

## Haliç'in zemin özellikleri - yeni bir değerlendirme

**Ergün TOĞROL\***, **Yalçın EYİĞÜN**, **Serkan KÜMAN**, **Ülkü Ebru YILDIRIM**

*İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Raylı Sistemler Müdürlüğü, Azapkapı, 34420, İstanbul*

### Özet

*Haliç üstünde inşa edilen ve edilmekte olan Haliç Köprüsü, Yeni Galata Köprüsü, Haliç Metro Geçiş Köprüsü sondajlarından ve yapım sırasında elde edilen bilgiler, bu bölgedeki zeminlerin özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır. Membadan mansaba doğru bu köprüler Haliç Köprüsü, Haliç Metro Geçiş Köprüsü, Yeni Galata Köprüsü olarak sıralanmaktadır. Yeni Galata Köprüsü kazıklarının girdiği çakıl tabakası, yaklaşık 80 m derinliktedir. Haliç Metro Metro Geçiş Köprüsü ekseninde kaya tabakasının derinliği, Azapkapı tarafında 55 metreden, Unkapanı tarafında 80 metreye alçalmaktadır. Yeni Galata Köprüsü kazıklarının oturduğu çakıl tabakası, Haliç Metro Geçiş Köprüsü yerindeki kaya tabakasına göre yatay olarak kabul edilebilir. Buna karşılık, Haliç Metro Geçiş Köprüsü'nün Unkapanı tarafında taban kayasında derin bir çukur bulunmaktadır. Böyle bir çukurun varlığı, Haliç'te kaya yüzeyinin enine ve boyuna doğrultudaki genel eğimlerine uymayan bir durum oluşturmaktadır. Kaya tabakaları çok yumuşak, kalın kil/silt tabakaları ile örtülüdür. Kıyılarda kalın şehir dolgusu bulunmaktadır. Yumuşak tabakaların üst yüzü hemen hemen yataydır ve bu durum zeminin yüksek su muhtevasını yansıtmaktadır. Likit limit kıvamında tabakalar, bir çanak şeklindeki taban kayasını doldurmaktadır. Haliç'in büyük eksen boyunca kaya tabakasının derinliği, Haliç'in ağız kısmına doğru büyük bir eğimle alçalmakta ve 80 m kadar derinliğe ulaşmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** *Haliç (Golden Horn), yumuşak killi zeminler, çatlaklı ayrılmış kayalar.*

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ergün TOĞROL. togrol@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 47.

Makale metni 01.08.2011 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.08.2011 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 29.02.2012 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Toğrol, E., Eyigün, Y., Küman, S., Yıldırım, Ü.E., (2011) 'Haliç'in zemin özellikleri - yeni bir değerlendirme', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 4, 81-91" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

## Reappraisal of properties soils encountered in the Golden Horn

### Extended abstract

*The Golden Horn is a seven and half kilometres long natural inlet of Boğaziçi Strait. It has a maximum width of about 700 m near its entrance. At its deepest part its depth is 40 m. The Golden Horn divides historical part of the city from the rest.*

*The geology of the Istanbul area has been studied by many investigators. Penck was first to recognize the shales and graywackes as the oldest of the formations encountered in the area. He named them as the Thrace series. Subsequent investigations indicated the existence of various lithological and paleontological zones in Thrace series, and it is concluded that they belonged to the Early Carboniferous Period of the same era.*

*Over centuries, the detritus brought by Alibey, Kâğıthane, and other creeks, heavy industrial and domestic wastes, and uncontrolled fills have changed drastically almost the entire cross section of the Golden Horn. Along the shores, many valleys have been levelled off by generally uncontrolled fills, and comparatively large areas have been reclaimed.*

*The thickness of the man-made fill is over 40 m along the south shore and over 30 m along the north shore on the axis of the New Galata Bridge. The thickness of the fill decreases with increasing distance from the shore. Man-made fill is underlain by sedimentary deposits consisting of sand, silt and clay in varying proportions. In general it is described as grey-dark organic silty clay of marine origin. On the Eminönü (South) site of the New Galata Bridge, the soft layers are underlain by a few meters thick weathered shale. Over the deeper part of the waterway and towards the Karaköy side soft layers is underlain by cobbly gravel.*

*The design of new bridges over the Golden Horn was subject to severe constraints. The New Galata Bridge is founded on large diameter tubular steel piles. Piles were driven into limestone, diabase and sandstone originated gravel which is encountered between the depths of 76 m and 88 m.*

*Most of the piles of the New Galata Bridge were driven into the shuttered rock bottom. The adoption of a closed end pile having a diameter as large as 2000 mm is well suited to the soil conditions and the*

*design requirements – the damage of the pile tip is prevented, settlement criteria are satisfied.*

*The piles of the New Galata Bridge were designed to carry high working loads (up to 12 000 kN) in end bearing and to comply with severe restrictions on allowable settlement. A box girder bridge carried on temporary supports was constructed over the test pile and was loaded by ingots. Four hydraulic jacks were placed on the head of the test pile to obtain a total reaction of 2000 tonnes.*

*The composite piles of the Metro Crossing Bridge extended to depths over 100 m. They were designed to carry even higher loads (up to 47 000 kN). Osterberg type of loading tests was made on Metro Crossing Bridge. In general dynamic measurements are not considered as a reliable substitute to static pile loading test. On the Metro Crossing Bridge site, dynamic analysis (PDA) is carried out and dynamic response during pile driving is also recorded. Results are found consistent with the exploration data.*

