

Teknik Not / **Technical Note**

## ADANA HAFİF RAYLI TAŞIMA SİSTEMİNDEKİ AÇ KAPA TÜNELLERİ

Cut - Cover Tunnelling in Adana Light Rail Transit System

Ergül YAŞAR<sup>0</sup>  
Yasin ERDOĞAN<sup>0</sup>  
A. Gürhan ÇELİK<sup>\*\*\*</sup>  
Ali TAPINÇ<sup>\*\*\*</sup>

### ÖZET

Bu çalışmada Adana Büyükşehir Belediyesi ile oluşturulan konsorsiyum tarafından inşaa edilmekte olan Adana Hafif Raylı Taşıma Sistemi (Metro) içerisinde yapılan aç-kapa tünellerinin jeoteknik uygulamaları ele alınmıştır. Metro projesinde zeminin çok değişken ve zemin/yapı ilişkisinin oldukça karmaşık olduğu tespit edilmiştir. Aç-kapa tünelleri 5 m çapında ve 1.13 km uzunluğunda olup Kuvaterner ve Tersiyer yaşlı kaya kütleleri içerisinde açılmaktadır. Güzergah boyunca yapılan sondajlardan elde edilen zemin numunelerinde tek eksenli basma dayanımı, birim hacim ağırlığı, Atteberg limitleri, sıkışma (proktor) deneyleri ve sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Tünelde taraça ve kaliç birimlerinde su akış hızının  $10^{-1}$  ve  $10^{-4}$  m/s olduğu belirlenmiştir.

Kazıyı susuz bir ortamda gerçekleştirmek için 16 m derinliğinde kesişen kazıklardan oluşan geçirimsiz perde yapılmıştır. Aç-kapa tünellerindeki kazı işleri ve karşılaşılması kaçınılmaz olan yeraltı suyu ile diğer problemlerin belirtilmesi ve çözümüne ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Aç-kapa Tünelleri, Metro, Zayıf Kaya, Geçirgenlik, Kazı Tekniği

### ABSTRACT

The geotechnique applications of cut-cover tunnelling in Adana Light Rail Transit System (Metro) which is constructed by Adana Metropolitan and a consortium were determined in this study. The project involved complex soil-structure interaction and geometry, and variable ground activities condition. The cut-cover tunnelling of 5 m in diameter and 1,13 km in length was advanced through Quaternary and Tertiary rock units. UCS, unit volume weight, Atteberg limits, compacting tests were conducted on the rock and soil samples which were obtained from drilling in the tunnelling route. Groundwater inflows was determined to be as high as  $10^{-1}$ - $10^{-4}$  m/s in water bearing terrace-calich unit in this part of tunnel.

<sup>0</sup> Yrd. Doç.Dr., Ç. Ü., Müh. Mim. Fak., Maden Mühendisliği Böl., ADANA, e-mail: [eyasar@cukurova.edu.tr](mailto:eyasar@cukurova.edu.tr)

<sup>(\*\*)</sup> Arş. Gör., Ç. Ü., Müh. Mim. Fak., Maden Mühendisliği Böl., ADANA

<sup>(\*\*\*)</sup> Maden Y. Müh., Maden Tetkik Arama Enstitüsü, ANKARA

<sup>(\*\*\*\*)</sup> Maden Y. Müh., Matel Hammadde ve Sanayi Tic. A.Ş., İSTANBUL

## 1. GİRİŞ

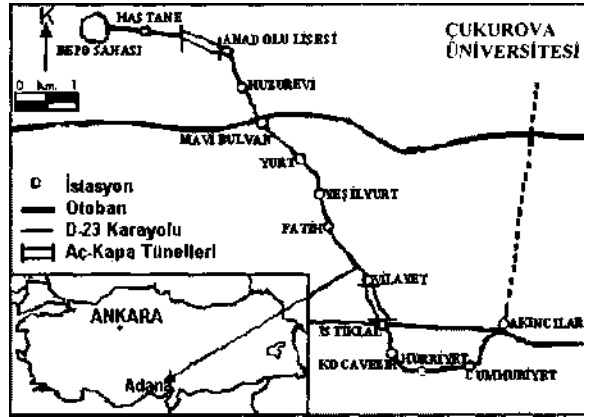
Türkiye'nin dördüncü büyük şehri olan Adana, sanayisi ve verimli toprakları ile ülke ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır. Gelişmiş sanayisi, yaşam koşullarının kolaylığı ve jeolojik konumu, Adana'nın çok göç almasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda oluşan hızlı nüfus artışına bağlı olarak yerleşim alanlarının artması, şehir içi ulaşımı olumsuz yönde etkilemektedir. Adana'da şehir içi ulaşım özel halk otobüsleri, minibüsler ve belediye otobüsleri ile çok güç şartlar altında sağlanmaktadır. Nüfus artışına ve kentin büyümesine paralel olarak ulaşım sorununun büyümesini önlemek için ulaşım olanaklarının artırılması gerekmektedir. Bu nedenle, Adana Büyükşehir Belediyesi Adana Hafif Raylı Taşıma Sistemi (Metro) çalışmalarına başlamıştır.

Metro projesinin yapımı, Türkiye'nin önde gelen inşaat şirketlerinden Alarko, Adtranz ve ABB-Elektrik şirketleri tarafından oluşturulmuş olan bir konsorsiyum tarafından üstlenilmiştir. Projenin keşif bedeli 360 milyon dolar olup Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından sağlanmaktadır. Projede Alarko; tüm inşaat işlerinden, ABB-Elektrik; mekanik ve elektrik işlerinden, Adtranz; vagonların üretimi ve çalışır halde teslim edilmesinden sorumludur.

