

Kayaya Soketli Kazıkların Yükleme Deneyi ve Ampirik Yöntemlerle Belirlenen Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Cem AKGÜNER*
Mustafa KİRKİT**

ÖZ

Bu makalede Türkiye’de imal edilmiş on adet kayaya soketli kazığın düşey yük taşıma kapasitesi, yükleme deneyleri ve ampirik yöntemlerle incelenmiştir. Yükleme deneyleri ile taşıma kapasitesini belirlemek için matematiksel modele dayalı ve göçmeye ulaşmamış kazıklar için önerilen yöntemler seçilmiştir. Ampirik yöntemlerde çevre ve uç kapasitesinin ayrı ayrı hesaplanması önerilmektedir. Genel olarak soketli kazıklarda yükün belli bir deplasman değerine kadar çevrede taşındığı, bu eşik değer geçildikten sonra uç direncinin de katkıda bulunduğu kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında yükleme deneyleri ve ampirik yöntemlerle bulunan taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Ampirik yöntemlerde çevre ve uç kapasitelerinin dikkate alınma şartları ve çevre kapasitesinde ulaşılan sınır deplasman değeri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kayaya soketli kazıklar, taşıma gücü, düşey yük, yükleme deneyleri, ampirik yöntemler, deplasman, kapasite mobilizasyonu

ABSTRACT

Comparison of Rock-Socketed Pile Capacities Obtained from Load Testing and Empirical Methods

In this paper, axial bearing capacities of ten rock-socketed piles constructed in Turkey are calculated and compared using load tests and empirical correlations. The load test results are evaluated using suggested approaches from the literature relying on mathematical models proposed for non-failed piles. Empirical correlations typically determine the skin friction and end bearing of piles separately. Generally skin friction governs the capacity of rock-socketed piles until a threshold displacement is reached; after which point the tip resistance has a significant contribution. In this study the most appropriate empirical methods for determining the skin and tip capacities under different conditions are discussed. Furthermore, the limit displacement value for skin friction is examined.

Keywords: Rock-socketed piles, load capacity, axial load, load tests, empirical methods, displacement, capacity mobilization

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 04.11.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - akguner@yildiz.edu.tr

** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - mkirkit@yildiz.edu.tr

1. GİRİŞ

Gökdelenler, kule yapısı, köprü/viyadük ayakları gibi projelerde, üst yapıdan gelen yüksek mertebedeki yüklerin taşıtılması veya oturmaların sınırlandırılması söz konusu olduğunda temel sistemi olarak düşünülen kazıklar, gerektiğinde ana kaya tabakası içine soketlenmektedir. Soketli kazıkların tasarımı, yapı yüklerini aktarma özelliklerine göre üç farklı şekilde yapılmaktadır [1,2]. Bunlar;

- (a) Uçta taşıma
- (b) Çevrede taşıma
- (c) Hem uç hem de çevrede taşıma şeklinde sıralanabilir.

Kayaya soketli kazık temellerin taşıma kapasitesi, kazık yükleme deneyleri yapılarak, literatürde önerilen ampirik yöntemler kullanılarak veya nümerik analizler ile incelenebilir. Kazık yükleme deneyleri kazık taşıma kapasitesini belirlemek veya kazığın yük-deplasman davranışını belirlemek amacıyla test kazığı üzerinde yapılan deneylerdir. Bu yaklaşım, kazık temelini içinde bulunacağı zemin şartlarını da dikkate alan gerçek ölçekli bir model deney olması nedeniyle kazık davranışını ve kapasitesini belirlemek için en sağlıklı yöntem olarak kabul edilmektedir.

Büyük çaplı soketli fore kazıklara yapılan yükleme deneyleri sonuçlarına göre, çevre kapasitesinin aşılması için kazığın ortalama 5 mm deplasman yapması gerektiği bulunmuştur [3]. Bir başka çalışmada ise bu değerin 6,35 mm olarak alınması önerilmiştir [4]. Bunun yanında, Türkiye’de uygulanan soketli kazıklar için tipik olarak 10 mm deplasmana kadar tüm yükün soket çevresinde taşındığı kabul edilmektedir [5]. Bu çalışma kapsamındaki kazık yükleme deneyleri sonuçlarının ampirik yöntemlerle değerlendirilmesinde, en büyük yüklemeye karşı gelen deplasmanların literatürde önerilen 6,35 mm altında kalması durumunda uygulanan yükün çevre sürtünmesiyle karşılandığı kabul edilmiştir. Bu limit deplasman aşıldıktan sonra ise çevre direncinin tamamen sifira inmediği, toplam taşıma gücünün tahmini için çevre ve uç kapasitesinin birlikte hesaba katılması gerekliliği dikkate alınmıştır.

