

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TANDOĞAN – KEÇİÖREN METRO TÜNELİ
JEOTEKNİK İNCELEMELERİ**

**Tezi Hazırlayan
Fatih SİS**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**MART 2016
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TANDOĞAN – KEÇİÖREN METRO TÜNELİ
JEOTEKNİK İNCELEMELERİ**

**Tezi Hazırlayan
Fatih SİS**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**MART 2016
NEVŞEHİR**

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN danışmanlığında **Fatih SİS** tarafından hazırlanan “**Tandoğan-Keçiören Metro Tüneli Jeoteknik İncelemeleri** ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

25/03/2016

JÜRİ

Başkan : (Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ)

imza

Üye : (Doç. Dr. İsmail DİNÇER)

imza

Üye : (Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN)

imza

Üye : (Yrd. Doç. Dr. Ömer BİLHAN)

imza

Üye : (Yrd. Doç. Dr. Ayşe ORHAN)

imza

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 25.03.2016 tarih ve 14-149... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

29/03/2016

Doç. Dr. Şahlan ÖZTÜRK

Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Fatih SİS

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans'a başladığım günden itibaren bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, sabrı ve ilgisiyle bana büyük umut ve destek veren Danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN'a ve yapmış oldukları katkılardan dolayı Doç. Dr. İsmail DİNÇER'e, Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ'a, Yrd. Doç. Dr. Ömer BİLHAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Ayşe ORHAN'a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli AİLEME,

Tezi hazırlamamda gerekli olan kaynakları sağlayan ve jeoteknik çalışmalarını birlikte yaptığımız Gülermak – Kolin - Limak iş ortaklığı teknik personellerinden Jeoloji Yüksek Mühendisi Hasan ÖZARSLAN'a, Jeoteknik Teknikeri Abdullah Horoz'a, Sayın Levent KARAÇELİK'e, hocam Sayın Doç. Dr. Volkan KARABACAK'a öngörü ve tecrübelerinden yararlandığım hocam Sayın Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU'na teşekkür ederim.

TANDOĞAN – KEÇİÖREN METRO TÜNELİ JEOTEKNİK İNCELEMELERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatih SİS

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mart 2016

ÖZET

Ankara ili gerek tarihi gerekse jeopolitik konumu ve başkent olması sebebiyle çok kalabalık bir nüfusa sahiptir. Nüfusun kalabalık olması ulaşım sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bundan dolayı Ankara'da bir çok metro projesi gerçekleştirilmektedir. Tandoğan - Keçiören hattı Ankara metro projesinin yapımı devam eden bölümlerinden biridir. Güzergah üzerinde yer alan Belediye ve Mecidiye İstasyonlarının mühendislik jeolojisi, jeoteknik özelliklerin araştırılması bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Çalışma alanında kaya kalitesi (RQD) bulunmuş, RMR ve Q kaya kütle sınıflandırmaları yapılmış, yapılan zemin sınıflandırmalarıyla kayanın; A, B ve C sınıfı olduğu tespit edilmiştir. Belediye–Mecidiye istasyonları güzergahında yapılan sondaj ve zemin sınıflandırmalarına göre tünel hattı boyunca Mamak Formasyonuna ait dasit, Gölbaşı Formasyonuna ait kumtaşı ve güncel alüvyon gözlenmiştir. Çalışma alanında 20 metre derinliğe kadar ulaşan istasyon kazılarında püskürtme beton, zemin/kaya bulonu ve enjeksiyon gibi destek sistemleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Tandoğan-Keçiören Metro Hattı, jeoteknik özellikler, Tünel Tasarım Parametreleri, Ankara*

Tez Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

Sayfa Adeti: 63

TANDOGAN - KECIOREN METRO TUNNEL GEOTECHNICAL SURVEYS

(M. Sc. Thesis)

Fatih SİS

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

March 2016

ABSTRACT

Ankara due to its historical, geopolitical position and being capital has a very large population. The extensive population brings issues in transportation. Therefore, several subway projects are carried out in Ankara. Tandogan -Keçiören section of the line is one of the ongoing constructions of the Ankara metro project. Investigation of engineering geological and geotechnical properties of Belediye and Mecidiye Station, which are located on the route, is the subject of this thesis. Rock quality designation (RQD) in the study area has been obtained; RMR and Q rock mass classification were performed. According to the soil classification, the rock is classified as A, B and C. Dacite belonging to Mamak Formation, sandstone belonging to Gölbaşı Formation and actual alluvium has been observed through tunnel route according to the drilling and classification carried out on the route between Belediye and Mecidiye stations. In the study area shotcrete, soil/rock-bolt and injection improvement applications has been performed on deep excavated stations reaching up to 20 meters.

Keywords: Tandoğan-Keçiören Metro Line, geotechnical properties, tunnel design parameters, Ankara

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet Orhan

Number of Pages: 63

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
2.1. Jeolojik Çalışmalar.....	8
2.2. Jeoteknik Çalışmalar	10
2.3. Sıvılaşma ve Depremde Zemin Etkisi ile İlgili Çalışmalar.....	11
3. BÖLÜM	
MATERYAL VE METOD	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Belediye İstasyonu	15
3.1.2. Mecidiye İstasyonu	15
3.2. Metod	17
3.2.1. Temel Sondajları	17
3.2.2. Jeolojik Haritalama	17

3.2.3.	Literatür Taraması	19
3.2.4.	Arazi Çalışması	19
3.2.4.1.	Permeabilite deneyi	19
3.2.4.2	Basınçlı su deneyi (BST).....	20
3.2.5.	Laboratuvar Deneyleri.....	21
4. BÖLÜM		
JEOLOJİ		22
4.1.	Genel Jeoloji.....	22
4.2.	Çalışma Alanının Jeolojisi	24
4.2.1.	Mamak Formasyonu (Tma).....	25
4.2.2.	Tekke Volkaniti (Tt).....	25
4.2.3.	Gölbaşı Formasyonu (Tg)	26
4.2.4.	Alüvyon (Qa).....	27
5. BÖLÜM		
DEPREMSELLİK.....		28
6. BÖLÜM		
YERALTISUYU DURUMU		31
6.1.	Ankara İlının Yeraltısuyu Rezervi ve Potansiyeli.....	31
6.2.	Çalışma alanının yeraltısuyu durumu.....	32
7.BÖLÜM		
ZEMİN PROFİLİ.....		34
7.1.	Alüvyon.....	34
7.1.1.	Kumlu seviyeler	34
7.1.2.	Çakıllı seviyeler.....	35
7.1.3.	Killi seviyeler	35
7.2.	Dasit (Tekke Volkaniti).....	36

7.3.	Kumtaşı	36
8. BÖLÜM		
JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMELER		38
8.1.	Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması	38
8.1.1.	Genel	38
8.1.2.	Tünel tasarımı için kaya kütlelerinin mühendislik sınıflaması (Q).....	39
8.1.3.	Eklemli kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflaması (RMR)	39
8.1.4.	NATM kaya sınıflaması	40
8.2.	Zemin Sınıflaması	44
8.3.	Tünel Destek Tasarımı	45
8.3.1.	Tasarım parametreleri	45
8.4.	Tünel Kazısı ve Alınması Gerekli Önlemler.....	48
8.4.1.	Kaya birimlerindeki tünel kazısı	48
8.4.2.	Zemin birimlerindeki tünel kazısı	50
8.5.	Kazı Sırasında Perimetrik Harita Alınması	51
8.6.	Tünel içi deformasyonları ölçümleri	53
9. BÖLÜM		
SONUÇLAR		55
KAYNAKÇA		57
ÖZGEÇMİŞ		63

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Proje güzergah özellikleri.....	5
Tablo 1.2.	Proje istasyon özellikler	5
Tablo 1.3.	Proje araç özellikleri	6
Tablo 1.4.	Proje sistem kapasitesi.....	6
Tablo 1.5.	Proje yolcu kapasitesi.....	6
Tablo 1.6.	Proje hizmet sunum özellikleri.....	6
Tablo 1.7.	Proje sisteminin genel teknik özellikleri	7
Tablo 3.1.	Temel sondajlarına ait veriler	17
Tablo 3.2.	Sabit seviyeli permeabilite deneyi sonuçları	20
Tablo 3.3.	Basınçlı su deneyi sonuçları	20
Tablo 5.1.	Ankara ve çevresinde 1900-2006 yılları arasında meydana gelmiş olan ve büyüklüğü >4.0 olan depremler.....	28
Tablo 6.1.	Ankara’da bulunan akifer bölgelerinin işletme rezervleri	31
Tablo 6.2.	Çalışma alanının yeraltısuyu seviyeleri.....	33
Tablo 8.1	Q ve RMR kaya sınıflaması	38
Tablo 8.2.	NATM kaya sınıflaması	40
Tablo 8.3.	B ₂ zeminlerde tahkimat elemanları	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2.	Ankara raylı sistem hatları ve M4 Tandoğan-Keçiören metro hattı	3
Şekil 1.3.	Proje alanının uydu görüntüsü	4
Şekil 3.1.	Çalışma alanın uydu görüntüsü (A) ve enine kesiti (B)	14
Şekil 3.2.	Mevcut çalışma alanı olan Belediye ve Mecidiye istasyonları arası alanın jeolojik ve jeoteknik profili	18
Şekil 4.1.	Ankara yerleşim alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	23
Şekil 4.2.	Ankara ve çevresi genel jeoloji haritası	24
Şekil 4.3.	Çalışma alanın stratigrafik kesiti	27
Şekil 5.1.	Ankara ve çevresi diri fay haritası	29
Şekil 5.2.	Ankara ili deprem bölgeleri haritası	30
Şekil 6.1.	Ankara'nın yeraltı su sahaları	32
Şekil 7.1.	Belediye-Mecidiye istasyonları arası yapılan sondajların yerleşim planı ..	37
Şekil 8.1.	Tünel içinde meydana gelen deformasyonların kesiti	54

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1.	Belediye İstasyonu şaft kademe kazısı görünümü	15
Resim 3.2.	Mecidiye İstasyonu şaft kademe kazılarından bir görünümü	16
Resim 3.3.	Mecidiye İstasyonu biten şaft kazısı ve Mecidiye tarafından Belediye tarafına delme tünelinin yapımına başlanması	16
Resim 4.1.	Mamak Formasyonuna ait andezitlerin görünümü.....	25
Resim 4.2.	Gölbaşı Formasyonun çakıltaşı ve kumtaşı seviyelerinin görünümü.....	26
Resim 8.1.	A ₁ sınıfı sağlam kayayı gösteren ve püskürtme beton ile kaplanmış çelik hasırsız ve iksa desteksiz geçilen tünel birimi.....	41
Resim 8.2.	A ₂ tünel zemininde patlama ile ilerme yapılan tünel aynası	41
Resim 8.3.	A ₃ sınıfı patlamalı tünel aynasının, ayna paternine ait detaylar	42
Resim 8.4.	A ₂ tipi patlatmalı tünel aynasına ait ayna paterni	42
Resim 8.5.	B tipi tünel zeminine ait 1.kat çelik hasırlı, kafes iksalı ve püskürtme betonlu geçilen birimi	43
Resim 8.6.	C tipi tünel zemine ait tahkimat elemanları.....	44
Resim 8.7.	B ₂ tip zeminlerde 1.kat çelik hasır, kafes iksa montajı, püskürme beton ve 2. kat çelik hasır ve püskürtme beton uygulaması	46
Resim 8.8.	Püskürtme beton uygulaması ve 2. kat çelik hasır uygulaması.....	47
Resim 8.9.	C ₃ tip tünel zeminlerinde orta duvar uygulaması	48
Resim 8.10.	Tünelin alt yarı patlatmalı ilerleme aşaması.....	49
Resim 8.11.	Tünel kazı aşamasında tünel üst yarı ve alt yarı kazıları.....	49
Resim 8.12.	Zemin birimlerinde 1,2,3 kademe kazıları	50
Resim 8.13.	Ayna jeolojik haritalama ve perimetrik harita yapımı.....	50
Resim 8.14.	Kazısı yapılan aynanın perimetri ve ayna haritalaması.....	52
Resim 8.15.	Kazı destek sisteminin mevcut yanal yüklere yetersiz kalmasında dolayı meydana gelen deformasyonlar.....	53

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

SM	Siltli Kum
SW	İyi Derecelenmiş Kum
SC	Killi Kum
GW	İyi Derecelenmiş Çakıl
GM	Siltli Çakıl
GP	Kötü Derecelenmiş Çakıl
CL	Düşük Plastisiteli Kil
ML	Düşük Plastisiteli Silt
NATM	Avusturya Tünel Açma Metodu
RQD	Kaya Kütle Belirteci (Rock Quality Designation)
RMR	Jeomekanik Sınıflandırma (Rock Mass Rating)
Q	Kaya Tüneli Kalite İndisi (Rock Tunnelling Quality Index)
NGI	Norway Geotechnical Institute
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research
GSI	Jeolojik Dayanım İndisi (Geological Strength Index)
MPa	Mega Pascal
UK	Sondaj Kuyusu
Jn	Süreksizlik Takım Sayısı
Jr	Eklem Pürüzlülük Sayısı
Ja	Eklem Ayrışma Durumu
Jw	Eklem Durumu İndirgeme Etmeni
SRF	Gerilim Azaltma Etmeni
GSI	Geological Strength Index
E	Elastisite Modülü

1. BÖLÜM

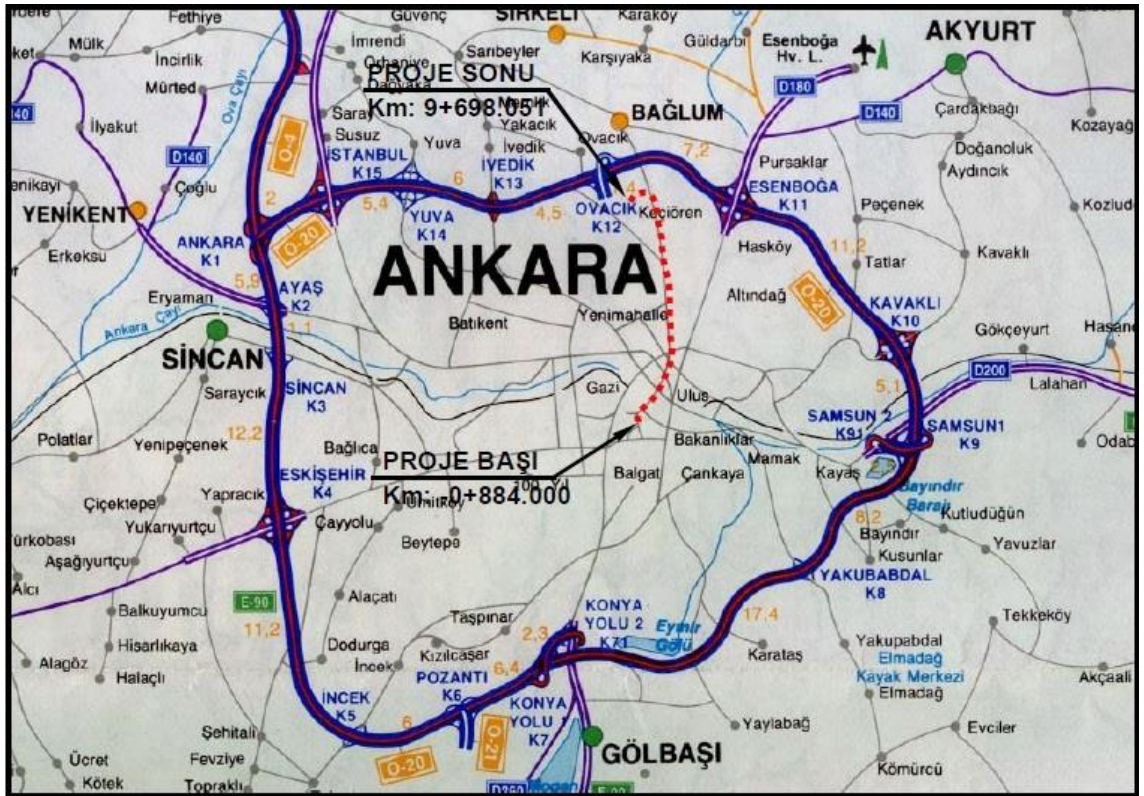
GİRİŞ

Son yıllarda büyük kentlerimizde metro projelerin artması ile birlikte mühendislik jeolojisi çalışmalarının önemi farklı bir boyuta taşınmıştır. Metro inşaatları, tünel, kazı ve zemin iyileştirme uygulamalarının yoğun olarak gerçekleştirildiği projeler olmasının yanı sıra özellikle yerleşim yerleri içerisinde yapılmasından dolayı diğer birçok mühendislik jeolojisi projesinden farklılıklar sunmaktadır. Ayrıca bu tür büyük metro projelerin problemleri zeminlerde inşa ediliyor olması çoğu zaman derin temeller ve/veya zemin iyileştirmesini yöntemlerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, büyük mühendislik projelerinin tasarım aşamasında ve uygulama aşamasında mühendislik jeolojisi uygulamaları yoğun bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