Proje tamamlandığında şehrin kuzeyini güneyine bağlayan sistemin toplam 13 km'lik birinci etabı tamamlanmış olacaktır. Güzergah üzerinde toplam 13 istasyon olup, her biri 311 yolcu kapasiteli üç vagonlu oluşan katarlarla her seferde 933 yolcu taşınarak trafik yükünün hafifletilmesi amaçlanmıştır. Metro sisteminin ikinci etabı faaliyete geçtiğinde ise günlük toplam 659.995 yolcu taşınması planlanmaktadır. Bütün bu amaç ve planların yerine gelebilmesi için metro projesi, inşaat faaliyetlerine başlamadan önce, bilgisayar ortamında en ince ayrıntıları ile hesaplanmıştır. Yapılan hazırlıklarda tüm olasılıklar değerlendirilerek sorunlar için en uygun çözümler üretilmiştir.

Adana Hafif Raylı Taşıma Sistemi'nin güzergahı Şekil 1'de gösterildiği gibi olup, başlangıç noktası Adana'nın kuzeyindeki Yüzüncü Yıl Hastane İstasyonu (0+100), ara istasyonlar ise; Anadolu Lisesi İstasyonu (1+750), Huzurevi İstasyonu (2+650), Mavi Bulvar İstasyonu (3+341), Yurt İstasyonu (5+550), Yeşilyurt İstasyonu (4+830), Fatih İstasyonu (6+400), Vilayet İstasyonu (7+900), İstiklal İstasyonu (9+000), Kocavezir

İstasyonu (9+845) ile devam edip Adana'nın güneyindeki Akıncılar İstasyonu'nda (13+220) son bulmaktadır. Proje kapsamındaki yapı türleri ve uzunlukları Çizelge 1'de verilmiştir. Metronun planlama, projelendirme ve uygulama aşamalarında güzergah boyunca kayaların durumu, nitelik ve davranışları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Kazı açıklığının boyut ve biçimine göre en uygun kazı ve destekleme işlemleri ile güzergah boyunca yapılabilecek en uygun sanat yapıları tespit edilmiştir. Güzergah boyunca tünellerin geniş cadde ve sokakların altından geçirilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 1. Adana Metrosu Yol Güzergahı

Tünelin; 5 m çapında ve yüzeyden maksimum 16 m derinde açılması, çok zayıf kayalarda, yeraltı su seviyesinin altında ve yüksek binalar alanında problem oluşturmaktadır. Bu nedenle, tahkimatın özellikleri ve tünel geometrisi emniyetli bir tünel için çok önemli olduğundan, yöntem olarak maliyeti yüksek olan aç-kapa tüneli tercih edilmiştir. Zemindeki kaya grubu davranışlarının belirlenmesi için çok sayıda sondaj, laboratuvar deneyleri ve yerinde ölçümler yapılmıştır. Açılan sondajlardan, zemini oluşturan formasyonların litolojik özellikleri, yeraltı su durumu, yer altı yapısı hakkında bilgiler derlenmiş ve yerinde temel ölçümleri yapılmıştır.

## 2. JEOLojİ

Adana ve yakın çevresinde gözlenen jeolojik birimler; Handere Formasyonu (Th), Gökkuyu Alçıtaşı Üyesi (Thg), Taraça-Kalıçı (Qt-Qkt) ve Alüvyon (Qale-Qal)'dan oluşmaktadır. Adana Metrosu güzergahında da özellikle, Handere

Çizelge 1. Projedeki Yapı Türü ve Uzunlukları

KM	YAPI TÜRÜ	UZUNLUK (m)
0+000-0+520	AÇ-KAPA	520
0+520-0+660	U KESİT	140
0+660-0+700	HEMZEMİN	40
0+700-0+760	İSTİNADLI DOLGU	60
0+760-1+063	VİYADÜK	303.6
1+063-1+152	İSTİNADLI DOLGU	88.4
1+152-1+198	HEMZEMİN	46
1+198-1+340	U KESİT	142
1+340-1+700	AÇ-KAPA	360
1+700-2+050	U KESİT	350
2+050-2+400	AÇ-KAPA	350
2+400-2+980	HEMZEMİN	580
2+980-3+280	U KESİT	300
3+280-3+412	HEMZEMİN	132
3+412-3+510	İSTİNADLI DOLGU	98
3+510-3+680	VİYADÜK	170
3+680-3+737	İSTİNADLI DOLGU	57.1
3+737-3+801	OTOYOL GEÇİDİ	64.4
3+801-3+864	İSTİNADLI DOLGU	62.8
3+864-1+240	VİYADÜK	375.7
4+240-4+450	İSTİNADLI DOLGU	210
4+450-5+360	HEMZEMİN	910
5+360-5+515	U KESİT	155
5+515-6+060	HEMZEMİN	545
6+060-6+220	İSTİNADLI DOLGU	160
6+220-6+750	VİYADÜK	530
6+750-6+980	İSTİNADLI DOLGU	230
6+980-7+380	HEMZEMİN	400
7+380-7+540	U KESİT	160
7+540-10+100	AÇ-KAPA	2560
10+100-11+420	HEMZEMİN	1320
11+420-13+400	VİYADÜK	1980
TOPLAM UZUNLUK		13400

Formasyonu (Th), Taraça-Kaliçi (Qt-Qkt), Kaliçi (Qk), Alüvyal (Qale-Qal) ve yapay dolgu (Yd) gözlenmektedir (Yaşar, 2000) (Şekil 2).

Handere formasyonu (Th) genel olarak depo sahasında ve güzergahın Km:0+000-0+800 aralığında yüzeyde, Km:0+800-2+000 arasında ise yapılan sondajlarda Taraça-Kaliçi biriminin altında gözlenmiştir. Genelde açık kahverenkli-kahverenkli, gri-yeşilimsi gri renkli siltli, kil/killi silt ve kiltası—silttaş—kumtaş aralanmasından oluşmaktadır.

