

METRO KAZILARINDA ZOR ZEMİN ŞARTLARINDA ŞAFT İNŞASI; KADIKÖY-KARTAL METROSU ÖRNEĞİ

SHAFT CONSTRUCTION IN METRO EXCAVATIONS IN DIFFICULT GROUND CONDITIONS; KADIKOY-KARTAL METRO EXAMPLE

İbrahim OCAK

**İBB, İETT Genel Müdürlüğü, Raylı Taşıım Daire Başkanlığı, Karaköy- İSTANBUL
İ.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Misafir Öğr. Üyesi, 34320 Avcılar- İSTANBUL**

ÖZ : Metro tünellerinin kazılabilmesi için, yaklaşım tünelleri veya şaftlarla tünel eksenine ulaşılması gerekmektedir. Düz arazi koşullarında ise yaklaşım tünelleri pek mümkün olmayacağı için şaftlar tünel eksenine ulaşmanın tek yoludur. Şaftlar kazı makineleri, beton, segment, çelik donatılar ve işçilerin giriş çıkışı için kullanıldığı gibi kazılan tüm pasa da şaftlardan yeryüzüne alınmaktadır. Dolayısıyla inşa edilecek olan şaftların boyutları tüm bu aktiviteleri gerçekleştirmeye imkân verecek şekilde 10-15 metre çapında olmaktadır. Bir şaftın metro sistemi bitinceye kadar sağlam olarak kalabilmesi ve şaft içine su almaması şafttan beklenen en önemli özelliktir. Ancak alüvyon, kum gibi zeminlerde açılan şaftlar ve büyük miktarlarda su gelirden olduğu, özellikle de deniz, ırmak gibi su kaynaklarına yakın şaftlarda bu özelliğin sağlanabilmesi ek tahkimat metotlarının uygulanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, son derece zor zemin ve su şartlarında Kadıköy-Kartal Metro Sistemi kazılarında açılan şaft örnekleri üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Kadıköy-Kartal Metrosu, metro şaftı, şaft yapımı.

ABSTRACT : For enabling the excavation of Metro tunnels, it is required to reach to the tunnel level by means of approach tunnels or vertical shafts. In case of flat surface conditions, approach tunnel is not an option and the only way of reaching the tunnel level is to build shafts. The shafts are utilized for moving machinery, concrete, segments and steel reinforcement down to tunnels as well as access for labors and are also utilized for moving excavated material out from the tunnels. Therefore, the dimensions of the shafts to be built should be enough to perform all these activities by having diameters between 10 to 15 meters. The main features expected from a shaft are; to be durable by the end of the construction period and impermeable against seepage in the shaft. However, extra supporting methods were required in order to maintain these features for the shafts excavated in alluvium and sand having high water income and especially in the areas closer to water sources like sea and river. In this study, the shafts opened within the scope of Kadıköy-Kartal Metro System and were built under extreme difficult conditions were evaluated.

Key Words: Kadıköy-Kartal Metro, metro shaft, shaft construction.

GİRİŞ

Metro kazıları bütün büyük şehirlerde yaşamı olumsuz yönde etkileyen çalışmalardır. Ancak şehir içi ulaşımın tek çözüm yolu da raylı sistemlerden geçmektedir. Bu nedenle bu tür kazılar adeta şehir yaşamının bir parçası durumundadır. İstanbul'da şu anda yapım çalışmaları devam eden 9 adet metro çalışması da bunu göstermektedir.

Metro tünellerinin kazılabilmesi için öncelikle tünel eksenine ulaşılması gerekmektedir. Tünel eksenine ulaşma da ancak şaftlarla olabilmektedir. Metro şaftları, tüm kazı faaliyetlerinin yürütülebilmesi, her türlü iş makinesinin tünellere indirilip çıkarılabilmesi, bütün tahkimat malzemelerinin tünellere erişebilmesi ve kazılan bütün hafriyatın uzaklaştırılabilmesi için tek ulaşım yoludur.

Metro shaftları genellikle sığ kuyular olup derinlikleri 20- 40 metre civarında olmaktadır. Çaplar ise hidrolik kırıcı, jumbo, Tünel açma makinesi (TBM) gibi her türlü makinenin ulaşımına imkân verecek boyutlarda seçilmektedir. Bu çap genellikle 10-15 metre civarında olmaktadır.