Bu makale kapsamında yapılan çalışmada, Türkiye’de gerçekleştirilmiş kazık yükleme deneylerinden oluşturulmuş veritabanında [6] yer alan on adet kayaya soketli kazık, taşıma kapasitesi yönünden analiz edilmiştir. Analiz için kazık yükleme deneyi sonucunda elde edilen yük – deplasman eğrisi ve literatürde önerilen ampirik yöntemler kullanılmıştır.

2. SOKETLİ KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ

İncelenen kazık yüklemelerinin tamamı, yavaş kademeli, standart eksenel basınç yükleme deneyleridir [7]. Hiçbir deneyde kazıklar göçme yüküne ulaşmamıştır. Deneyler İstanbul, Ankara, Eskişehir ve Mersin şehirlerinde gerçekleştirilmiştir. Kazık çapları, boyları, soket boyları ve soketlendiği kaya türleri Çizelge 1’de verilmektedir. Kayanın serbest basınç mukavemeti değerleri “ σ_c ” ilk yedi deney için arazide yapılan deneylere bağlı olarak hesap edilmiştir. TK-8, TK-9 ve TK-10 numaralı deneylerde ise arazide sağlam masif kaya kütesinden alınan numuneler üzerinde laboratuarda mukavemet deneyi yapılarak kaya serbest basınç mukavemeti değerleri bulunmuştur.

Çizelge 1. Kazık yükleme deneylerine ait veriler

Deney No	Şehir	Kaya Tipi	D (m)	L (m)	L _s (m)	L _s /L	σ_c (MPa)	Q _{max} (MN)	Δ_{max} (mm)
TK-1	Ankara	Marn	0,8	10	1,5	0,15	1,6	5,5	42,10
TK-2	Ankara	Fillit	1,65	42	6	0,15	1,7	12	3,53
TK-3	Ankara	Şist	0,8	15	11	0,70	2,2	8,8	13,75
TK-4	Ankara	Şist	0,8	20	16	0,80	2,2	5,9	3,32
TK-5	İstanbul	Grovak	0,8	11,2	2,2	0,20	0,8	6	6,02
TK-6	İstanbul	Grovak	0,8	11,2	6,4	0,60	0,9	6	3,05
TK-7	Mersin	Kiltaşı	0,9	20	8,5	0,40	1,1	7	9,10
TK-8	Eskişehir	Kireçtaşı	1,2	15,5	5,2	0,35	36,8	5,5	2,13
TK-9	Eskişehir	Dolomit	1,2	9,5	5	0,55	41,5	9,8	2,20
TK-10	Eskişehir	Dolomit	1,2	18	7	0,40	23,8	9,8	4,07

3. YÜKLEME DENEYLERİ İLE TAŞIMA KAPASİTESİ BELİRLENMESİ

Kazık yükleme deneyleri ile taşıma kapasitesini belirlemek için, matematiksel yaklaşımlara dayanan ve göçmeye ulaşmamış kazıklar için önerilen Chin-Kondner [8], Decourt [9] ve Chin-Kondner ve Davisson [10] metotları kullanılarak önerilmiş Tolosko [11] yöntemleri uygulanmıştır. Değerlendirme sonucunda bulunan taşıma kapasiteleri Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Yükleme deneyi sonucuna göre bulunan toplam taşıma güçleri

Deney No	Toplam Taşıma Kapasitesi Q _u (MN)		
	Chin-Kondner	Decourt	Tolosko
TK-1	6	6,1	6,2
TK-2	14,7	14,1	14,7
TK-3	11,5	12,1	11,5
TK-4	8,5	11,7	8,6
TK-5	7,8	7,1	7,8
TK-6	10,5	11	10,4
TK-7	13,7	13,2	13,7
TK-8	8,8	9	8,9
TK-9	33,3	34,2	33,3
TK-10	25	22,7	25

