

VAKA ANALİZİ: SİTLİ KUM ZEMİNLERDE ENSTRÜMANTE EDİLMİŞ FORE KAZIK YÜKLEME TESTİNİN (PLT) DEĞERLENDİRİLMESİ

A CASE STUDY: EVALUATION OF INSTRUMENTED BORED PILE LOADING TEST (PLT) IN SILTY SAND SOILS

ALP GÖKALP¹, ŞENOL ADATEPE², AHMET DİNÇ³

ÖZET

Bu bildiri, zayıf siltli, killi ve kumlu tabakalarının hâkim olduğu ve yer altı su seviyesinin zemin yüzeyinin yaklaşık 2.0 metre aşağısında yer aldığı bir inşaat sahasında gerçekleştirilen iki adet enstrümente edilmiş kazık yükleme testi sonuçlarını ele almaktadır. Çalışma kapsamında, kazık boyunca oluşan yük dağılımının belirlenmesini sağlayan enstrümente edilmiş kazık yükleme deneylerinin, performansa dayalı kazık tasarımını mümkün kılarak temel kazıklarının tasarımındaki belirsizlikleri en aza indirdiği gösterilmiştir. Reese Metodu kullanılarak hesaplanan fore kazık taşıma gücü, kazık yükleme test sonuçları ile birlikte değerlendirilerek yöntemin etkinliği araştırılmıştır. Test programı çerçevesinde, bir adet 30.0 metre uzunluğunda ve 900 mm çapında, bir adet de 22.0 metre uzunluğunda ve 630 mm çapında enstrümente edilmiş kazık yükleme testi gerçekleştirilmiş ve sonuçları tartışılmıştır. Yükleme prosedürü olarak ASTM-D1143 hızlı yükleme prosedürü (Quick Load Test) izlenmiş ve kazıklar kapasitelerinin iki katına (%200) kadar yüklenmiştir. Testlerde, deplasman okumaları komparatör ve LVDT'ler ile yapılmış, yük okumaları ise manometre ve yük hücreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir testte 4 seviye ve her seviyede 2 adet gerinim ölçer kullanılarak, yük dağılımının derinlik ile değişimi araştırılmıştır. Proje kapsamında detaylı bir kalite kontrol programı uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derin temel, fore kazık, kazık kapasitesi, enstrümente kazık yükleme deneyleri, zemin-yapı etkileşimi

ABSTRACT

This paper presents the results of two instrumented pile load tests conducted at a construction site characterized by weak silty, clayey, and sandy layers, with the groundwater level approximately 2.0 meters below the ground surface. The study

¹ İnş.Yük. Müh, KASKTAŞ, alp.gokalp@kasktas.com.tr (Sorumlu yazar)

² İnş.Yük. Müh, KASKTAŞ, senol.adatepe@kasktas.com.tr

³ İnş.Yük. Müh, KASKTAŞ, ahmet.dinc@kasktas.com.tr



demonstrates that instrumented pile load tests, which determine the load distribution along the pile, enable performance-based pile design and minimize uncertainties in the design of foundation piles. The bearing capacity of bored piles, calculated using the Reese method, was evaluated in conjunction with the pile load test results to investigate the method's effectiveness. Within the test program, an instrumented pile load test was conducted on a Dia.: 900 mm single pile with a length of 30.0 meters, and another Dia:650 mm pile with a length of 22.0 meters. The loading sequence was in accordance to the ASTM-D1143 quick load test procedure, and the piles were loaded up to twice their capacity (200%). Displacement readings were taken using comparators and LVDTs, while load readings were obtained using manometers and load cells. In each test, strain gauges were employed at four levels, with two gauges per level, to investigate the variation of load distribution with depth. A detailed quality control program was implemented throughout the project.

Keywords: Deep foundation, bored pile, pile capacity, instrumented pile loading tests, soil-structure interaction