Metro shaftlarından, işin devamı boyunca ayakta kalmaları ve shaft ve tünellere su sızmalarını önlemesi beklenir. Shafttan su sızmalarının artması, shaft ve tünel içinde çalışan makine ve personele zarar vereceği gibi tünel içinin çamurla kaplanmasına ve dolayısıyla kötü çalışma şartlarına sebep olacaktır. Su gelirinin fazla olması durumunda çalışmalar aksamakta ve tamamen durabilmektedir. Ayrıca su shaft duvarlarına basınç uygulamakta ve zamanla suyun tesiri ile shaft kaplamalar zarar görmekte ve bu da shaft stabilitesini bozabilmekte ve shaft göçebilmektedir. Şekil 1’de

Brezilyada Ocak 2007 tarihinde yaşanmış böyle bir kaza görülmektedir. Ülkemizde de benzer kazalar İzmir Metrosu ve Taksim-Kabataş Finiküler sistemlerinin inşası sırasında yaşanmıştır. Her iki olayda da kazı alanını su basmış ve hem büyük miktarda maddi hasar oluşmuş, hem de çalışmalar uzun süre aksamıştır.

Bu nedenle kum, kil, alüvyon gibi akıcı ve sulu ortamlarda bir shaftın görevini yapabilmesi için fore kazık, jet grout gibi özel bir takım tedbirlerin alınması gerekmektedir. Kadıköy-Kartal Metro çalışmaları sırasında Kadıköy sahil bölgesinde, yer basıncı dengeleme sistemli tünel makinelerinin (EPBM) çıkarılacağı 2 adet, makas bölgesi tünelleri imalatı için 1 adet, Göztepe ve Yenısahra’da istasyon yapımı için 1 adet olmak üzere bu proje kapsamında toplam 5 adet shaftta bu tür bir yöntem kullanılmıştır.



Şekil 1: Brezilya’da yaşanmış bir shaft göçüğü (BBC, 2007).

Figure 1: A shaft collapse in Brazil (BBC, 2007).

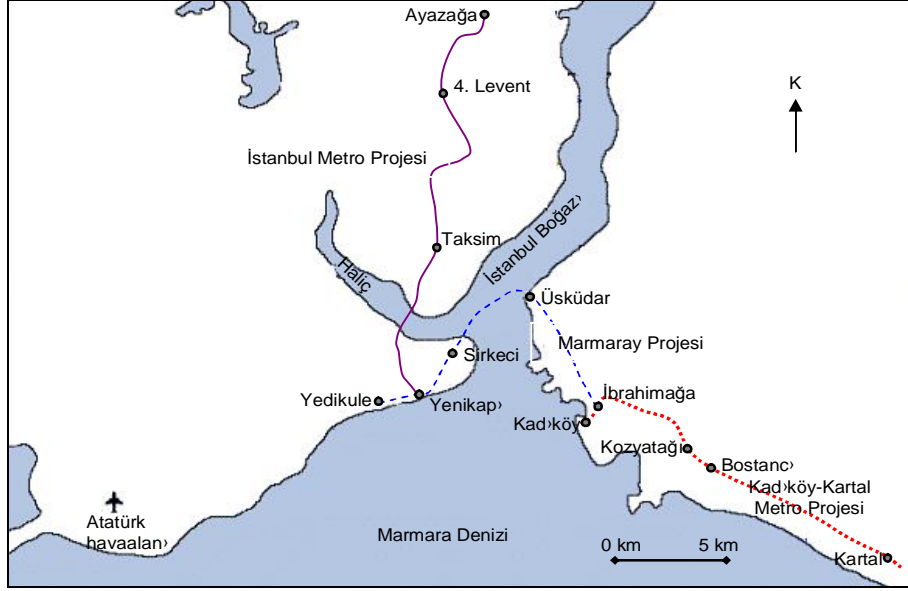
KADIKÖY-KARTAL RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi Kadıköy ilçesinden başlayıp, Üsküdar, Maltepe ve Kartal ilçelerinden geçmektedir. Hattın tamamı 21,6 km uzunluğunda olup, 16 adet istasyon bulunmaktadır. Sistem Kadıköy’de Rıhtım caddesinin bulunduğu meydana başlamaktadır. Kadıköy İstasyonu’nda hattın kırmızı kotu -36,0 metredir. Hat boyunca şu anda 12 adet shaft açılmış olup işin tamamı için 32 adet shaft açılması planlanmaktadır.