4. AMPİRİK YÖNTEMLER

Kayaya soketli kazıkların taşıma kapasiteleri çeşitli ampirik (deneye dayalı) yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Bu yöntemler kazık yükleme deneylerinin geri çözümlemesi ile elde edilmiştir. Hesaplarda çoğunlukla dikkate alınan zemin parametresi kaya serbest basınç mukavemeti, σ_c , değeridir. Ampirik yöntemler genel olarak çevre ve uç kapasitesini ayrı ayrı dikkate almaktadır. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yaklaşımlar Eşitlik 1’de olduğu gibi genelleştirilebilir:

$$q_{\max}, \tau_{\max} = A \cdot (\sigma_c)^B \quad (1)$$

q_{\max} : Uç taşıma kapasitesi (MPa)

τ_{\max} : Çevre taşıma kapasitesi (MPa)

A ve B: Taşıma gücü katsayıları

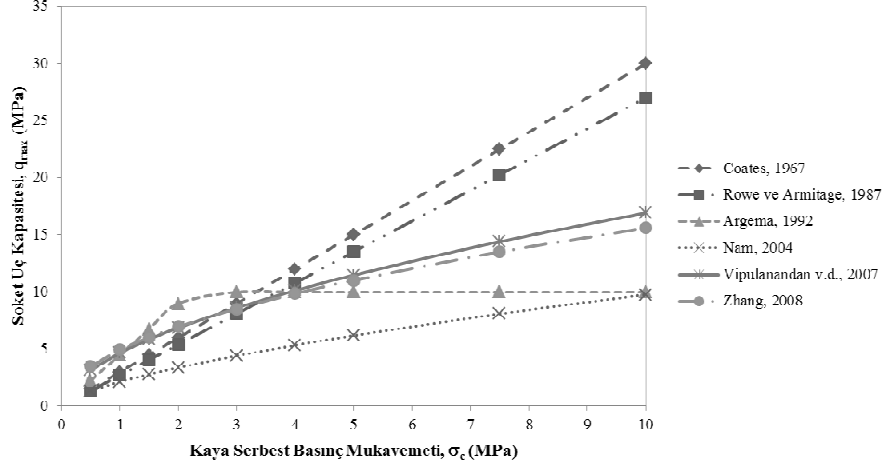
Birim uç ve çevre kapasitesini öneren ampirik metotlar Çizelge 3 ve Çizelge 4’de sırasıyla verilmiştir ve bu yöntemler Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Birim uç kapasitesini öneren ampirik yöntemler

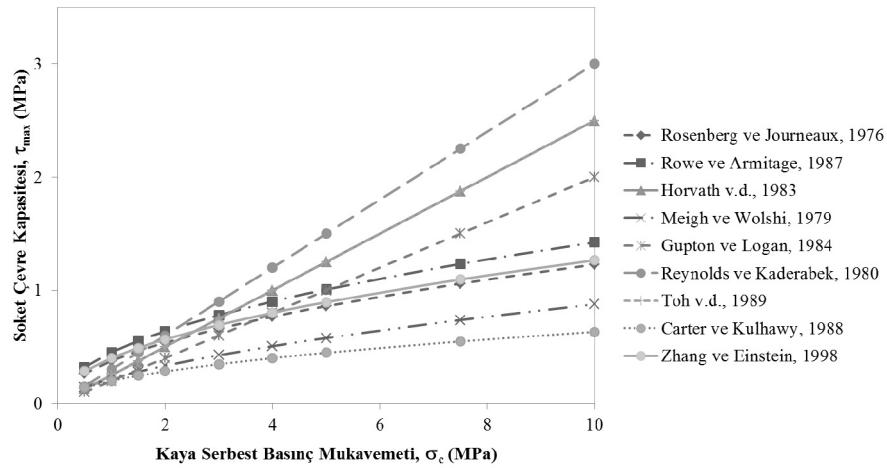
Yöntem	A	B	Açıklama	Kaynak
Coates, 1967	3	1		[12]
Rowe & Armitage, 1987	2,7	1		[12]
Argema, 1992	4,5	1	≤ 10 Mpa	[12]
Nam, 2004	2,14	0,66	3 adet yükleme deneyi	[13]
Vipulanandan vd., 2007	4,66	0,56	21 adet yükleme deneyi	[14]
Zhang, 2008	4,93	0,5	50 adet yükleme deneyi	[12]