1. GİRİŞ

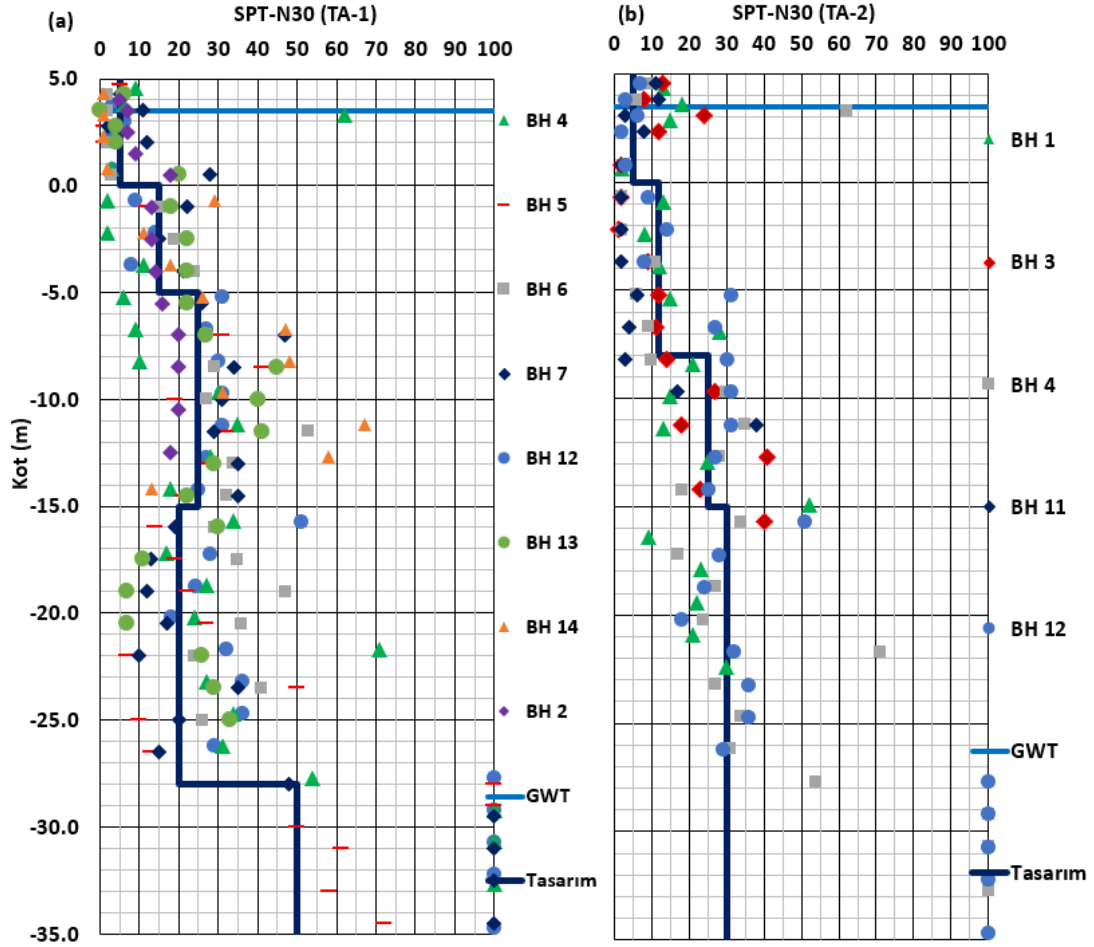
Enstrümante edilmiş kazık yükleme testleri, Geoteknik mühendisliğinde kazık temellerin zemin ile etkileşimini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen en önemli deneysel yöntemlerden biridir. Bu testler, kazıklı temellerin taşıma kapasitesinin ve davranışının doğru bir şekilde belirlenmesi için kritik öneme sahiptir. Test sırasında kazığa uygulanan yükler, kazığın başındaki ve çeşitli derinliklerdeki gerilmeler, deformasyonlar ve diğer ilgili parametreler yüksek hassasiyetli sensörler ile ölçülür. Bu veriler, kazık-zemin etkileşiminin anlaşılmasına ve kazık tasarımının optimize edilmesine yönelik önemli bilgiler sunar. Enstrümante edilmiş kazık yükleme testleri, sahada gerçekleştirilen doğrulama testleri ve laboratuvar deneyleri ile desteklenerek, güvenli ve ekonomik kazık temellerin tasarımı için temel bir referans oluşturur.

Bu çalışma kapsamında, derin alüvyon tabakaların hâkim olduğu bir proje sahasında, temel kazık kapasitelerinin doğrulanması amacıyla iki kazık üzerinde tam ölçekli enstrümante edilmiş statik yükleme testi gerçekleştirilmiş ve sonuçları sunulmuştur.

2. ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanında, 20 adet sondaj yapılmış ve bu sondajlarda standart penetrasyon testi (SPT) ile sondajlardan alınan numuneler üzerinde çeşitli laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Proje sahasında yüzeyden itibaren en üstte 4-6 metre kalınlığında zayıf dolgu tabakası (Tabaka A) bulunmaktadır. Bu tabakanın altında, yaklaşık 20 metre derinliğe kadar devam eden ve heterojen bir yapıya sahip siltli, killi, kum ve düşük plastisiteli alüvyon tabakaları (Tabaka B) yer almaktadır. Tabaka B'nin altında ise kumlu ve çakıllı birimlerden oluşan tabaka (Tabaka C) bulunmaktadır. Yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyinden 1.5 ile 3.5 metre arasında değiştiği saptanmıştır. TA-1 (900 mm Çapında) ve TA-2 (630 mm Çapında) için SPT-N30 değerinin derinlik ile değişimi Şekil-1'de verilmiştir.





Şekil 1. (a) TA-1 ve (b) TA-2 için SPT-N30 değerlerinin derinlik ile değişimi

Her iki test alanı için geoteknik tasarım parametreleri Tablo-1'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Geoteknik tasarım parametreleri

Geoteknik Tasarım Parametreleri- TA-1						
Açıklama	Tabaka Üst Kotu (m)	Tabaka Alt Kotu (m)	SPT-N30 _{ort.}	c (kPa)	ϕ (°)	
Dolgu	5	0	5	0	30	
SM-SC-CL-1	0	-5	15	50	33	
SM-SC-CL-2	-5	-15	25	80	34	
SM-SC-CL-3	-15	-28	20	60	33	
Kum/Çakıl	-28	-	50	0	40	
Geoteknik Tasarım Parametreleri- TA-2						
Açıklama	Tabaka Üst Kotu (m)	Tabaka Alt Kotu (m)	SPT-N30 _{ort.}	c (kPa)	ϕ (°)	
Dolgu	5	0	5	0	30	
SM-SC-CL-1	0	-8	12	35	31	
SM-SC-CL-2	-8	-15	25	75	34	
SM-SC-CL-3	-15	-	30	90	35	