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, İbrahimağa İstasyonu’nda, İstanbul’un Avrupa ve Asya yakalarını boğazın altından batırma tüneli ile birleştirecek olan Marmaray Tüp Geçit Projesi ile entegre olmaktadır. Marmaray Projesi de İstanbul Metrosu ile Yenikapı’da entegre olmaktadır. Böylece

sistem ile hem doğu-batı yönündeki yolcu taşımacılığı sağlanacak, hem de Marmaray Projesi ile yapılan entegrasyon ile İstanbul’un Avrupa yakası ile irtibat sağlanacaktır (Şek. 2).

Metro sistemi iç çapı 5.70 m, dış çapı 6.30 m olan çift hat tünelden oluşmaktadır. Tüneler yüzeyden ortalama 30 m derinlikte olup iki tünel arası mesafe yaklaşık 32 metredir. Hat tamamlandığında bir yönde 60 000 yolcu taşınabilecektir. Ana hat tünelleri 2 adet TBM ve 2 adet EPBM ile kazılacaktır. İstasyon platform tünelleri, yaklaşım tünelleri, shaftlar, makas tünelleri ve bağlantı tünelleri ise Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ile kazılmaktadır. Bu haliyle projede 12.2 km NATM, 12.8 km EPBM ve 18.4 km TBM olmak üzere toplam yaklaşık 43.4 km tünel kazılacaktır.



Şekil 2: Kadıköy-Kartal Metro sisteminin İstanbul'daki konumu (Ocak, 2007).

Figure 2: General location Kadıköy-Kartal Metro system in İstanbul (Ocak, 2007).

BÖLGENİN JEOLJİSİ

İstanbul'un Asya yakasının stratigrafik istifi çoğunlukla "İstanbul Grubu" adı ile de bilinen İstanbul Paleozoyik istifi ile onun üzerinde yer yer görülen Triyas ve Tersiyer çökellerden oluşmaktadır. Dere içlerinde yer alan alüvyonlar ile yamaç molozlar ve dolgular ise en genç örtülerdir. Trakya formasyonu kilaşı ve silttaşlarından oluşmaktadır (Kaya, 1978). Yelken tepesi formasyonu şeylerden oluşmaktadır. Kartal Formasyonu sarıms kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı, mercan ve fosilli, seyrek silttaş ile kumtaşı aratabakalı şeylerden ve kireçtaşı seviyelerinden oluşmuştur (Önalın, 1982). Kurtköy formasyonu mor renkli çakıltaş, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Dolayoba formasyonu kuvars, mercekli şeyl ile koyu