*Depth of water on the axis of Metro Crossing Bridge is about 34 m. Soil profile is overlain by very soft, almost at liquid consistency, silt clay layer. The thickness of clay layer varied between 30 m and 50 m. Very soft silty clay layer is underlain by sandstone, siltstone and mudstone layers. Depth of rock is 55 m at Azapkapı (North) and 80 m at Unkapanı (South) side of the Bridge.*

*Sea bottom at Golden Horn Bridge site is very shallow. Depth of rock is more than 70 m and is overlain by a gravel layer.*

*The depth of exploration at Metro Crossing Bridge site was well over 100 m. Special attention was given to ascertain the level and characteristics of a suitable stratum. From the initial data indicated existence of weathered rocks and alternating strong and weak rock formations.*

*Soil investigations and pile driving provided ample information about the rock bottom of the Golden Horn. Rock levels at the site of Golden Horn Bridge and at the site of New Galata Bridge are almost flat in comparison with that of the Metro Crossing Bridge. Furthermore transversal profile of the rock bottom at Metro Crossing Bridge contains a deeper section near Unkapanı (South). Existence of such depression is not confirming with the general slopes of the rock strata.*

**Keywords:** Golden Horn, soft clayey soils, soft rocks.

## Giriş

İstanbul'da Tarihi Yarımada ile Beyoğlu yakası arasında yer alan Haliç, İstanbul Boğazı'na açılan yedi buçuk kilometre uzunluğunda doğal bir limandır. Genişliği ağzında 700 metreden en dar yerinde 180 metre arasında değişmektedir. Haliç'in mansap tarafında derinliği 40 metreyi bulmaktadır.

İstanbul ve çevresinin jeolojisi ve geotekniği birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu incelemeler, konuya daha fazla ilgi duyulmasını, daha kapsamlı araştırmalar yapılmasına yol açmıştır. Haliç'i enine olarak kesen köprülerin yapımı, bu incelemelerin derinleştirilmesi için değerli fırsatlar oluşturmuştur.

Yeni Galata Köprüsü'nün tabanında -76 m ile -88 m kotları arasında, yaklaşık 12 m kalınlıkta, bloklu, sağlam kireçtaşı, diyabaz ve kumtaşı kökenli çakıl tabakası bulunmaktadır.

Haliç Metro Geçiş Köprüsü güzergâhında arazi profilinde, deniz dibi yaklaşık 34 m kadar derinlikte, ve çok yumuşak kil tabakası ile örtülüdür. Yüzeyi hemen hemen yatay olan bu kil tabakasının kalınlığı, 30 m ile 50 m arasında değişmektedir. Kil tabakasının altında kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı olarak isimlendirilen kaya tabakasına girilmektedir. Kaya tabakasının derinliği Azapkapı tarafında 55 m, Unkapanı tarafında 80 m kadardır. Ayrıca Unkapanı tarafındaki kazıkların çakımı sırasında kaygan yüzeyler (*slickenside*) içeren çamurtaşı tabakalarında rastlanmıştır. Unkapanı tarafında, kaya tabakasının daha derinde bulunuşu, bu kesimdeki kayanın karadan denize doğru daha büyük eğimle dalmasına yol açmakta, bu kesimde derin bir fay bulunması olasılığını ortaya çıkarmaktadır.

Bu yazıda, Haliç'in jeolojisi ve geotekniği hakkında mevcut bilgilerimiz özetlendikten sonra, Yeni Galata Köprüsü ve Taksim Yenikapı Metro-su Haliç Geçiş Köprüsü yapımı sırasında elde edilen yeni bilgiler ve değerlendirmeler verilmektedir.

## Haliç'in jeolojisi

İstanbul ve çevresinin jeolojisini ilk inceleyenler arasında Penck (1919), Paeckelmann (1925, 1938), Chaput (1936), Sayar (1951), Sayar ve Sa-

yar (1962), Yalçınlar (1976), Ketin (1953), Sayar (1976) sayılabilir. Penck, şeyl ve grovakların sahada rastlanan en eski formasyonlar olduğunu ileri sürdü ve bunlara *Trakya Formasyonu* adını verdi. Daha sonraki araştırmalar, Trakya sersinde çeşitli litolojik ve paleantolojik kesimler olduğunu ve formasyonun Aşağı Karbonifer'e ait olduğunu göstermiştir (Yalçınlar, 1976).

Yeni Galata Köprüsü, Sarayburnu-Salacak arasındaki tüp geçit projeleri için yapılan zemin araştırmaları sonuçları ve alınan numuneleri inceleyen Meriç (1990), Holosen'de Haliç ve civarında karasal koşulların egemen olduğunu göstermiştir. Meriç'in bulguları, Haliç ve Boğaz karasal çökellerinin yaşının  $7400 \pm 1300$  yıl önceye, denizel koşulların yaşının ise  $5700 \pm 1800$  yıl önceye götürülebileceğini göstermektedir. Haliç çökellerinin karasal ve denizel olarak ayrılabilirliği, geoteknik incelemeler yapan araştırmacıların da dikkatini çekmişti (Penircioğlu, 1962).

## Zemin kesiti

Haliç üzerinde son yıllarda önemli köprü projeleri, geniş geoteknik incelemeler yapılmasına vesile olmuştur. Haliç Metro Geçiş Köprüsü inşaatının temellerle ilgili kısmı bitmiştir.