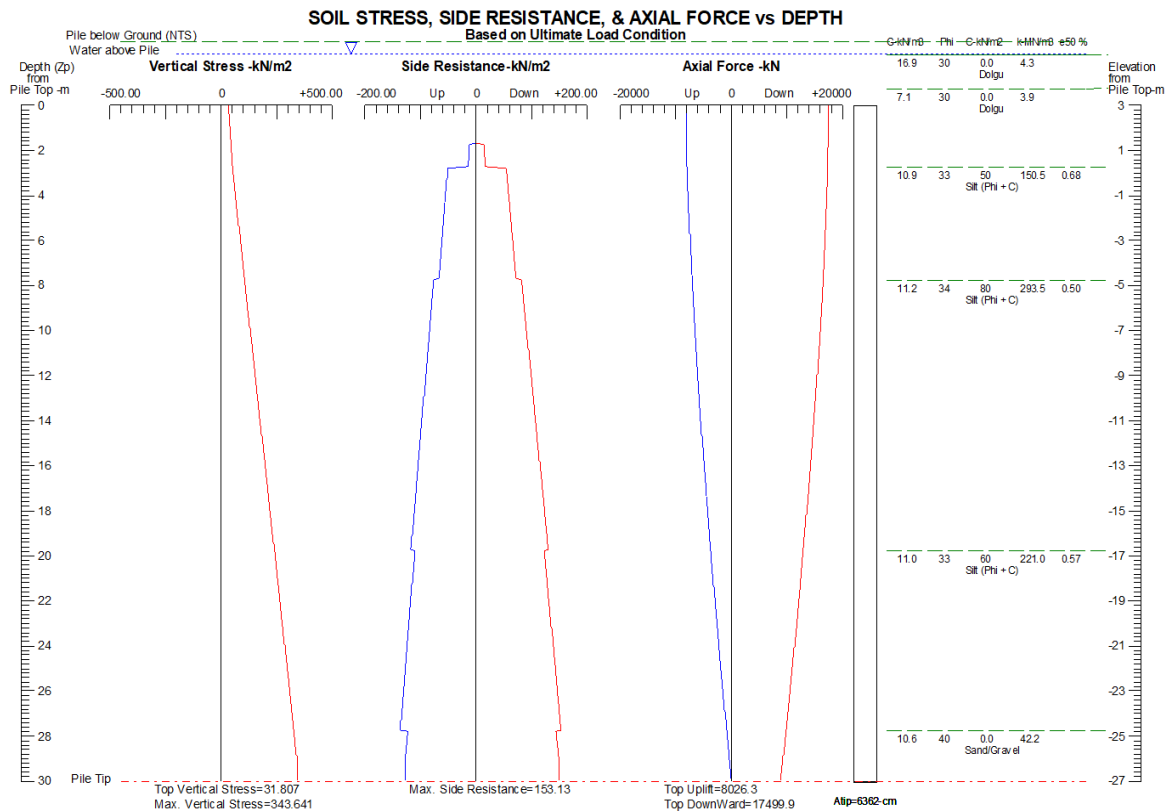
Geoteknik tasarım parametreleri standart penetrasyon testi ve sondajlardan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar testleri birlikte değerlendirilerek hesaplanmıştır.

3. KAZIK TASARIMI

Fore kazık tasarımında Allpile yazılımı ve Reese ve O'Neal (1988) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır.

3.1. TA-1 (900 mm Çapında) Kazık Tasarımı

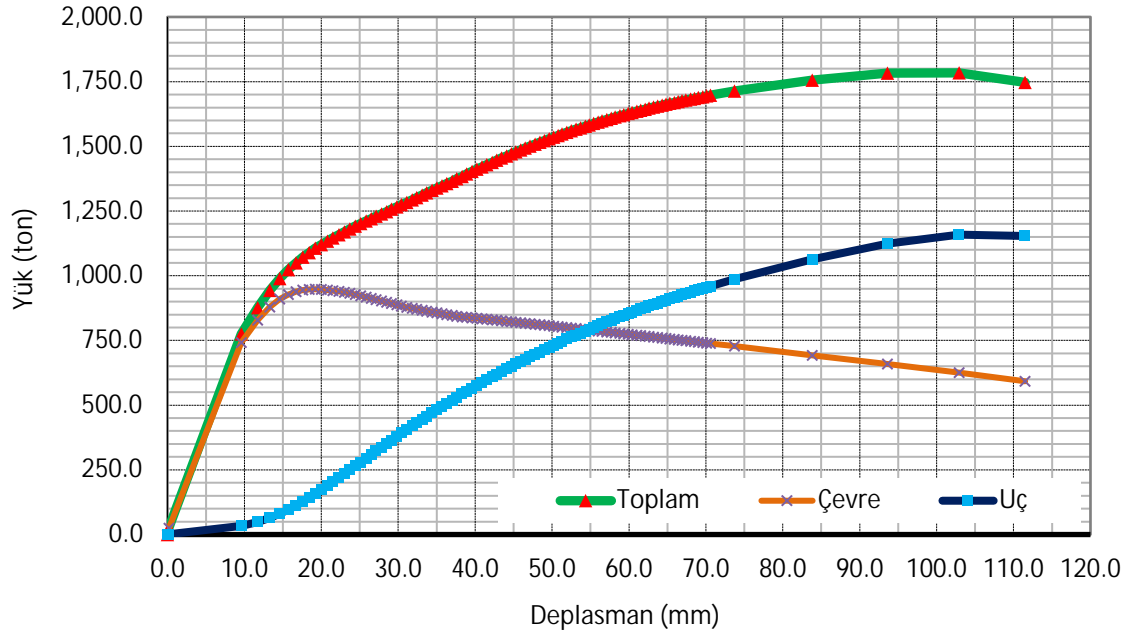
TA-1 900 mm çapında kazık için düşey gerilme, çevre direnci, eksenel yük ve idealize zemin profilinin derinlik ile değişimi Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil 2. TA-1 (900 mm çapında) kazığı için düşey gerilme, çevre direnci, eksenel yük ve idealize zemin profilinin derinlik ile değişimi

Reese ve O'Neal (1988) tarafında geliştirilen yöntem kullanılarak hesaplanan yük-deplasman grafikleri Şekil-3'de verilmiştir.