Taraça-Kaliçi (Qt-Qkt) birimi tamamen alüvyonlar ve yapay dolgularla örtülü olup,

sondajlarda gözlenmektedir. Kahverengimsi gri renkli, yer yer bloklu kumlu çakıl, çakıllı kum ve gevşek karbonat çimento ile tutturulmuş kumlu çakıl taşı (konglomera) seviyelerinden oluşmaktadır. Çakıl taşı birimi, yeraltı sularının taraça malzemesi içerisinde, yükselirken buharlaşması sonucunda bıraktığı karbonatın çökelerek etrafındaki malzemeyi tutturması ile oluşmuştur. Bu birimler kendi içerisinde yanal ve düşey geçişler göstermektedir.

Kaliçi (Qk) ise genel olarak taraça-kaliçi biriminin üstünde şapka şeklinde 1.0-7.7 metre arasında değişen kalınlıklarda bulunmaktadır. Kırmızımsı kahverenkli-kahverenkli, yer yer çakıllı kumlu siltli kil ve kumlu killi silt olarak gözlenmektedir. Kilin içerisinde yoğun karbonat yığılımlarına rastlanmıştır.

Eski Alüvyon (Qale), proje güzergahında genel olarak taraça malzemeleriyle benzer özellikler göstermektedir. Ancak taraçalardan farklı olarak çakıl taşı seviyesi içermezler.

Yeni Alüvyon (Qal) ise genel olarak dereler ve Seyhan Nehri kenarında gözlenen, genelde kötü boylanmış kum, çakıl ve kil malzemesinden oluşmaktadır. Güzergahta Km:7+350'den itibaren gözlenen bu birim, Km:7+350-8+100 aralığında taraça-kaliçi biriminin üzerinde örtü şeklinde 1,0-2,0 metre kalınlığa sahiptir, ve Km:8+100'den itibaren Seyhan nehrine doğru kalınlaşarak devam etmektedir. Seyhan nehri kenarında yapılan sondajlarda ise, eski alüvyonun üzerinde 9,0-10,0 m kalınlığa sahip olduğu görülmüştür. Genelde bitkisel toprak ve yapay dolgularla örtülüdür.

Yapay Dolgu (Yd), açılan tüm sondaj kuyularında geçilmekte ve genelde stabilize malzeme özelliğindeki yol dolgularından oluşmaktadır.

### 3. AÇ-KAPA TÜNELİNDE ZEMİN VE YERALTI SUYUNUN DURUMU

Metro güzergahının Km: 7 + 900 - 9 + 030 aralığındaki yaklaşık 1130 m uzunluğundaki aç-kapa tünelinin yer aldığı bölümde, zeminin jeolojik-jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla sondaj ve laboratuvar çalışmalarından oluşan bir araştırma programı yürütülmüş ve güzergahın bu bölümündeki zemin profili alüvyon, kaliçi ve taraça-kaliçi birimlerinden oluştuğu saptanmıştır. Güzergahın bu kısmında yapılan saha, sondaj ve laboratuvar çalışmalarının değerlendirilmesi sonucunda litolojik olarak birbirinden ayrılan bu

birimlerin konumları, yayılımları ve dokanak ilişkileri verilen zemin profillerine ayrıntılı olarak işlenmiştir. Ayrıca metro yol güzergahı boyunca alınan zemin ve kaya örneklerinden zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvarında belirlenerek Çizelge 2'de verilmiştir.

Aç-kapa tüneline yapılan sondajlarda 10,40-12,50 m arasında değişen derinliklerde yeraltı suyuna rastlanmıştır. Sondajlarda saptanan yeraltı suyu derinlikleri Çizelge 3 de verilmiş olup; su, çoğunlukla kaliç-taraça birimleri ile alüvyonlardan gelmektedir. Yeraltı suyunun içinde bulunduğu taraça-kaliçi biriminin geçirimsizlik derecesini belirlemek için güzergahın değişik yerlerinde sondajlarla BS 5930'a göre Sabit Seviyeli Geçirimsizlik Deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen verilere göre geçirgenlik katsayısının (k)  $10^{-1}$ - $10^{-4}$  m/s arasında değişmekte olup bu değerlere göre taraça-kaliçi birimi çok geçirimli-geçirimsiz bir yapıya sahiptir (Çağlar, 1979). Ayrıca bu birimin taneli yapısından dolayı da yeraltı suyunun dolaşımına çok uygun olduğu belirlenmiştir.

Tünel kazısı 15,0 ve 16,0 m arasında değiştiğinden yeraltı su seviyesinden 3-4 m daha aşağıdadır. Bu birimlerden su gelirmesinin fazla olması nedeni ile kazı ve inşaat sırasında problem oluşturmaktadır. Kazı alanında suyun azaltılması için pompalamanın yanı sıra, kesişen kazıklarla geçirimsiz diyafram duvarları inşa edilmiştir.

Kazı alanında suyun akış miktarı, pompa sistemleri ve kapasiteleri için Kanada Temel Mühendisliği el kitabında belirtilen bağıntı kullanılmıştır (Bulutlar, 1984). Ayrıca sızan su miktarının belirlenmesi için tünel güzergahının bir en kesiti hazırlanmıştır (Şekil 3).