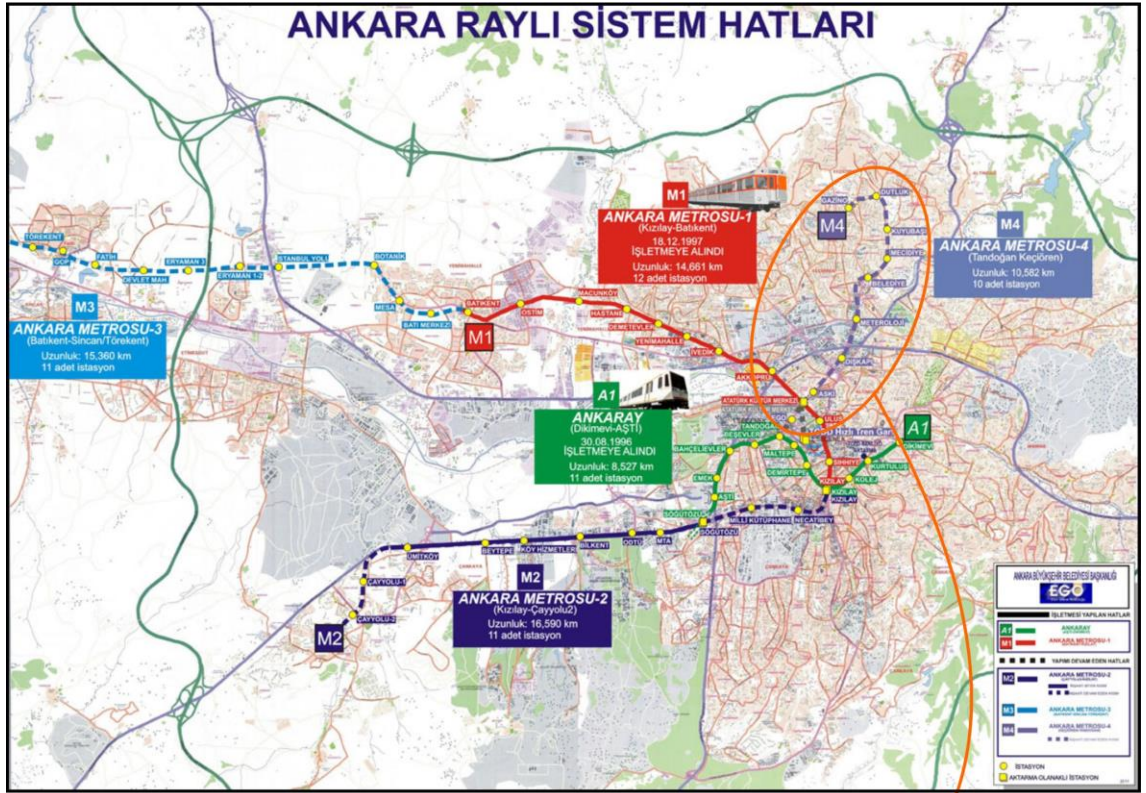
Ülkemizde bu anlamda gerçekleştirilen önemli projelerden biri olan Ankara Metrosu, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO (Elektrik, gaz, otobüs) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ‘‘Ulaşım Ana Planı’’ kapsamında yapımı devam eden, Tandoğan - Keçiören metrosu bu projelerden biridir.

Tandoğan – Keçiören metro projesi güzergahında km: 5+385.00 – 6+200.00 arasında kalan Belediye ve Mecidiye istasyonları arasındaki metro tünelinin inşası öncesinde yapılan ön çalışmalar ve jeoteknik incelemeler kapsamında, Tandoğan - Keçiören arasında 10.582 m hat ve 11 istasyon olarak projelendirilen hattın bina ve inşaat yapım çalışmalarına 15.07.2003 tarihinde başlanmıştır.

Proje alanının yer bulduru haritası Şekil 1.1’de verilmiştir. Keçiören- AKM (Atatürk Kültür Merkezi) istasyonları arasındaki 9.220 m hat ve 9 istasyonu kapsayan kısmı 25.04.2011 tarihinde yapılan protokolle Ulaştırma Bakanlığına devredilmiştir. Tandoğan - Keçiören metro güzergahı Şekil 1.2’de uydu görüntüsü ise Şekil 1.3’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası



Şekil 1.2. Ankara raylı sistem hatları ve M4 Tandoğan-Keçiören metro hattı



Şekil 1.3. Proje alanının uydu görüntüsü

Metro projesinin güzergah özellikleri (Tablo 1.1), istasyon özellikleri (Tablo 1.2), kullanılan metro araçlarının özellikleri (Tablo 1.3), raylı sistemin faaliyete geçmesiyle yolcu sisteminin kapasitesi (Tablo 1.4), projenin hayata geçmesiyle günlük tek yönde taşınacak yolcu sayısı (Tablo 1.5), sistemin hizmet sunumun özellikleri (Tablo 1.6) ve sistemin genel teknik özellikleri (Tablo 1.7) verilmiştir.

Tablo 1.1. Proje güzergah özellikleri

GÜZERGAH ÖZELLİKLERİ	
GÜZERGAH	Tandoğan – Keçiören
Delme Tünel (TBM)	4.210 m
Delme Tünel (NATM)	3.067 m
Aç-Kapa Tünel	683 m
İstasyonlar	1.260 m
TOPLAM HAT UZUNLUĞU	9.220 m

Tablo 1.2. Proje istasyon özellikleri

İSTASYON ÖZELLİKLERİ	
Tandoğan İstasyonu	Aç-Kapa
EGO İstasyonu	Aç-Kapa
AKM İstasyonu	Aç-Kapa
ASKİ İstasyonu	Aç-Kapa
Dışkapı İstasyonu	Aç-Kapa
Meteoroloji İstasyonu	Aç-Kapa
Belediye İstasyonu	Delme
Mecidiye İstasyonu	Delme
Kuyubaşı İstasyonu	Delme
Dutluk İstasyonu	Delme
Gazino İstasyonu	Delme
Ortalama İstasyon Aralığı	1075 m
Minimum İstasyon Aralığı	595 m
Maksimum İstasyon Aralığı	1537 m
Peron Boyu	140 m
Orta Peron Eni	11.5 m
Kenar Peron Eni	7 m

Tablo 1.3. Proje araç özellikleri

ARAÇ ÖZELLİKLERİ (Metro)	
Boy	22.784 m
Eni	3.150 m
Yüksekliği	3.645 m
Ağırlığı (Kabinli) Boş	32459 kg
Ağırlığı (Kabinsiz) Boş	29148 kg
Enerji	750 VDC 3.Ray

Tablo 1.4. Proje sistem kapasitesi

SİSTEMİN KAPASİTESİ	
Minimum Dizi Aralığı	90 saniye
Maksimum Yolcu Sayısı	66.000 yolcu/saat/yön

Tablo 1.5. Proje yolcu kapasitesi

GÜNLÜK TEK YÖNDE TAŞINACAK YOLCU SAYISI	
2015 Yılı Yolcu Sayısı (Dizi aralığı 5 dk)	356.400 yolcu/gün
2015 Yılı Doruk Saate Yolcu Sayısı (Dizi aralığı 120 sn)	891.000 yolcu/gün
2015 Maksimum Yolcu Sayısı (Dizi aralığı 90 sn)	1.188.000 yolcu/gün

Tablo 1.6. Proje hizmet sunum özellikleri

HİZMET SUNUM ÖZELLİKLERİ	
2015 Yılı Hattaki araç sayısı	60 araç (10 adet 6'lı dizi)
Dizi Kapasitesi	1.650 yolcu (364 oturan)
Araç Kapasitesi(6 kişi/m2)	275 yolcu/araç
Dizideki Araç Sayısı	6 adet
Tandoğan-Keçiören ulaşım süresi	16 dakika

Tablo 1.7. Proje sisteminin genel teknik özellikleri

SİSTEM ÖZELLİKLERİ	
Hat Uzunluğu	9220 m
İstasyon Sayısı	9 istasyon
Ticari Hız	40 km/saat
Maksimum Hız	80 km/saat
Günlük Çalışma Süresi	18 saat
Minimum Dizi Aralığı	90 saniye
Doruk Süresi (Sabah: 07-09 Akşam: 17-19)	2+2 saat
Not: Hattın tamamı 10.582 metre ve 11 istasyonlu olup, bu kapsamda Atatürk Kültür Merkezi–Gazino arası 9.220 metre ve 9 İstasyon olarak yapılmaktadır.	

Belediye – Mecidiye tüneli güzergâh toplam uzunluğu 815 m olup, sistemdeki maksimum eğimi %3' tür. Tandoğan – Keçiören hattı olan ana hattın toplamı 9220 m olup bunun 7277 m'lik kısmı yeraltı delme tünellerinden, 683 m'lik bölümü ise açık yarma (aç - kapa) tünellerinden ve 1260 m'lik kısmı ise istasyonlardan oluşmaktadır. Hattın açıklığı 1435 mm olup kaynaklanmış sürekli raylardan oluşmaktadır. Acil durumlar ve bakım servisleri için tüm ana hat güzergâhı boyunca bir yürüme yolu bulunmaktadır.

Bir projenin, fizibilite ve ilk tasarım aşamaları sırasında kaya kütlesi, gerilmeler ve hidrolojik karakteristikleri hakkında çok az detaylı bilgi bulunması durumunda kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin kullanımı büyük yararlar sağlayabilir. En genel ifadeyle sınıflama sistemleri, ilgili bütün özelliklerin dikkate alındığından emin olunan bir kontrol listesidir. Diğer bir deyişle, kaya kütle sınıflama sistemleri başlangıç tahkimat gereksinimlerinin, kaya kütlesinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin kestirilebilmesi amacıyla kaya kütlesinin karakteristiğini ve bileşimini göstermek için kullanılabilir [1]. Keçiören-Tandoğan metro tünel projesi kapsamında Belediye - Mecidiye güzergâhında zeminlerin düşey ve yanal yöndeki dağılımını belirlemek amacıyla açılmış olan temel sondajlarından alınan kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı, tabii birim hacim ağırlığı, elastisite modülü, poisson oranı gibi fiziko - mekanik özellikleri, ilgili standartlara göre Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. tarafından belirlenmiştir[1].

2. BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılan önceki çalışmalar jeoloji, jeoteknik, sıvılaşma ve depremde zemin etkisi ile ilgili çalışmalar olmak üzere ayrı başlıklar halinde sunulmuştur.

2.1. Jeolojik Çalışmalar

Chaput, bölgede ilk defa 1/135.000 ölçekli jeoloji haritasını yapmış, incelenen birimlerin jeomorfolojik özelliklerini açıklamıştır. Ankara ve civarında daha çok gözlemsel olmak üzere, jeolojik incelemelerde bulunmuştur [2].

Bailey ve Callien, Ankara ve çevresindeki ofiyolitlerin jeolojisi ve tektoniğini inceleyerek, ilk defa “Ankara melanji” ismini vermişlerdir [3].

Erol, Ankara ve çevresinde ilk detaylı jeoloji çalışmasını yapmış, Ankara’da yaklaşık 8500 km² lik bir alanın 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. Bölgede uzun süre detaylı olarak stratigrafik, tektonik ve jeomorfolojik çalışmalarda bulunmuştur [4].

Erol ve çalışma arkadaşları, Ankara ili yerleşim alanı arazi kullanım haritasını hazırlamışlar, jeolojik birimlerin farklı özelliklerini belirtmişlerdir. Yaptıkları haritada; jeoloji, mühendislik jeolojisi, hidroloji, jeomorfoloji, toprak, eğim ve yapı gereçleri olmak üzere alt bölümler halinde değerlendirmişlerdir [5].

Akyürek ve arkadaşları, Elmadağ-Kalecik dolayının jeolojisini inceleyerek, formasyonları ve bölgenin jeolojik evrimini açıklamışlardır [6].

Kiper, Ankara ile Etimesgut – Batıkent havzaları arasında, Jura kireçtaşları ve Miyosen volkanitlerinden oluşan bir paleosırtın varlığından bahsetmektedir. Ayrıca Pliyosen ve Holosen yaşlı toprak zeminlerin kalınlık değişimi bir izopak haritası üzerinde, havza tabanlarının morfolojisini ise yapı-kontur haritası üzerinde incelemiştir [7].

Gökten ve arkadaşları, Ankara kuzeybatısında kalan Bağlum-Kazan arasındaki Geç Kretase Pliyosen serilerinin stratigrafisi ve tektoniğini incelemiştir. İnceleme

alanının Üst Kretase'den Orta Miyosen'e kadar yay önü havza şeklinde geliştiğini belirtmişlerdir [8].

Akyürek ve çalışma arkadaşları, 1/100.000 ölçekli açinsama nitelikli Çankırı E16 paftasının jeoloji haritasını hazırlayarak, formasyonları tanımlamış ve açıklamışlardır [9].

Koçyiğit, Ankara ve çevresinde pilot arazilerde çalışma yaparak bindirme faylarını tespit etmiş, Pliyosen'den itibaren sıkışmalı tektonik rejimin varlığından bahsetmiştir [10].

Erol, Ankara yöresinin jeomorfolojik gelişimini incelemiş, Ankara ve çevresinde görülen yer şekilleri ile onların yaşıtı olan jeolojik formasyonları karşılaştırmıştır [11].

Varol ve Gökten, Ankara Jura sekansı içinde bulunan nodüllü, kırmızımsı marnlı kireçtaşlarının fasiyes özellikleri ile depolanma ortamlarını belirlemişlerdir [12].

Baran ve Gökten ise Ankara batısının sismotektonik incelemesini yapmış, odak mekanizması çözümleri, Ankara batısında KAF etkisi ile çekmeye bağlı gelişmiş KD-GB doğrultulu normal fayların varlığına işaret etmişlerdir. Ayrıca, aynı çalışmada bindirme faylarına ait odak mekanizması çözümleri de verilmiştir [13].

Akyürek ve arkadaşları, 1/100.000 ölçekli açinsama nitelikli Ankara F15 paftasının jeoloji haritasını hazırlayarak, formasyonları tanımlamış ve açıklamışlardır [14].

Seyitoğlu ve arkadaşları, Ankara ve civarında arazi gözlemleri yaparak, Miyosen ve sonrasında genişlemeli bir tektonik rejimin hakim olduğunu belirlemişler ve sistemi normal fayların varlığı ile tespit etmişlerdir. Çankırı baseni KD'sundaki normal faylanmalara bağlı kaya heyelanlarını incelemişler ve batı kenarı normal faylı, doğu kenarı bindirmeli kama geometrilerini ortaya koyarak, bunların neotektonik kökenli olduklarını belirtmişlerdir. Çankırı baseninden Ankara Elmadağ'a kadar uzanan neotektonik kama ile ilgili bulgularını tartışmışlardır [15].

Duru ve Aksoy, 1/100.000 ölçekli Bolu H29 paftasının jeoloji haritasını hazırlayarak, formasyonları tanımlamış ve açıklamışlardır [16].

Toori, Orhaniye ile Güvenç köyleri arasında Mesozoyik yay önü havza çökelleri üzerinde gelişen Neojen-Kuvaterner birimlerinin stratigrafisi ve tektoniğini incelemiştir [17].

Kutluay, Ankara'nın kuzeybatısında yer alan Kazan havzasının batı kenarının tektonik özelliklerini incelemiştir. Bölgedeki sıkışmalı rejimin varlığını ortaya koymuştur [18].

2.2. Jeoteknik Çalışmalar

Birand, Ankara kilinin şişme ve konsolidasyon özelliklerini incelemiş, Ankara yöresi zeminleri ve jeoteknik sorunları kapsamında zeminleri sınıflayarak genel jeoteknik özelliklerinden ve problemlerinden bahsetmiştir. Ankara kilinin uzun süreli stabilite sorunları ve şişme, büzülme problemleri oluşturabileceğini belirtmiştir [19].

