

## **YUMUŞAK KAYALARDA KAZIKLARIN SOKETLENME BOYU - BİR VAKA ANALİZİ**

### **THE SOCKET LENGTH OF PILES IN SOFT ROCK- A CASE STUDY**

**H. YILMAZ<sup>1</sup>, H.T. DURGUNOĞLU<sup>2</sup>**

#### **ABSTRACT**

In case where weak soil take place under mat foundations of high, heavily loaded structures, foundation system is designed with socket piles which transfer their load through skin friction to a firm stratum located at a considerable depth below the base of the structure. End bearing is generally not allowed for foundation piles of high structures due to critical displacement conditions. Therefore the load of the structure is designed to be carried by friction between the soil and the pile shaft. In literature there are different empirical relations for calculating unit friction resistance along the soft rocks.

In important applications, it is very crucial to obtain unit friction resistance values, their change with respect to depth by measurements, utilizing special pile load tests and prove that piles carry the load with a desired factor of safety. In this paper, a case study is presented at the site of Maslak, İstanbul within the Mashattan project where ten 34 storey high rise residential blocks are planned to be constructed. The subsoil conditions consist of completely weathered, over consolidated clays(Belgrade Formation) which are located above the extensively fractured “graywacke” claystone- siltstone- sandstone formation, locally known as Trace Formation. Thickness of the Belgrade formations vary at the site, that is why friction between the soil and the pile shaft, with respect to depth and formation, needs to be determined. For that reason two special loading tests were performed just outside the foundation area and the test piles were loaded up to 6000 kN, which is twice the design load. In those tests, unit skin friction values are measured by taking strain measurements from the strain gauges which are installed at three different locations on the test piles. As a result, change of skin friction values with respect to depth is determined. Furthermore distribution of the applied load to skin and the tip are examined. By comparing calculated and measured unit skin friction values, safety of the design is tested prior to construction.

**Keywords:** cast-in situ piles, skin friction, pile load test, case study

---

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisi, ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. Alemdar Merkez Mah. Şehit Murat Demir Cad. No:69/A Ümraniye/İstanbul, hamdi.yilmaz@zetas.com.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Emekli öğretim üyesi, P.K.2 Bebek/İstanbul, durgunoglut@zetas.com.tr

## ÖZET

Yüksek yapılarda radye temeller altında belirli bir kalınlıkta nisbeten zayıf zemin yeralması halinde temel sistemi, taşıyıcı zemine belirli bir boyda soketlenen kazıklarla teşkil edilmektedir. Bu kazıkların, uç direncine genellikle kritik deplasman şartları nedeni ile müsaade edilmediğinden, üst yapıdan gelen yüklerin münhasıran çeper sürtünmesi ile taşınması öngörülmektedir. Ancak literatürde geçmiş uygulamalarda kazıklar boyunca oluşabilecek birim sürtünme dirençleri için farklı görüşler bildirilmiş olup, bu nedenle tasarımda kullanılacak çeper birim sürtünme direncinin, önemli uygulamalarda ölçülerek tahkik edilmesi, birim çeper direncinin kazık boyunca dağılımının belirlenerek düşey proje kazık yüklerinin belirli bir güvenlikle taşındığının ispatlanması büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda vaka analizi olarak sunulan bu makalede İstanbul Maslak'da Mashattan projesi kapsamında yapımı planlanan 34 katlı on adet yüksek bloğun üç adedinin altında çatlaklı kumtaşı-kiltaşı Trakya formasyonu üzerinde tamamen ayrıışmış aşırı konsolide kil-kum seviyeleri içeren Belgrad formasyonu yeralmaktadır. Belgrad formasyonunun ve ayrıışmış grovıkların kalınlığının da değişken olması nedeni ile, birim çeper sürtünmesinin her iki formasyonda kazık boyunca dağılımının belirlenmesi gerekmiştir. Bu maksatla, blok dışında, tasarımı tahkik amaçlı özel iki adet kazık yükleme deneyi yapılmış, kazıklar tasarım yüklerinin iki katı olan 6000 kN'a kadar yüklenmiştir. Bu deneylerde, birim çeper sürtünme dirençleri deney kazığı boyunca, donatı üzerine özel bir şekilde yerleştirilen, birim deformasyon ölçer-strain gauge'ler vasıtasıyla, deformasyonlarını izlemek suretiyle ölçülmüştür. Sonuçta, çeper direncinin derinlikle dağılımı bulunmuş ve tatbik edilen yükün, ne kadarının kazık çeperi ve ucu arasında paylaşıldığı belirlenmiştir. Ölçülen değerler tasarımda kullanılan birim çeper direnci değerleri ile mukayese edilerek tasarımın güvenliliği uygulama öncesi tahkik edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Fore kazıklar; çeper sürtünmesi; kazık yükleme deneyi; vaka analizi