Haliç Köprüsü yerleşim yerinin incelenmesi amacıyla bir seri zemin inceleme sondajı yapılmıştır (Japan Bridge Consultants, 1970). Bu sondajlarda, köprü ekseninde arazi kesitinin 5 m kadar kalınlıkta çok yumuşak kil (organik çamur) tabakası ile örtülü olduğu, bunun altında oldukça kalın bir kil tabakası bulunduğu belirlenmiştir. Haliç Köprüsü'nün yapıldığı yerde Haliç oldukça sıgıdır ve kilin üst kısımlarının tabii su muhtevası likit limit değerine yakın hatta likit limitin üstündedir. Sondajlarda kaya tabakasının yuvarlak çakıllarla örtülü olduğu belirlenmiştir. Haliç Köprüsü sondajlarında görülen tabaka derinlikleri Tablo 1'de özetlenmektedir.

Haliç'in orta kesiminde yapılan P6 ve P7 No.lu sondajlarda kayayı yeşil renkli kumlu, içinde yuvarlak çakıllar bulunan çökeller örtmektedir. Bu kesimin dışında anakaya kahverengi killi çökellerle örtülüdür. Kahverengi çökellerin içinde yuvarlak çakıla rastlanmamıştır. Japan Consultants (1970). raporunda kahverengi çökellerin anakayanın ayrışması sonucu oluştuğu, buna karşılık yuvarlak çakıl ve kum içeren yeşil çökellerin suyla taşınmış olabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 1. Haliç Köprüsü sondajları (1970)

Sondaj No.	Ağız kotu (m)	Sondaj boyu (m)	Dolgu taban kotu (m)	Kaya üst kotu (m)
P-6R	-1.10	64.60	-6.10	-62.00
P-6L	-1.30	65.80	-7.30	-63.50
8A	-0.80	76.80	-5.80	-64.50
P-7R	1.33	37.50	-5.17	-30.17
P-7LA	0.85	40.00	-5.95	-30.55
P-7L	1.28	39.17	-5.72	-33.22
P-8	5.67	17.00	-1.33	-1.83

Haliç Köprüsü sondajlarından alınan siltli kil numuneleri ile yapılan deneylerden zeminin normal konsolide durumda olduğu söylenilebilir. Durgunoğlu (1978) drenajsız kayma mukavemeti,  $s_u$  ile efektif jeolojik gerilme,  $\sigma_v'$ , arasındaki  $s_u / \sigma_v'$  oranının deneyle 0.2 olarak bulunduğunu, bunun da siltli kil için bulunan plastisite endisi,  $I_p = 0.36$  değeri kullanılarak normal konsolide killer için verilmiş olan,

$$\frac{s_u}{\sigma_v'} = 0.11 + 0.0037I_p$$

$$s_u / \sigma_v' = 0.11 + 0.0037 I_p$$

ifadesinden elde edilen 0.23 değerine uyum gösterdiğini belirterek kilin normal konsolide olduğunu ifade etmiştir.

Kutay v.d. (1997) Haliç'in çevresi ve Haliç Köprüsü kesitinde rastlanan yumuşak tabakaların özelliklerini değerlendirerek drenajsız kayma mukavemetini,  $s_u$ , efektif jeoloji gerilme,  $\sigma_v'$ , ve önkonsolidasyon basıncı,  $\sigma_p'$  göre normalize ederek,

$$\frac{s_u}{\sigma_v'} = 0.25, \quad \frac{s_u}{\sigma_p'} = 0.27$$

$$s_u / \sigma_v' = 0.25, \quad s_u / \sigma_p' = 0.27$$

değerlerini vermiştir. Ayrıca drenajsız kayma mukavemetinin derinlikle değişimini,

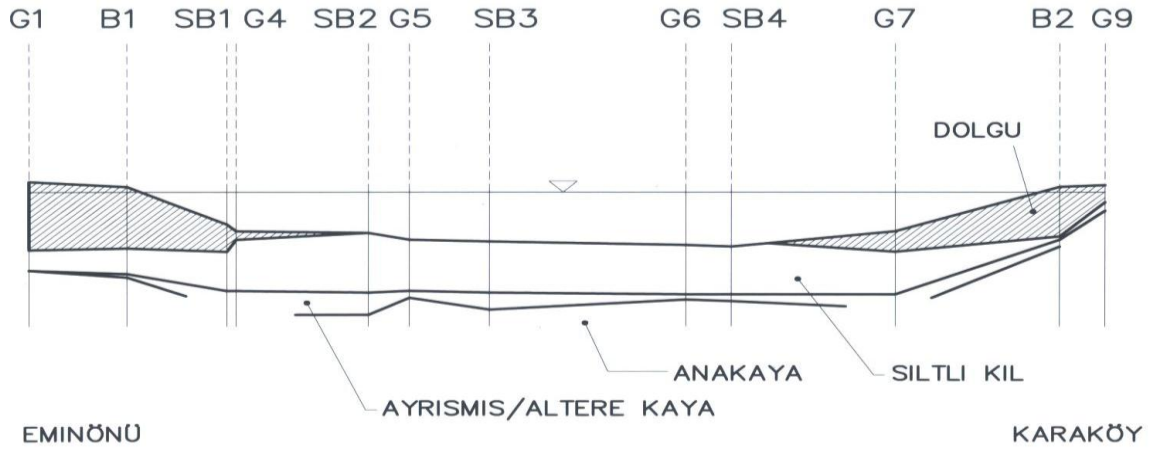
$$s_u (kPa) = 6 + 0.7z(m)$$

$$s_u (kPa) = 6 + 0.7 z (m)$$

olarak ifade etmiştir. Aynı araştırmacılar yumuşak tabakaların drenajlı kayma mukavemeti parametrelerini,  $c' = 0$ ,  $\phi' = 19^0$  olarak vermektedir.