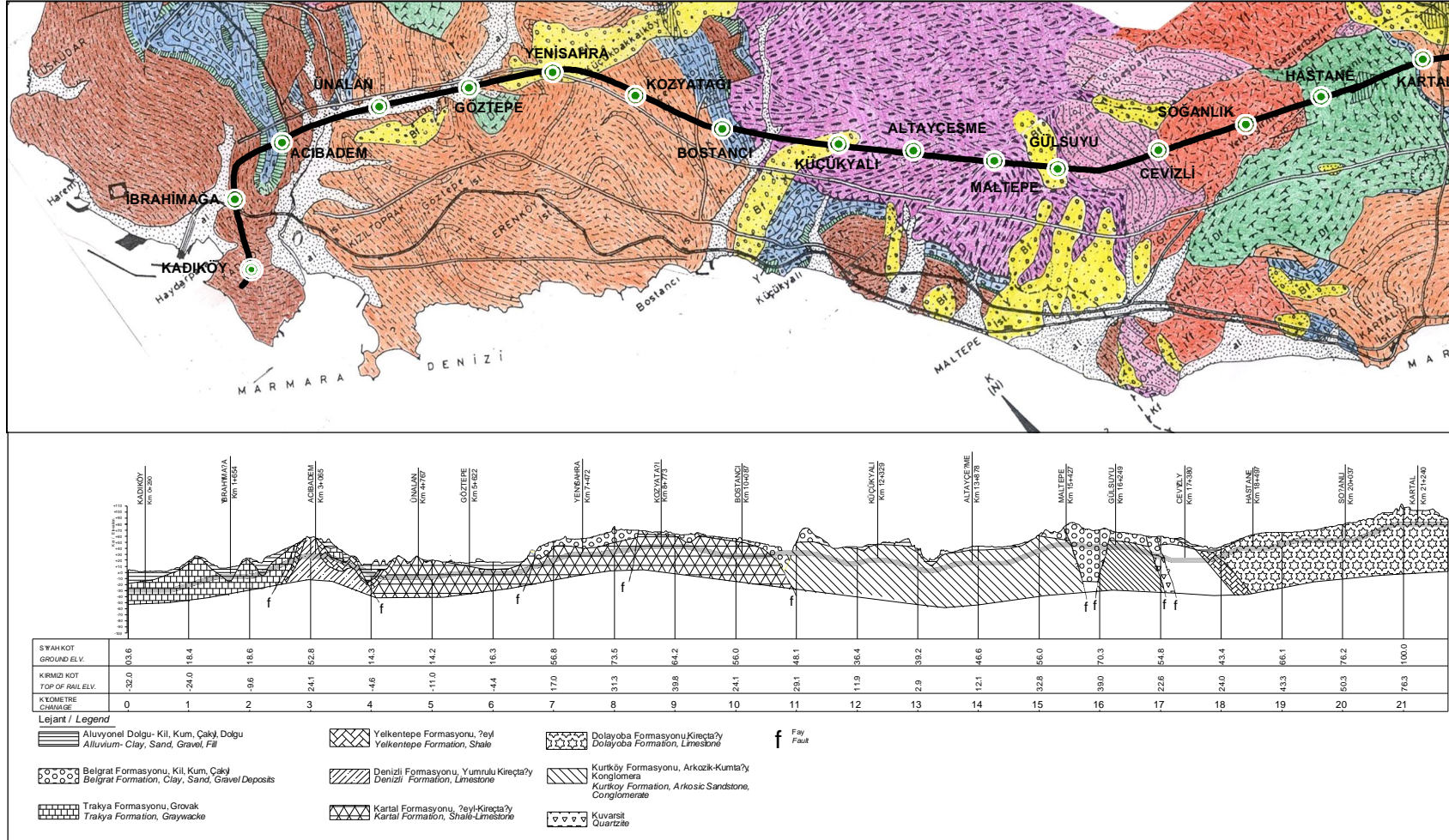
mavi, gri renklere kireçtaşıdan oluşmaktadır. Metro hattının genel kayaç özellikleri Çizelge 1'de (İETT, 2005) ve jeolojisi Şekil 3'de verilmiştir.

Kadıköy'de açılan S1A ve S1C shaftları Kadıköy sahiline 200 metre uzaklıkta, S1D shaftı ise sahile 60 metre uzaklıktadır. Burası Kadıköy-Kartal Metro sisteminin ilk istasyonudur. Bölge denize çok yakın olduğu için her üç shaftın bulunduğu yerin siyah kotu +2 metre civarındadır. Bölge metro tüneli ve metro istasyonu yapımı için son derece kötü şartlara sahip olduğu için (Şek. 4), jeolojisi tanımlayabilmek için bölgede 13 adet sondaj yapılmıştır. S7A shaftı Göztepe E5 yolu Göztepe kavşağındaki lupun kuzey tarafındadır. Burada yüzeyden 12.25 m derinliğe kadar dolgu+alüvyon taba-

Çizelge 1: Çalışma bölgesindeki genel kayaç özellikleri (İETT, 2005).

Table 1: General rock properties of the study area. (İETT, 2005).