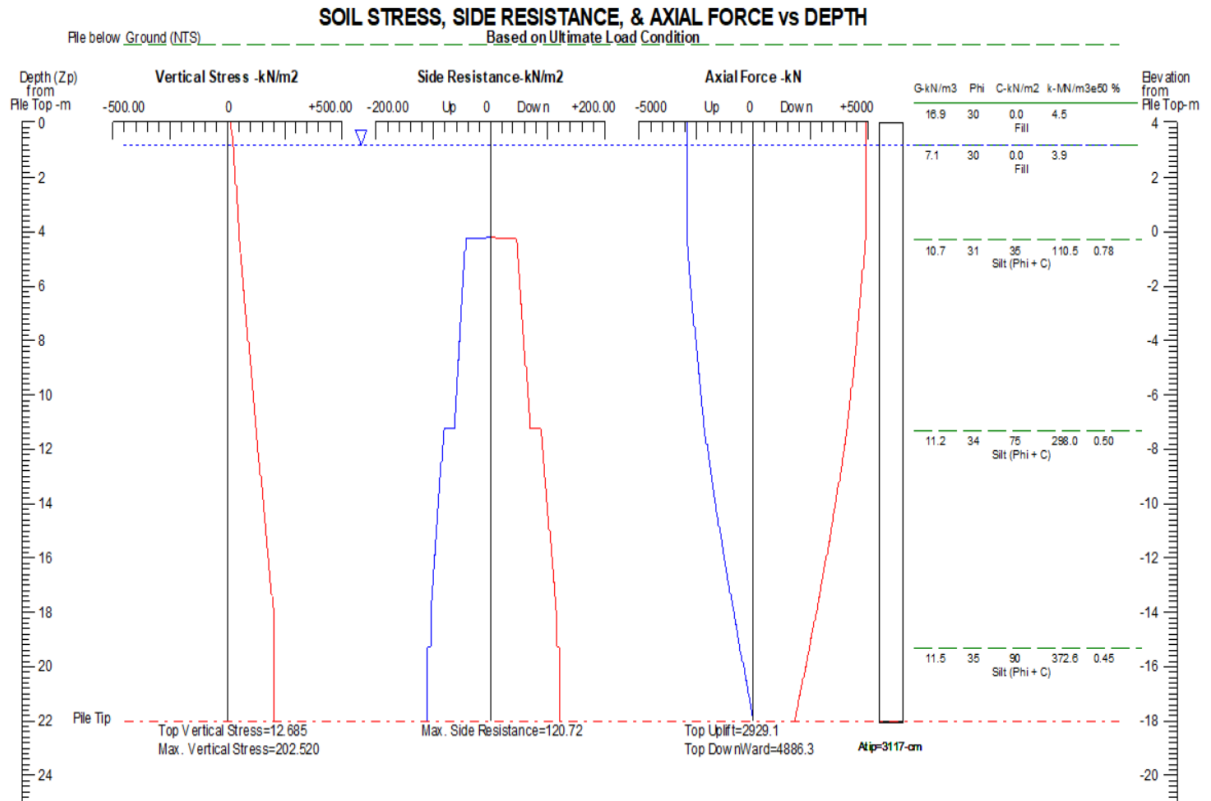




Şekil 3. TA-1 (900 mm çapında) kazığı için hesaplanan yük-deplasman grafikleri

3.2. TA-2 (630 mm Çapında) Kazık Tasarımı

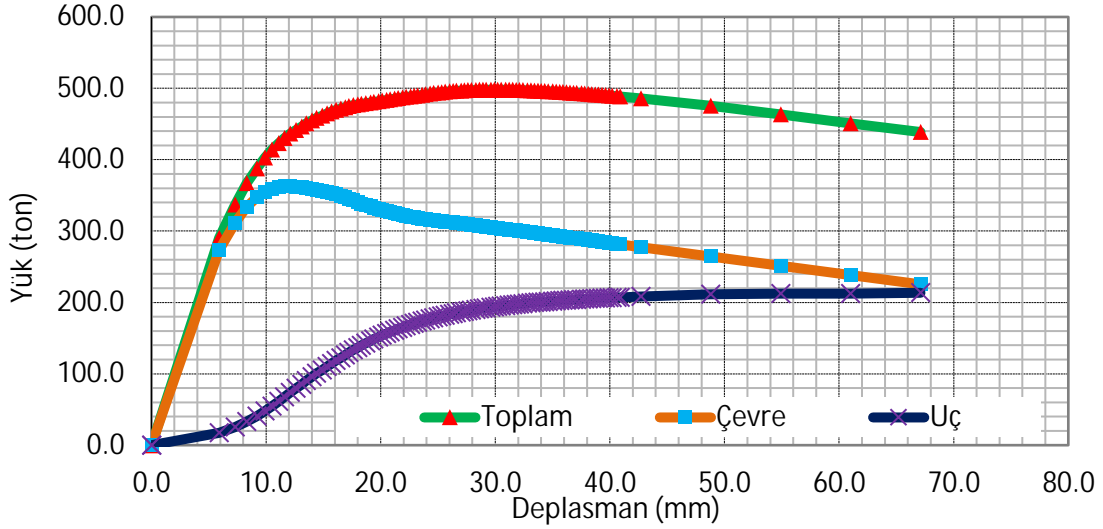
TA-2 630 mm çapında kazık için düşey gerilme, çevre direnci, eksenel yük ve idealize zemin profilinin derinlik ile değişimi Şekil-4'de verilmiştir.