Arda ise Ankara kilinin prekonsolidasyon özelliğini Ulus, Emek ve ODTÜ kampüsünden aldığı örnekler üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda ortaya koymuştur [20].

Ergünay, sismik tehlike ve sismik risk açısından Ankara'ya genel bakış adlı bir çalışma yapmıştır. Civardaki sismik kaynakları değerlendirmiştir. Alüvyon ve Pliyosen çökellerinde dalga genliklerinin büyütülme olasılığı olduğu ve yapısal hasara neden olabileceğini belirtmiştir [21].

Kasapoğlu, Ankara kenti zeminlerinin jeoteknik özelliklerini inceleyerek, jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritalarını hazırlamıştır. Zemin ve kaya türlerindeki jeomühendislik sorunlarına değinmiştir [22].

Mucukgil, Ankara –Kızılcahamam arasında inşaa edilen Kınık tünelineki jeoteknik problemleri incelemiştir [23].

Kılıç ve Demirbaş, Sincan civarındaki Üst Pliyosen killerin arazi ve laboratuvar yöntemleri ile sınıflama, fiziksel, mekanik ve oturma özelliklerini incelemişlerdir. Sincan, Beşevler ve Kavaklıdere'deki Üst Pliyosen killerin jeoteknik özelliklerini inceleyerek mineralojik bileşim ile kayma dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir [24].

Ergüler ve Ulusay, Ankara kilinde model bir çalışma ile kilin şişme potansiyelini ortaya koymuşlardır. Ümitköy- Çayyolu 2 (Ankara) yerleşim bölgesindeki zeminlerin dağılımlarını, jeolojik, jeofizik ve jeoteknik yöntemlerle belirlenmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır [25].

Kılıç ve çalışma arkadaşları, Ankara Üniversitesi'nde Teknopark alanı olarak planlanan arazinin kullanımına esas olmak üzere jeolojik, jeoteknik ve jeofizik incelemeler yaparak zeminlerin fiziksel, mekanik ve oturma özelliklerini incelemiş, mühendislik jeolojisi haritası ve kesitlerini hazırlamışlardır [26].

2.3. Sıvılaşma ve Depremde Zemin Etkisi ile İlgili Çalışmalar

Gutenberg, depremlere ait büyüklük, şiddet, enerji ve ivme kavramlarını açıklamış ve ilişkilendirmiştir [27].

Gumbel, uç değerler dağılımının esasını en küçük veya en büyük uç değerlerin matematiksel hesaplamalarda kullanılmasına dayanan bir yaklaşım ortaya koymuştur [28].

Campbell, pik yatay ivmenin mesafe, kaynağa uzaklık ve büyüklüklerini kullanarak ivme azalım bağıntısı geliştirmiştir [29].

Erdik ve arkadaşları, Türkiye genelinin probabilistik sismik risk değerlendirmesini yapmışlardır [30].

Gülkan ve arkadaşları, Türkiye deprem bölgeleri haritasını hazırlamışlardır. I - V arasında kalan deprem bölgelerine ait yatay yer ivmesi rakamlarını vermişlerdir [31].

Özmen ve Kocaefe, Ankara ili için sismik tehlike analizi yaparak, yıllık deprem dağılımını Gumbel metodu ile belirlemişlerdir [32].

Çetin, sıvılaşma hesaplamalarında kullanılan bağıntıları, eski verileri gözden geçirip yenilerini de ekleyerek güncellemiştir. Özellikle gerilme azaltma faktörü, SPT düzeltmesi, devirsel gerilme oranı gibi parametrelerinin üzerinde durmuştur. Standart Penetrasyon Testine dayalı probabilistik ve deterministik sismik sıvılaşma yönteminde geliştirmeler yaparak açıklamıştır. [33].

Gülkan ve Kalkan, Türkiye’de yakın dönemde yaşanmış olan depremlere ait azalım bağıntılarını değerlendirmişlerdir [34].

Ansal ve çalışma arkadaşları, Kocaeli depreminden sonra Sakarya ve Gölcük pilot bölgeler olmak üzere bir sismik mikro bölgelendirme metodunu geliştirmişlerdir [35].

Sağlam, Demetevler (Ankara) civarındaki zeminlerin hakim titreşim periyodu ve büyütmelerinin belirlenmesi konusunu incelemiştir [36].

Ulusay ve çalışma arkadaşları, Türkiye’deki önemli fay hatlarını ve yerel zemin koşullarını da dikkate alarak ivme azalım ilişkisi önermişlerdir. Türkiye’deki ivme ölçer kayıtlarını kullanarak yeni bir azalım bağıntısı geliştirmiş ve eş-ivme haritası hazırlamışlardır [37].

Koçkar, Ankara'nın batısındaki Geç Pliyosen ve Kuvaterner zeminlerin mühendislik jeolojisi ve jeoteknik karakterizasyonunun yapılması ve sismik tehlike değerlendirmelerinin belirlenmesi konulu doktora çalışmasını yapmıştır. Zeminlerin tipik özelliklerini belirleyerek sınıflamış ve sınıflama potansiyellerini incelemiştir. S dalga hızları ile SPT-N darbe sayısı arasında bağıntılar bulmuştur [38].

3. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

Bu tez kapsamında çalışma alanında zemin ve kaya ortamlarda gerçekleştirilen arazi, ölçüm, gözlem ve deneyleri ile laboratuvar verileri kullanılarak söz konusu istasyonların mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi ve çalışma alanı olarak seçilen istasyonlarda yapılan jeoteknik uygulamaların incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma konusunun seçiminden çalışmanın derlenip tez haline getirilmesine kadar geçen süreçte kullanılan araç ve yöntemler sırasıyla aşağıda verilen alt başlıklar altında sunulmuştur.

3.1. Materyal

Bu çalışma ile Tandoğan - Keçiören metro tünelinin 5+385.00 ile 6+200.00 km arasında kalan Belediye ve Mecidiye istasyonları güzergahının mühendislik jeolojisi ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanın uydur görüntüsü (A) ve enine kesiti (B) [1]

3.1.1. Belediye İstasyonu

Belediye istasyonu projenin 7. istasyonu olup, doğu ve batı blok olmak üzere iki bloktan oluşur. Belediye İstasyonu Tandoğan-Keçiören Metro güzergâhının 5+385.00 ile 5+525.00 km arasında yer almakta olup, toplam uzunluğu 140 m olan istasyon, şaft kazılarında 35 m derinliğe kadar inilmiştir. 25.04.2011 tarihinde yapımına başlanan istasyonun şaft indirme kazısı Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1. Belediye İstasyonu şaft kademe kazısı görünümü

3.1.2. Mecidiye İstasyonu

Mecidiye İstasyonu tıpkı Belediye İstasyonu gibi kuzey ve güney olmak üzere iki bloktan oluşur. Mecidiye İstasyonu Tandoğan-Keçiören Metro güzergâhının 6+060.00 ile 6+200.00 km arasında yer almakta olup, toplam uzunluğu 140 m olan istasyon, şaft kazılarında 45 m derinliğe kadar inilmiştir. 30.06.2011 tarihinde yapımına başlanan istasyonun şaft indirme kazısı Resim 3.2 – 3.3’de verilmiştir.



Resim 3.2. Mecidiye İstasyonu şaft kademe kazılarında bir görünüm



Resim 3.3. Mecidiye İstasyonun biten şaft kazısı ve Mecidiye tarafından Belediye tarafına delme tünelinin yapımına başlanması

3.2. Metod

Bu çalışma ile yapılan temel sondajlar, jeolojik haritalamalar, literatür taraması, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada tamamlanmıştır.

3.2.1. Temel Sondajları

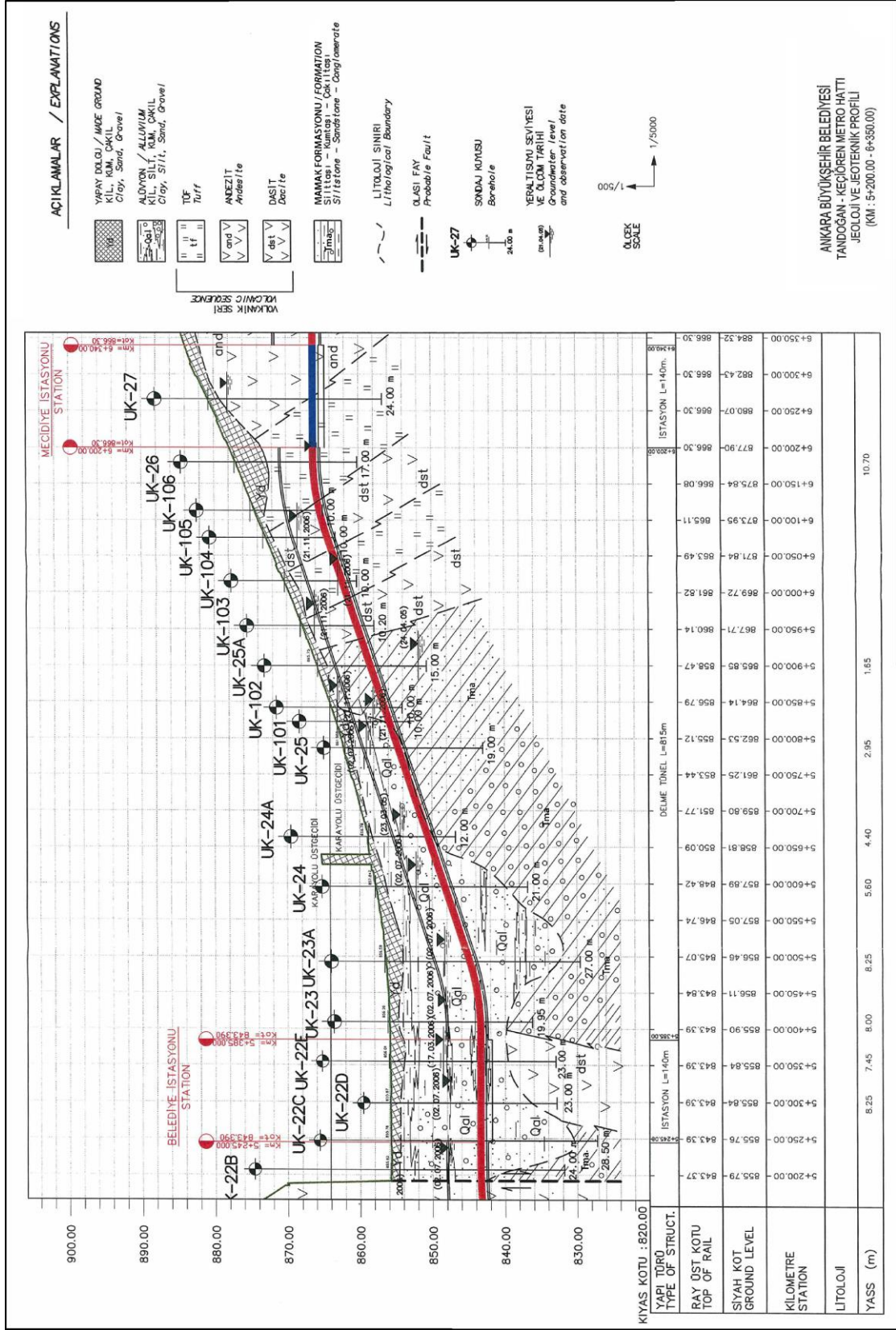
Belediye-Mecidiye tünel güzergahında 5+385 ile 6+200 km arasında yer alan zemin ve kaya birimlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve yeraltı suyu seviyesinin saptanması amacıyla 12 lokasyonda toplam uzunluğu 181.15 m temel sondajı yapılmıştır (Tablo 3.1). Ayrıca yapılan sondajların sondaj yerleşim planı Şekil 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Temel sondajlarına ait veriler [1]

Sondaj Numarası	Başlangıç (km)	Derinlik (m)	Koordinat			Litoloji
			X	Y	Z	
UK-23	5+408	19.95	488 854,510	4 427 315,195	856,200	0-5.50 m: Yapay dolgu 5.50-19.95 m: Dasit
UK-23A	5+491	27.00	488 934,875	4 427 336,522	856,591	0-4.10 m: Yapay dolgu 4.10-8.20 m: Alüvyon 8.20-27 m: Dasit
UK-24	5+598	21.00	489 035,091	4 427 357,741	857,847	0-4.10 m: Yapay dolgu 4.10-21 m: Dasit
UK-24A	5+663	12.00	489 089,704	4 429 396,728	858,780	0-2.20 m: Yapay dolgu 2.20-12 m: Alüvyon
UK-25	5+784	19.00	489162,159	4 427 490,234	861,988	0-2.70 m: Yapay dolgu 2.70-12.30 m: Aglomera 12.30-19 m: Dasit
UK-101	5+823	10.00	489 185,220	4 427 521,380	863,08	0-1.40 m: Yapay dolgu 1.40-10 m: Kumtaşı
UK-102	5+842	10.00	489 223,220	4 427 516,594	864,10	0-1.65 m: Yapay dolgu 1.65-5.60 m: Alüvyon 5.60-10 m: Kumtaşı
UK-25A	5+899	15.00	489 246,58	4 427 571,42	865,75	0-1.5 m:Yapay dolgu 1.5-3.50 m: Alüvyon 3.50-15 m: Dasit
UK-103	5+954	10,20	489 287,945	4 427 608,461	868,15	0-2.50 m: Alüvyon 2.50-10.20 m: Dasit
UK-104	6+015	10.00	489 303,948	4 427 672,769	870,33	0-1.20 m: Yapay dolgu 1.20-5.60 m: Alüvyon 5.60-10 m: Dasit
UK-105	6+075	10.00	489 363,119	4 427 709,036	873,27	0-1.20 m: Yapay dolgu 1.20-5.60 m: Alüvyon 5.60-10 m: Dasit
UK-26	6+177	17.00	489 381,781	4 427 814,101	877,186	0-4.10 m: Yapay dolgu 4.10-8.20 m: Alüvyon 8.20-17 m: Dasit

3.2.2. Jeolojik Haritalama

Güzergahın Km: 5+385 – 6+200 aralığını kapsayan koridorun jeolojik haritası yapılmış ve temel sondaj verileri de dikkate alınarak bu bölümün 1/5000 ölçekli jeolojik plan ve profili hazırlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Mevcut çalışma alanı olan Belediye ve Mecidiye istasyonları arası alanın jeolojik ve jeoteknik profili [47]

3.2.3. Literatür Taraması

Bu aşamada inceleme alanı ve çevresi ile ilgili bütün jeoloji verilerinin sağlanmasına ilişkin literatür derlemesi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanında ve bölgede yapılmış olan tezler, makaleler ve raporlar incelenmiştir. Bu çalışmalarla ilgili detay önceki çalışmalar bölümünde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.2.4. Arazi Çalışması

Yerinde yapılan arazi deneylerinden, presiyometre deneyleri ile tünel güzergahında bulunan zeminlerin deformasyon özellikleri saptanması amaçlanmıştır. Litolojik birimlerin haritalanması, blok örnek alımı ve süreksizliklerin tanımlanması arazi çalışmalarının en önemli iş kalemlerini oluşturmaktadır.