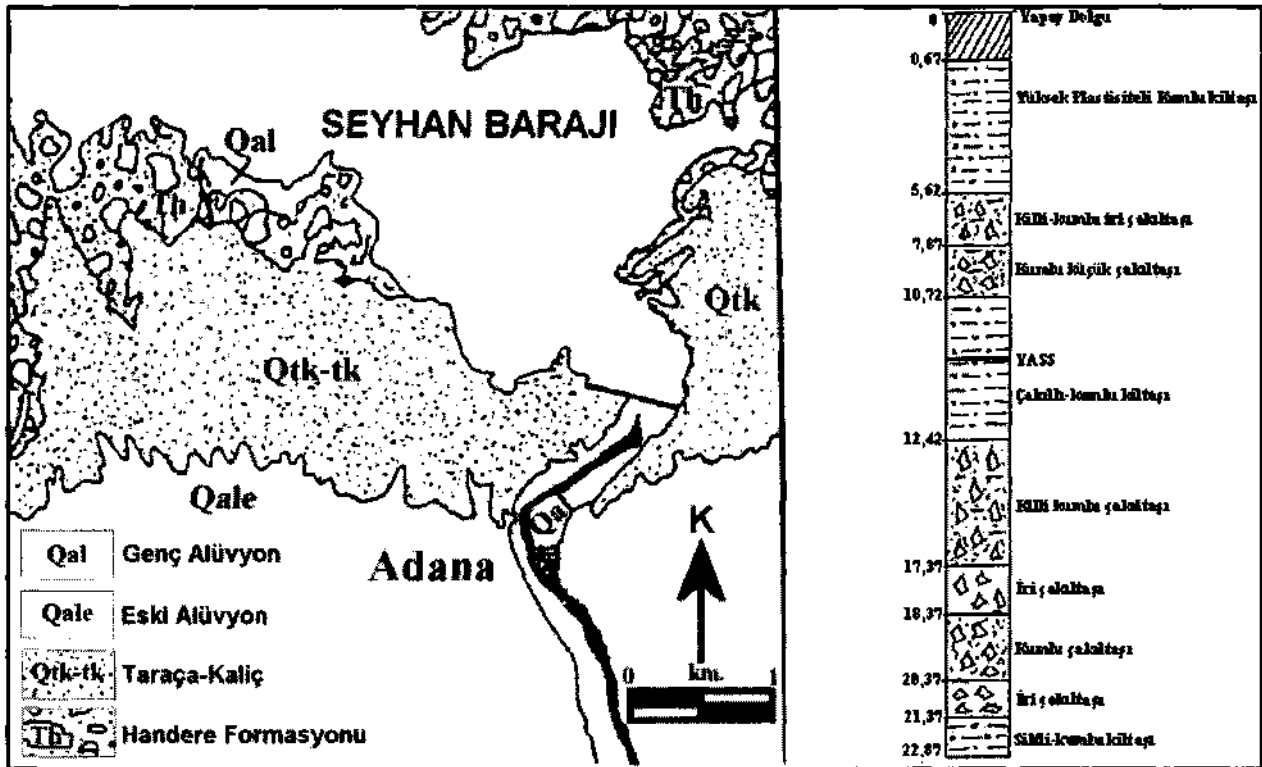
$$Q = kh/cp_1 + cp_2 \quad (1)$$

Q= Sızan su miktarı

k= Geçirgenlik katsayısı (m/s)

h= Su seviyesinden itibaren kazı derinliği (m)

$cp_1$  ve  $cp_2$  = Su seviyesi ve kazı derinliğine bağlı değişkenler.



Şekil 2. Adana'nın genel jeoloji haritası ile Adana metrosunun geliştirilmiş jeolojik en kesiti

Çizelge 2. Zemin ve Kayaçların Fiziko-Mekanik Özellikleri (Mert, 2000; Tapınç, 2001).

Zemin/Kaya Tipi	Bloklu Kumlu Çakıl	Kumlu-killi silt	Kumlu-siltli kil	Kumtaşı	Silttaşı	Kiltaşı
Y(t/m <sup>3</sup> )	2,12	2,0	2,1	2,67	2,59	2,41
w	8	29	23			
W <sub>L</sub>	-	64	38			
W <sub>p</sub>	NP	33	20			
i <sub>p</sub>	-	31	18			
Elek No: (+4)	59	6	-			
Elek No:(-200)	12	76	86			
Standart Penetrasyon Testi (SPT)	Refu	44	15			
Basınç Dayanımı (q <sub>u</sub> ) (kg/cm <sup>2</sup> )	-	3,15	0,89			
Nokta yük indeksi (kg/cm <sup>2</sup> )				79,6	52,3	14,7
Dolaylı Çekme Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )				76	68	43
T. Eksenli basınç dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )				780	630	420
Kohezyon (kg/cm <sup>2</sup> )		17,4	16,1	113	96,3	74,8
içsel sürtünme açısı(°)		19,0	18,3	37	32	19
Elastisite modülü (kg/cm <sup>2</sup> )				237000	194000	151000
Sınıflama (USCS and RMR)	GM, GP-GM, GW-GM, GW	CL-CH-CL/CH-MH	CL-CH	55	47	38

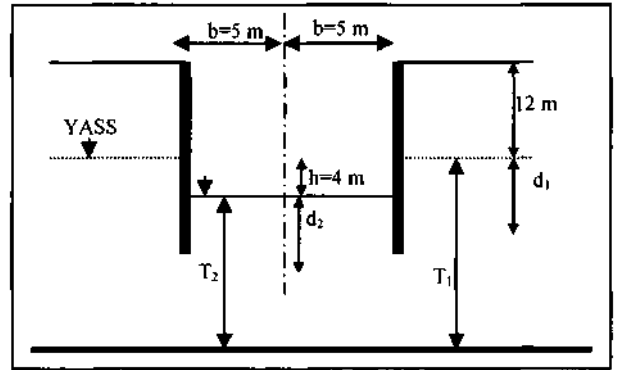
y= Birim Hacim Ağırlık, w= Su Muhtevası, W<sub>L</sub>= Likit Limit, W<sub>p</sub>= Plastik Limit, I<sub>p</sub>= Plastite İndisi,

Çizelge 3. Yeraltı Suyu Derinlikleri (Sayın, 2000).

