayları

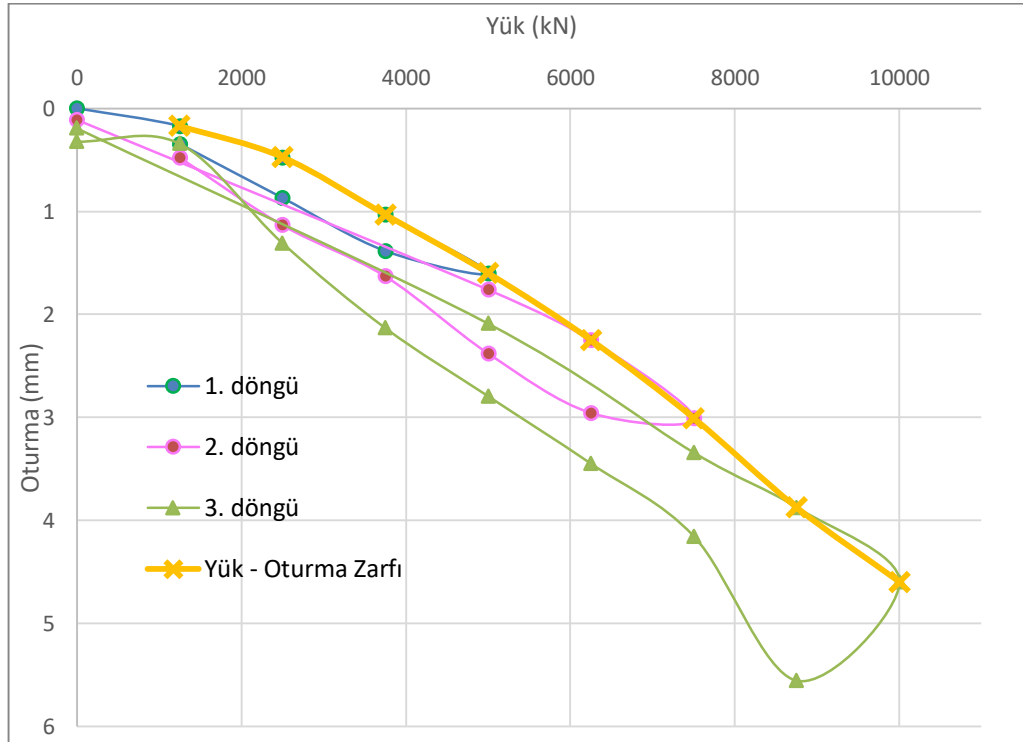
| Deney    | Kazık boyu (m) | Soket boyu (m) | Beton döküm tarihi | Test tarihi        | Proje yükü (kN) |
|----------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 1        | 30.5           | 15             | 11.11.19           | 21-23.12.19        | 4,000           |
| 2        | 30.0           | 14.43          | 13.11.19           | 14-16.01.20        | 3,500           |
| <b>3</b> | <b>31.5</b>    | <b>15.7</b>    | <b>14.11.19</b>    | <b>25-27.01.20</b> | <b>5,000</b>    |
| 4        | 30.0           | 14.2           | 12.12.19           | 29-31.12.19        | 3,500           |
| 5        | 27.5           | 11.5           | 04.01.20           | 04-05.02.20        | 1,500           |
| 6        | 28.5           | 12.5           | 07.01.20           | 03-04.02.20        | 2,500           |
| 7        | 28.5           | 12.5           | 09.01.20           | 10-11.01.20        | 2,500           |
| 8        | 30.0           | 14             | 08.01.20           | 06-07.02.20        | 3,500           |
| 9        | 30.0           | 14             | 08.01.20           | 08-09.02.20        | 3,500           |
| 10       | 30.5           | 14.5           | 11.02.20           | 11-12.05.20        | 4,000           |
| 11       | 30.0           | 14             | 08.01.20           | 06-07.02.20        | 3,500           |

Araştırma kazığı deneylerinde proje yükünün 2 katına 3 döngü halinde, proje kazığı deneylerinde proje yükünün 1.5 katına ise 2 döngü halinde erişilmiş, bu döngü sonuçlarında elde edilen maksimum ve rezidüel oturma sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kazık Yükleme Deneylerinin Sonuçları