3.2.4.1. Permeabilite deneyi

Tünel güzergahında yer alan zemin birimlerinin geçirimsizliğini belirlemek ve kazı çalışmalarını etkilemesi beklenen olası yeraltı suyu miktarını hesaplamak amacıyla sabit seviyeli permeabilite deneyleri yapılmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2.Sabit seviyeli permeabilite deneyi sonuçları

Sondaj No	Derinlik (m)	k (m/sn)	Geçirimsizlik
UK-23	6.00	2,24950E-06	Geçirimsiz
UK-23	9.00	1,52542E-06	Geçirimsiz
UK-23	12.00	4,51154E-07	Geçirimsiz
UK-23	15.00	3,95362E-06	Geçirimsiz
UK-23A	6.00	3,89946E-06	Geçirimsiz
UK-23A	9.00	2,67706E-05	Çok Geçirimsiz
UK-23A	12.00	4,6991 E-06	Geçirimsiz
UK-23A	15.00	5,48115E-06	Geçirimsiz
UK-23A	18.00	2,94476E-06	Geçirimsiz

3.2.4.2 Basıncı su deneyi (BST)

Tünel güzergahında yer alan kayaçların geçirimsizliğini belirlemek için sondaj kuyularında Basıncı Su Testi (BST) yapılmıştır. Deney sonuçları "lugeon" olarak hesaplanmış ve geçirgenlik sayısal olarak ifade edilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Basıncı su deneyi sonuçları

Sondaj No	Kuyu Derinliği (m)	Deney Aralığı (m)		Kademe Boyu (m)	Legeon Birimi (Lu)	Açıklamalar
UK-25	19,00	10,30	12,00	1,70	Lu>25	Çok Geçirimsiz
UK-25	19,00	13,30	15,00	1,70	Lu>25	Çok Geçirimsiz
UK-26	17,00	7,70	9,00	1,30	Lu>25	Çok Geçirimsiz
UK-26	17,00	13,30	15,00	1,70	2,72	Az Geçirimsiz

3.2.5. Laboratuvar Deneyleri

Temel sondajlarından alınan zemin ve karot örnekleri ile ilgili olarak Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. Zemin Araştırma Laboratuvarında tanımlama deneyleri yapılmıştır [47]. Zeminlerin doğal su içeriği (w_n), Atterberg limitleri (LL, PL, PI) ve elek analizlerini kapsayan deneyler yapılmış ve birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre grup sembolleri belirlenmiştir [47].

Kaya birimlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla karot örnekleri üzerinde,

Doğal birim hacim ağırlık (γ_n)

Tek eksenli basınç dayanımı (Q_u) deneyleri yapılmıştır.

Ayrıntılı sondaj ile yapılması planlanan tünelin yeraltı su seviyeleri ölçülmüş, permeabilite deneyleri ile kayaların geçirimsizlikleri belirlenmiş, drenaj önlemleri yapım projesine işlenmiş ve suyun tahliyesi için tünelin giriş kısmından çıkış kısmına doğru %3 eğimle yapılması öngörülmüştür.

Yerinde yapılan arazi deneylerinden, presiyometre deneyleri ile tünel güzergahında bulunan zeminlerin deformasyon özellikleri bulunması amaçlanmıştır.

İnceleme alanında yüzeyleme veren kayaların derinliği, tabaka duruşu, süreksizliklerin varlığı, kaya kalitesi (RQD) bulunmuş, RMR ve Q kaya kütle sınıflandırmaları yapılmış, yapılan sınıflamaya göre kayanın, B2 klas olduğu, gevrek bir yapı özelliği gösterdiği ve tünel güzergahında % 69 dasit, % 22 kumtaşı, % 9 alüvyon olduğu tespit edilmiştir.

4. BÖLÜM

JEOLOJİ

4.1. Genel Jeoloji

Ankara yerleşim alanı ve çevresinde Paleozoyik yaşlı kıvrımlı epimetamorfik şistler bulunmaktadır [4]. Tabandan yukarı klorit-glokofan şist, pembe serizitli şist, morumsu gri fillat ve mikaşistler içeren bu birim İmrahor'da yüzeylemektedir. Bu formasyonun üyeleri alttan üste doğru şist ve grovaklar olmak üzere iki gruba ayrılabilir [5]. Şistlerin üstüne Triyas kireçtaşı blokları içeren grovak ve metagrovaklardan oluşan bir seri uyumsuz olarak gelir. Bu seri bazı araştırmacılar tarafından "Elmadağ serisi" [1], "Ankara Melanjı" [3] veya "Kireçtaşı bloklu melanj" [3] olarak adlandırılmıştır. Karışık seri Üst Triyas-Alt Lias arasında oluşmuştur [5]. Bu serinin üzerine Jura birimleri uyumlu olarak gelmektedir. Lias; kırmızımsı konglomera, Dogger; Ammonitli sarımsı beyaz kireçtaşı ve Malm ise kırmızı marn ve pelajik kireçtaşı litofasiyesinden oluşur. Jura – Kretase birimleri Kutugun, Alacaatlı, Yakacık ve Bağlıca civarında geniş mostra verirler. Bu serinin üzerinde tektonik dokanakla yer alan serpantin, radyolarit, spilit, bazalt, diyabaz, kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, marn, gabro ve olistostromlardan oluşan ofiyolitik melanj ve onun da üstüne uyumsuzlukla gelen kumtaşı, silttaşı, marn içeren fliš serisi [2-5] bölgedeki alt ve üst Kretase birimlerini oluştururlar. Ofiyolitli melanj kayaları özellikle Jura ile tektonik dokanak sunmaktadır. Malm kireçtaşlarının çok değişken boyutlarda bloklar halinde melanj içinde yer aldığı görülmektedir [8].

Ankara'da Paleosen; konglomera, kumtaşı, silttaşı, kırmızımsı yeşil marn ve kireçtaşları; Eosen bol fosilli kumlu kireçtaşları; Oligosen ise lagüner ve evaporitik çökeller ile temsil edilmektedir [2-5, 22]. Miyosen ise gölsel kökenli olup; yeşilimsi ve grimsi kil, marn, silisli marn, kireçtaşı ve konglomera ile temsil edilmektedir.

Alt Miyosen beyaz renkli konglomera-kumtaşı silis ara katkılı gölsel kireçtaşlarını içermekte olup, tuf ve aglomeralarla yanal geçişli veya andezitik lavlarla ardışıklı veya kesilmişlerdir [4]. Üst Miyosen birimleri; yeşilimsi beyaz renkli çakıtaşı-kumtaşı ara katkılı yeşil kil, marn ve gölsel kireçtaşı ile tüfitlerden oluşmuştur [4]. Kuvaterner yaşlı alüvyon alttaki birimlerle uyumsuz çakıl, kum, silt ve kilden oluşmakta olup, Ankara

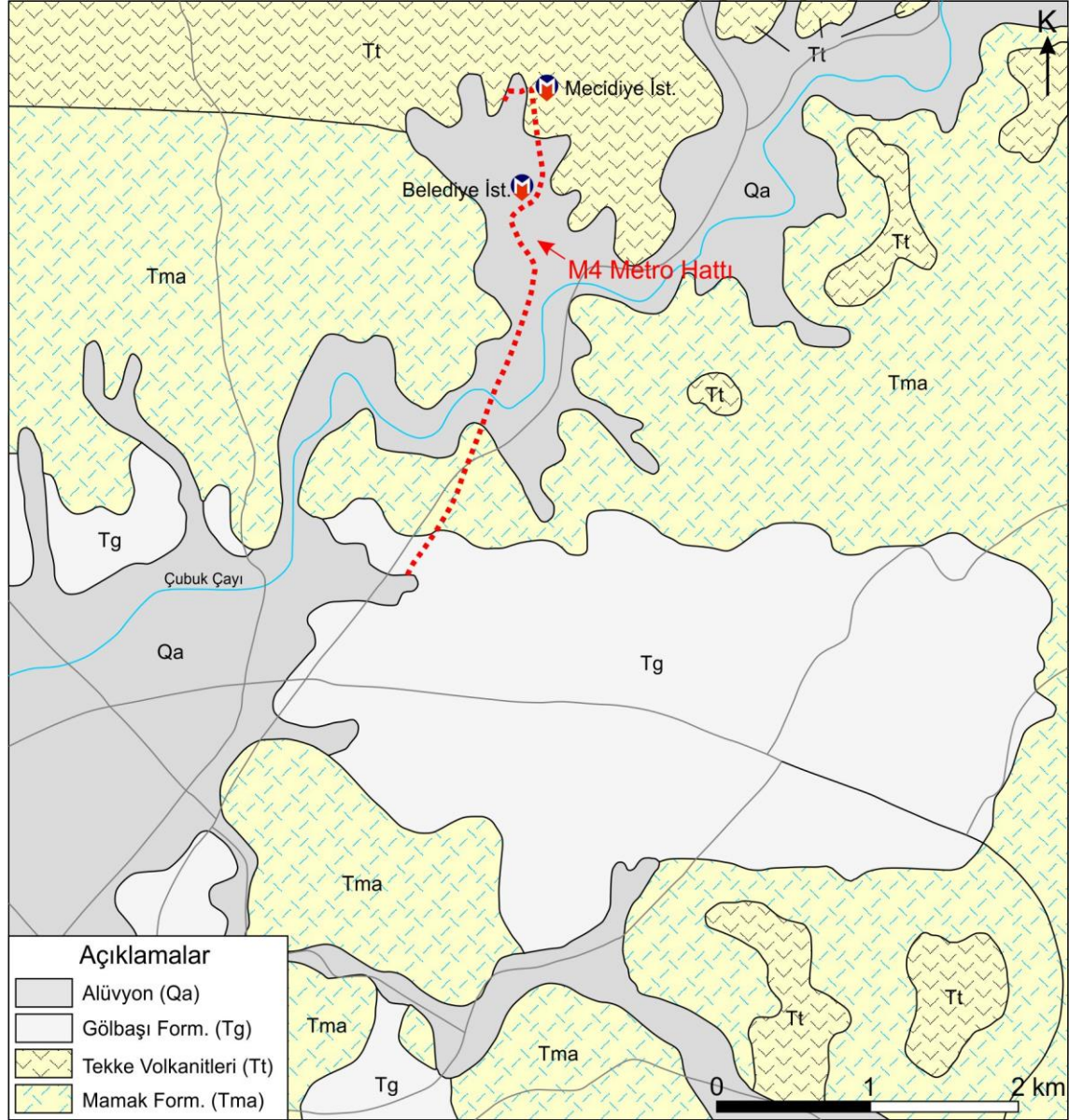
(Çubuk) çayı ile Ova çayı yataklarında gözlenmektedir. Yukarıda kısaca anlatılan birimler stratigrafik kesit halinde Şekil 4.1’de verilmiştir.

Eratem	Sistem	Seri	Litoloji	Açıklamalar
Senozoyik	Kuvaterner			Alüvyon Çakıl, kum, silt ve kil
	Tersiyer	Pliyosen	Üst	Gevşek çimentolu konglomera, çakıllı, kumlu, siltli kırmızımsı kil
			Alt	Pembe marn ve killere karışık lav ve tüfler
		Miyosen		Kireçtaşı, marn, kilaşı, konglomera andezit, bazalt, aglomera ve tüf
		Paleojen	Oligosen	Konglomera, kumtaşı, marn, jips
			Eosen	Fosilli kumlu kireçtaşı, kumtaşı
			Paleosen	Konglomera, kumtaşı, kilaşı, marn
Mesozoyik	Kretase	Üst		Fliş (olistostromlu)
		Alt		Ofiyolitik melanj Tektonik dokanaklı
	Jura	Malm		Ammonitli kireçtaşı, silisli, kumlu-killi kireçtaşı, plaket kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı
		Dogger		
		Lias		Taban konglomerası, kumtaşı, silttaşı, fosilli kalkarenit
	Triyas			Bloklu metamorfik şistler
Palezoyik	Permo-Karbonifer			Epimetamorfik şistler

Şekil 4.1. Ankara yerleşim alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [39]

4.2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Proje alanı ve yakın çevresinde Tekke Volkanitleri, Mamak Formasyonu, Gölbaşı Formasyonu ve Alüvyon gözlenmektedir (Şekil 4.2). İlgili birimlerle ilgili olarak arazi ve literatür bilgileri aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.



Şekil 4.2. Ankara ve çevresi genel jeoloji haritası [16]'dan sadeleştirilerek alınmıştır

4.2.1. Mamak Formasyonu (Tma)

Mamak Formasyonu; inceleme alanı ve civarında geniş bir alan kaplayan önemli bir formasyondur. Orta Miyosen yaşlı olan bu formasyon içinde andezit, aglomera ve tuf hakim litolojilerdir [6]. Andezitler inceleme alanının batı kısmındaki yüksek kotlarda yer alır. Bu birimler pembe renkli, çok çatlaklı ve soğan kabuğu yapısı içermekte olup (Resim 4.1), çatlakları boyunca kalın bozuşma kuşakları oluşmuştur. Yapılan petrografik incelemede kuvars andezit tanımlaması yapılmıştır.

Örnek hiyalopilitik porfirik doku özelliğinde olup başlıca oligoklaz, biyotit, kuvars ve ikincil olarak klorit ve kil minerallerinden oluşmaktadır. Kayaçta hidrotermal etkiler sonucu silisleşme ve kloritleşme görülmektedir. Kayaç tanımlamalarında literatürdeki genel tanımlamalara uyulmuştur.



Resim 4.1. Mamak Formasyonuna ait andezitlerin görünümü

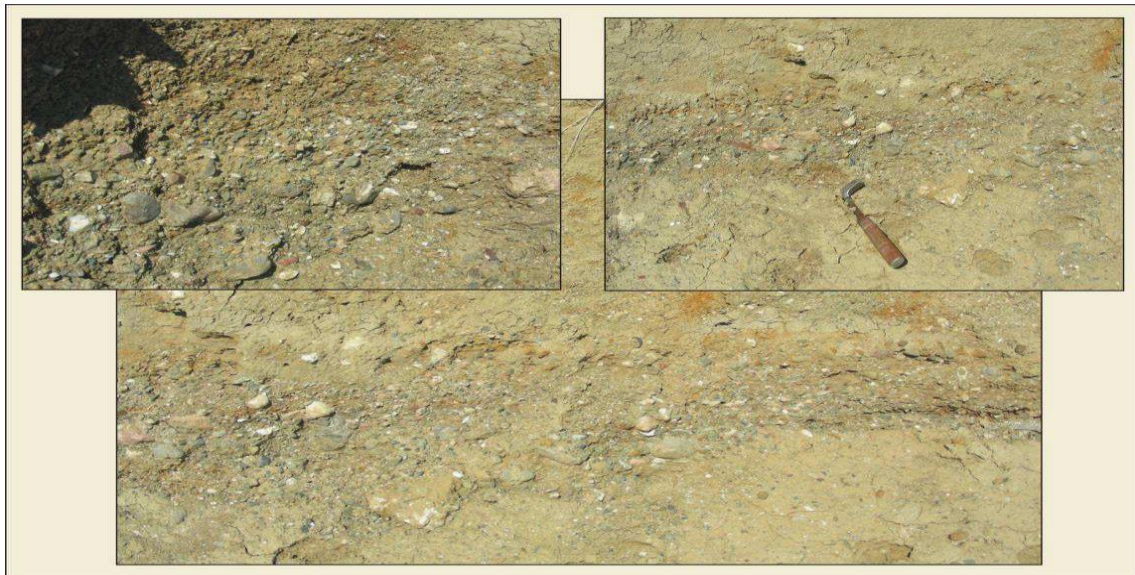
4.2.2. Tekke Volkaniti (Tt)

Tandoğan - Keçiören metro güzergahı üzerinde Ankara Çayının sağ sahilinden itibaren başlayan ve proje kuzey kesiminde yaygınlaşan Tekke Volkaniti andezit, trakiandezit, bazalttan, daha az da tuf ve aglomeradan oluşur. Birim içerisinde yer alan andezitler çoğunlukla, kırmızı, pembe, gri, boz ve siyah renkte gözlenirler. Andezitlerde akma izlerine sıkça rastlanır [5].

Andezit, tüf ve aglomeralar bazı kesimlerde ardal nma gösterirler, tüfler gri ve beyaz renklidirler. Tüfler çok ince taneli olup, aralarında andezit parçalarını içerirler. Tekke Volkaniti  o unlukla Mamak Formasyonu  zerine gelmekle birlikte, daha az olarak da Karapınar Formasyonu, Kavaklı Formasyonu ve Mamak Formasyonu içinde siller halinde ve bu formasyonlarla girik olarak da izlenir. Tekke Volkanitleri, yanal devamlılıklarında andezit, trakiandezit ve bazalt gibi değişik mineralojik bile imlere sahip birimlere geçişleri görülmektedir. Tekke volkaniti girik ve siller halinde içinde bulunduğu formasyonlarla e  ya lıdır [5].