Sondaj No	S. Yeri (km)	Derinlik (m)	YASS Derinliği (m)	Geçirgenlik (m/s)	Durum
S-27	7+857	22,50	12,40	1,90x10 <sup>-3</sup>	Geçirgen
ASK-22	7+990	23,06	12,50	4,56x10 <sup>-4</sup>	Geçirgen
S-28	8+195	22,97	12,35	1,40x10 <sup>-3</sup>	Geçirgen
S-29	8+432	22,91	11,50	1,70x10 <sup>-4</sup>	Geçirgen
ASK-23	8+555	22,96	11,85	4,80x10 <sup>-4</sup>	Geçirgen
AD-1	8+675	23,10	11,80	4.50x10 <sup>-4</sup>	Geçirgen
AD-2	8+740	23,07	11,40	1,02x10 <sup>-1</sup>	Çok geçirgen
AD-3	8+755	22,37	10,40	3,20x10 <sup>-2</sup>	Geçirgen

Ortalama geçirgenlik katsayısı 1,3x10<sup>-3</sup> m/s alınarak kazı derinliğine göre sızma miktarı Çizelge 4'de hesaplanmıştır.

Kazı derinliğinin (d<sub>2</sub>) 1 metreden 7 metreye kadar değişimi i e kazı çukuruna sızan su miktarı (Q) % 57 oranında azalmaktadır. 15 metre kazı yapıldığında ise, sızan su miktarında % 75 azalma görülmektedir. Sızan su 8 metre fazladan yapılacak bir kazıda sadece % 18'lik bir azalma göstereceğinden, kazı derinliği 7 m olarak önerilmiş ve sızan su miktarı 1,32 lt/sn olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 3. Sızan su miktarının belirlenmesi için tünel en kesiti (Tapınç, 2001)

Çizelge 4. Kazı Derinliğine Göre Sızan Su Miktarı

	1	2	3	4	5	6	7	8
k (m/s)	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
h (m)	4	4	4	4	4	4	4	4
b(m)	5	5	5	5	5	5	5	5
d <sub>1</sub> (m)	5	7	9	11	13	15	17	19
d <sub>2</sub> (m)	1	3	5	7	9	11	13	15
T <sub>1</sub> (m)	35	35	35	35	35	35	35	35
T <sub>2</sub> (m)	29	29	29	29	29	29	29	29
d <sub>1</sub> /T <sub>1</sub>	0,143	0,200	0,257	0,314	0,371	0,429	0,486	0,543
d <sub>2</sub> /T <sub>2</sub>	0,034	0,103	0,172	0,241	0,310	0,379	0,448	0,517
T <sub>2</sub> /b	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
g <sub>1</sub>	1,2	1,55	1,8	2,2	2,5	2,9	3,25	3,55
φ <sub>2</sub>	0,5	0,95	1,35	1,75	2,2	2,5	2,9	3,3
Q (l/s)	3,06	2,08	1,65	1,32	1,11	0,96	0,85	0,76
i	1,18	0,51	0,34	0,25	0,21	0,17	0,15	0,13

B, d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, TL T<sub>2</sub>, ( Şekil 3), i= Hidrolik eğim

#### 4. DEPREM DURUMU

Deprem bölgeleri haritası, afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik ile bir paralellik göstermektedir. Zira haritada tanımlanan bölgelere göre anılan yönetmelikte yapı tiplerine bağlı olarak kriterler gösterilmektedir. İvme konturlarına göre yeni bölgeleme Çizelge 5'de verilmiştir.

Çalışma alanı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında 2. derece deprem bölgesi içinde kalmaktadır. Destekleme sistemlerinde bu faktör göz önüne alınmıştır.

Çizelge 5. Deprem Bölgelerine Göre Olası Maksimum Yer İvmesi Değerleri (DADB, 1996)

DEPREM BÖLGESİ DERECESESİ	MAKSİMUM YER İVMESİ (a <sub>max</sub> )
1. Derece Deprem Bölgeleri	a <sub>max</sub> > 0,40 g
2. Derece Deprem Bölgeleri	0,30 g < a <sub>max</sub> < 0,40 g
3. Derece Deprem Bölgeleri	0,20 g < a <sub>max</sub> < 0,30 g
4. Derece Deprem Bölgeleri	0,10g < a <sub>max</sub> < 0,20g
5. Derece Deprem Bölgeleri	a <sub>max</sub> < 0,10g

#### 5. AÇ KAPA TÜNEL İNŞAASI

Vilayet-İstiklal istasyonları arasındaki aç-kapa tüneli yaklaşık olarak yeni vilayetin önünden başlayarak İstiklal istasyonuna doğru 1,13 km'lik kısmı kapsamaktadır. 7+900-9+0,30 km'ler arası aç-kapa tünel destekli kazı ve tünel kalıplarla tamamlanarak geri dolgu ile imalatı bitirilmektedir. Sırası ile iksa elemanlarının imalatı, kazı ve destekleme, tünel kutusu imalatı ve dolgu çalışmaları olmak üzere dört genel

aşamıyla aç-kapa tünel imalatı yapılmıştır (Bulutlar, 1984).

Fizibilite etüdü bitirilen güzergah boyunca kaya ve zemin kütlelerinin jeolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin sonuçları ISRM 1981 ve TS 1500'e göre değerlendirilmiştir. Kaya saplamalarının uzunluğu, aralığı ve püskürtme betonun kalınlığı kaya sınıflarına göre belirlenmiştir. Jeoteknik açıdan sıkışmış, kohezyonsuz kumlu alüvyonal zeminin yer altı su seviyesi altında kalmasının kazı tekniği açısından problem çıkaracağı düşünülmüştür.