Yeni Galata Köprüsü sondajlarında, köprü ek-seni boyunca kıyıya yakın kısımlarda arazi profilinin kalın yapay dolgu tabakaları ile örtülü olduğu belirlenmiştir (Karayolları 17. Bölge Müd.1980, Toğrol, vd.,1989, Toğrol, 1998). Bu dolgular her türlü şehir artığı, moloz ve çöp içermektedir. Yeni Galata Köprüsü sondajlarında (Şekil 1) belirlenen dolgu tabakası kalınlığı ve kaya üst kotları Tablo 2'de özetlenmiştir. Kıyıdan uzaklaştıkça dolgu tabakasının kalınlığı azalmakta, Haliç'in ortasında, enine doğrultuda en az 100 metrelik bir kesimde, şehir dolgusu bulunmamaktadır.

Yeni Galata Köprüsü sondajlarında yapay dolgu tabakası altında koyu gri renkli siltli kil tabakası, bu tabakanın altında, çoğu kere koyu gri organik kil tabakası bulunmaktadır. Deniz içinde yapılan sondajların bazılarında siltli kil tabakası üstünde kavkılı organik kil tabakasına rastlanmıştır.



Şekil 1. Yeni Galata Köprüsü sondajları

Tablo 2. Yeni Galata Köprüsü sondajları (1983, 1985)

Sondaj No.	Ağız kotu (m)	Sondaj boyu (m)	Dolgu taban kotu (m)	Kaya üst kotu (m)
G1	3.33	65.25	-42.16	-58.66
B1	1.52	72.00	-42.28	-62.58/-65.58*
SB1	-23.60	89.00	-42.25	-73.60
G4	-28.90	78.80	-34.80	-73.80
SB2	-29.70	96.60	-	-76.10/-92.15*
G5	-35.00	79.30	-	-75.75/-77.00*
SB3	-34.50	92.00	-	-76.00/-87.95*
G6	-39.00	79.70	-	-76.00/-79.59*
SB4	-39.20	58.50	-	-76.99/-81.00*
G7	-28.80	78.55	-43.10	-75.90
B2	1.57	46.30	-31.83	-34.83/-37.73*
G9	3.60	21.10	-5.90	-9.85

Bu tabakaların ortalama kıvam limitleri şöyle verilebilir:

Koyu gri kavkılı kil  $w_n = 0.72 \pm 0.03$ ,  
 $w_L = 0.80 \pm 0.09$ ,  $w_p = 0.38 \pm 0.05$ ;

Koyu gri siltli kil  $w_n = 0.49 \pm 0.32$ ,  
 $w_L = 0.64 \pm 0.44$ ,  $w_p = 0.28 \pm 0.16$ ;

Koyu gri organik kil  $w_n = 0.43 \pm 0.10$ ,  
 $w_L = 0.66 \pm 0.13$ ,  $w_p = 0.32 \pm 0.0$

Yumuşak tabakaların altında, Eminönü tarafında birkaç metre kalınlıkta ayrılmış şeyl, Karaköy tarafında ve orta kesimde taşlı çakıl bulunmaktadır. Palezoik'a ait olan taşlı çakılların kalınlığı 5 m ile 10 m arasında değişmektedir. SB11 ve SB16 No.lu sondajlara arasında taşlı çakılın üst kotu -76 metrededir ve hemen hemen yatayıdır.

Kazık servis yükü 12 000 kN olarak tasarlanmış ve servis yükünün 1.5 katına ikinci kez yüklenip yük kaldırıldıktan sonra kazığın tekrar yüklenmesi sırasında kalıcı oturmanın 10 mm yi geç-

memesi şartı konulmuştur. Bu sıkı deney koşulları, üst yapının oturmalara karşı çok hassas oluşu nedeni ile önerilmiştir. Kazıklar Delmag D100 çekici ile çakılmış maksimum enerji 340 kNm olmuştur. 2000 mm çapında ucu kapalı kazığın çakıl içinde uç mukavemeti 12 MPa, kumtaşı içinde 5.9 MPa olmuştur.

Zemin içinde kalın silt tabakalarına rastlayan kazıklarda, çakım sırasında yüksek mukavemet elde edildiği halde, çakıma ara verildikten sonra kazığın kolaylıkla çakılabildiği gözlenmiştir (Tomlinson, 1994 sf.129). Bunun nedeni Peck vd.,(1974) tarafından kaydedilen bir gözlem ile açıklanmıştır. İnce kum ve siltler sıkı durumda iseler kazık çakımına büyük direnç gösterebilmektedir. Çakımın yarattığı kayma deformasyonları, negatif boşluk suyu basıncı ve dilatasyon oluşturmakta, ve çakma enerjisi boşluk suyu basıncını yenmeye ve dilatasyona harcanmaktadır. 24 saat sonra gerek boşluk suyu basıncının dağılması gerekse dilatasyonun sona ermesi ile kazık çakımına çok daha küçük enerjilerle devam edilebilmektedir.