4.2.3. Gölbaşı Formasyonu (Tg)

Proje  alı ma alanının doğusunda yer alan Gölbaşı Formasyonu ilk kez [6] tarafından tanımlanmıştır. En yaygın olarak ismini aldığı Gölbaşı ilçesi civarında görülür. Pliyosen ya lı bu istif, Miyosen ya lı kil-marn seviyeleri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Andezitler ile dokanak halinde olduğu kısımlarda içerisinde sıkı çimentolu, irili ufaklı andezit çakılları da içerdiği tespit edilmiştir. Pliyosen ya lı olan bu formasyon alüvyon yelpazesi ve akarsu çökellerinden meydana gelmektedir [6]. Birim, sarımsı, kahverengimsi, gri, boz renklidir ve çeşitli boylarda ve değişik kökenli çakıllar içeren konglomera, kumtaşı ve  akılta ılarından oluşmaktadır (Resim 4.2). Çoğunlukla tabakalanmasız olup bazı yerlerde yatay tabakalıdır. Kumta ı ve konglomeralarının çakıllarını kuvarsit, bazalt, çeşitli kireçtaşları, diyabaz, metamorfik kayaç parçaları, radyolarit, serpantinit, g bro oluşturur [6].



Resim 4.2. Gölbaşı Formasyonun  akılta ı ve kumtaşı seviyelerinin görünümü

4.2.4. Alüvyon (Qa)

Tandoğan - Keçiören Metrosu güzergahını kesen dereler ve yan kollarının vadi tabanlarında izlenen inceleme alanındaki alüvyal çökeller, genel olarak yeşilimsi gri – kahverengi, orta – yüksek plastisiteli, orta katı – çok katı kumlu siltli kil, killi kum, killi kumlu çakıl mercek ve seviyelerinin karışımından oluşmaktadır. Alüvyonlar yapay dolgu ile birlikte volkanik kayaların üzerinde yer almaktadır [1]. Ayrıca çalışma alanının stratigrafik kolonu Şekil 4.3’de verilmiştir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON ADI	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOİK	KUVATERNER		Alüvyon	Qa	Qa	Kil, silt, kum, çakıl
	TERSİYER	PLİYOSEN	Gölbaşı Formasyonu	Tg	Tg	Konglomera, kumtaşı çamurtaşı , silt , kil
			Tekke Volkaniti	Tt	Tt	Andezit, Trakiandezit, Tüf, Aglomera
		MİYOSEN	Mamak Formasyonu	Tma	Tt	Aglomera, Tüf ,Andezit

Şekil 4.3. Çalışma alanının stratigrafik kesiti [6]’dan değiştirilerek alınmıştır

5. BÖLÜM

DEPREMSELLİK

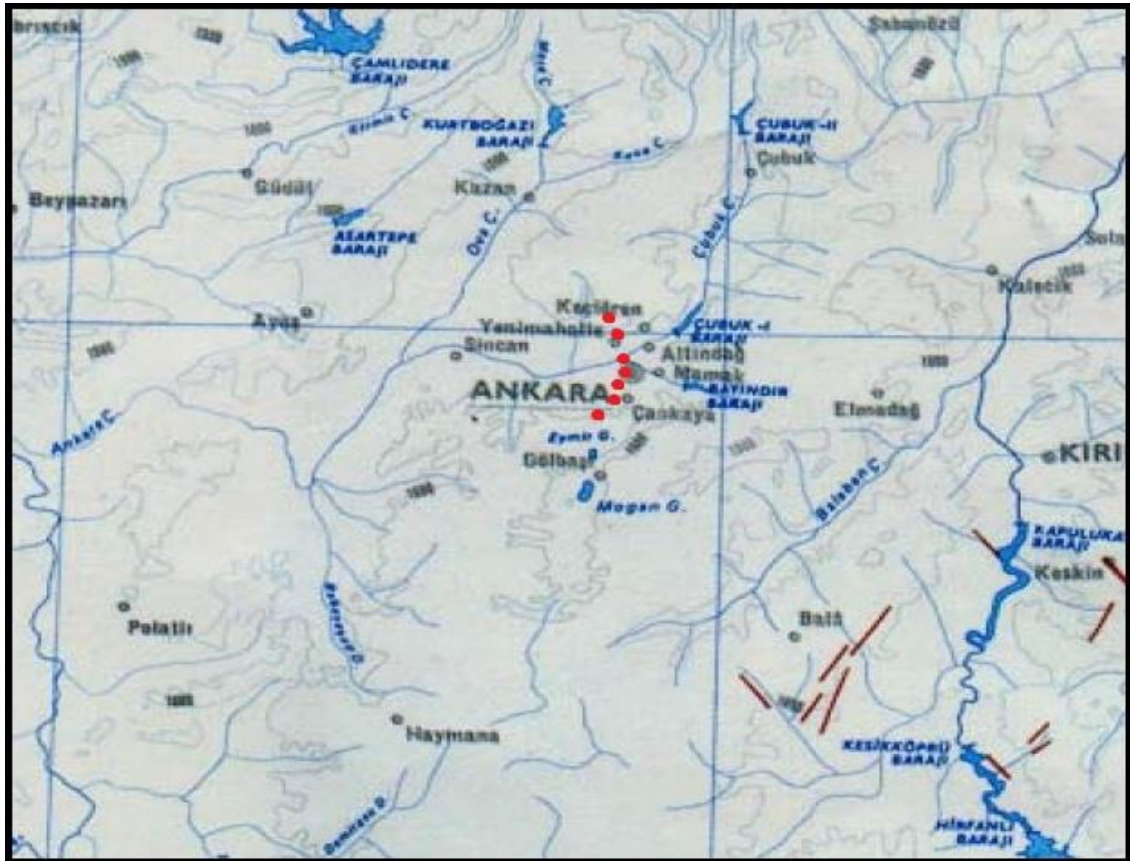
Ankara ve yakın çevresinde 1900 -2006 yılları arasında 39.00 - 40.30 K ile 32.00 -33.30 D koordinatları arasında M_d , M_b , M_l ve $M_w \geq 4.0$ olan depremlerin tarih, koordinat, derinlik ve büyüklük değerleri Tablo 5.1’ de verilmiştir [40]. Tablodan da görüldüğü üzere aletsel dönemde Ankara’da en büyük deprem $M_s=4.7$ ile 28.06.1933 yılında ölçülmüştür. Bu bağlamda çalışma alanı sismik yönden fazla aktif olmayan bir bölge içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.1. Ankara ve çevresinde 1900-2006 yılları arasında meydana gelmiş olan ve büyüklüğü >4.0 olan depremler [40]

Tarih	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	M_b	M_d	M_l	M_s
28.06.1933	39.3000	33.2000	00.0				4.7
03.06.1961	39.3300	32.6400	10.0				4.3
04.07.1978	39.4500	33.1900	23.0	4.9			4.5
02.10.1980	40.0900	33.1700	33.0	4.1			
21.01.1983	39.4400	32.2600	10.0	4.5			
24.08.1999	39.4400	32.6800	10.0	4.7			4.4
30.08.1999	39.4900	32.6400	10.0		4.0		
22.08.2000	40.1700	32.0200	10.0	4.4			
07.02.2004	39.2393	32.6033	08.0		4.1		
31.07.2005	39.4188	33.1029	20.0		4.6		
06.08.2005	39.3606	33.2004	02.0		4.4		
17.12.2005	39.2910	33.1796	07.7		4.3		
12.11.2006	40.1080	32.7469	16.0		4.3		

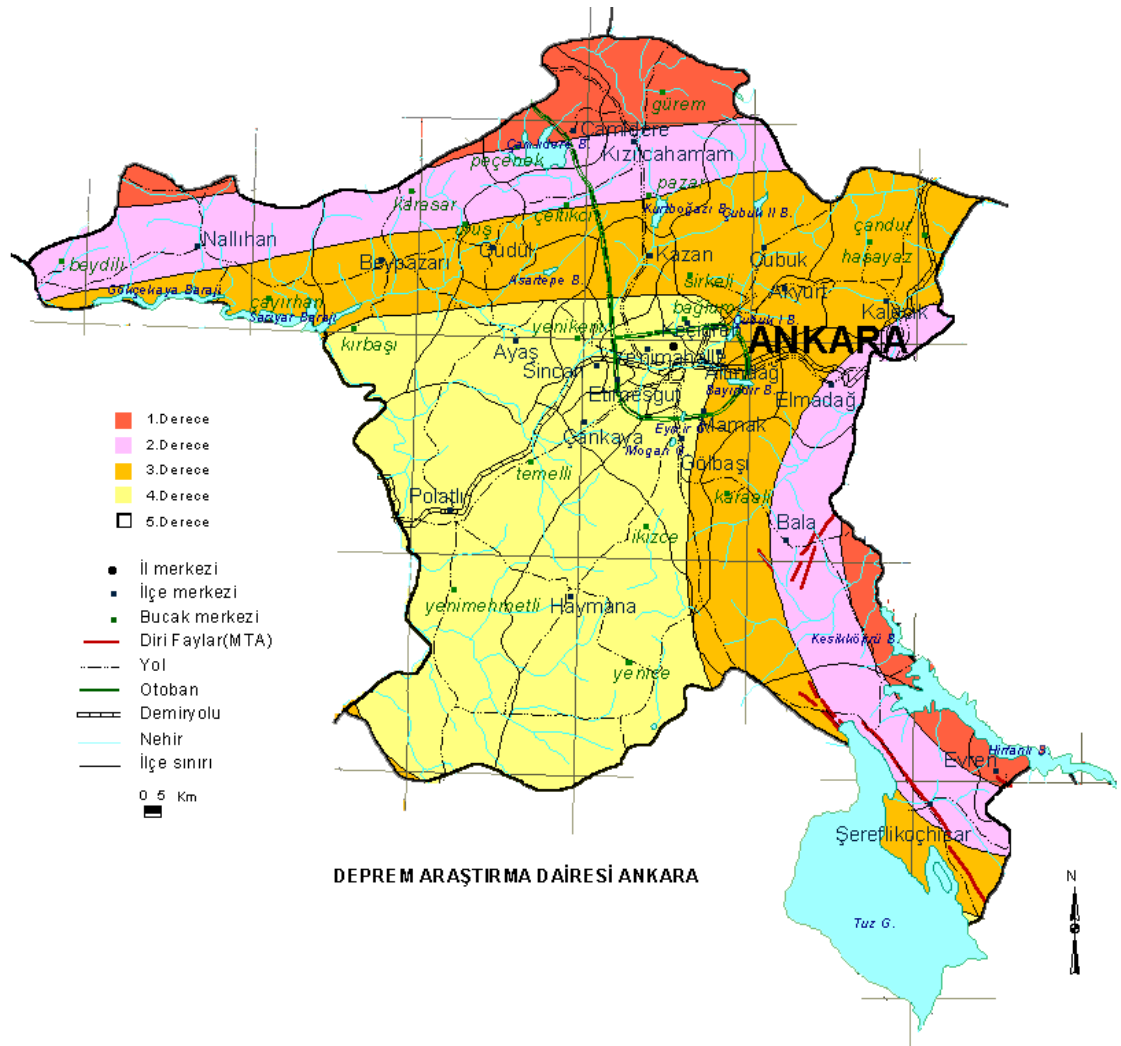
Ankara’da tarihsel dönemlerde de depremler olup, 12 ve 15 Ağustos 1668’de olan ve Ankara kalesi ile Beypazarı civarında hissedilen depremlerde 9 kişi ölmüştür [41]. Mamak’da 1875 yılında olan depremin şiddeti VI’dır [42]. Fakat bu deprem hakkında hasar veya oluşum ile ilgili kayıt yoktur. Kaman-Keskin civarında 19 Nisan 1938 yılında $M_s= 6.6$ büyüklüğünde ve IX şiddetinde meydana gelen depremin episantrı 40.65 K ve 33.60 D koordinatlarındadır.

Bu deprem Orta Anadolu, Kastamonu ve Amasya'da da hissedilmiştir. Depremde en çok hasar Taşkovan ve Akpınar'da olup; 146 can kaybı, 211 yaralı ve 3860 evde hasar görülmüştür. Ankara'da özellikle Yenişehir'de, binalarda hasar ve baca yıkılmaları gözlenmiştir [43]. Bu deprem Seyfe fayının Akpınar segmentinin yeniden hareketlenmesi sonucu oluşmuştur [44]. Ankara ve çevresi diri fay haritası [45] Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Ankara ve çevresi diri fay haritası [45]

Ankara kenti, ağırlıklı olarak Türkiye'nin 3 ve 4. derece deprem bölgesi içinde yer alması yansırı, çalışma sahası olan Tandoğan - Keçiören Metro güzergâhı "Deprem Araştırma Dairesi" tarafından hazırlanan "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası" nda 4. derece deprem bölgesinde bulunur. Deprem Araştırma Daire'si tarafından hazırlanan Ankara İli Deprem Bölgeleri Haritası Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2. Ankara ili deprem bölgeleri haritası [45].

6. BÖLÜM

YERALTISUYU DURUMU

6.1. Ankara İlinin Yeraltısuyu Rezervi ve Potansiyeli

DSİ tarafından 1960-1970 yılları arasında Ankara ili ve yakın çevresinde yapılan hidrojeolojik çalışmalar sonucunda 5 ovanın nicelik ve nitelik yönünden yeterli yeraltısuyu potansiyeline sahip olduğunu belirlenmiştir [46]. Yapılan hidrojeolojik etütler sonucu belirlenen yeraltısuyu işletme rezerv değerleri Tablo 6.1’de ve yerleri Şekil 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Ankara’da bulunan akifer bölgelerinin işletme rezervleri [46]

Akifer Bölgeleri	milyon m ³ /yıl
Hatip Ovası alüvyon akiferi	33
Kazan-Ova Çayı alüvyon akiferi	10
Çubuk Ovası alüvyon akiferi	9
İncek kireçtaşları akiferleri	6
Mamak-Kayaş alüvyonları akiferleri	3
Toplam	61

Periyodik yeraltısuyu ölçümü yapılan temel sondaj kuyularındaki “yeraltısuyu tablası derinlikleri” Tablo 6.2’de verilmiştir. Ayrıca proje güzergâhında karşılaşılan zemin ve kaya birimlerinin geçirirmliliğini tespit etmek için “Sabit Seviyeli Permeabilite” ve “Basınçlı Su Deneyi” yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar ise daha önceki bölümlerde Tablo 3.2 ve 3.3’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Çalışma alanının yeraltısuyu seviyeleri [47]

Sondaj No	Derinlik (m)	Siyah Kot (m)	Yeraltısuyu Seviyesi (m)	Yeraltısuyu Kotu (m)	Gözlem Tarihi
UK-23	19.95	856.200	8.00	848.20	02.07.2006
UK-23A	27.00	856.591	8.25	848.341	02.07.2006
UK-24	21.00	857.847	5.60	852.247	02.07.2006
UK-24A	12.00	858.780	4.40	854.38	01.05.2004
UK-25	19.00	861.988	2.95	859.038	02.07.2006
UK-101	10.00	863.08	4.95	858.13	21.11.2005
UK-102	10.00	864.10	1.05	863.05	21.11.2005
UK-25A	15.00	865.75	13.90	851.85	24.04.2005
UK-103	10.20	868.15	1.95	866.20	21.11.2005
UK-104	10.00	870.33	7.40	862.93	21.11.2005
UK-105	10.00	873.27	4.75	868.52	21.11.2005
UK-26	17.00	877.186	5.38	871.806	23.03.2005

7.BÖLÜM

ZEMİN PROFİLİ

Güzergahın Km: 5+385 - 6+200 aralığını temsil eden zemin profili ağırlıklı olarak Alüvyon, Tekke Volkaniti, Gölbaşı Formasyonu ve yapay dolgudan oluşur. Zemin profili; jeolojik haritalama, temel sondajlar ve laboratuvar deneyleri esas alınarak hazırlanmış olup, zemin ve kaya birimlerinin özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

7.1. Alüvyon

Öngörülen tünelin yaklaşık % 9 unu temsil eden alüvyal çökeller genel olarak yeşilimsi gri-kahverengi, orta-düşük plastisiteli, orta katı-çok katı kumlu siltli kil, killi kum, killi kumlu çakıl mercek ve seviyelerinin karışımından oluşmaktadır. Giriş portalında çakıl, kum ve kil aradalanması ile temsil edilen bu formasyon, çıkış portalında egemen olarak killi kumlu çakıldan oluşur [47].

7.1.1. Kumlu seviyeler

Kumlu seviyeler; kahve-gri renkli, ince - iri taneli, yarı yuvarlak - yarı köşeli - köşeli ve orta sıkı - sıkı özelliktedir. Temel sondajlarından alınan örselenmemiş SPT örneklerine ait laboratuvar deneyleri ve arazi deneylerinin sonuçlarına göre belirlenen zemin parametrelerinin ortalama değerleri ve değişim aralıkları aşağıda verilmektedir.