Aç-kapa tünelin inşasına öncelikle yer altında bulunan alt yapı şebekelerinin (elektrik, su, kanalizasyon vb.) inşaat alanından uzaklaştırılması işlemi ile başlanmıştır. Daha sonra projede koordinatları belli olan fore kazıkların yerleri topograflar tarafından yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Sondaj kazıkları olarak da bilinen fore kazıklar, sağlam kil zeminlerdeki yapı temellerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kazıkların imali için ucu açık bir kaplama borusu, sondaj yolu ile zemine sokulur ve içindeki zeminin tamamen çıkartılmasından sonra kalıplar ile beton dökülerek kazıklar yerleştirilir. Güzergah üzerinde yeraltı suyu, bloklu kum, siltli kil ve alüvyon olan yerlerde keşişen, diğer bölgelerde ise aralıklı kazık yapılmıştır (Capper ve Cassie, 1984).

Keşişen kazıklar 22, 20, 18 ve 16 m boylarında, 80 cm arayla 100 cm çapında, iki ana kazık arasında donatılı olarak yapılmıştır. Kazıklarda beton sınıfı olarak BS-25, betonarme çeliği olarak da 'ST İlla kullanılmıştır.

Donatısı olmayan keşişen kazık konumundaki sondaj deliğinin içerisine, 200 doz (1m<sup>3</sup> betonda



Şekil 4. Kazılan şev yüzeyine grobeton uygulaması

200 kg. çimento) ve % 20 oranında bentonit dökülerek ana kazıklar yapılmıştır (Önalp, 1982; Yalçın, 1996). Zeminde göçmeler olduğu için ana kazıklar keson boru ile yapılmıştır. Sondajda 0-8 m kil ara katkılı kum tabakası, 8-9,5 m arası kum, 9,5-17 m arası çakıllı, kumlu konglomeratik zemin ve 17-23 m arası konglomera tabakası delinmiştir. Baget kullanılarak su tabakasına kadar temizlenmiştir. Su seviyesine inilince baget yerine kör barel takılıp kuyu çapı genişletilmiştir. Keson borunun rahat çakılabilmesi için elmaslı burğu takımı kullanılmış olup, zemin 16. ve 17. m'ye kadar karıştırılıp yumuşatılmıştır. Keson boru, zeminden 3m yukarıda kalacak şekilde yerleştirilip baget kullanılarak içerisi boşaltılmış ve sıfır zemine kadar çakılmıştır. Keson boru içerisine 30 cm çaplı tiremi borusu yerleştirilerek tabakalanma önlenmiştir. Kazıkların boylarına bağlı olarak 18 m<sup>3</sup> ila 20 m<sup>3</sup> arası bentonit katkı beton dökülmüştür. Beton döküldükten sonra keson boru, oluşabilecek bir imalat hatasına ihtimal vermemek için geri çekilmiştir. Eğer bu işlem yapılmazsa kuyu içine dökülen beton, kullanılan katkı maddesinin bir özelliği olarak, hacminin artmasıyla boru ile birlikte çıkabilmektedir.

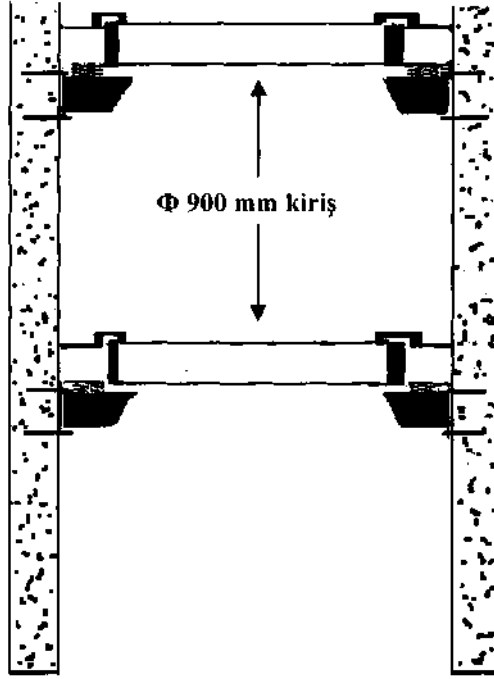
Tali kazıklar donatılı olarak imal edilen ve ana kazıkların arasına yerleştirilen kazıklardır. Ana kazıklarda olduğu gibi, tali kazıklarda da, sondaj işlemlerine bagetle başlanmıştır. Kazıkların donatısı 12 m ve 11.70 m olmak üzere iki parçadan oluşmuştur. Donatılarda kullanılan demirler 032 boyutunda, edriyeler ise 010 boyutunda, 20 adet olarak 7 cm aralıklarla monte

edilmiştir. Donatılar arasındaki bağlantılar klimens adı verilen çelik parçalarla yapılmıştır. Donatılar üzerindeki pas payları, 1 cm aralıklarla donatının çevresinde toplam 4 adet olacak şekilde monte edilmiştir.

Kazıkların imalatından sonra tünel kazısı başlamıştır. Üç aşamada gerçekleştirilen tünel kazısında, birinci aşama kazı kotuna ulaşıldığında iksa elemanları çelik borularla desteklenmiştir, ikinci aşama kazı kotunda, ikinci sıra destekleme yapılmıştır. İksa yerleştirme işlemleri, kazık aralarını desteklemek, rahat bir çalışma alanı sağlamak ve olası bir göçüğü ortadan kaldırmak amacıyla yapılmıştır, iksa elemanları yerleştirilmeden önce konsol giriş montesi yapılmıştır. Portal vinç ile uzunluğu 6 m'yi bulan göğüsleme kirişinin her iki tarafa yerleştirilmesinden sonra, 12 m uzunluğunda, 0900 mm iksaların montajı yapılmıştır (Şekil 5).