## 1. GİRİŞ

Temel altı kazıklar, üst yapı yüklerini zeminin alt tabakalarına taşımak için kullanılan bir derin temel yöntemidir. Özellikle temel altındaki zeminin üst tabakaları, üst yapıdan gelen yapı yüklerini göçmeden veya aşırı miktarda oturma yapmadan taşıyabilecek bir yüzeysel temel yapımına uygun değil ise derin kazıklı temeller tercih edilir. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde de göçmeye karşı bir güvenliğin bulunduğu, ayrıca servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların da kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir. (Toęrol, 1970) Projelendirilmede hesaplanan servis yüklerinin çeper ve uç arasındaki dağılımı, ancak özel kazık yükleme deneyleri ile bulunabilmektedir. Bu makalede, İstanbul'da inşa edilmekte olan 34 katlı on adet yüksek konut blokunun ikisinde yapılan özel kazık yükleme deneyleri sonuçları değerlendirilmek suretiyle, yumuşak kayalarda, Belgrad ve Trakya formasyonu, çeper yükünün derinlikle değişimi ölçülmüştür.

## 2. PLANLANAN YAPI

İstanbul Maslak'ta Mashattan Projesi olarak 140 dönüm arazi üzerine değişik kotlarda 10 adet, 34 katlı konut bloğu inşası planlanmaktadır. Blokların, hemen yanında yapısal derz ile ayrılmış ayrı bir otopark yapısı da bulunmaktadır, Şekil 1 (ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., 2005).

Eski bir dere vadisi ile, yamaçlarından teşekkül eden bu arazide mevcut topoğrafya oldukça engebeldir. Gerek topoğrafya ve gerekse komşu yapı ve altyapılar dolayısıyla, blokların inşası esnasında 20 metreye varan kazılar yapılacağından arazide önemli geçici istinat yapıları teşkili gerekmektedir.



**Şekil 1.** Konutların inşa edileceği arazi ve inşa edilmiş halin kurgusal görünümü

### **3. ZEMİN ŞARTLARININ TESBİTİ**

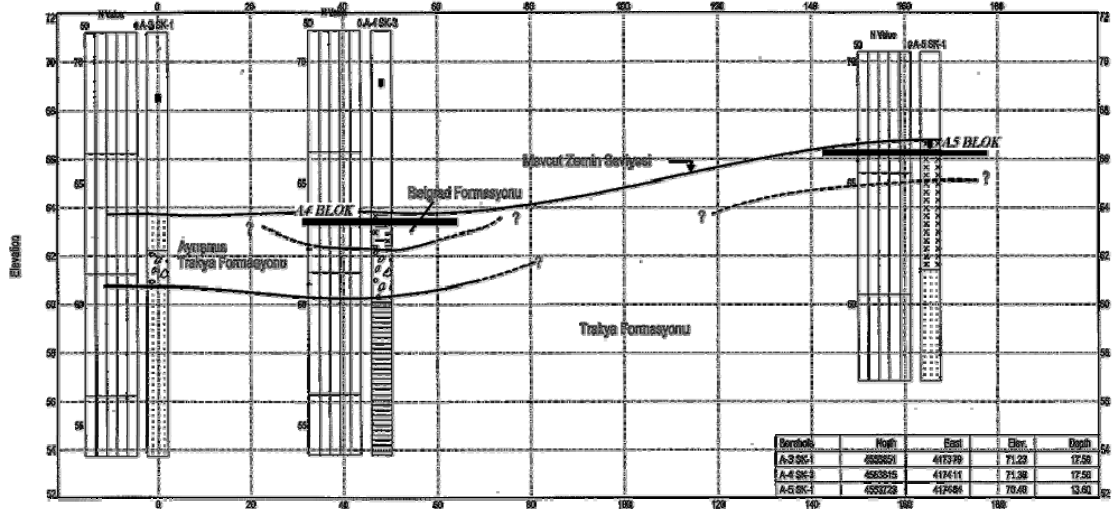
Sahanın büyüklüğü, yapıların yerleşimi ve farklı temel kotları gözönüne alındığında saha ile ilgili zemin etüdlerinin iki aşamalı olarak yapılması planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. 1. aşamada zeminlerin geoteknik modellenmesinin yanı sıra, istinat yapıları mevkieindeki zemin şartları belirlenmiş, ayrıca, bu modellemeden ve her bir blok için, blokların bodrum kat döşeme üst kotlarından yararlanılarak, temel seviyesinin hangi formasyon üzerinde yer alacağı değerlendirilmiştir. Bilahare, geçici istinat duvarlarının yapılması aşamasında yapılan önemli miktarda kazı sonrası, zemin yüzey kotlarının azaltılmış olmasından da yararlanılarak, her blok yerinde üç adet sondaj, yeraltı suyu seviyesi gözlemleri ve bir