1) Doğal su içeriği (W_n)	:	%16	$10 \leq W_n \leq 22$
2) Likit Limit (LL)	:	—	$NP \leq LL \leq 35$
3) Plastik Limit (PL)	:	—	$NP \leq PL \leq 21$
4) Plastisite İndeksi (PI)	:	—	$NP \leq PI \leq 14$
5) 4 No.lu Elek Üzerinde Kalan (+No 4)	:	%20	$5 \leq + No 4 \leq 44$
6) 200 No.lu Elekten Geçen (-No 200)	:	%26	$5 \leq - No 200 \leq 49$
7) Standart Penetrasyon Değeri (SPT-N)	:	20	$5 \leq SPTN \leq 71$
8) Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması (USCS):			SW-SM, SM, SC

7.1.2. Çakıllı seviyeler

Alüvyon içerisinde farklı seviyelerde izlenen ve 1.20 m ile 6.0 m arasında kalınlık sergileyen çakıl birimi; sarımsı kahverenkli, gri renkli, iri taneli, orta sıkı, yarı köşeli-köşeli-yarı yuvarlak olup % 15-35 ince-iri kumlu malzemedir oluşmaktadır. Temel sondajlardan alınan SPT örnekleri üzerinde yürütülen laboratuvar deneyleri ve arazi (in-situ) deneylerinin sonuçlarına bağlı olarak zemin parametrelerinin ortalama değerleri ve değişim aralıkları aşağıda verilmektedir.

1) Doğal su içeriği (W _n)	:	%10.5	9 ≤ W _n ≤ 12
2) Likit Limit (LL)	:	NP	—
3) Plastik Limit (PL)	:	NP	—
4) Plastisite İndeksi (PI)	:	NP	—
5) 4 No.lu Elek Üzerinde Kalan (+No 4)	:	%57	49 ≤ +No 4 ≤ 64
6) 200 No.lu elekten geçen (-No 200)	:	%6.5	4 ≤ -No 200 ≤ 11
7) Standart Penetrasyon Değeri (SPT-N)	:	23	14 ≤ SPT-N ≤ 33
8) Birleştirilmiş zemin sınıflaması (USCS)	:	GW, GW-GM, GP-GM	

7.1.3. Killi seviyeler

Alüvyonun üst seviyelerini oluşturan ve alt kotlarda merccekler halinde izlenen kil birimi; kahverenkli-yeşilimsi gri renkli, orta katı - çok katı, düşük plastisiteli ve % 25-30 ince kumdan oluşmaktadır. SPT örnekleri üzerinde yürütülen laboratuvar deneyleri ve arazi (in- situ) deneylerinin sonuçlarına göre zemin parametrelerinin ortalama değerleri ve değişim aralıkları aşağıda verilmektedir.

1) Doğal su içeriği (W _n)	:	%23	15 ≤ W _n ≤ 31
2) Likit Limit (LL)	:	%37	32 ≤ LL ≤ 48
3) Plastik Limit (PL)	:	%21	18 ≤ PL ≤ 24

4) Plastisite İndeksi (PI)	:	%16	$14 \leq PL \leq 24$
5) 4 No.lu Elek Üzerinde Kalan (+No 4)	:	%4	$2 \leq +No\ 4 \leq 6$
6) 200 No.lu Elekten Geçen (-No 200)	:	%71	$65 \leq -No\ 200 \leq 84$
7) Standart Penetrasyon Değeri (SPT-N)	:	10	$6 \leq SPTN \leq 20$
8) Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması	:	CL, CL-ML	

7.2. Dasit (Tekke Volkaniti)

Tünel zemininin yaklaşık % 69' unu oluşturan dasit birimi; açık gri, açık sarımsı bej renkli, az-orta derecede ayrıışmış, orta-sık eklemlili, sert-orta sert ve dayanımlı-orta dayanımlıdır. Çatlaklar, 10-80°, açık-kapalı, mat, pürüzlü, FeO ve MnO boyalı ve yer yer kil ve 0.5-2 mm kalsit dolguludur. Bu birim yer yer andezit ve kumtaşları ile yanall ve düşey geçişlidir. Sondaj verilerine göre dasit biriminin UK-103 VE UK-105 kuyularında sırasıyla tünel seviyesindeki RQD değerleri % 57 ile % 78 arasında değişir. Bu lokasyonlara en yakın UK-19 temel sondajından alınan dasit numunesine ait deney sonuçlarının değişim aralıkları aşağıda verilmektedir.

1) Birim Hacim Ağırlık	:	23.90-24.57 kN/m ³
2) Tek Eksenli Basma Dayanımı	:	21-58 MPa

7.3. Kumtaşı

Tünel kazısının yaklaşık % 22 si Gölbaşı Formasyonuna ait kumtaşı üyesinden oluşur. Bu formasyon tünelin giriş ve çıkış bölgesinde alüvyon ile örtülü olup genelde silttaşı-kumtaşı- çakıltaşı ardallanması ile temsil edilir. Tünel seviyesinde, UK-102 ve UK-25A sondajlarında karşılaşılan kumtaşı birimi dasit ile yanall ve düşey geçişlidir. Birim; kahverengimsi gri-gri renkli, az-orta derecede ayrıışmış, orta-seyrek eklemlili, sert-orta sert, dayanımlı-orta dayanımlıdır. Sondaj verilerine göre bu birime ait RQD değerleri sırasıyla % 5 ile % 64 civarındadır [47].

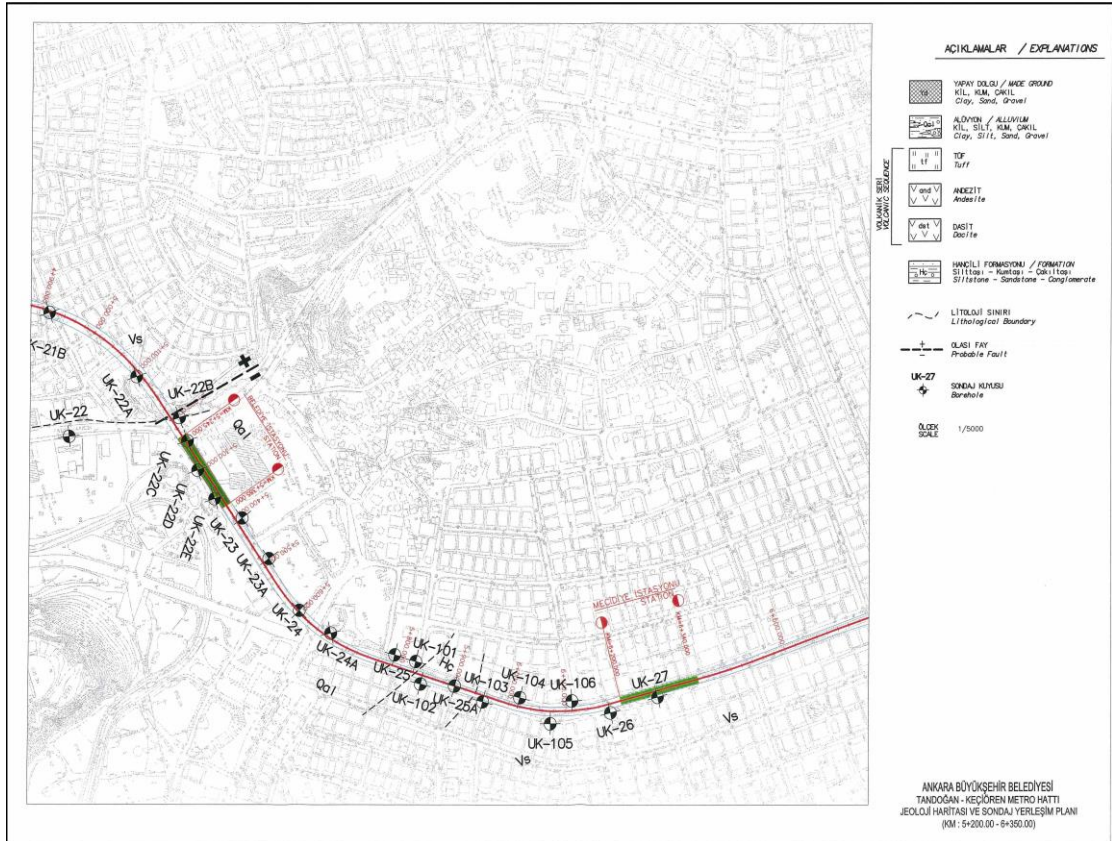
Belediye istasyonu ile Mecidiye istasyonunu birbirine bağlayan kesimlerde gözlenen bütün zeminlerin/kayaların km aralıklarına göre değişimleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.

Belediye istasyonu ile Mecidiye istasyonunu arasında (5+385-6+200) alüvyal çökeller, kumtaşı-çakıltaşı-silttaşı ardalanmasından oluşan Gölbaşı Formasyonu ile Tekke Volkanitlerine ait tuf, dasit ve andezit birimleri gözlenir. Bu birimler kalınlığı 1.20-4.65 m arasında değişen kalınlığa sahip yapay dolgu ile örtülüdür.

Km: 5+385-5+820 aralığı alüvyal çökellerden oluşmaktadır.

Km: 5+820-5+940 aralığında Gölbaşı Formasyonu gözlenir.

Km:5+940-6+200 aralığında ise tedrici olarak dasit-tuf-andezit ardalanmasına geçer ve Mecidiye istasyonuna kadar devam eder. Bu bölümdeki kazı derinliği 8.50 m. ile 10.50 m. arasında değişmektedir. Yeraltısuyu derinliği ise 1.05-13.80 m arasındadır. Proje güzergahı boyunca yapılan sondajların yerleşim planı Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Belediye-Mecidiye istasyonları arası yapılan sondajların yerleşim planı

8. BÖLÜM

JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMELER

Belediye İstasyonu ile Mecidiye İstasyonunu birbirine bağlayan delme tünelinin toplam boyu 815.00 metre olup ray kotunun derinliği yüzeyden 8-53 metre arasında değişmektedir.

8.1. Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması

8.1.1. Genel

Yeraltı kazılarının güvenli ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi, öngörülen kaya sınıflaması ve buna bağlı tünel destek tasarımı ile doğru orantılıdır. Günümüz modern tünelciliğinde projelendirmeye esas teşkil eden kaya sınıflamalarında kayanın kütle özelliği dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen ve birçok değişik ülkedeki yeraltı kazılarında yaygın olarak kullanılan iki önemli kaya sınıflaması vardır. Bunlar; Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması (Q) ve CSIR Eklemlili Kaya Kütlelerinin Jeomekanik Sınıflaması (RMR).

Öte yandan, Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemi (NATM) ilkeleri ışığında genellikle Avusturya'da ve yaygın olarak da Avrupa'da kullanılan kaya sınıflandırma sistemleri arasında Avusturya Standardı ÖNORM - 2003 önemli yer tutar. Bu kaya sınıflaması tünel zemininin jeolojik - jeoteknik özellikleri, tünel kesiti, örtü yükü dikkate alınarak kaya ortamının zamana bağlı davranışı esasına göre yapılmaktadır [48].

Tablo 8.1. Q ve RMR kaya sınıflaması [48]

Kaya Sınıfı	Q	RMR
Çok Zayıf	<20	<1
Zayıf	1 - 4	21 - 40
Orta	4 - 10	41 - 60
İyi	10 - 40	61 - 80
Çok İyi	40 - 100	81 - 100

8.1.2. Tünel tasarımı için kaya kütlelerinin mühendislik sınıflaması (Q)

Norveç Jeoteknik Enstitüsü daha önceki çalışmalarda karşılaşılan yeraltı kazılarında stabilite sorunlarını değerlendirerek kaya kütlesi kalitesini (Q) sayısal olarak ifade eden bir yöntem geliştirmişlerdir.

$Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$ Burada;

RQD = Kaya kalitesi tanımlaması J_n = Eklem takımı sayısı J_r = Eklem pürüzlülük sayısı J_a = Eklem ayrışma sayısı J_w = Eklem suyu azaltma faktörü, SRF = Gerilim azaltma faktörü'nü ifade etmektedir.

Bu parametrelerin farklı kaya koşullarına göre nitelik ve nicelik değişimleri sayısal olarak tanımlanmaktadır. Kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamasında, 6 parametre için ayrı ayrı sayısal değerler tespit edildikten sonra yukarıdaki formül vasıtasıyla Q sayısı bulunmaktadır [49].

Tünel zemininin sınıflandırılmasında, tünel açıklığı $B = 7.00$ metre ve tünel destek oranı $ESR=1.0$ alınmıştır. ESR'nin 1 değerini alması ilerleme aralığının 1.00 m olmasındandır. Farklı Q sayısı ile tanımlanan tünel aralıkları farklı sınıflara ayrılmış ve bu kaya sınıfları için farklı destek türleri önerilmiştir [50].

8.1.3. Eklemlili kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflaması (RMR)

Bienawski tarafından geliştirilen bu yöntemde kaya sınıflaması için 5 parametre dikkate alınmaktadır. Bunlar;

- 1) Kayanın Mukavemeti
- 2) RQD değeri
- 3) Eklem Sıklığı
- 4) Eklem Durumu
- 5) Yeraltısuyu

Bu yöntemde kayanın özgül niteliklerine göre her parametreye karşı gelen sayısal değerler ayrı ayrı tespit edildikten sonra toplam bulunmakta ve elde edilen bu sayı süreksizliklerin konumuna göre düzeltilmektedir. Düzeltilmiş toplam sayı RMR kaya kütle sayısı olarak tanımlanmaktadır. Jeomekanik sınıflamaya göre kaya kütleleri RMR değerlerine göre 5 sınıfa ayrılır. Yine bu sınıflamada her kaya sınıfı için destek türü, tünel kayasına ait kohezyon ve içsel sürtünme açısı ile ortalama desteksiz durabilme süresi tahmin edilebilmektedir [51].

8.1.4. NATM kaya sınıflaması

Tünellerin gerek projelendirilmesinde gerekse yapımında yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) prensipleri esas alınmaktadır. Tünele uygulanması önerilen tahkimat sistemi NATM kaya sınıflandırma sistemine göre tercih edilmektedir (Tablo 8.2).

Tablo 8.2. NATM kaya sınıflaması [48]

Kaya sınıfı	Zemin davranışı
A	Sağlam - hafif aşırı sökülen
B	Gevrek
C	Baskılı

“A” olarak gösterilen kaya kütleleri (Resim 8.1 ve 8.2) genellikle sağlam olup elastik davranış sergiler. Genellikle bu kaya birimleri patlatma ile geçilen tünel birimleridir. Yapılan patlatmaların ayna paterni Resim 8.3 ve 8.4’de verilmiştir. Kaya kütlelerine etkiyen basınçlar büyük göçüklere yol açmaz. Süreksizliklerin konumuna bağlı olarak yersel stabilite sorunu beklenebilir.