Şekil 4. TA-2 (630 mm çapında) kazığı için düşey gerilme, çevre direnci, eksenel yük ve idealize zemin profilinin derinlik ile değişimi



Reese ve O'Neal (1988) tarafında geliştirilen yöntem kullanılarak hesaplanan yük-deplasman grafikleri Şekil-5'de verilmiştir.

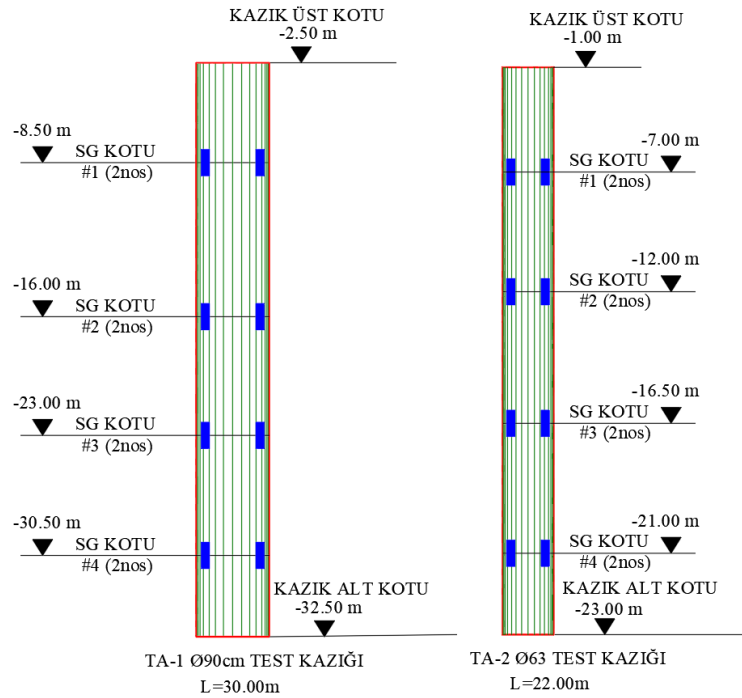


Şekil 5. TA-2 (630 mm çapında) kazık için hesaplanan yük-deplasman grafikleri

4. STATİK YÜKLEME TESTLERİ

4.1. Kazık Enstrümantasyonu

Kazık yükleme testi kapsamında, test kazıklarının en üst seviyesinden statik yükleme yapılmıştır. Test kazıkları için gerinim ölçer (strain gauge) yerleşimi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Gerinim ölçer yerleşim planı



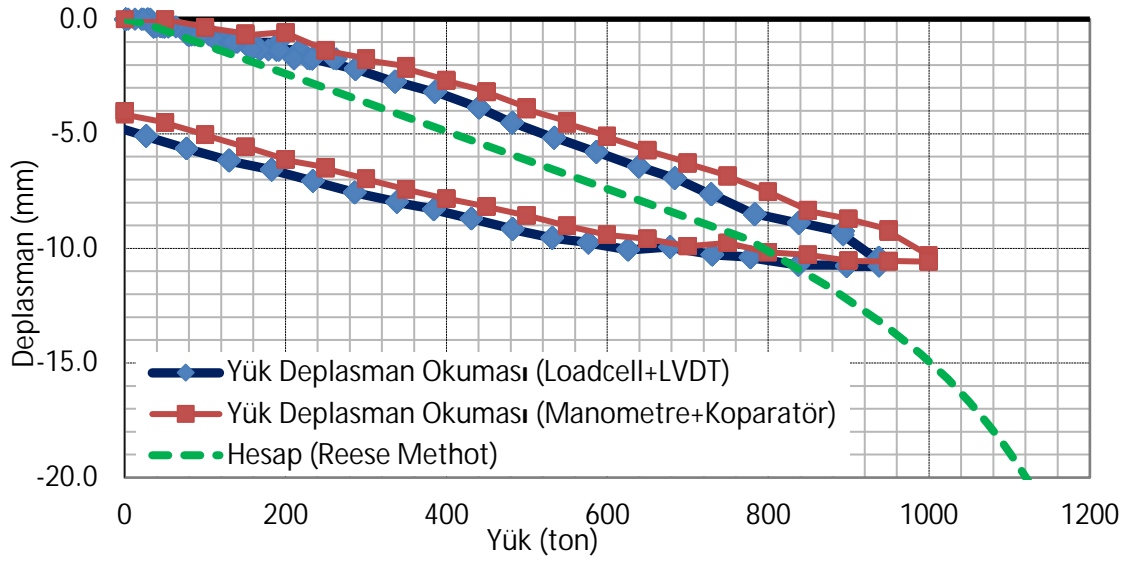
Başlık kirişinin köşelerine iki adet kadranlı göstergeler (komparatör-manuel okuma) ve iki adet LVDT (otomatik okuma) yerleştirilmiştir. LVDT ve yük hücresi okumaları kontrol (ikincil ölçüm) amacıyla kullanılmıştır. Pompa ünitesi için bir, her bir hidrolik krikonun için bir olmak üzere toplam üç adet basınç sensörü (manometre) kullanılmıştır. Test süresince üç basınç sensöründe de anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Test kazıkları için sensör yerleşimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Sensör yerleşimi