sondajda sistematik presiometre ölçümlerini içeren 2. aşama zemin etüd çalışmalarına geçilmiştir. Birinci aşama zemin etüdüleri Zetaş A.Ş.(2005) raporunda verilmiş ve bu raporda geçici istinat duvarları tipleri ile her bir blok için temel tipi belirlenmiştir. Bu raporda, Belgrad formasyonu olarak tanımlanan, tamamen ayrıışmış, aşırı konsolide siltli kile oturan A3, A4 ve A5 bloklarının rijit bir radye altında teşkil edilecek  $\Phi$  80 cm çaplı ve takriben 12.0 m boyunda fore kazıklarla teşkili öngörülmüştür.

A1 ve A2 bloklar ile B1 ila B5 blokları ise doğrudan değişik mekanik özellikli, Trakya formasyonu olarak tanımlanan, çatlaklı, kıltaşı-silttaşı-kumtaşı grovak formasyonu üzerinde yeraldığından, bu temellerin radye temel olarak teşkili öngörülmüştür.

#### 4. GEOTEKNİK MODELLEME

A3, A4 ve A5 bloklarının temellerinin rijit radye + fore kazık olarak teşkiline esas 1. aşama zemin etüdüleri sonucu belirlenen geoteknik kesit Şekil 2’de verilmektedir. Görüldüğü gibi temel seviyeleri Belgrad formasyonu ve ayrıışmış Trakya formasyonu içinde yer almakta olup, Trakya formasyonuna ise değişken derinliklerde rastlanmıştır.



Şekil 2. A3- A4- A5 Blokları Geoteknik Kesiti, (ZETAŞ, 2005)

#### 5. KAZIK DÜŞEY SERVİS YÜKÜ

Bir kazığa gelen düşey yük, kısmen kazığın uç kapasitesi( $Q_{ult}$ ), kısmen de çeper sürtünmesi kapasitesi( $Q_{sult}$ ) ile karşılanır. Kazığın geçmeden taşıyabileceği maksimum yükü, yani kazığın taşıma gücü( $Q_{ult}$ ) bu iki bileşenine bağlı olarak ifade edilebilir:

$$Q_{ult} = Q_{ult} + Q_{sult} \quad (5.1)$$

Yüksek yapılarda radye temeller altında belirli bir kalınlıkta nisbeten zayıf zemin yer alması halinde temel sistemi, taşıyıcı zemine belirli bir boyda soketlenen kazıklarla teşkil edilmektedir. Bu kazıkların, uç direncine genellikle kritik deplasman şartları ile müsadde edilmediğinden, bu projede olduğu gibi, üst yapıdan gelen yüklerin münhasıran çeper sürtünmesi ile taşınması öngörülmektedir.