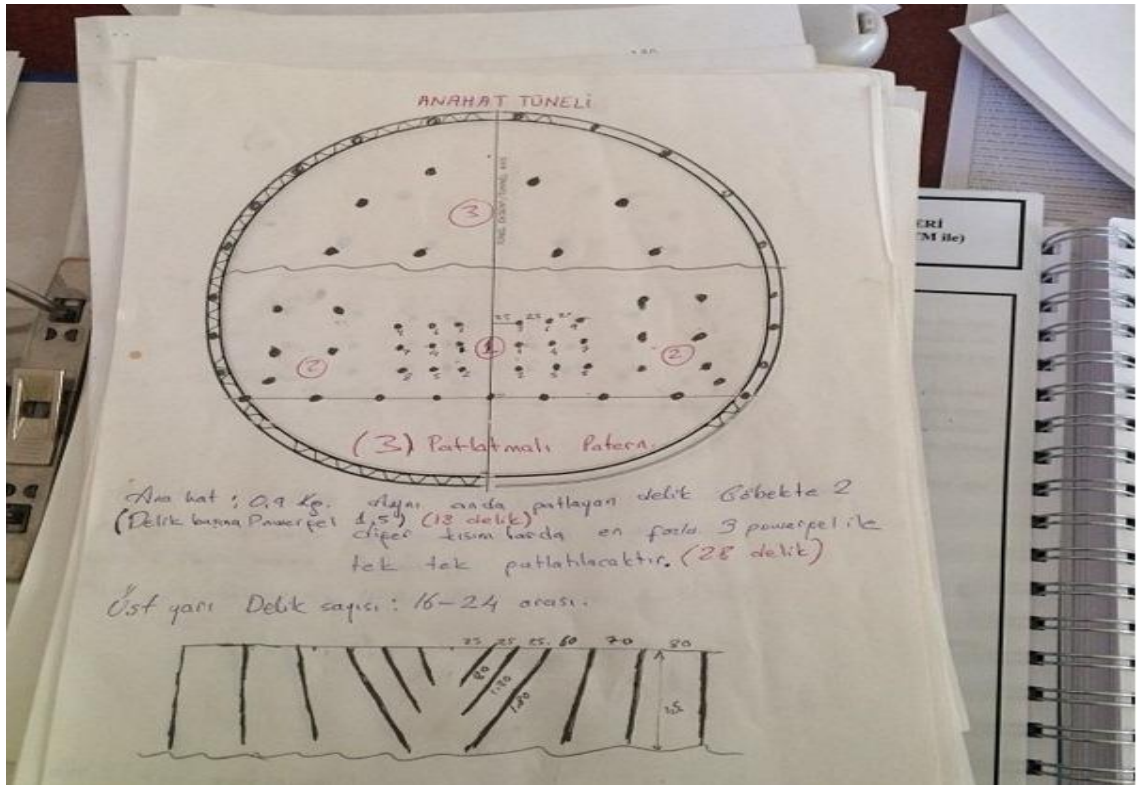
Resim 8.1. A₁ sınıfı sağlam kayayı gösteren ve püskürtme beton ile kaplanmış çelik hasırsız ve iksa desteksiz geçilen tünel birimi



Resim 8.2. A₂ tünel zemininde patlama ile ilerme yapılan tünel aynası

Keçiören Metrosu ALT. YARI			
Formasyon	Dasit Andezit		
Tünel Kesit Alanı	20	m ²	
Delik Çapı	43	mm	
Delik Boyu	1,5	m	
Atım Verimi	0,97		
İlerleme	1,46	m	
Üretim	29,1	m ³	
Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarı	31,21	kg PM365 (38*225)	
Toplam Patlayıcı Madde Miktarı	31,21	kg	
Özgöl Şarj	1,07	kg/m ³	
Toplam Kapsül (Exel)	48	adet Exel MS 2-3m	
Özgöl Kapsül (Exel)	1,65	ad/m ³	
Toplam Delgi	75,12	m	
Özgöl Delik	2,58	m/m ³	
Toplam İnfilaklı Fitil	40	m	5g PETN/m
Özgöl İnfilaklı Fitil	1,37	m/m ³	
Toplam Elektrikli Kapsül	1	adet	
Özgöl Elektrikli Kapsül	0,034	ad/m ³	

Resim 8.3. A₃ sınıfı patlamalı tünel aynasının, ayna paternine ait detaylar



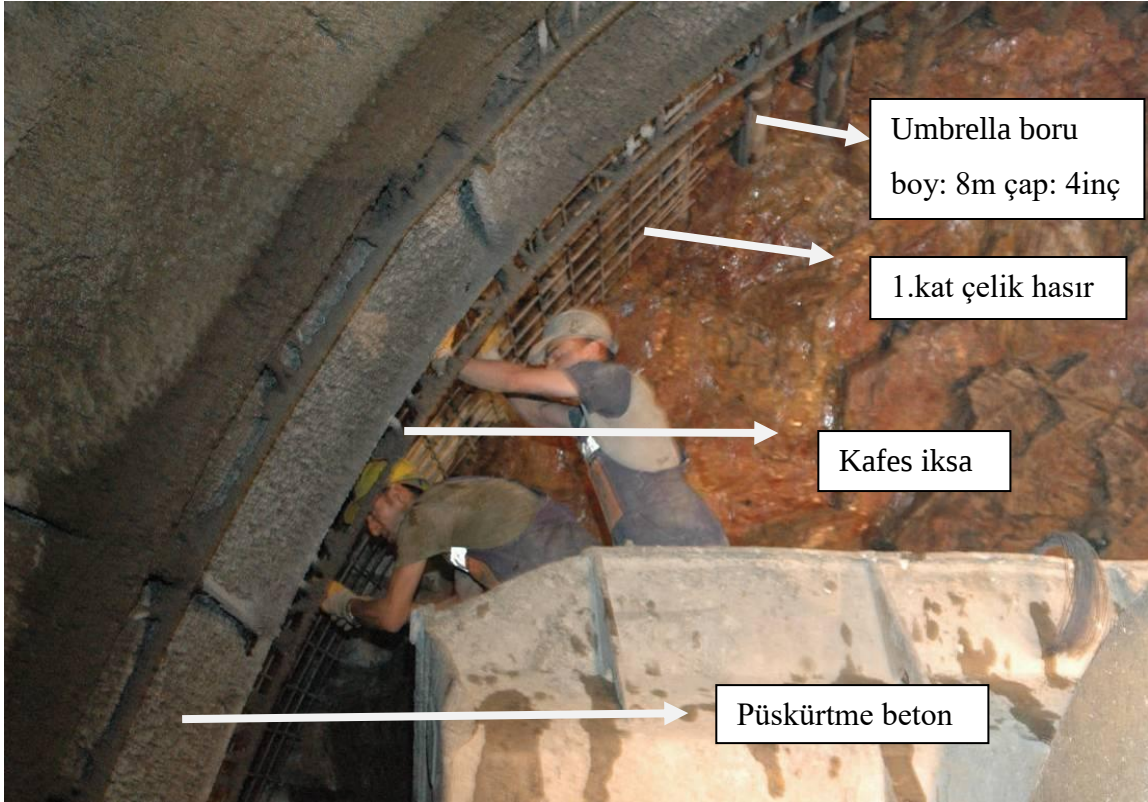
Resim 8.4. A₂ tipi patlatmalı tünel aynasına ait ayna paterni

“B” olarak tanımlanan kaya kütleleri yapısal zayıflık ve/veya çekme mukavemeti azlığının neden olduğu hızlı gevşeme ve ayrışmaya karşı duyarlı bir davranışı sergiler (Resim 8.5).



Resim 8.5. B tipi tünel zeminine ait 1. kat elik hasırlı, kafes iksalı ve püskürtme betonlu geçilen birim

“C” kaya k t lelerinin davranışı genellikle kaya basıncının yeniden dağılımı süreci ve/veya deplasman sınırlamaları sonunda oluşan gerilmelerin kaya mukavemetinden daha büyük olduğunu göstermektedir. Kaya k t lelerinin aşırı gerilmelere uğraması halinde kabuk atma, burkulma, kesme ve boşluğa doğru plastik hareket gibi zayıflık mekanizmaları oluşur (Resim 8.6).



Resim 8.6. C tipi tünel zemine ait tahkimat elemanları

Bu yöntemde kaya sınıflarının belirlenmesi sayısal bir esasa dayanmaz. Buna karşılık tünel zemininin jeolojik - jeoteknik özellikleri, tünel kesiti, örtü yükü ve kaya ortamının zamana bağlı davranışı esas alınarak kaya k t leleri sınıflandırılmaktadır [52].

8.2. Zemin Sınıflaması

Terzaghi tarafından hazırlanan ve zemin birimlerinin 6 kategoriye ayrıldığı “Tünel Zemin Sınıflaması”, daha sonra [49] tarafından revize edilmiştir. Tünelde karşılaşılması olası zemin birimleri bu sınıflamaya göre değerlendirilmiştir. Bu açıdan önceki bölümde 5+385-5+820 arasında gösterilen alüvyal birimler 5+385-5+860 km’leri arasında yaklaşık 40 m’lik bir kazı farkı oluşturarak gözlenmektedir. Bu birimler, ilgili zemin

parametreleri ve yeraltısuyunun varlığına bağlı olarak tünelcilik açısından değişik sınıflara dahil edilebilirler.

Killi kum ile temsil edilen granüler zeminler suyun etkisi oranında farklı davranış gösterirler. Örneğin, yeraltısuyu seviyesi üzerinde mükemmel bir desteksiz durma süresine sahip killi kum, su tablası altında hızla dökülen ve duraylılığını kolayca yitiren bir konuma gelebilir. Bu zemin davranışı gösteren tünellerde yeraltısuyunun kontrol altına alınması ve zeminin ıslah edilmesi tünel stabilitesi açısından büyük önem taşımaktadır [49].

8.3.Tünel Destek Tasarımı

Tüneli zeminini oluşturan farklı jeoteknik özelliklere sahip kaya kütleleri Q ve RMR yöntemlerine dayalı olarak incelenmiştir. Ayrıca tünelin kısıtlı bir bölümünü oluşturan alüvyal birimler Terzaghi sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Her kaya sınıfı için öngörülen zemin parametreleri ve destek sınıfı, jeoteknik değerlendirmeler aşağıdaki parametrelere göre yapılmıştır.

8.3.1. Tasarım parametreleri

Genel olarak C sınıfı (gevrek) kaya kütlelerinde deformasyonlar küçüktür ve çok hızlı azalır. Patlatmadan kaynaklanan kayadaki gevşemeler ve kaya kütlelerinin düşük mukavemeti tünel tavanında ve yan duvarların üst kısmında sökülmelelere neden olabilir. Bu kapsamda sözü edilen bölgelerin sistematik bulon uygulaması ile takviye edilmesi gerekliliği görülmektedir.

B1 kazı destek sisteminin önerildiği bölgede fay zonları ile karşılaşılması durumunda drenaj önlemleri alınarak B1 destek tipi uygulanmalıdır.

B2 Destek Türü ise, öngörülen tünelin Km: 5+500 ila 5+850 km aralıklarında uygulanması önerilen “B2” destek türü aşağıdaki tahkimat elemanlarından kuruludur (Tablo 8.3 ve Resim 8.7 ve 8.8).

Tablo 8.3. B₂ zeminlerde tahkimat elemanları

Püskürtme beton ($d_s = 150 \text{ mm}$)
Hasır çelik (2 kat = $Q_{289/289}$)
Sistemik bulon (L= 4.0 metre uzunluğunda, 2.00 x 2.00 metre aralıklı SN – kaya bulonu)



Resim 8.7. B₂ tip zeminlerde 1.kat çelik hasır, kafes iksa montajı, püskürme beton ve 2. kat çelik hasır ve püskürtme beton uygulaması



Resim 8.8. Püskürtme beton uygulaması ve 2. kat çelik hasır uygulaması

C sınıfı (Çok gevrek) olarak tanımlanan bu kaya kütleğinde desteklemenin zamanında yapılması halinde deformasyonlar hızla azalır. Destek uygulamasının zamanında yapılmaması ya da yetersiz olması ise derinlere ulaşan gevşemeler ve buna bağlı kopmalara yol açar. Stabilitenin sağlanmasına yönelik olarak yukarıda özetlenen desteklemenin tünel tavanı ve yan duvarlarda uygulanması, tünel içi ilave jeoteknik değerlendirmeler yapılması tavsiye edilmektedir (Resim 8.9).



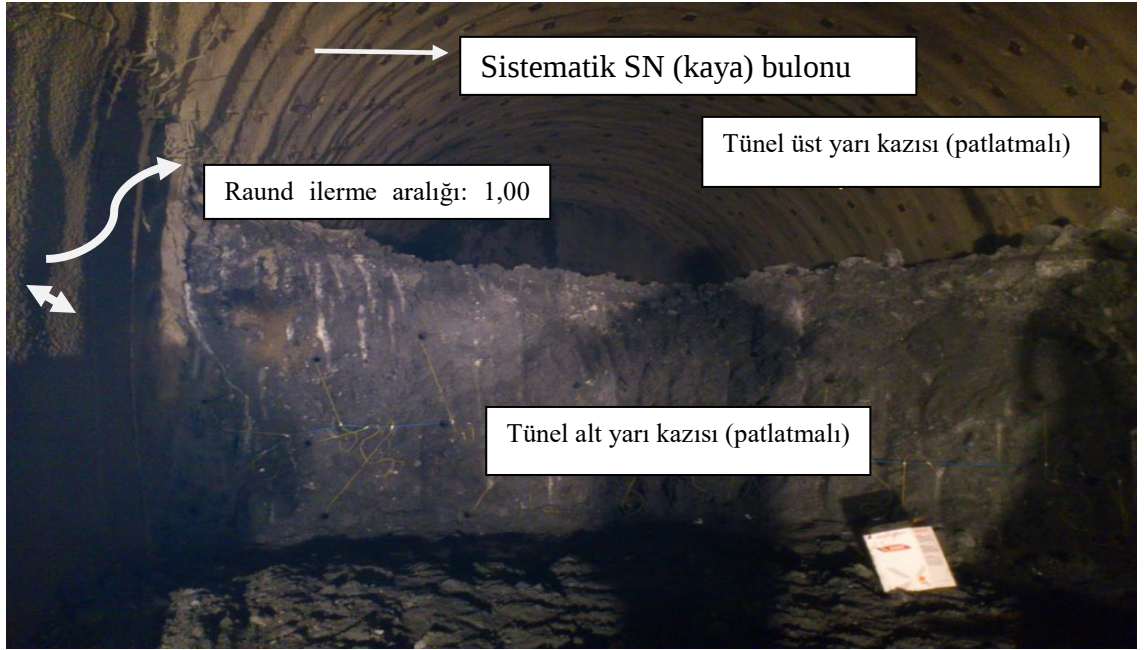
Resim 8.9. C₃ tip tünel zeminlerinde orta duvar uygulaması

8.4. Tünel Kazısı ve Alınması Gerekli nlemler

8.4.1. Kaya birimlerindeki tünel kazısı

Zeminin desteksiz durma süresi tünel kazısını yönlendiren en önemli etkenlerden biridir. Gerek Q ve RMR değerleri, gerekse bu değerlere karşı gelen NATM kaya sınıflaması dikkate alınarak tünel kazısının hat tünelleri için üstyarı/altyarı şeklinde yapılması stabilite yönünden uygun olacaktır [53].

Delme - patlatma yöntemi veya mekanik kazı ile açılacak tünellerde ilerleme (round) uzunluğu zeminin desteksiz durma süresi, desteksiz açıklık ve destekleme elemanı yerleştirme süresine bağlıdır. Bu bağlamda tüneli temsil eden kaya sınıfları için önerilen ilerleme uzunluğu (styarı/altyarı) aşağıdaki değerlerle sınırlandırılmıştır (Resim 8.10). Ancak tünel girişlerinin ilk birkaç metresinde bu uzunluklar 1.00 metreden fazla olmamalıdır [53].



Resim 8.10. Tünelin, alt yarı patlatmalı ilerleme aşaması

Tünel yapımında desteklenmiş üstyarı kazısı ile altyarı aynası arasındaki mesafe mümkün olduğu ölçüde kısa tutulmalıdır. B1 için 50 - 100 metre, B2 için 30 - 40 metre, B3 için 10 - 15 metre, B3-A için 5 - 10 arasında değişen bu mesafe jeolojik koşullar göz önüne alınarak değiştirilebilir. Ancak tünel desteklerinin en kısa zamanda tam kesit olarak tamamlanması tünel stabilitesine olumlu katkı sağlar (Resim 8.11).



Resim 8.11. Tünel kazı aşamasında tünel üst yarı ve alt yarı kazıları

Ayrıca jeolojik veriler ve kayaçların niteliği çok uygun gözükse bile tünel yapımı sırasında kazı ve tünel emniyeti için deformasyon ölçümleri yapılması önerilmektedir [54].

8.4.2. Zemin birimlerindeki tünel kazısı

Öngörülen tünelinin yaklaşık 180 metrelik bir bölümü kil, silt, kum ve çakılın değişik oranlarda bulunduğu alüvyondan oluşmaktadır. Bu bölgedeki zayıf zeminin sağlamlaştırılarak tünel duraylılığına katkıda bulunulması ve çalışma güvenliğinin sağlanması amacıyla zemin ıslahı önerilmiştir. Bu bağlamda dondurma (freezing) ve yüksek basınçlı enjeksiyon (jet grouting) seçenekleri incelenmiştir. Dondurma yöntemi uzun süre gerektirmesi ve yeraltısuyunda kirliliğe yol açması nedeniyle tercih edilmemiş ve buna karşılık hızlı ve pratik olmasından dolayı yüksek basınçlı enjeksiyonun zemin ıslahında uygulanması benimsenmiştir (Resim 8.12).