| Deney    | 1. döngü       |                   |                      | 2. döngü       |                   |                      | 3. döngü       |                   |                      |
|----------|----------------|-------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------------------|
|          | Test yükü (kN) | Maks. Oturma (mm) | Rezidüel Oturma (mm) | Test yükü (kN) | Maks. Oturma (mm) | Rezidüel Oturma (mm) | Test yükü (kN) | Maks. Oturma (mm) | Rezidüel Oturma (mm) |
| 1        | 4,000          | 5.32              | 0.8                  | 6,000          | 9.44              | 1.25                 | 8,000          | 11.55             | 1.73                 |
| 2        | 3,500          | 0.72              | 0.08                 | 5,250          | 1.56              | 0.20                 | 7,000          | 2.43              | 0.16                 |
| <b>3</b> | <b>3,500</b>   | <b>1.6</b>        | <b>0.11</b>          | <b>5,250</b>   | <b>3.01</b>       | <b>0.19</b>          | <b>10,000</b>  | <b>4.6</b>        | <b>0.32</b>          |
| 4        | 3,500          | 1.6               | 0.11                 | 5,250          | 3.01              | 0.19                 | 7,000          | 4.6               | 0.32                 |
| 5        | 1,500          | 0.37              | 0.15                 | 2,250          | 1.17              | 0.23                 |                |                   |                      |
| 6        | 2,500          | 0.52              | 0.08                 | 3,750          | 1.26              | 0.20                 |                |                   |                      |
| 7        | 2,500          | 1.11              | 0.14                 | 3,750          | 1.90              | 0.29                 |                |                   |                      |
| 8        | 3,500          | 0.75              | 0.04                 | 5,250          | 1.54              | 0.20                 |                |                   |                      |
| 9        | 3,500          | 1.14              | 0.18                 | 5,250          | 1.99              | 0.33                 |                |                   |                      |
| 10       | 4,000          | 0.90              | 0.07                 | 6,000          | 1.75              | 0.13                 |                |                   |                      |
| 11       | 5,000          | 1.18              | 0.11                 | 7,500          | 2.06              | 0.20                 |                |                   |                      |

3 numaralı yükleme deneyine ait yük- oturma grafiği örnek teşkil etmek üzere Şekil 7’de verilmiştir. En fazla yüke tabi tutulan ve en yüksek oturmanın ölçüldüğü 3 numaralı test kazığının yük deformasyon eğrisi aşağıda verilmiş olup, ilerleten bölümlerde kazık kapasitesi tahmin yöntemleri (Chin ve Decourt) ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. 3 Numaralı Deney Kazığı Yük – Oturma İlişkisi

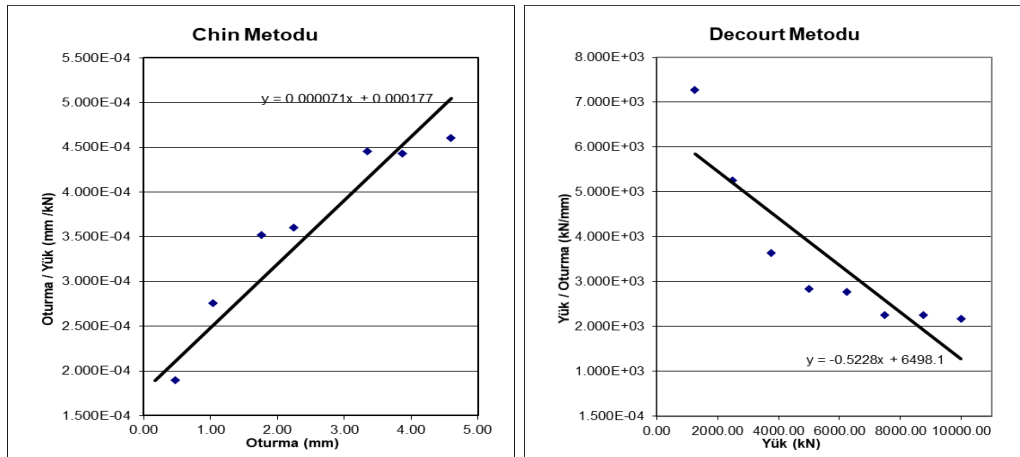
### 3.3. Kazık Yükleme Deneylerinin Değerlendirilmesi

Kazık yükleme deney sonuçlarının yorumlanması konusunda birçok bilim insanı tarafından çeşitli yöntemler geliştirilmiş olduğundan, yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirilmesi ve en uygun yöntemin belirlenmesi gerekmektedir.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler, matematik modele dayanan yöntemler, grafik yöntemler ve oturmayı sınırlayan yöntemler olarak üçe ayrılabilir.

Matematik modele dayanan yöntemler; Brinch Hansen %80, Chin Kondner, Cambefort-Chadeisson, Housel (Creep), Van Der Veen yöntemleri olarak sıralanmaktadır. Grafik yöntemlere ise De Beer, Teğet (Mansur Kaufman), Mazurkiewicz, Brinch Hansen %90, Butler – Hoy, Fuller- Hoy, Corps of Engineers, Decourt yöntemleri örnek olmaktadır.