Literatürde mevcut bazı bağıntılardan yararlanılarak yapılan hesaplarda, F.S.= 2 güvenlik katsayısı alınmak suretiyle 12.0 m boyunda  $\Phi$  80 cm çaplı bir fore kazık boyunca kısmen Belgrad ve kısmen ise Trakya formasyonundan çeper direncini geliştireceği kabulü ile tasarım servis yükü takriben  $Q_{all}=3000$  kN olarak bulunmuştur. Kazıklı temellerin düşey deplasmanlarının az olması istendiğinden, kazık uç direnci, hesaplarda gözönüne alınmamıştır. Bu durumda, projelendirilmede öngörülen bu servis yükünün özel yükleme deneyleri ile tahkik edilmesi ve çeper direncinin Belgrad ve Trakya formasyonlarında derinlikle değişiminin belirlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

## 6. ÖZEL KAZIK YÜKLEME DENEYİ

Bu maksatla, her üç blokun hemen dışında sonradan kullanılmamak üzere tahkik amacı ile üç adet kazık yükleme deneyi yapılması planlanmıştır. Bu deneylerden biri, bu makalenin hazırlanması esnasında tamamlanmamış olduğundan, yalnız diğer iki deneyin ölçüm sonuçlarına ve değerlendirmelerine yer verilmiştir. Tasarımda güvenlik katsayısı (2) seçildiği için deneylerde maksimum yük  $2 \times 3000$  kN = 6000 kN olarak seçilmiştir.

### 6.1. Test Metodu

Deneyler, projede gösterilen A4 ve A5 blokları kazık uygulama alanları dışında imal edilmiş olan birer deney kazığı üzerinde yapılmıştır. Bu deney kazıkları daha sonra kullanılmayacaktır. Söz konusu deney kazıkları sistem kazıkları ile aynı boyda ve çapta, yani  $\varnothing 80$  cm ve  $L=11.20$  m olarak hazırlanmıştır. (Kazık boyları radye temel alt kotu altında 11.20 m olarak projelendirilmiştir.). Deneyler için, kontra yükün temini maksadı ile, yine sistem kazığı olmayan aynı boyda ve çapta ilâve 4 adet de çekme kazığı kullanılmıştır.

Projede belirtilen emniyetli kazık düşey kapasitesi  $Q_{em}=3000$  kN olup, proje tahkik deneyinde kazık 6000 kN'a kadar yüklenmiştir. Yük iki adet 4000 kN kapasiteli kilitleme özelliği olan hidrolik krika ile sağlanmıştır(bkz. Şekil 3). Ayrıca deney esnasında ispat yükü olan emniyetli düşey kazık kapasitesi,  $Q_{em}$ 'e kadar ve sonrasında toplam yüke kadar kazığın kademeler ile yüklenmesi sonucu oluşan oturmalar kayıt edilmiştir. Aynı amaçla kazığın imalatı sırasında -4, -7 ve -10 m derinliklerinde yerleştirilen strain gauge'ler (birim deformasyon ölçer) vasıtasıyla bu seviyelerde oluşan basınç yükü miktarı ve çeper sürtünmesi kuvvetinin derinlikle değişiminin gözlenmesi mümkün olmuştur.



Şekil 3. Yükleme Düzeneği (ZETAŞ, 2006a)