Yeni Galata Köprüsü sondajlarında kaya tabakası, “grovak alterasyon zonu” (çakıllı kumlu kil) ve daha derinde ince daneli, iyi çimentolanmış, ince çatlaklı, sağlam “grovak” olarak tanımlanmıştır. Çeşitli derinliklerde yapılan ka-

ya tanımlamaları ve presiyometre deneylerinden elde edilen limit basınç,  $p_L$ , ve presiyometre modülü,  $E_m$  değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Haliç Metro Geçişi Köprüsünü de içeren 5.2 kilometrelik metro hattı ile Yenikapı, Taksim-Levent hattına bağlanmış olacaktır. Haliç Geçişi, Taksim Yenikapı hattının 947 metrelik bir bölümüdür. Bu bölümde 2 yaklaşım viyadüğü (170 m ve 270 m uzunlukta), çelik açılır-kapanır (döner) köprü (120 m uzunlukta), ve asma köprü (360 m uzunlukta) bulunmaktadır.

### Kazıklar

Asma köprüünün iki pilonu vardır. P3-3 pilonu, asma kabloları ile her iki tarafında doksanar metre uzunluktaki tabliyeyi taşımaktadır. P3-3 pilonu her iki tarafında doksanar metrelik tabliyeyi taşımaktadır. P3-3 ve P3-4 ayakları doku zar kazıktan oluşmaktadır (Şekil 2, Şekil 3).

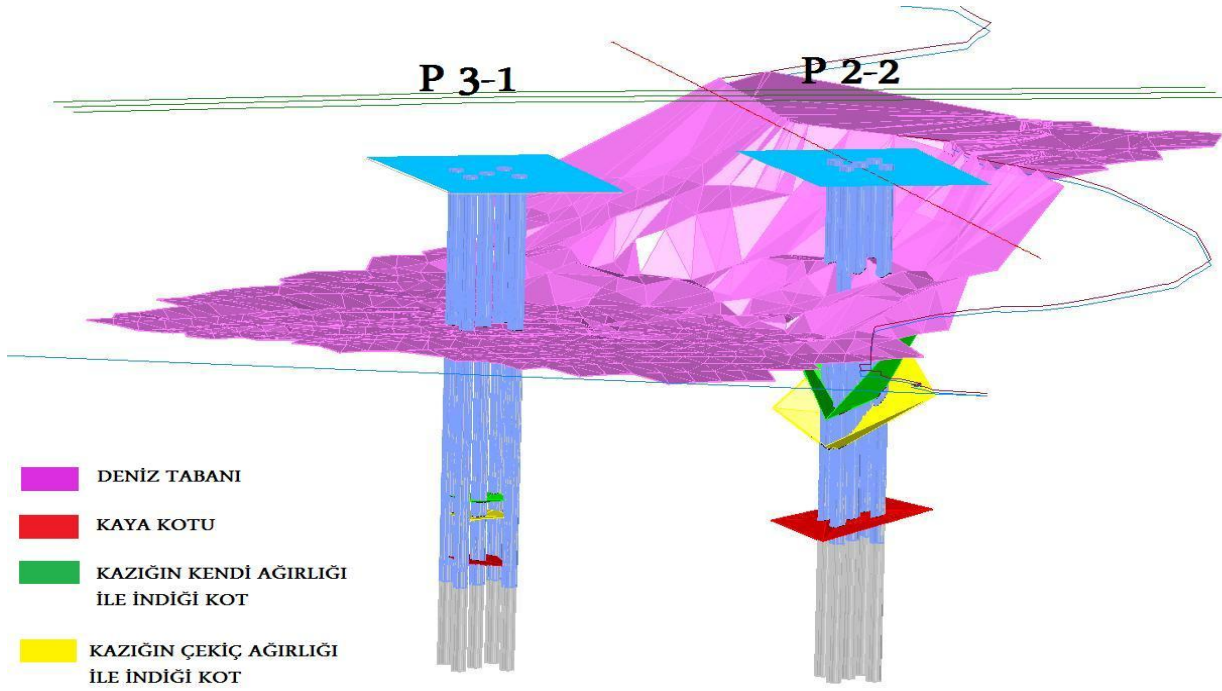
Kompozit kazıklar 2500 mm çapında 40-50 mm et kalınlığında çelik boru kazık ve bunun altından uzanan 2200mm çapında yerinde dökme betonarme kazıktan meydana gelmektedir. Kazıklar, deniz dibi kotu, kaya tabakası üst kotu, çelik kazık boyu, betonarme kazık uç kotu ve kaya soketi boyları Tablo 4’de verilmektedir (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7).