Oturmayı Sınırlayan Yöntemler; toplam oturmayı sınırlandıran, plastik oturmayı sınırlandıran, plastik / elastik oturmayı sınırlandıran, toplam oturma / birim yük oranını sınırlandıran ve plastik oturma / birim yük oranını sınırlandıran yöntemler olmak üzere beş ana yönetime bölünebilmektedir. Bunların dışında Davisson ve Hirany – Kulhawy yöntemleri de oturmayı sınırlandırmaya dayanmaktadır (Fellenius, 2006). Kazıklar Göçme davranışı gösterene kadar yüklenmediklerinden Chin ve Decourt dışındaki yöntemlerin değerlendirme işleminde kullanılması uygun olmamıştır (Birid, 2017). Şekil 8’de Chin ve Decourt yöntemlerine ait grafikler verilmiştir.



Şekil 8. 3 numaralı kazık yükleme deney sonuçlarının Chin ve Decourt yöntemleri ile yorumlanması

$$\text{Chin Yöntemi Göçme yükü} = \frac{1}{0.0007} \times 10 = 14,285 \text{ kN} \quad (2)$$

$$\text{Decourt Göçme yükü} = \frac{6,498.1}{0.5228} = 12,429 \text{ kN} \quad (3)$$

Önceki bölümlerde açıklanan hesaplamalar sonucu elde edilen emniyetli taşıma kapasiteleri Tablo 6’da özetlenmiştir.

Tablo 6. Farklı yöntemlerle elde edilen emniyetli taşıma kapasiteleri

| Yöntem                         | Göçme<br>Yükü (kN) | Güvenlik<br>Faktörü | Emniyetli Taşıma<br>Kapasitesi (kN) |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Ampirik Yöntem -Hovath & Kenny | 12,577             | 2.5                 | 5,031                               |
| Sonlu Elemanlar Yöntemi        | 14,155             | 2.5                 | 5,662                               |
| Chin                           | 14,285             | 2.5                 | 5,714                               |

|         |        |     |       |
|---------|--------|-----|-------|
| Decourt | 12,429 | 2.5 | 4,972 |
|---------|--------|-----|-------|

## 5. SONUÇLAR

Bu vaka çalışmasında, yapay bir dolgu üzerinde inşa edilmiş olan Doha Limanı Terminal Binasının temel sistemini oluşturan yerinde dökme betonarme kazıkların tasarımının kontrol edilmesi amacıyla en fazla düşey yükle yüklenen 3 numaralı deney kazığı incelenmiştir. Ampirik yöntemler, sonlu elemanlar yöntemi ve yükleme deneylerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen kapasiteler arasında uyum söz konusu olduğu gözlenmiştir. Proje yerel zemin koşullarının iyi bilinmesi, kaliteli zemin etüdü ve tasarımda yapılan muhafazakâr yaklaşımlar sayesinde geoteknik parametrelerin saha koşullarını yansıtabilecek seviyede yakın seçildiği sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Katkılarından dolayı Zetaş Zemin Teknolojileri A.Ş. 'ye sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- Arıoğlu, E., Yılmaz, A. O., Tunçdemir, H. (2007). *Kayaya Gömülü Fore Kazıklar - Bilgi Föyleri-Çözümlü Problemler*. İstanbul: EVRİM YAYINEVİ, pg.5
- Birid, K. C. (2017, July). Evaluation of ultimate pile compression capacity from static pile load test results. In *International Congress and Exhibition" Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology"* (pp. 1-14). Springer, Cham.
- Fellenius, B. H. (2006), Basics of Foundation Design, Electronic Edition.
- Karagkounis, N., Latapie, B., Sayers, K., & Mulinti, S. R. (2016). Geology and geotechnical evaluation of Doha rock formations. *Geotechnical Research*, 3(3), 119-136.
- Plaxis. (2015). Material Models Manuel, Delft University of Technology & Plaxis bv The Netherlands.
- Tomlinson, M. J., & Boorman, R. (2001). Foundation design and construction. Pearson education.
- Look, B., & Lacey, D. (2013). Characteristic values in rock socket design. In *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paper* (No. 2753).

## SEMBOL LİSTESİ

| Sembol     | Açıklama                     | Sembol  | Açıklama                |
|------------|------------------------------|---------|-------------------------|
| $q_{uc}$ : | Serbest basınç deneyi sonucu | $F_y$ : | Yatay yük               |
| $P_a$ :    | Atmosfer basıncı             | $D$ :   | Çap                     |
| $L_s$ :    | Kazık boyu                   | $Q_p$ : | Kazık taşıma kapasitesi |
| $c$ :      | Kohezyon                     | $A$ :   | Kazık kesit alanı       |
| $u_y$      | Yatay deplasman              |         |                         |