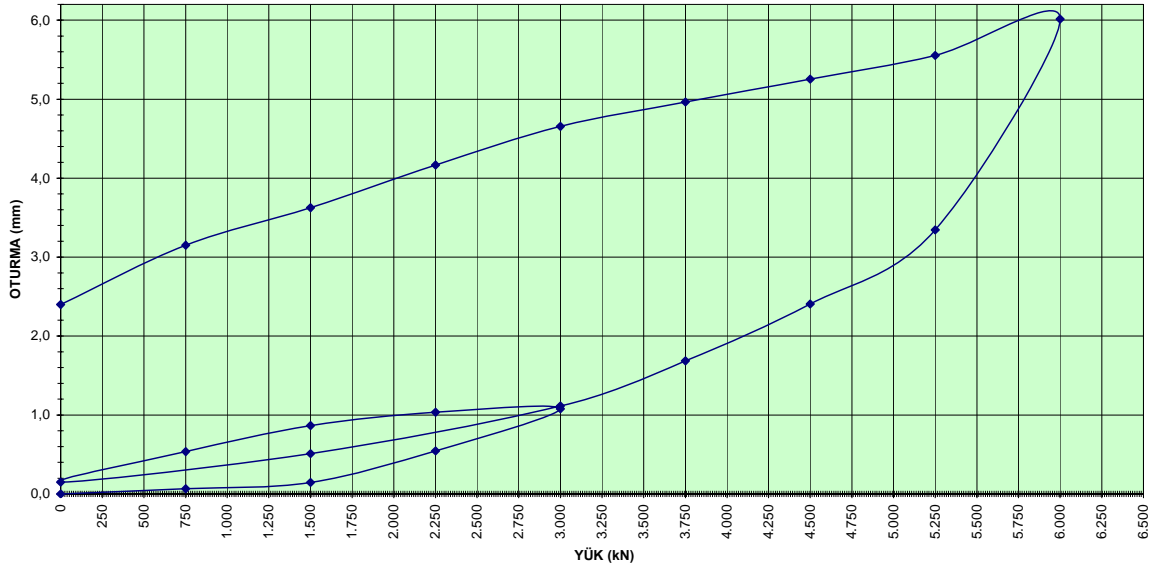
## 7. A4 BLOĞU KAZIK YÜKLEME DENEYİ SONUÇLARI

### 7.1 Zemin Şartları ve Modelleme

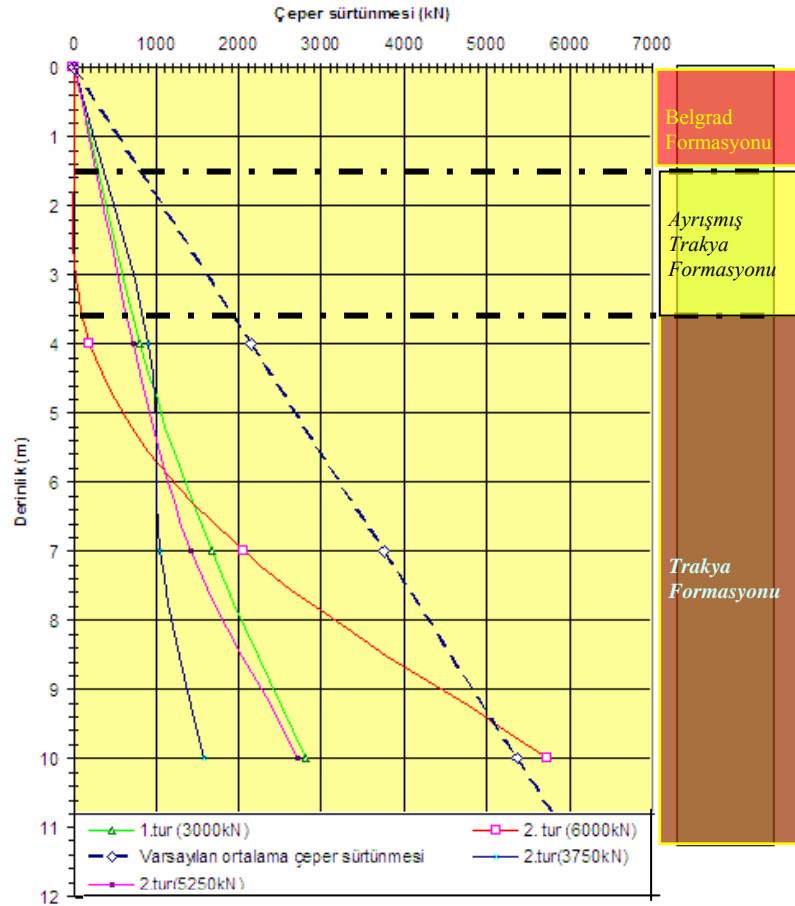
Çalışma alanı güneyinde ve batısında İstanbul'un batı bölümünde geniş bir alanda mostra veren kumtaşı, silttaşı, kiltası "grovak" ve bunların ardalanmalarından oluşan Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu mostra vermektedir. Çalışma alanı kuzeyinde, doğusunda ve yer yer batısında ve orta kesimde yer alan yüksek düzlüklerde Pliyosen yaşlı Belgrad formasyonu mostra vermektedir. Belgrad formasyonu Trakya formasyonunu uyumsuz olarak örtmektedir. Saha içinde ilk etüdler kapsamında yapılan ve A4 Blok konumunda olan SK-4 nolu sondajda da yaklaşık 15.0m kalınlıkta kil ve silt gözlenmiştir. Bu birimlerin altında ise Trakya formasyonuna ait kayalar (kahverengi tamamen-çok ayrılmış, çok zayıf-zayıf dayanımlı kumtaşı, ve bu birim altında gri renkli çok ayrılmış, zayıf-orta dayanımlı kumtaşı) yer almaktadır. 2. aşama zemin etüdlerinde gerçekleştirilen A4/SK1, A4/SK2 ve A4/SK3 sondajlarında ise A4/SK3 sondajı haricinde genel itibariyle temel taban seviyesi altında yer yer tamamen ayrılarak rezidüel nitelik kazanmış, zayıf/orta dayanımlı, Trakya formasyonu kiltaları-silttaşı ve kumtaşları ardalanması ile karşılaşmıştır. A4/SK3 sondajında temel taban seviyesi altında ilk 1.5m derinlik içerisinde Belgrad formasyonuna ait sert kil zeminle, bu seviye altında ise 2.0 m kalınlığında bir çakıl tabakası ile karşılaşmıştır.