Formasyon	Litoloji	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	İçsel sürtünme açsı (°)	Kohezyon (MPa)	Basınç direnci (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
Trakya	Kumtaşı-silttaş-kilaşı	26,5	37,9	13,9	56,18	9,70
Tuzla	Şeyl	26,8	43,1	6,4	26,83	8,60
Kartal	Şeyl+çört	26,2	43,1	18,6	33,02	7,40
Kurtköy	Kumtaşı+konglemera	26,9	43,1	19,5	53,33	10,31
Aydos	Kuvarsit+andezit	26,1	54,2	-	73,03	12,64
Dolayoba	Kireçtaşı	27,0	49,4	10,6	42,96	15,82



Şekil 3: Kad köy-Kartal raylı sistemi güzergâhı genel jeolojisi (İETT 2005).

Figure 3: Kad köy-Kartal rail system general geology (İETT 2005).



Şekil 4. Kadıköy S1C şaftı kazısı .
Figure 4. Kadikoy S1C shaft excavation.

Çizelge 2: Şaft bölgelerine ait kayaç ve zemin parametreleri (İETT, 2005).

Table 2: Rock and soil parameters in shaft areas (İETT, 2005).

Şaft	Derinlik (m)	Litoloji	Yoğunluk (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson or >	Kohezyon (kPa)	İçsel sürtünme açs (°)
S1A	0,0-2,0	Dolgu	19	60	0,35	0	27
	2,0-11,5	Kil- Kum	18	40	0,35	0	24
	11,5-	Kiltaşı-Silttaşı	25	300	0,3	50	30
S1C	0,0-2,0	Dolgu	19	15	0,35	0	23
	2,0-14,5	Kil- Kum	20	25	0,3	0	26
	14,5-	Kiltaşı-Silttaşı	25	300	0,3	20	32
S1D	0,0-4,0	Dolgu	19	15	0,35	0	23
	4,0-19,5	Kil- Kum	20	25	0,3	0	26
	19,5-	Kiltaşı-Silttaşı	25	300	0,3	20	32
S7A	0,0-3,75	Dolgu	19	15	0,35	0	23
	3,75-9,75	Çakıll kil	20	25	0,3	0	26
	9,75-12,25	Siltli kum	20	25	0,3	0	26
	12,25-13,75	Şeyl	23	100	0,3	0	30
	13,75-28,25	Andezit	24	250	0,3	80	30
	28,25-30,75	Kireçtaşı	24	250	0,3	80	30
	30,75-	Şeyl	23	100	0,3	0	30
S8	0,0-10,0	Dolgu ve kil	20	60	0,35	0	30
	10,0-	Kireçtaşı+ezik zon	23	100	0,3	0	33

kası vardır. S8 shaftı Yenisahra istasyon bölgesindedir. Bu shaftta yüzeyden 10 metreye kadar dolgu+alüvyon, bu noktadan itibaren ise kireçtaşı vardır. Ancak kireçtaşı ezik bir zonla kesildiği için bu shaftın tamamı kazıklı yapılmıştır. Shaftlara ait zemin özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

ŞAFT İMALATLARI

Şaft yapım çalışmalarına 52 adet (S7A 59 adet) donatılı fore kazık yapımı ile başlanmıştır. Shaftların fore kazıkların merkezinden çap 14.90 metredir. Fore kazıkların çap 80 cm ve boyu 14.10 metre ile 34.65 metre arasındadır. Yapılan fore kazıklar kayaç içerisine 3 metre kadar soketlenmişlerdir. Fore kazıklar 3 er adet atlanarak imal edilmişlerdir. Yapılan shaftlara ait yapım detayları Çizelge 3’de, plan ve kesit görünüşleri Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.

Fore kazıkların bitmesinden sonra iki fore kazık arasındaki boşluklardan su sızmasını engellemek için 60 cm çaplı jet grout kolonları oluşturulmuştur. Jet grout su/çimento oran 1:1 olan bir PÇ 32.5 çimentonun 300-

450 bar basınç altında uygulanmasıyla elde edilmiştir. Yüksek basınç altında jet deliklerinden püskürtülen karışım zayıf olan zemini yırtarak yaklaşık 60 cm çapında fore kazıklara teğet bir kolon oluşturmuştur. Böylelikle oluşan kolanlar fore kazık aralarından sızan suyu büyük bir oranda önlemiştir. Shaftın iç yüzeyi de püskürtme beton ile kaplanarak düzgün hale getirilmiştir.