Çizelge 4. Birim çevre kapasitesi için önerilmiş ampirik yöntemler

Yöntem	A	B	Açıklama	Kaynak
Rosenberg & Journeaux, 1976	0,375	0,515		[5]
Rowe & Armitage, 1987	0,45	0,5	R1, R2 ve R3 pürüzlülük [18]	[15]
Rowe & Armitage, 1987	0,6	0,5	R4 pürüzlülük [18]	[15]
Horvath v.d., 1983	0,2-0,3	1	0,25 alınabilir	[4]
Meigh & Wolshi, 1979	0,22	0,6		[16]
Gupton & Logan, 1984	0,2	1		[16]
Reynolds & Kaderabek, 1980	0,3	1		[16]
Toh v.d., 1989	0,25	1		[16]
Carter & Kulhawy, 1988	0,2	0,5		[16]
Zhang & Einstein, 1998	0,4	0,5	Düz Soket	[17]
Zhang & Einstein, 1998	0,8	0,5	Pürüzlü Soket	[17]



Şekil 1. Uç kapasitesini öneren ampirik yöntemlerin grafiksel gösterimi



Şekil 2. Çevre kapasitesi için önerilmiş olan ampirik yöntemler

4.1. Veri Tabanında Bulunan Soketli Kazıkların Ampirik Yöntemler ile Analizi

Yukarıda verilen ampirik yöntemler ile veri tabanında bulunan kayaya soketli kazıklar çevre ve uç taşıma kapasitesi yönünden karşılaştırılmıştır. Birim uç taşıma kapasiteleri Çizelge 5’de ve birim çevre taşıma kapasiteleri Çizelge 6’da verilmektedir. Birim çevre taşıma kapasiteleri hesaplanırken soket pürüzlülüğü bilinmediğinden güvenli tarafta kalacak şekilde daha küçük değerler veren, “Rowe ve Armitage, 1987” yönteminde R1, R2, ve R3 pürüzlülük için önerilen formül ve “Zhang ve Einstein, 1998” yönteminde ise düz soketler için önerilen formül dikkate alınmıştır.

Çizelge 5. Veri tabanında bulunan soketli kazıkların ampirik yöntemlerle elde edilen birim uç taşıma kapasiteleri

Deney No	σ_c (MPa)	Soket Birim Uç Kapasitesi (MPa)					
		Coates, 1967	Rowe ve Armitage, 1987	Argema, 1992	Nam, 2004	Vipulanandan v.d., 2007	Zhang, 2008
TK-1	1,6	4,80	4,32	7,20	2,92	6,06	6,24
TK-2	1,7	5,10	4,59	7,65	3,04	6,27	6,43
TK-3	2,2	6,60	5,94	9,90	3,60	7,25	7,31
TK-4	2,2	6,60	5,94	9,90	3,60	7,25	7,31
TK-5	0,8	2,40	2,16	3,60	1,85	4,11	4,41
TK-6	0,9	2,70	2,43	4,05	2,00	4,39	4,68
TK-7	1,1	3,30	2,97	4,95	2,28	4,92	5,17
TK-8	36,8	110,40	99,36	165,60	23,11	35,10	29,91
TK-9	41,5	124,50	112,05	186,75	25,02	37,54	31,76
TK-10	23,8	71,40	64,26	107,10	17,34	27,50	24,05

Çizelge 6. Veri tabanında bulunan soketli kazıkların ampirik yöntemler kullanılarak hesaplanan çevre taşıma kapasitesi değerleri