Tablo 3. Yeni Galata Köprüsü sondajlarında rastlanan kaya tabakaları

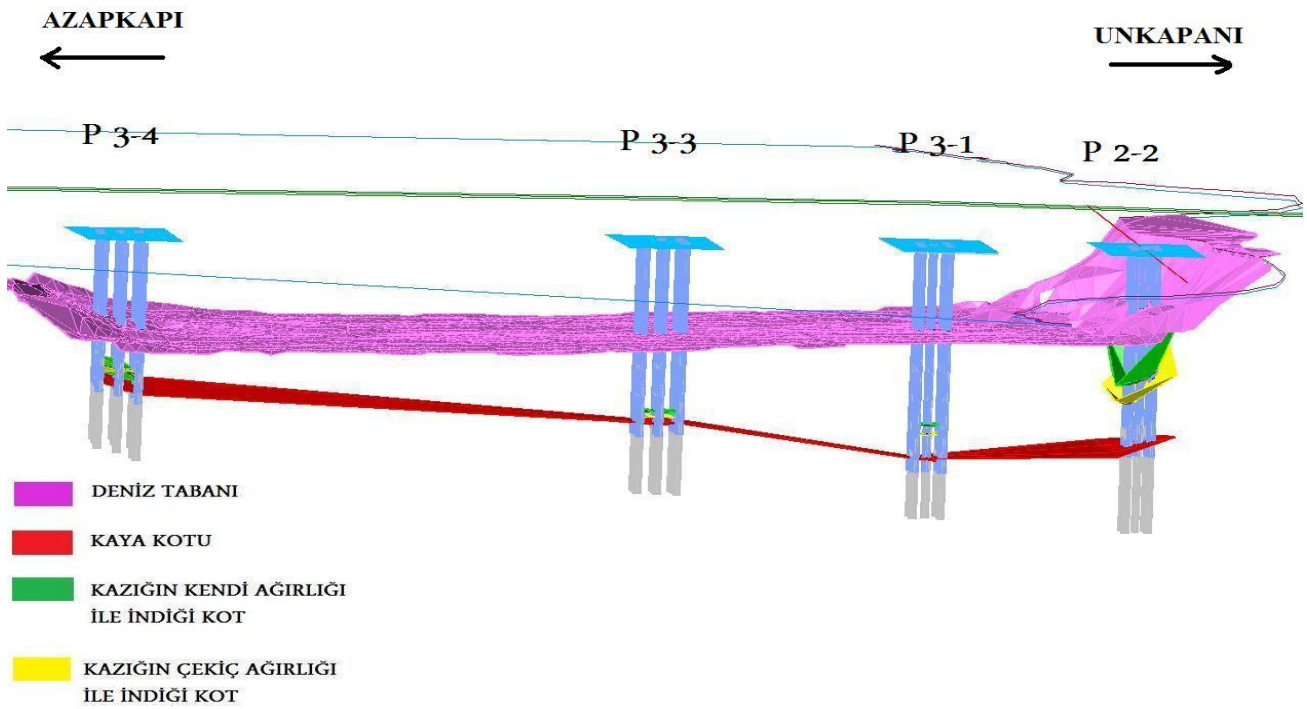
Sondaj No.	Kot (m)	Kaya cinsi	$p_L$ (MPa)	$E_m$ (MPa)
B1	-58.66	İnce daneli, ayrıışmış Şeyl	-	-
	-66.48	İnce daneli altere KUMTAŞI	1.22	12.927
	-69.98	KUMTAŞI	1.49	13.899
SB1	-76.00	ŞEYL	1.12	17.500
	-82.00	ŞEYL	1.44	9.424
	-85.50	ŞEYL	1.20	7.433
	-86.00	Ayrıışmış KUMTAŞI	-	-
SB2	-92.15	Kalsit banklı KUMTAŞI	-	-
	-93.00	KUMTAŞI	1.80	35.078
	-95.00	KUMTAŞI	2.35	81.197
	-98.40	KUMTAŞI	2.25	102.257
G5	-77.00	Az ayrıışmış KUMTAŞI	-	-
SB3	-87.95	İnce çatlaklı KUMTAŞI	-	-
	-88.50	KUMTAŞI	1.73	63.826
	-92.00	KUMTAŞI	1.73	76.342
G6	-79.50	Az ayrıışmış KUMTAŞI	-	-
G7	-75.90	Kısmen altere KUMTAŞI	-	-
B2	-35.43	KUMTAŞI	0.124	18.646
	-37.73	Killi şist banlı KUMTAŞI	-	-
	-41.43	KUMTAŞI	1.83	28.530

Tablo 4. Haliç Metro Geçiş Köprüsü kazıkları

Kazık No.	Deniz dibi kotu (m)	Kaya kotu (m)	Çelik boru kazık uç kotu (m)	Betonarme kazık uç kotu (m)	Kaya soketi boyu (m)
P3-4A	-34.50	-61.99	-65.12	-87.12	3.13
P3-4B	-34.40	-59.47	-62.30	-84.50	2.83
P3-4C	-32.85	-56.91	-60.72	-82.92	3.81
P3-4D	-34.70	-58.55	-63.50	-85.80	4.95
P3-4E	-32.90	-56.03	-60.25	-82.45	4.22
P3-4F	-31.00	-55.83	-59.17	-81.37	3.34
P3-4G	-34.50	-56.31	-61.56	-83.76	5.25
P3-4H	-33.20	-54.35	-58.53	-80.73	4.18
P3-4J	-31.00	-52.46	-58.51	-80.70	6.05
P3-3A	-34.80	-70.05	-74.03	-99.20	3.98
P3-3B	-35.15	-70.70	-75.05	-100.25	4.35
P3-3C	-35.50	-69.82	-75.11	-100.31	5.29
P3-3D	-34.90	-70.10	-73.98	-99.20	3.88
P3-3E	-35.30	-70.59	-74.77	-99.97	4.18
P3-3F	-35.50	-70.87	-75.02	-100.20	4.15
P3-3G	-35.30	-69.55	-74.02	-99.22	4.47
P3-3H	-35.50	-69.35	-72.81	-98.01	3.46
P3-3J	-35.50	-70.01	-75.09	-100.20	5.08
P3-1A	-32.46	-82.67	-87.86	-106.10	5.19
P3-1B	-32.10	-82.68	-87.82	-106.05	5.14
P3-1C	-32.60	-82.72	-87.90	-106.10	5.18
P3-1D	-32.60	-82.63	-87.87	-106.22	5.24
P3-1E	-32.60	-82.90	-88.00	-106.20	5.10
P2-2A	-21.60	-74.88	-80.42	-110.70	5.54
P2-2B	-25.60	-76.95	-80.46	-110.70	3.54
P2-2C	-19.50	-75.10	-80.41	-110.70	5.31
P2-2D	-25.90	-76.60	-80.42	-110.67	3.82
P2-2E	-22.60	-75.82	-80.42	-110.70	4.60