Yapılan fore kazık ve jet grout kolonlarının shaft içerisine doğru hareketlerini engellemek amacıyla yapılan kazıklar shaft başında 1 adet kafa kuşak kirişi ve shaft içerisinde 3-5 adet kuşak kirişi ile desteklenmiştir.

Shaftlarda kaya kotundan itibaren çap 11.00 metreye düşürülmüş ve bu noktadan shaft dibine kadar olan kısımda shaft 20-30 cm püskürtme beton ve çift sıra pas payı çelik ile desteklenmiştir. Fore kazık, jet grout ve püskürtme betona ait beton malzemesinin özellikleri Çizelge 4’te verilmiştir. Tüm imalatlarda kullanılan çelik S420a/b sınıfıdır. Pas payı kazıklarda 75 mm, püskürtme beton, başlık kirişi ve betonarme kirişlerinde 30-45 mm dir.

Çizelge 3: Shaftlara ait yapım parametreleri (İBB 2006, İBB 2006a, İBB 2006b, İBB 2006c, İBB 2006d).

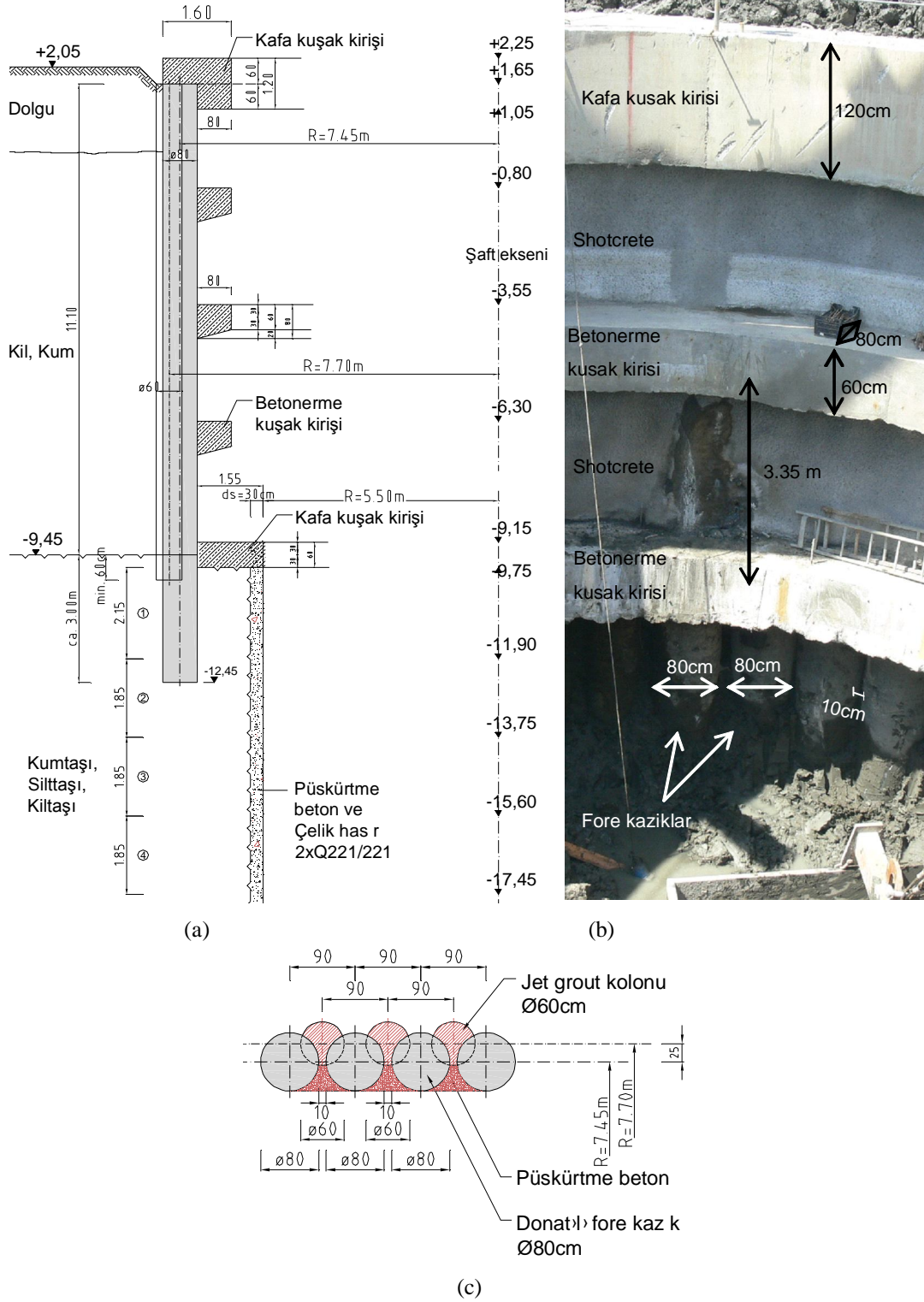
Table 3: Construction parameters for shaft (İBB 2006, İBB 2006a, İBB 2006b, İBB 2006c, İBB 2006d).