Deney No	σ_c (MPa)	Soket Birim Çevre Kapasitesi (MPa)								
		Rosenberg ve Journeaux, 1976	Rowe ve Armitage, 1987	Horvath v.d., 1983	Meigh ve Wolshi, 1979	Gupton ve Logan, 1984	Reynolds ve Kaderabek, 1980	Toh v.d., 1989	Carter ve Kulhawy, 1988	Zhang ve Einstein, 1998
TK-1	1,6	0,48	0,57	0,40	0,29	0,32	0,48	0,40	0,25	0,51
TK-2	1,7	0,49	0,59	0,43	0,30	0,34	0,51	0,43	0,26	0,52
TK-3	2,2	0,56	0,67	0,55	0,35	0,44	0,66	0,55	0,30	0,59
TK-4	2,2	0,56	0,67	0,55	0,35	0,44	0,66	0,55	0,30	0,59
TK-5	0,8	0,33	0,40	0,20	0,19	0,16	0,24	0,20	0,18	0,36
TK-6	0,9	0,36	0,43	0,23	0,21	0,18	0,27	0,23	0,19	0,38
TK-7	1,1	0,39	0,47	0,28	0,23	0,22	0,33	0,28	0,21	0,42
TK-8	36,8	2,40	2,73	9,20	1,91	7,36	11,04	9,20	1,21	2,43
TK-9	41,5	2,55	2,90	10,38	2,06	8,30	12,45	10,38	1,29	2,58
TK-10	23,8	1,92	2,20	5,95	1,47	4,76	7,14	5,95	0,98	1,95

5. KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ İLE AMPİRİK YÖNTEMLERLE ELDE EDİLEN TAŞIMA KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

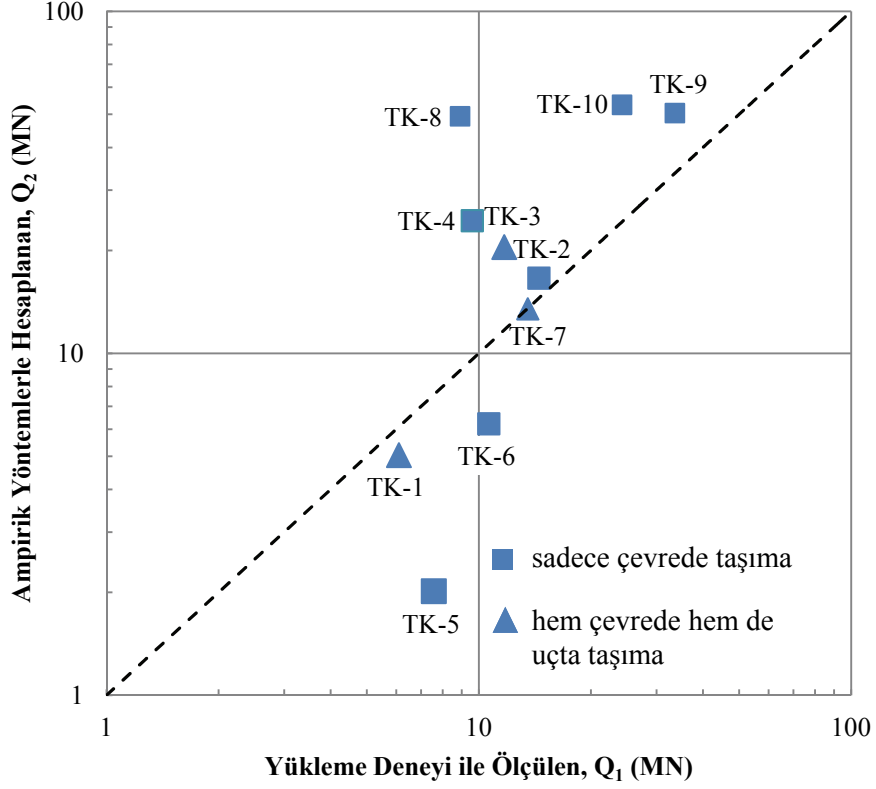
Veri tabanında bulunan soketli kazıkların taşıma kapasiteleri, kazık yükleme deneyleri sonuçlarına göre Çizelge 2’de özetlenmiştir. Kazıklar göçene kadar yüklenmediğinden, gerçek taşıma kapasiteleri bilinmemektedir. Bu nedenle her bir kazık için taşıma kapasitesi olarak, farklı yöntemlerle bulunan sonuçların ortalaması kabul edilmiştir.