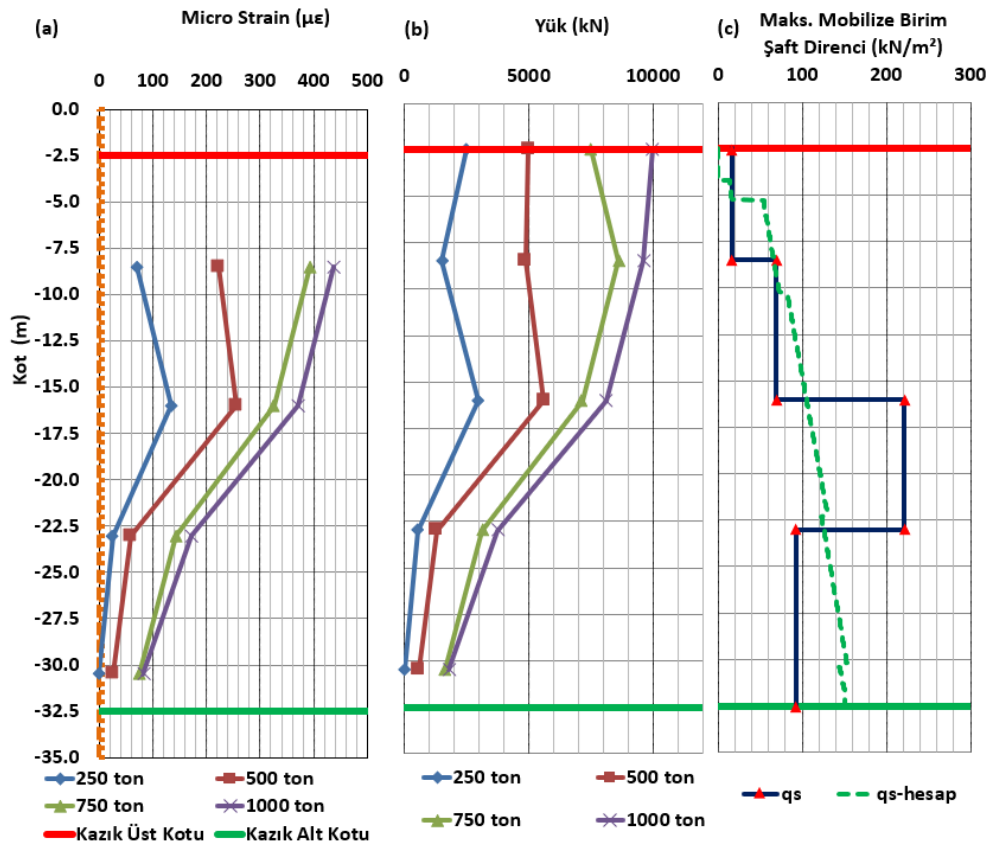
4.2. TA-1 (900 mm Çapında) Statik Yükleme Testi

TA-1 kazığı, kazık kapasitesinin iki katına kadar (%200) test edilmiştir. Yükleme prosedürü olarak ASTM-D1143 hızlı yükleme prosedürü (quick load test) takip edilmiştir. TA-1 kazığına ait yük deplasman grafiği Şekil 8'da verilmiştir.



Şekil 8. TA-1 Yük deplasman grafiği

Statik yükleme testi neticesinde, TA-1 (900 mm Çapında) test kazığında 4,01 mm kalıcı deplasman ve 6,57 mm elastik deplasman elde edilmiştir. Gerinim ölçer okumalarından elde edilen, mikro gerinimin (a), yük (b) birim shaft direnci ve (c) derinlik ile değişimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Mikro gerinimin (a), yük (b) birim shaft direnci ve (c) derinlik ile değişimi