Özellik	S1A	S1C	S1D	S7A	S8
İç çap (m)	11,0	11,0	11,0	13	11
Kirişden iç çap (m)	12,5	12,5	12,5	14,5	11
Fore kazık boyu (m)	14,1	16,6	22,15	16,1	34,65
Jet grout boyu (m)	11,7	14,2	19,65	13,7	-
Siyah kot (m)	2,05	1,95	2,00	16,18	53,05
Kırmızı kot (m)	-32,0	-32,0	-32,0	-15,0	20,95
Şaft tabanı (m)	-37,37	-34,75	-34,75	-17,75	19,58
Yeraltı su seviyesi (m)	0,5	0,5	1,5	12,63	-

Çizelge 4: Shaft inşaatlarında kullanılan betonun özellikleri.

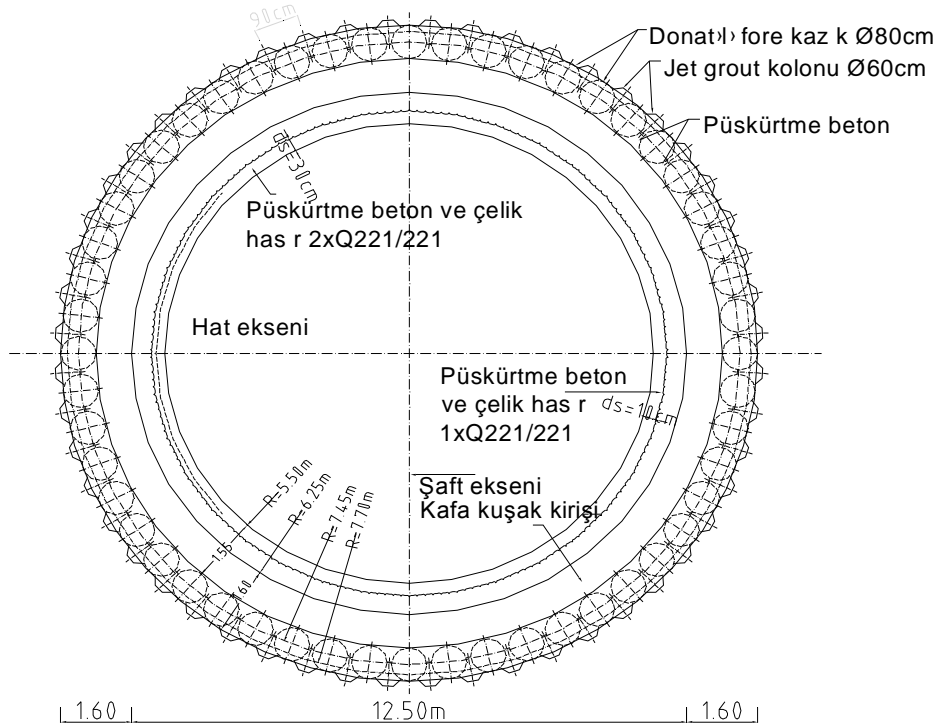
Table 4: Concrete used in shaft construction.

İmalat	Beton sınıfı	Yoğunluk (kN/m ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson oranı
Başlık /betonarme kirişi	C25/30	25	30,5	0,2
Püskürtme betonu /kazık	C20/25	25	25	0,2



Şekil 5: Kadıköy S1C şaftının kesit (a), resim (b) ve detay görüşleri (c) (İBB, 2006).