### 7.2 Çeper Sürtünmesi Ölçümleri

Deney kazıklarına imalatları sırasında üçlü setler halinde -4, -7 ve -10 m derinliklerde yerleştirilen vibrating-wire tipi strain gauge'lerin deneyler sırasında okumaları alınmıştır. Bu okumaların frekans-strain dönüşümleri yapılarak kazık kesit alanı ve elastisite modülüne bağlı hesaplanan basınç kuvveti ve buna bağlı olarak çeper sürtünme kuvveti hesaplanmıştır. Deneyde elde edilen yük- oturma diyagramı Şekil 4'de, (Zetaş A.Ş., 2006a); sözkonusu ölçümlere dayalı çeper sürtünmesi değerlerinin kazık boyunca doğrusal artan şekilde varsayılan kazık çeper kapasitesi ile karşılaştırması Şekil 5'de, grafiksel olarak sunulmuştur(Zetaş A.Ş., 2006a).



Şekil 4. A4 Blokta yapılan deneyde ölçülen Yük- Oturma Diyagramı(Zetaş A.Ş., 2006a)



Şekil 5. A4 Blokta yapılan deneyde ölçülen çeper sürtünmesinin varsayılan çeper sürtünmesi ile karşılaştırması (ZETAŞ,2006a)

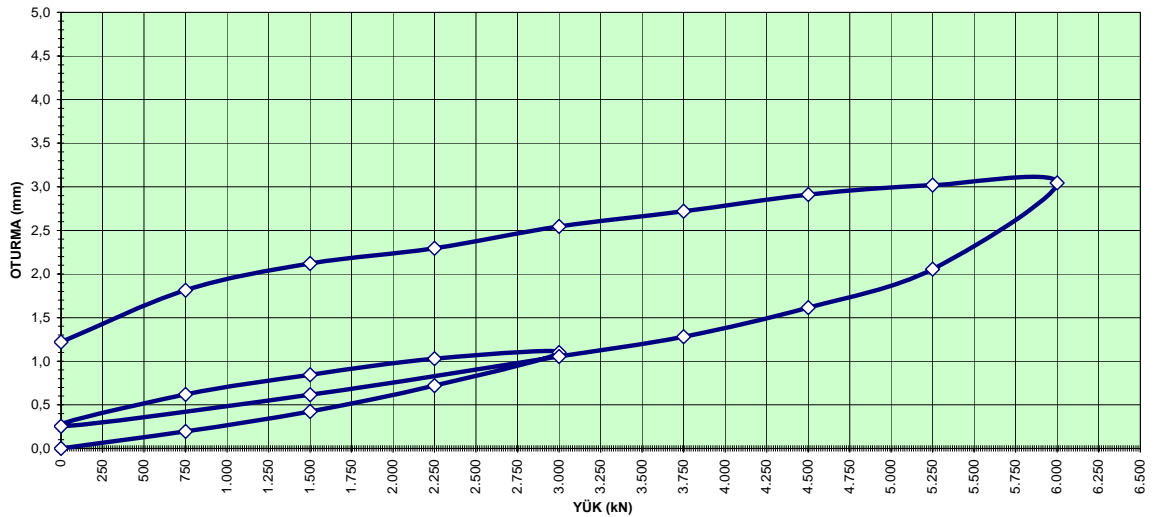
## 8. A5 BLOĞU KAZIK YÜKLEME DENEYİ SONUÇLARI