Şekil 2. Haliç Metro Geçiş Köprüsü yerinde zemin kesiti – P3-1 ve P2-2 ayakları

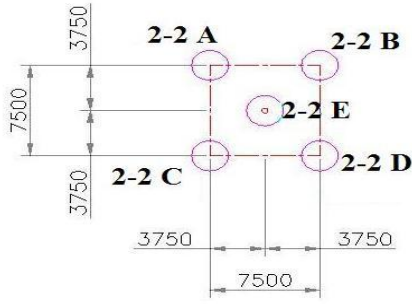


Şekil 3. Haliç Metro Geçiş Köprüsü yerinde enine zemin kesiti

Aşağıda numaraları yazılı kazıkların yapımı sırasında kaya tabakasında göçmeler olmuştur: 3-4 D, 3-4 G, 3-3 H, 2-2 C, 2-2 D.

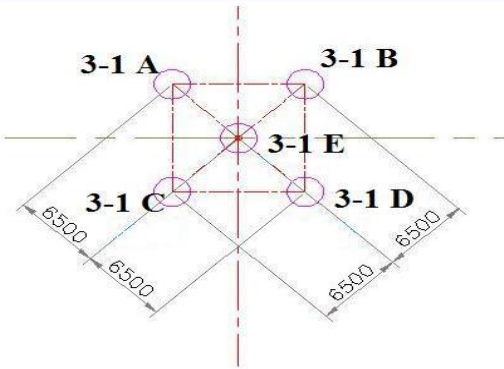
Haliç Metro Geçiş Köprüsü'nün orta kesiminde kaya üstündeki zemin özelliklerini, tipik iki sondaj (HK7 ve HK8 No.lu sondajlar) verilerine bakarak özetleyebiliriz (Tablo 5, Tablo 6).





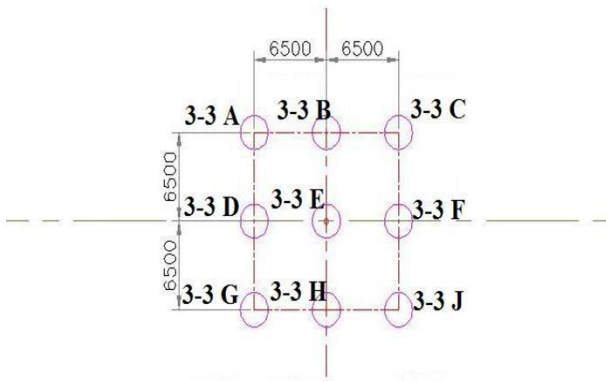
KAZIK UZUNLUĞU  $\approx$  110.00 m

Şekil 4. P2-2 ayağı kazıkları



KAZIK UZUNLUĞU  $\approx$  105.00 m

Şekil 5. P3-1 ayağı kazıkları



KAZIK UZUNLUĞU  $\approx$  99.00 m

Şekil 6. P3-3 ayağı kazıkları

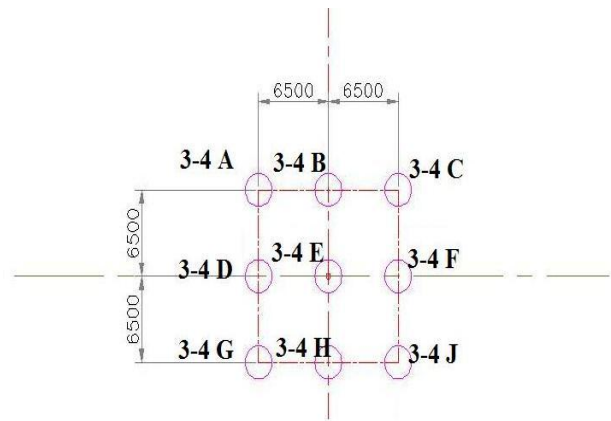
Normalize drenajsız mukavemet değerleri için aşağıdaki ifade kullanılmaktadır:

$$\frac{s_u}{\sigma'_v} = (0.20 \text{ ila } 0.25)(AKO)^{0.8}$$

Bu ifadeye AKO aşırı kondolidasyon oranını,  $\sigma'_v$  mukavemet ölçülen derinlikteki jeolojik gerilmeyi göstermektedir. Yumuşak kil/silt tabakaları içinde, derin kesimlerde bu oran 0.22 değerinde kalmaktadır. 10 metreye kadar olan derinliklerde, olası bir aşırı konsolidasyon nedeni ile daha büyük bir değer bulunmuştur (Pecker, 2006). Drenajsız kayma mukavemeti, yumuşak tabakalar için,

$$s_u (kPa) = 10 + 1.45z(m)$$

ifadesi ile verilmiştir.