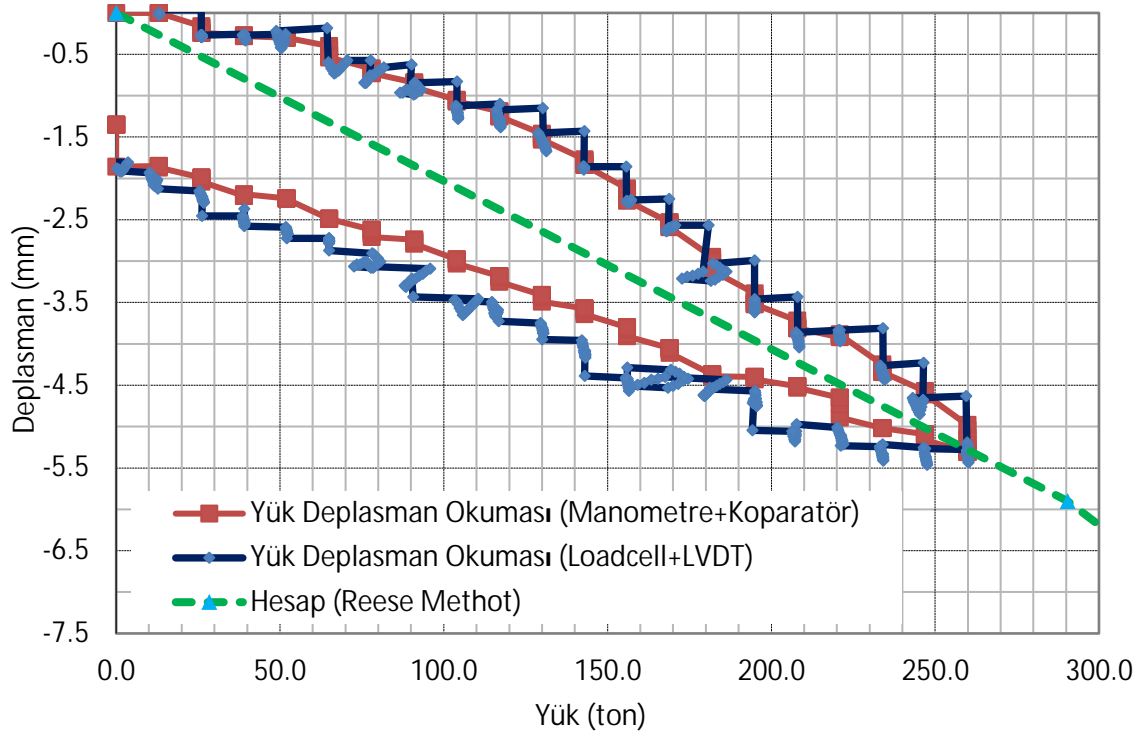


Kazık shaftı boyunca, dört seviyeye ve her seviyeye iki adet yerleştirilen gerinim ölçerlerden elde edilen dört farklı yük kademesinde mikro gerinim ve yükün derinlik ile değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Uygulanan yükün derinlik ile değişimi incelendiğinde, 20 metrelerden sonra uygulanan yükün %50'sinden daha fazlasının sönmüldüğü görülmektedir. TA-1 yükleme deneyinde kazık çevre ve uç dirençlerinin tam olarak birlikte harekete geçirilmediği yani fore kazığın nihai yük taşıma kapasitesine ulaşmadığı anlaşılmaktadır.

3.3. TA-2 (630 mm Çapında) Statik Yükleme Testi

TA-2 kazığı, kazık kapasitesinin iki katına kadar (%200) test edilmiştir. Yükleme prosedürü olarak ASTM-D1143 hızlı yükleme prosedürü (quick load test) takip edilmiştir. TA-2 kazığına ait yük deplasman grafiği Şekil 10'da verilmiştir.

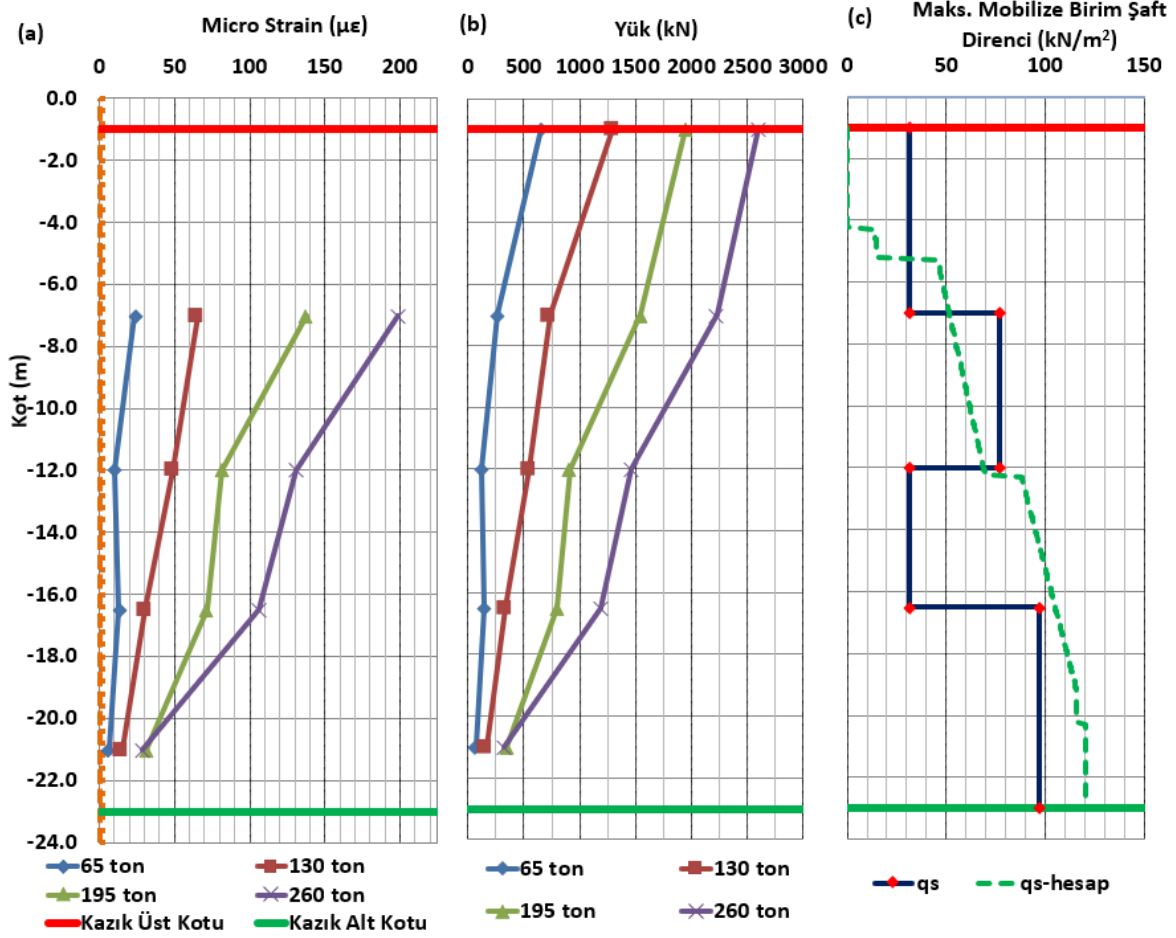
Statik yükleme testi neticesinde, TA-2 630 mm çapında test kazığında 1,35 mm kalıcı deplasman ve 3,96 mm elastik deplasman elde edilmiştir.