### 8.1 Zemin Şartları ve Modelleme

Saha içinde 1. aşama kapsamında yapılan ve A5 Blok konumunda olan SK-5 nolu sondajda da yaklaşık 9.0m kalınlıkta kil ve silt gözlenmektedir. Bu birimlerin altında ise Trakya formasyonu kayaları yer almaktadır. 2. aşama zemin etüdlerinde gerçekleştirilen A5/SK1, A5/SK2 ve A5/SK3 sondajlarında ise temel taban seviyesi altında Trakya formasyonu kilaşları-silttaşı ve kumtaşları ile karşılaşmıştır. Temel taban kotları altında üst seviyelerde yeralan kahverengi-sarı renkli kumtaşı-silttaşı-kilaşı, çok ayrılmış, çok zayıf dayanımlı, yer yer ise (A5-SK1 sondajında 6.00-7.5m'ler, A5-SK3 sondajında ise 2.80-3.00m'ler arası) tamamen ayrılarak çok zayıf dayanımlı rezidüel zemin niteliğindedir. Blok konumunda yapılan sondajlarda kazı taban kotu altında yaklaşık 6.0m ila 9.0m arasında değişken derinliklerde gri renkli, az-orta derecede ayrılmış, orta dayanımlı kumtaşı ve silttaşı formasyona girilmiştir.

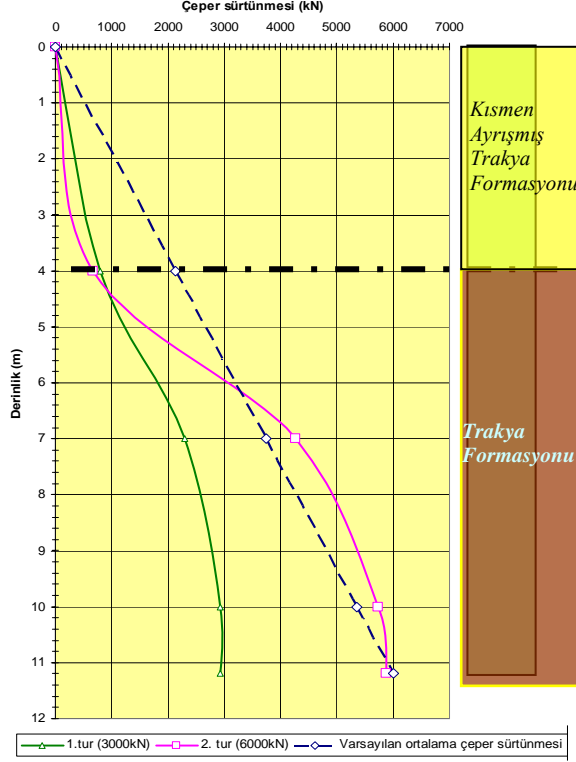
### 8.2 Çeper Sürtünmesi Ölçümleri

Diğer deneyde olduğu gibi bu deney kazığının da imalatı sırasında üçlü setler halinde -4, -7 ve -10 m derinliklerde yerleştirilen vibrating-wire tipi strain gauge'lerin deneyler sırasında okumaları alınmıştır. Bu okumaların frekans-strain dönüşümleri yapılarak kazık kesit alanı ve elastisite modülüne bağlı hesaplanan basınç kuvveti ve buna bağlı olarak çeper sürtünme kuvveti hesaplanmıştır. Deneyde elde edilen yük-oturma diyagramı Şekil 6'da (Zetaş A.Ş., 2006b), sözkonusu ölçümlere dayalı çeper sürtünmesi değerlerinin kazık boyunca doğrusal artan şekilde varsayılan kazık çeper kapasitesi ile karşılaştırması A5 blok için Şekil 7'de, grafiksel olarak sunulmuştur.(Zetaş A.Ş., 2006b).