Tünel nihai kazı kotuna ulaşıncaya, drenaj çalışmaları yapılmıştır. Bunun için, zemine 0150 mm delikli drenaj borusu ve üzerine 30 cm kalınlığında filtre malzemesi serilerek 10 cm kalınlığındaki, beton sınıfı BS-14 olan (grobeton) koruma betonu drenaj için serilen malzemenin üzerine dökülmüştür. Bu aşamadan sonra, prizini alan beton üzerine yalıtım malzemesinin döşenmesine başlanıp yalıtım malzemesi olarak jeotekstil ve membran kullanılmıştır. Beton üzerine önce bir kat jeotekstil, bir kat membran ve membran üzerine bir kat daha jeotekstil döşenmiştir. Yalıtım malzemesinin üzerine koruma amaçlı 5 cm kalınlığında grobeton dökülmüştür (Bodur, 1999). Tüm bu işlemlerden sonra zemin tünel ve temel beton için hazır hale gelmiştir. Kazık aralarına düzgün bir yüzey elde etmek ve koruma amacıyla çelik hasır döşenerek yaklaşık olarak 5 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanmıştır (Tapınç, 2001). Şevlerde uygulanan püskürtme beton içerisinde kalan suyun tahliyesini sağlamak amacıyla 5 cm aralıklarla barbakan delikleri açılmıştır.

Temel betonu için hazır hale gelen tünel zeminine, proje için özel olarak hazırlanmış olan 55 cm yüksekliğinde ve 12 m uzunluğundaki temel kalıbı yanlara doğru % 1 eğimle yerleştirilmiştir. Bu kalıp raylar üzerinde hareket edebilmekte ve yerleştirme işlemi hidrolik sistemlerle yapılabilmektedir. Donatının yerleştirilmesinden sonra, beton dökümü mikser ve pompa yardımıyla, tünel tabanına gönderilerek yapılmıştır. Pompa borusu ortadan kenarlara taşınarak betonun dökülmesi



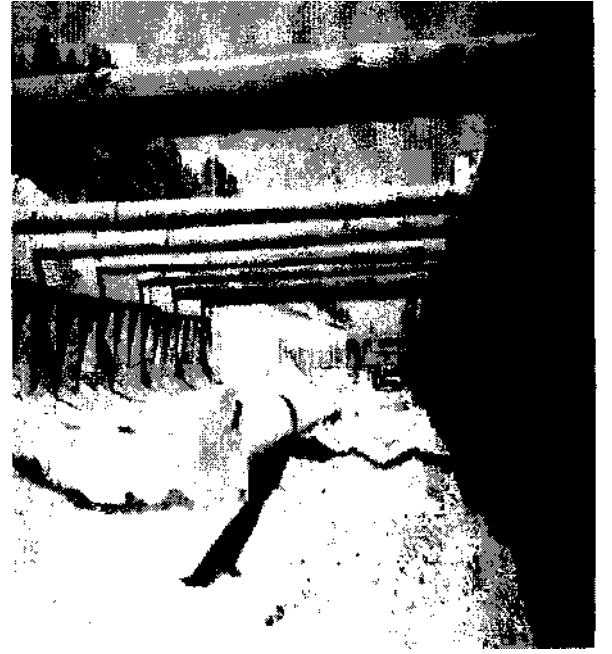
Şekil 5. Birinci ve ikinci sıra çelik konsol iksa montaj şeması (Bodur, 1999; Tapınc, 2001).

sağlanmış ve kürek ile yayılıp vibratör ile sıkıştırılmıştır.

Tünelin temel betonu hazırlandıktan sonra, perde donatılarının yerleştirileceği bölgenin izolasyonuna başlanılmıştır. Yalıtım malzemesi, tünelin çevresini çepeçevre saracak şekilde döşenmiştir. Tünelin farklı kesimlerindeki (temel, yan yüzeyler, üst döşeme) yalıtım malzemelerinin birleştirilmesi, robot adı verilen bir çeşit ütü ile yapılmıştır. Birleştirilecek olan parçalar, aralarında yaklaşık 1 cm boşluk kalacak şekilde birleştirilmiştir. İzolasyon testi bırakılan bu boşluğun ucundan basınçlı hava verilip, birkaç yerden hava basıncının ölçülmesi ile yapılmıştır. Hava basıncı, ilk verilen değer %20 oranından daha az kayıpla ölçülmüş ise izolasyon malzemesinin birleştirilmesi başarıyla tamamlanmıştır.

Perde demirleri 6 mm pas payları ve ST III inşaat çeliği kullanılarak monte edilmiştir. Temel kalıbı, proje için özel imal edilen ve raylar üzerinde hareket edebilen kutu kesit kalıbı kullanılmış, tünelin üst donatısının döşemesi tamamlanmış ve beton dökümüne geçilmiştir. Beton dökümünden sonra kutu kesitin üstüne de aynı şekilde üç kat yalıtım malzemesi serilmiş ve üzerine koruma beton dökülmüştür (Şekil 6).

Tüm güzergah boyunca düşey ve yatay, deformasyonlar inkrometre yardımı ile ölçülmüştür. Tünelin imalatı sırasında temel betonunda çelik su tutucular, her ana pano arasına da PVC su tutucular yerleştirilmiştir.