Figure 5: (a) Cross section, (b) photograph, (c) detail view of Kadıköy S1C shaft (İBB, 2006).



Şekil 6: Şaftların plan görünüşü (İBB, 2006).

Figure 6: Plane view of shafts (İBB, 2006).

SONUÇLAR

Tünelcilikte şaftlar özel imalatlardır. Tünelin her hangi bir noktada meydana gelen bir göçük ya da aksaklık sadece o noktadan ilerisini etkiler. Ancak şaftta meydana gelebilecek en küçük bir problem işin tamamını etkiler. Çünkü metro tünellerinde tünellerin kazılması için gereken her türlü araç bu şaftlardan tünellere indirilmektedir. Kazı ve nakliye araçlarının her türlü ihtiyacı, su, hava, elektrik ve basınçlı hava gibi şeyler de şaftlardan tünellere ulaştırılmaktadır. Kısacası tünel çalışmalarının kusursuz yürütülebilmesi için açılan şaftların kusursuz olarak çalışması şarttır.

Son derece zor zemin şartlarında açılmış olan Kadıköy-Kartal Metrosu S1A, S1C, S7A ve S8 şaftları yukarıdaki kriterlere göre değerlendirildiğinde başarılı tünelcilik çalışmalarıdır. Özellikle S1A, S1C ve S1D şaftları aşırı deniz suyu geliriyle karşı karşıyadır. Yeraltı su seviyesi yalnızca +0.5 metre kotunda ve şaftlar yaklaşık -37 metre kotu derinlikte olmaları rağmen tünel içerisine su girişi ancak küçük sızıntılar şeklinde olmaktadır. Şaftların denizden sadece 150-200 metre uzakta olması ve şaft çevresinin tamamen deniz suyu ile çevrili olduğu düşünülürse bunun önemi daha açıkça ortaya çıkacaktır. Ayrıca şaft derinleştikçe suyun

hidrostatik basınçtan dolayı şaft duvarlarına büyük bir basınç uyguladığı da açıktır.

S1D şaftı henüz açılmamıştır ve edinilen tecrübelerden bu şaftta ve her türlü benzer kazıda faydalanılabilecektir.

SUMMARY

Shafts are vertical tunnels which enable reach to tunnels. In case of flat surface conditions, shafts are only way of reaching the tunnel level. The shafts are utilized for moving machinery, concrete, segments and steel reinforcement down to tunnels as well as Access for labors and are also utilized for moving excavated material out from the tunnels. The main features expected from a shaft are; to be durable by the end of the construction period and impermeable against seepage in the shaft. However, extra supporting methods were required in order to maintain these features for the shafts excavated in alluvium and sand having high water income and especially in the areas closer to water sources like sea and river. In this study, the shafts opened within the scope of Kadıköy-Kartal Metro System and were built under extreme difficult conditions were evaluated.

DEĞİNİLEN BELGELER

- İETT Genel Müdürlüğü**, 2005, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, Mühendislik Jeolojisi Raporu.
- Kaya, O.**, 1978, İstanbul Ordovisiyeni ve Silüriyeni, H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Yayın , Cilt:4, s.1-2, Ankara.
- Önalın, M.**, 1982, Pendik Bölgesi ile Adalar n Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri, Yayınlanmamış, İ.Ü. Müh. Fak. Doçentlik Tezi, İstanbul.
- BBC**, 2007, http://news.bbc.co.uk/2/hi/in_pictures/6258579.stm
- Ocak, İ.**, 2007, Kadıköy-Kartal Metro Hattı Şaftlarının Kaz Analizi, I. Maden Makineleri Sempozyumu, Kütahya, s. 243-250.
- İBB**, 2006, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, Şaft S1A Statik Analiz Raporu
- İBB**, 2006a, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Kadıköy- Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, Şaft S1C Statik Analiz Raporu
- İBB**, 2006b, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, Şaft S1D Statik Analiz Raporu
- İBB**, 2006c, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Kadıköy- Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, Şaft S7A Statik Analiz Raporu
- İBB**, 2006d, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Kadıköy- Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, Şaft S8 Statik Analiz Raporu

Yayına Geliş - Received : 28.05.2007

Yayına Kabul - Accepted : 06.12.2007