Şekil 10. TA-2 Yük deplasman grafiği

Gerinim ölçer okumalarından elde edilen, mikro gerinimin (a), yük (b) birim shaft direnci ve (c) derinlik ile değişimi Şekil 11'de verilmiştir.





Şekil 11. Mikro gerinimin (a), yük (b) birim şaft direnci ve (c) derinlik ile değişimi
Kazık şaftı boyunca, dört seviyeye ve her seviyeye iki adet yerleştirilen gerinim ölçerlerden elde edilen dört farklı yük kademesinde mikro gerinim ve yükün derinlik ile değişimi Şekil 11'de verilmiştir. Uygulanan yükün derinlik ile değişimi incelendiğinde, 12 metrelerden sonra uygulanan yükün %50'sinden daha fazlasının sönmüldüğü görülmektedir. TA-2 yükleme deneyinde kazık çevre ve uç dirençlerinin tam olarak birlikte harekete geçirilmediği yani fore kazığın nihai yük taşıma kapasitesine ulaşamadığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, zayıf siltli, killi, kumlu alüvyon tabakalarının hâkim olduğu bir inşaat sahasında gerçekleştirilen iki adet enstrümante edilmiş fore kazık yükleme testinin sonuçlarını değerlendirmektedir. Araştırma kapsamında, Reese Metodu kullanılarak hesaplanan kazık taşıma gücü ile kazık yükleme testi sonuçları karşılaştırılmış ve yöntemin etkinliği incelenmiştir. Çalışmada 30.0 metre uzunluğunda 900 mm çapında kazıklar ve 22.0 metre uzunluğunda ve 630 mm çapında kazıklar kullanılmış olup, ASTM-D1143 hızlı yükleme prosedürü izlenerek kazıklar test edilmiştir. Testten elde edilen tüm veriler manuel olarak kaydedilmiş ve daha sonra LVDT'ler ve yük hücreleri tarafından otomatik olarak kaydedilen verilerle analiz edilmiştir. Manuel ve otomatik kayıtlar arasında çok iyi bir uyum sağlanmış (%2'nin içinde değerler), bu da test ekipmanının doğruluğunu kanıtlamıştır.



Test sonuçlarına göre, her iki kazıkta da uygulanan yüklerin derinlik ile dağılımı incelendiğinde, TA-1 kazığı için 20 metreden, TA-2 kazığı için ise 12 metreden sonra uygulanan yükün %50'sinden fazlasının sönümlendiği gözlemlenmiştir. Bu durum, fore kazıkların nihai yük taşıma kapasitelerine tam olarak ulaşmadıklarını göstermektedir. TA-1 kazığı için yapılan testlerde, 4.01 mm kalıcı deplasman ve 6.57 mm elastik deplasman elde edilmiştir. TA-2 kazığı için ise 1.35 mm kalıcı deplasman ve 3.96 mm elastik deplasman ölçülmüştür. Gerinim ölçer okumalarından elde edilen veriler, kazık shaftı boyunca yükün derinlik ile değişimini göstermiş ve kazıkların çevre ve uç dirençlerinin birlikte harekete geçirilemediğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, siltli, killi ve kumlu alüvyon zeminlerde fore kazık tasarımında dikkate alınması gereken önemli noktaları işaret etmektedir. Özellikle, kazıkların nihai taşıma kapasitelerine ulaşabilmesi için zemin koşullarının daha detaylı incelenmesi ve uygun tasarım yöntemlerinin seçilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, zayıf siltli kum zeminlerde fore kazıkların taşıma kapasitelerinin doğrulanması ve optimize edilmesi için bu tür detaylı yükleme testlerinin yapılmasının kritik öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın bulguları, gelecekteki kazık tasarımlarında kullanılacak bilgiler sunmaktadır.

KAYNAKLAR

ASTM-D1143_07 Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load.

BS EN ISO 22477-1 :2018: Geotechnical investigation and testing. Testing of geotechnical structures. Testing of columns: static compression load testing

Brown, D. A., Turner, J. P., Castelli, R. J., & Americas, P. B. (2010). Drilled shafts: Construction procedures and LRFD design methods (No. FHWA-NHI-10-016). United States. Federal Highway Administration.

Reese, L.C. & O'Neill, M.W., Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods, U.S. Department of Transportation, FHWA, Office of Implementation, McLean, VA, 1988.