Taban ve üst döşeme arasına konulan köpükler, beton kalıpların deprem gibi yükler altında ayrı çalışmasını sağlamaktadır. Temel betonundan önce, kontrol mühendisleri tarafından donatılar sayılmış ve bağlantıların doğruluğu kontrol edilmiştir. Kutu kesitin üst döşemesinin betonu, yan duvarlarla birlikte dökülmüştür.

Adana Hafif Raylı Sistem güzergahına ait plan ve profil incelenerek yapı üzerindeki değişken dolgu yüksekliğine, yapının bulunduğu zemin özelliklerine ve yeraltı su seviyesinin durumuna bağlı olarak iç boyutları sabit olan dört farklı aç-kapa tünel tipi belirlenmiş ve uygulanmıştır. Statik analizlerinde en büyük dolgu yüksekliği yüzeyden 9 m, su yüksekliği ise yüzeyden 12 m ve zemin çakıl olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6. Aç-Kapa tünellerinin ön kesit görüntüsü



## 6. SONUÇLAR

Adana Hafif Raylı Sistem Projesi tüm hızıyla inşa edilmekte olup tamamlandıktan sonra Türkiye'nin ikinci büyük Raylı Sistemini oluşturacaktır.

Aç-kapa tünel güzergahı boyunca jeolojik birimler olarak Handere formasyonu, taraça-kaliç, kaliç, alüvyon ve dolgu malzemesi tespit edilmiştir. Bu zeminlerin jeolojik, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek duraylılık analizleri için kullanılmıştır.

Tünel yüksek binalar ile trafiğin yoğun olduğu bölgelerde açıldığından ve yeraltı su seviyesinin yaklaşık 12 m olduğundan, kesişen kazıklı destekleme sistemi tercih edilmiş ve böylece kazı alanı civarında zeminin duraylılığı bozulmamıştır.

Tünel zemininin çok zayıf kaya grubuna girmesi, aç-kapa tünellerinde problem oluşturmuştur. Kazı derinliği 16 m olup yeraltı su seviyesinden 4 m daha aşağıdadır. Suyun kazı alanına sızması için geçirimsiz perde ve 23 m uzunluğunda diyafram duvarı yapılmıştır.

Yapılan statik analizler neticesinde kazı derinliği 7 m olarak belirlenmiş ve sızan su miktarının da 1,32 lt/sn olacağı tahmin edilmiştir.

Zeminin geçirgen olması nedeni ile tünelin içine sızan suyun drene edilmesi için drenfleks borular ve filtre malzemesi kullanılmış ve dren hendeklerine biriken su, pompaj yöntemi ile dışarı atılmıştır.

Tüneldeki yatay ve düşey deformasyonlar inklinometre ile ölçülmüştür. Tünelde kazı 3 seviyede gerçekleştirilmiştir. Tünel yapımı 4 ayrı tipte değerlendirilmiştir.

Tünel kazı tabanının yer altı suyu kotu altında kaldığı kesimlerde iç destekli diyafram duvar ve duvar uç kotunda enjeksiyon tıkaç uygulanmıştır. Güzergahın yeraltı suyundan kurtarıldığı kesimlerde aralıklı kazık perde ve iç desteklerden oluşan iksa sistemi yapılmıştır. Güzergah boyunca şev yüzeylerine uygulanan çelik hasır ve püskürtme beton ile yeterli derecede sağlamlaştırma yapılmıştır. Aynı şekilde membran ve jeotekstil gibi yalıtım malzemeleri ile drenfleks borular drenajı yeterli derecede sağlamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar FBE 2000 YL-47 numaralı Yüksek

lisans projesine desteğinden dolayı Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonuna ve teknik yardımlarından dolayı ALARKO A.H.R.T.S. ve Kutlutaş Temel İnşaat ve Sondajcılık A.Ş. yetkililerine teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

BODUR, M., 1999; "Zemin İksa Kesitleri", Kulak İnşaat Çalışma Raporları (yayınlanmamış), 240s.

BULUTLAR, E., 1984; "Tünel Güzergah Seçimi ve Tünel İnşaatına Kadar Yapılan Araştırmalar", E.i.E., Ankara, 135s.

CAPPER, P.L., CASSIE, W.F., 1984; (Çevirenler: Kumbasar.V. ve Kip, F.), "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği", 5. Baskı, 350s.

ÇAĞLARER, B., 1979; "Yollarda Yeraltı Suyu Drenajı", T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, No:238, 128s.

DADB, 1996; "Türkiye Deprem Bölgeleri", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, afet işleri genel müdürlüğü, deprem araştırma dairesi başkanlığı, Ankara.

ISRM.1981; "Rock Characterization Testing and Monitoring", ISRM Suggested Method, e. T. Brown(ed.), Oxford: Pergamon Pres, 211s.

MERT, A.B., 2000: Adana Métrosunun Mühendislik Açısından İncelenmesi, Ç.Ü. Maden Müh. Böl., Bitirme Projesi, Adana, 46s.

ÖNALP, A., 1982; "İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi", KTÜ yayınları, No: 187, Cilt 2, 632s.

SAYIN, B., 2000; "Alarko - H.R.T.S. Km: 7+900 - 9+030 Arası Aç- Kapa Tünelleri Jeoteknik Raporu", 178s.

TS 1500, 2000; İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, TSE, Ankara

TAPINÇ, A., 2001; "Adana Hafif Raylı Taşıma Sistemindeki (Metro) Tünellerin ve Depo Sahasının Stabilizasyonu", Çukurova Univ. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 190s.

YALÇIN, A., 1996; "Sondaj Yöntemleri ve Uygulamaları", TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 415s.

YAŞAR, E., 2000; "Çukurova Bölgesinde Oluşan Heyelanların Analizi ve İslahı", Ç. Ü. Araştırma Projesi, MMF96-16, 38s.