KAZIK UZUNLUĞU  $\approx$  82.00 m

Şekil 7. P3-4 ayağı kazıkları

Haliç Metro Geçiş Köprüsü kazıklı temellerinin yerleştirildiği sahada kaya kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve diyabaz tabakalarından oluşmaktadır. Çelik kazıkların çakılması sırasında alınan ölçümler, kaya serbest basınç mukavemeti ile ilgili bilgiler vermiştir. Diyabaz ve çamurtaşı tabakalarında yüksek penetrasyon mukavemeti gözlenmiştir. Kuzeyden güneye doğru ayaklarda, çakım kayıtlarından geriye dönük olarak hesaplanmış olan kayaların ortalama serbest basınç mukavemetleri, şöyle verilebilir:

$$P3-4 \text{ ayağı} \quad q_u = 22 \text{ MPa},$$

$$P3-3 \text{ ayağı} \quad q_u = 104 \text{ MPa},$$

$$P3-1 \text{ ayağı} \quad q_u = 10 \text{ MPa},$$

$$P2-2 \text{ ayağı} \quad q_u = 5 \text{ MPa}$$

Tablo 5. HK7 No.lu sondaj

Tabaka kotu (m)	Zemin cinsi	w <sub>n</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	N <sub>arazi</sub>
-32.50 / -39.50	SİLT	-	0.59	0.36	2
-39.50 / -55.50	KİL	-	0.63	0.28	4
-55.50 / -57.50	Düşük plastisiteli KİL	-	0.49	0.26	-
-57.50 / -68.50	Yüksek plastisiteli KİL	0.42	0.55	0.23	11
-68.50 / - 71.00	Düşük plastisiteli KİL	0.43	0.48	0.26	-
-71.00 / -73.75	Yüksek plastisiteli KİL	-	0.54	0.25	17

Tablo 6. HK8 No.lu sondaj

Tabaka kotu (m)	Zemin cinsi	w <sub>n</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	N <sub>arazi</sub>
-33.50 / -37.50	DOLMA ZEMİN	-	-	-	-
-37.50 / -50.00	Yüksek plastisiteli SİLT	0.56	0.53	0.28	4
-50.00 / -51.50	Düşük plastisiteli KİL	-	0.49	0.26	6
-51.50 / -71.50	KİL	0.43	0.56	0.28	9
-71.50 / - 73.50	SİLT	-	0.48	0.26	16

## Kaynaklar

- Durgunoğlu, T. (1978). Geotechnical evaluation for the Istanbul's Golden Horn, *Boğaziçi Üniversitesi Dergisi*, **6**, 37-56.
- Japan Bridge Consultants (1970). *Report onf Soil Exploration of Istanbul Haliç Bridge*, 18 sf.
- Ketin, İ. (1977) *Genel Jeoloji*, İTÜ, 1, 597.
- Özaydın, K., Yıldırım, M. (1997). The Golden Horn – Its formation, Deteriotion and Hopes for Rehabilitation”, A Volume Honoring Prof.V.Yerlici (Ed. G. Aşkar), *Boğaziçi Üniversitesi*, 195-210.
- Paeckelmann, W. (1925). Beitrage zur Kenntnis des Devons am Bosporus” *ABb.Preuss Geol.Lands*, N.F. 98, Berlin, 150.
- Peck, R.B., Hanson, W.E, Thornburn, T.H. (1974). *Foundation Engineering*, John Wiley, New York.
- Pecker, A. (2006). *Golden Horn Definition of ground surface response spectra and foundation dynamic impedances*, *Géodynamique & Structure*, 12 +14 Tablo+49 Şekil.
- Penck, W. (1919). *Grundzüge der Geologie des Bosporus Veriff.Inst.f. Mecresk*, a.4,Berlin, 71.
- Peynircioğlu, A.H. (1962). Istanbul Haliç Sahillerinin Geotekniği” *Türkiye İnşaat Mühendisliği 1. Teknik Kongresi*, Ankara, R. 20, 22.
- Sayar, C. (1973). İstanbul'un Yeni Metro Projesi ve Şehrin Jeolojisi, Çatlaklı ve Ayrışmış Kayalar Sempozyumu, *İTÜ Zemin Mekaniği Araştırma Kurumu*, VIII, 11.
- Sayar, C., (1976). Haliç civarının jeolojisi” *Boğaziçi Üniversitesi Haliç Sorunları Sempozyumu*, 355-374.
- Sayar, M , C. Sayar (1962). *İstanbul'un Surlar içindeki kısmının Jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi, 23.
- Sayar, M (1951). İstanbul civarında Üst Miosen Omurgalılarına ait Yeni Müşahadeler, *İTÜ Dergisi*, **9**, 3, 9-12.
- Toğrol, E., E. Güler, K. Özüdoğru, T. Ersoy, İ.H. Aksoy (1986). *Haliç'in Geoteknik Sorunları ve Çözüm Yolları*. *Boğaziçi Üniversitesi*, 106.
- Toğrol, E., Aydınöglu, N, Tuğcu, E.K., Bekaroğlu, Ö. (1989). Design and construction of large piles, *Proceedings, 12th ICSMFE, Rio de Janeiro*, sf.1067-1072.
- Toğrol, E., (1998). Yeni Galata Köprüsü *Prof.Dr. Kazım Çeçen Anma Kitabı*, 253-258.
- Tomlinson, M.J., (1994). 4.ed. *Pile Design and Construction Practice*. E&F.N. Spon, 411.
- Yıldırım, M., Özaydın, K., Erguvanlı, A., (1992). İstanbul Boğazı Girişi ve Haliç'in jeolojik ve geoteknik özellikleri, *Jeoloji Mühendisliği*, **4**, 5-14.