Şekil 1 ve Şekil 2 incelenerek, önerilen yöntemler arasından uç kapasitesi için “Vipulanandan v.d. (2007)” ile “Zhang (2008)” yöntemi, çevre kapasitesi için “Rosenberg ve Journeaux, 1976”, “Rowe ve Armitage, 1987” ve “Zhang ve Einstein, 1998” yöntemleri tercih edilmiştir. Bunun nedeni, seçilenlerin diğerlerine göre daha dar bir aralıkta sonuçlar vermesi ve eşitliklerin tipik zemin davranışına benzer şekilde non-lineer olmasıdır. TK1, TK3 ve TK7 numaralı deneylerde deplasmanlar Rosenberg ve Journeaux tarafından önerilen 6,35 mm değerini aşmıştır ve toplam taşıma kapasitesini hesaplamak için çevre ve uç kapasitesi birlikte dikkate alınmıştır. Bunların dışındaki deneylerde yükün büyük kısmının çevrede taşındığı kabul edilmiş ve uç taşıma kapasitesi ihmal edilmiştir. Kazık toplam taşıma kapasitesini belirlenmesinde çevre ve uç için seçilen yöntemlerin ortalama değeri esas alınmıştır.

Yükleme deneyi ile bulunan taşıma kapasiteleri ile ampirik yöntemlerle bulunan yük taşıma kapasiteleri Çizelge 7’de verilmektedir ve Şekil 6’da sonuçların karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 7. Yükleme deneyi ve ampirik yöntemlerle bulunan kazık toplam kapasite değerleri

Deney No	Q _u (MN)		Q ₁ /Q ₂
	Yükleme Deneyi, Q ₁	Ampirik Yöntem, Q ₂	
TK-1	6,1	5,0	1,21
TK-2	14,5	16,6	0,87
TK-3	11,7	20,5	0,57
TK-4	9,6	24,4	0,39
TK-5	7,6	2,0	3,75
TK-6	10,6	6,2	1,71
TK-7	13,5	13,5	1,00
TK-8	8,9	49,4	0,18
TK-9	33,6	50,4	0,67
TK-10	24,2	53,3	0,45



Şekil 6. Yükleme deneyi ile ampirik yöntemlerin karşılaştırılması

6. SONUÇLAR

Veri tabanında bulunan soketli kazıklara ait yükleme deneylerinin yorumlanması ile elde edilen kazık taşıma kapasiteleri incelendiği zaman kazıkların kaya ortamı içinde bulunması ve çaplarının büyük olması göz önünde bulundurulduğunda çıkan sonuçların uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Yükleme deneyleri ile kazık kapasitesini belirlemek adına göçmeye ulaşmamış kazıklar için önerilen matematiksel modele dayalı yöntemlerle bulunan değerler karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın çıktığı gözlenmiştir.

Veri tabanında bulunan kazıkların taşıma kapasitesi ampirik yöntemlerle belirlenmiştir ve analizlerde sadece çevre sürtünmesinin önem kazandığı 6,35 mm sınır deplasman dikkate alınmıştır. Ampirik yöntemler ile elde edilen sonuçlar, kazık yükleme deneylerine bağlı sonuçlar ile karşılaştırılmış ve genel anlamda aralarında çok büyük bir fark oluşmadığı görülmüştür. Burada yükleme deneyi doğrudan ilgili kazığın içinde bulunduğu zemin şartlarında yapıldığı için, bulunan taşıma kapasitesi kazığın gerçek taşıma kapasitesi olarak dikkate alınmıştır. TK-5 ve TK-8 numaralı deneylerde ölçülen ve hesaplanan kapasiteler

arasındaki farkın çok büyük çıkmasının nedeni, bu deneyler için laboratuvarında ölçülen kaya serbest basınç mukavemeti değerlerinin arazideki durumu yansıtamaması olarak değerlendirilmek mümkündür.