Şekil 6. A5 Blokta yapılan deneyde ölçülen Yük- Oturma Diyagramı(Zetaş A.Ş. 2006b)





Şekil 7. A5 Blokta yapılan deneyde ölçülen çeper sürtünmesinin varsayılan çeper sürtünmesi ile karşılaştırması (ZETAŞ, 2006b)

## 9. SONUÇLAR

Deney sonuçları ve ilgili değerlendirmelere göre A4 blok ve A5 blok için test edilen test kazıklarının proje yükünün iki katı olan 6000 kN'a kadar tüm kabul kriterlerine uyduğu ve etkiyen maksimum test yüklerini güvenli olarak taşıdığı görülmüştür. Yükün büyük bir kısmının çeper sürtünmesi tarafından taşındığı ve kazık ucun önemli bir yük aktarımı olmadığı görülmüştür. Bu husus, projelendirilmede esas alınan kriteri sağlamaktadır.

A4 ve A5 blok test kazıkları için 3000 kN'a kadar yapılan 1.tur yüklemede çeper sürtünmesi belli bir oranda mobilize olmuş ve uca düşük seviyelerde yük intikal etmiştir. 6000 kN'a kadar kademeler halinde yapılan 2. tur yüklemede çeper sürtünmesinin, -4m derinlikte, 1. turda mobilize olan miktarı aşmadığı gözlenmektedir. Dolayısı ile daha gerçekçi bir yaklaşımda çeper sürtünmesinin üst kısımlarda, düzgün yayılma varsayımına göre daha az, alt kısımlarda ise daha fazlasının olduğunun doğruluğu teyid edilmektedir.

A4 blok test kazığında 2. tur yüklemede 6.2m derinlikte ölçülen çeper sürtünmesi varsayılan çizgisine denk gelmektedir. A5 blok test kazığında ise 2. tur yüklemede 9.5m derinlikte ölçülen çeper sürtünmesi varsayılan çizgisine denk gelmektedir. Deneylerden 6000 kN yük altında oluşan çeper sürtünmesi ortalama değerleri sırası ile Belgrad formasyonu için çok düşük mertebelerde, ayrılmış Trakya formasyonu için sırası ile A4 bloğunda  $35 \text{ kN/m}^2$  ve A5 bloğunda ise  $70 \text{ kN/m}^2$  ve Trakya formasyonu için ise sırası ile A4 bloğunda  $700 \text{ kN/m}^2$  ve A5 bloğunda ise  $300 \text{ kN/m}^2$  olarak mobilize olmuştur.

## **TEŐEKKÜR**

Mashattan konut projesi Taőyapı A.Ő. tarafından inşa edilmekte olup, ilgili yapı denetim Őirketi, Standard Yapı Denetim A.Ő'dir. Taőyapı A.Ő. adına Proje Koordinatörü Sayın Alpaőlan Kızıloğlu, Proje Müdürü Sayın Mustafa Sakarya ve Sayın Cevdet Evgar'a sağladıkları koordinasyon için teŐekkür ederiz. Denetim firmasından Sayın Ali Kùltürel ile geoteknik danıŐmanları Doç. Dr. Tuđrul Özkan'a sağladıkları yararlı görüşler için ayrıca teŐekkür ederiz.

## **KAYNAKLAR**

Tođrol, E., 1970. "Kazıklı Temeller"

Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ő., 2005. "Maslak Vadi Konutları, Ayazađa/İstanbul Pafta 2, Ada 1, Parsel 105 Zemin Etüdü ve Temel Mühendisliği Deđerlendirme Raporu", 01.04.2005

Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ő., 2006a , " Mashattan Projesi A4 Blok Kazık Yükleme Deneyi Dökümantasyon Ve Deđerlendirme Raporu", 22.05.2006

Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ő., 2006b , " Mashattan Projesi A5 Blok Kazık Yükleme Deneyi Dökümantasyon Ve Deđerlendirme Raporu", 09.03.2006