Semboller

a	Tolosko yönteminde doğru eğimi
A	Taşıma gücü katsayısı
b	Tolosko yönteminde düşey eksen kesen değer
B	Taşıma gücü katsayısı
C_1	Chin - Kondner ve Decourt yönteminde doğru eğimi
C_2	Chin - Kondner ve Decourt düşey eksen kesen değer
D	Kazık çapı
Δ	Deplasman
E	Kazık elastisite modülü
L	Kazık boyu
L_s	Soket boyu
Q_{max}	Yüklemeye deneyinde uygulanan en büyük yük
q_{max}	Kazık ucunda birim taşıma direnci
Q	Yük
Q_1	Yüklemeye deneyi ile bulunan taşıma kapasitesi
Q_2	Ampirik eşitliklerle bulunan taşıma kapasitesi
Q_s	Kazık çevresinde taşınan yük
Q_u	Kazık taşıma kapasitesi
S	Davisson kriterinde kullanılan eşitlik
σ_c	Kaya serbest basınç mukavemeti
τ_{max}	Kazık çevresinde birim taşıma kapasitesi
X	Davisson kriterinde kullanılan eşitlik

Teşekkür

Çalışmalarımızda değerli bilgilerini bizden esirgemeyen Hocalarımız Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM'a ve Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM'a, deneylerle ilgili veri araştırmalarımızda bize yardımcı olan Dr. Oğuz ÇALIŞAN'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Williams, A.F. ve Pells, P.J.N., Side Resistance of Rock Sockets in Sandstone, Mudstone and Shale, Canadian Geotechnical Journal, 18, 502-513, 1981.
- [2] Canadian Geotechnical Society, Canadian Foundation Engineering Manual 4th Edition, Bitech Publishers Ltd, Vancouver B.C., 2006.
- [3] Horvath, R. G., Kenney, T.C. ve Kozicki, P., Methods of Improving the Performance of Drilled Piers in Weak Rock, Canadian Geotechnical Journal, 20(4), 758 – 772, Ottawa, Canada, 1983.
- [4] Rosenberg, P. ve Journeaux, N. L., Friction and End Bearing Tests on Bedrock for High Capacity Socket Design, Canadian Geotechnical Journal, 13, 324-333, Ottawa, Canada, 1976.
- [5] Yıldırım, S., Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, 3. Basım, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.
- [6] Kirkit, M., Türkiye'de Yapılmış Kazık Yükleme Deneylerinden Veri Tabanı Oluşturulması ve Veri Tabanında Bulunan Kayaya Soketli Fore Kazıkların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [7] D 1143 \ D 1143M, American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load, United States, 2007.
- [8] Chin, F. K., Estimation of the Ultimate Load of Pile Not Carried to Failure, Proceedings 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore, 81-90, 1970.
- [9] Decourt, L., Behavior of Foundations under Working Load Conditions, Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Foz Dulguassu, 4:453-488, Brazil, 1999.
- [10] Davisson, M.T., High Capacity Piles, Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction, American Society of Civil Engineers, ASCE, Illinois Section, Chicago, 81-22, 1972.
- [11] Tolosko, T.A., “Extrapolation of Pile Capacity From Non-Failed Load Tests”, Master of Science in Civil Engineering Thesis, University of Massachusetts Lowell, 1999.
- [12] Zhang, L., Predicting The End Bearing Capacity of Rock Socketed Shafts, Deep Foundations Institute, 33rd Annual & 11th International Conference on Deep Foundations, October 15-17, New York, USA, 307-316, 2008.
- [13] Nam, M. S., Improved Design for Drilled Shafts in Rock, PhD Thesis, University of Houston, Houston, TX, 2004.
- [14] Vipulanandan, C. , Hussain, A. ve Usluogulari, O., Parametric Study of Open Core-Hole on the Behavior of Drilled Shafts Socketed in Soft Rock, Contemporary Issues in Deep Foundations, Proc. Of Geo-Denver 2007, Geotechnical Special Publication No.158, Denver, Colorado, 1-10, 2007.

- [15] Rowe, R. K ve Armitage, H. H., A Design Method for Drilled Piers in Soft Rock, Canadian Geotechnical Journal, 24(1), 126 – 142, Ottawa, Canada, 1987.
- [16] Zhang, L., Drilled Shafts in Rock, A.A. Balkema Publishers, Leiden, 2004.
- [17] Zhang, L. ve Einstein, H. H., “End Bearing Resistance of Drilled Shafts in Rock”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(7), 574-584, ASCE, 1998.
- [18] Pells, P.J.N. , Rowe, R.K ve Turner, R.M., An Experimental Investigation into Side Shear for Socketed Piles in Sandstone, Proceedings of The International Conference on Structural Foundations on Rock, Vol.1, Sydney, Australia, 291-302, 1980.