Resim 8.12. Zemin birimlerinde 1,2,3 kademe kazıları

Yüksek basınçlı enjeksiyon yöntemi ile zemin ıslahı delme tünellerde sıkça uygulanmaktadır. Yüksek basınçlı enjeksiyon yönteminde zemin koşullarına bağlı olarak su/çimento oranı, uygulama basıncı, matkap ucundaki yatay deliklerin çapı, çekme ve dönme hızı belirlenmektedir [54].

8.5. Kazı Sırasında Perimetrik Harita Alınması

Tünel kazısı sırasında jeolojik koşulların belirlenmesi ve belgelenmesi amacıyla perimetrik haritalama yapılmaktadır (Resim 8.13 ve 14). Yapım sırasında ve sonrasında olası stabilite problemlerinin çözümünde önemli bir veri kaynağı oluşturan bu haritalar vasıtasıyla litolojik sınırlar, süreksizliklerin konumu ve kaya sınıflamasına baz teşkil eden parametreler belirlenmektedir. Böylece kaya sınıflaması somut verilere dayalı olarak yerinde yapılmakta olup elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile dizayn edilen destek türleri ve kazı önlemlerinin uygunluğunun araştırılması ve ilerideki kaya koşullarının tahmin edilebilmesine olanak sağlanmaktadır.

Tünel kazısı bu konuda deneyimli bir jeoloji mühendisi tarafından izlenmeli, kazı adımının tamamlanmasının ardından tünel kesiti ve aynadaki jeolojik koşullar incelenerek haritalanmalıdır. Jeolojik harita alımı aşağıdaki bilgileri içermektedir:

- 1) Litolojik sınırlar ve tanımlar,
- 2) Süreksizlik düzlemlerinin (eklem, katman, fay vb.) konumu,
- 3) Süreksizliklerin nitelik ve nicelikleri (aralık, açıklık, pürüzlülük ve dolgu malzemesinin özellikleri),
- 4) Kaya kütlelerinin ayrışma ve dayanım özellikleri,
- 5) Su durumu: Kazı sırasında karşılaşılabilecek su durumu “kuru, ıslak, damla, sürekli akan vb.” deyimlerle tanımlanmalı ve jeolojik harita üzerinde lokasyonu işaretlenmelidir. Ayrıca sürekli çatlak veya yeraltı suyu varsa debisi lt/dakika olarak belirtilmelidir.

Yukarıda özetlenen verilerin jeoteknik değerlendirmesi, tünel kayasının Q değerinin saptanması ve deformasyon ölçümlerinin dikkate alınması ile projede öngörülen NATM kaya sınıfı gerektiğinde modifiye edilmesi mümkün olacaktır. Tünel aynasının sürekli izlenmesi bir sonraki atımda karşılaşılabilecek jeolojik koşulların tahmin edilebilmesi açısından önem taşımaktadır [48].

GÜLERMAK KOLIN Tandoğan - Keçiören (M4) Metro Hattı Kalan İnşaat İşleri

TARİHİ: 21.05.2014
FORM NO:
FORM NO:

MAKAS TUNELİ JEOLÖJİK HARİTALAMA KONTROL FORMU

REVİZE:
TUNEL ADI: A14
KİLOMETRE: 8.04
SOL TUP:
SAG TUP:
İST YARI:
ALT YARI:
KAYA SINIFI: B2/B3

İLERİLEME BOYU (ROUND) No:
D

☒ Grofit Sist
☒ Hidratasyon
Hidratasyon: Kaya içerisindeki minerallerin su atmosferiyle fiziksel ve kimyasal yolla ana kayadan farklı, ikincil bozunmuş bir zonda oluşmaktadır.
☒ Limonit, Klorit, pirit oluşumu bozunmuş zonda gözlenmektedir.

2.00 5.81 5.81 2.00 KM

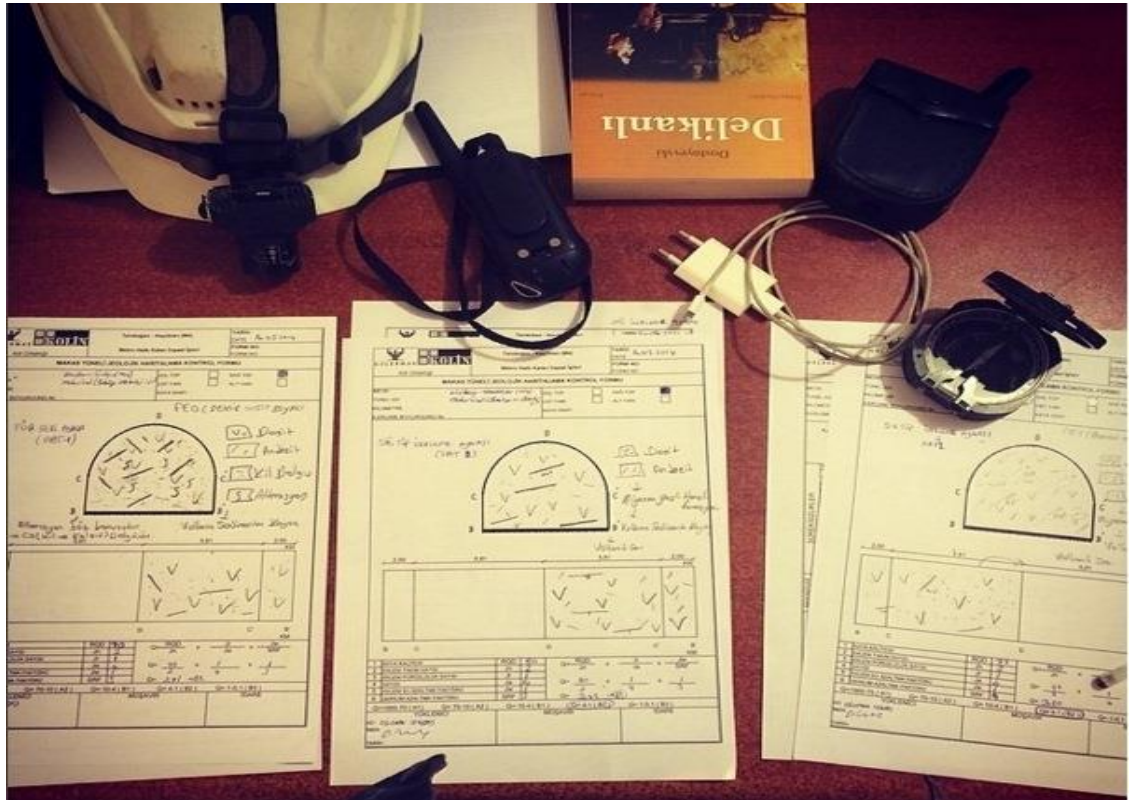
B C D C' B'

1	KAYA KALİTESİ	ROD	65	$Q = \frac{ROD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ $Q = \frac{65}{3} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{3}$ $Q = 2.40$
2	EKLEM TAKIM SAYISI	Jn	3	
3	EKLEM PÜRÜZLÜK SAYISI	Jr	3	
4	SAYISI	Ja	3	
5	EKLEM SU AZALTIMA FAKTÖRÜ	Jw	1	
6	GERİLM AZALTIMA FAKTÖRÜ	SRF	3	

Q=1000-70 (A1) Q=70-10 (A2) Q=10-4 (B1) Q=4-1 (B2) Q=1-0,1 (B3)

AD:
İMZA:
MÜŞAVİR
İDARE

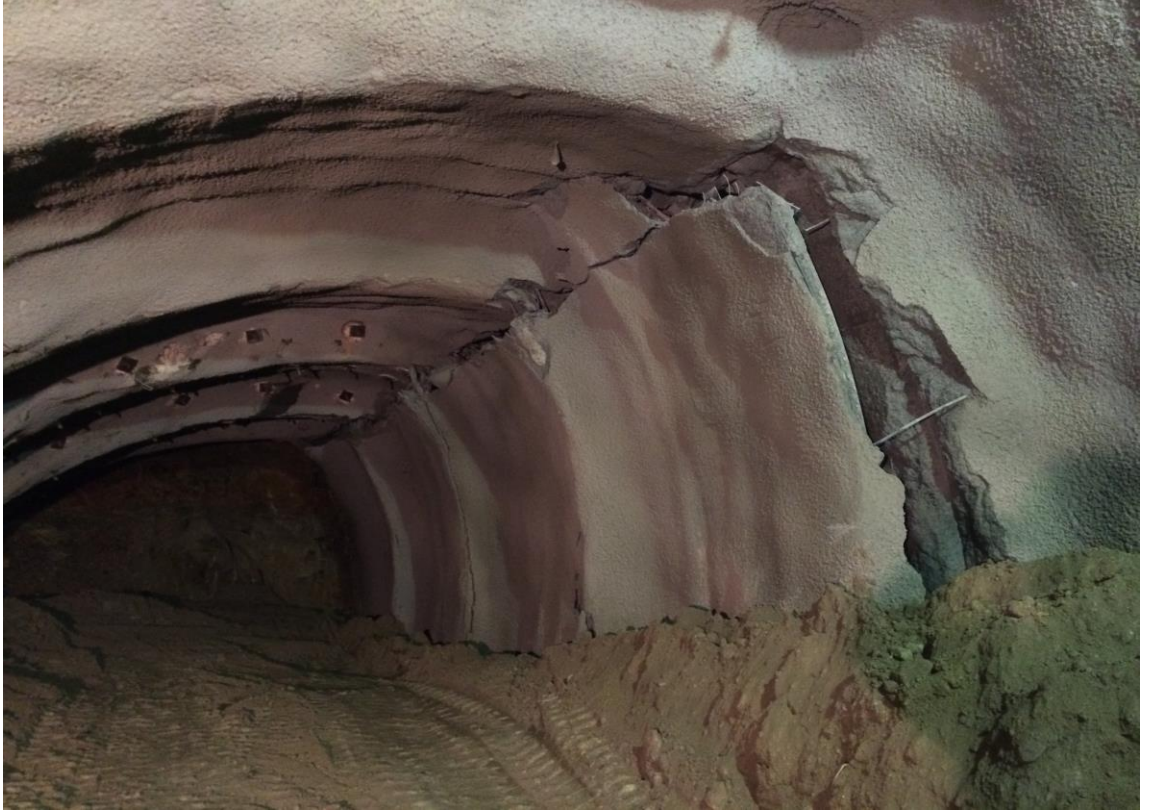
Resim 8.13. Ayna jeolojik haritalama ve perimetrik harita yapımı



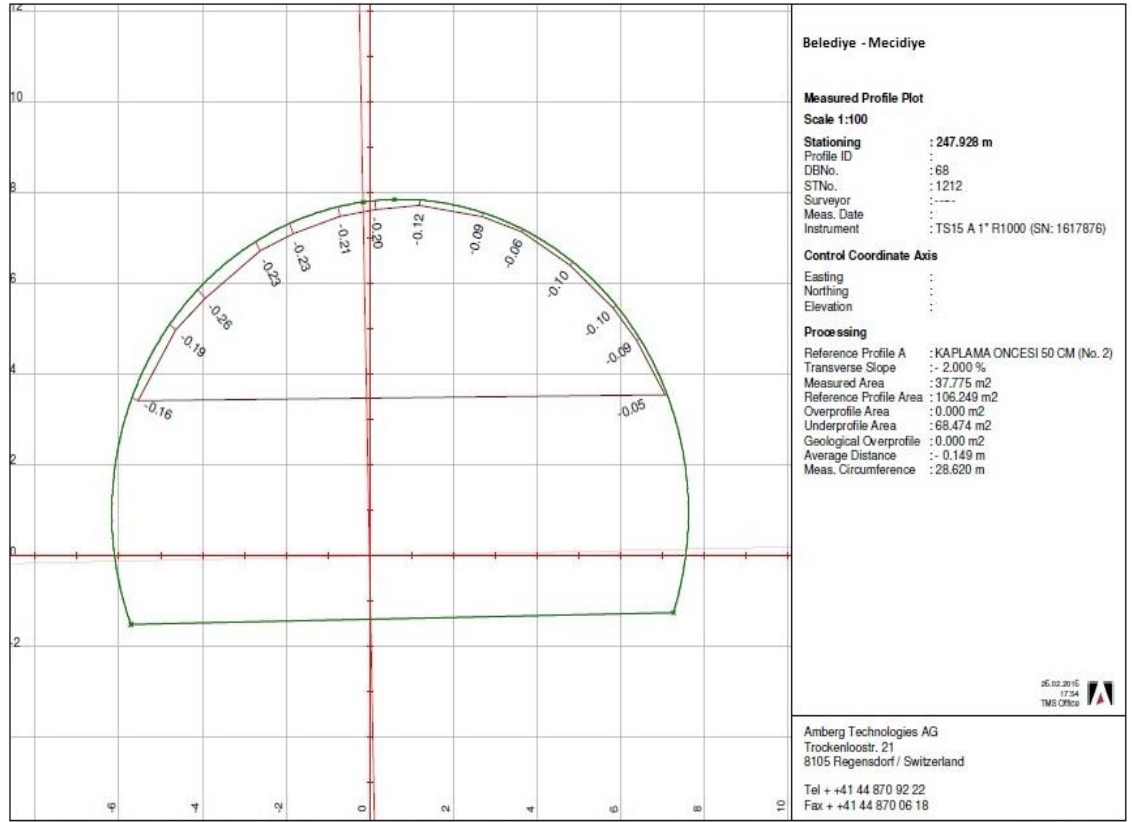
Resim 8.14. Kazısı yapılan aynanın perimetri ve ayna haritalaması

8.6. Tünel içi deformasyonları ölçümleri

İnceleme hattını oluşturan tünelde 2.40 - 6.00 m. aralıkla toplam 46 adet targetli deformasyon ölçümü yapılmıştır. Tünel içinde meydana gelebilecek deformasyonlar, örtü kalınlığı ve yüzey yüklerine, kazılan zeminin cinsine, tünel kazı kesitine, tünel kazı destek tipine, tahkimat elemanlarına, yapısal jeolojiye ve kazı kademelerindeki geçişlere bağlı olarak deformasyonlar meydana gelir. Tünel kazı destek tipinin yetersiz kalmasından dolayı oluşan bir deformasyon Resim 8.15’de verilmiştir. Belirtilen konumlardaki ölçümlere 1. kademe kazıları başlarken, ölçümlerin kazıdan etkilenmemesi amacıyla, 2. kademe kazıları bitene kadar ara verilmiştir. Yapılan bu ölçümlerde deformasyonlar 26 mm en büyük tünel içi deformasyon gerçekleşmiştir (Şekil 8.1).



Resim 8.15 Kazı destek sisteminin mevcut yanıl yüklerle yetersiz kalmasında dolayı meydana gelen deformasyonlar



Şekil 8.1 Tünel içinde meydana gelen deformasyonların kesiti

Deformasyonların sönümlendirilebilmesi için genel olarak mevcut kazı destek sistemi içinde paklerli kontak enjeksiyon uygulaması, geçici invert uygulaması, kazı kademe sayılarının artırılması, iksa ayaklarına mini kazık uygulanması, foot pile uygulamaları yapılabilir. Yapılan bu uygulamalar sonucunda deformasyonlar sönümlenmiyorsa mevcut kazı destek sistemi değiştirilip bir üst kazı destek sistemine geçilmelidir. Deformasyonlar sönümlenince kadar kazı destek sistemi ve deformasyon uygulamaları arasında değişiklik yapılarak deformasyonlar önlenabilir.

9. BÖLÜM

SONUÇLAR

Tandoğan-Keçiören metro projesinin Km: 5+385 - 6+200 arasında kalan 815 m'lik Belediye – Mecidiye istasyonları arasında; literatür çalışmaları, sondaj çalışmaları, arazi ve laboratuvar deney sonuçlarının derlenmesiyle tünel güzergahı boyunca jeolojik, hidrojeolojik, depremsellik, jeoteknik ve tünel tasarım parametreleri açısından değerlendirilmiştir.

Proje alanı ve yakın çevresinde Tekke Volkanitleri üyesi olan dasit, Mamak Formasyonu üyesi olan andezit aglomera ve tuf, Gölbaşı Formasyonu üyesi olan konglamera, kumtaşı, çamurtaşı ve Alüvyon gözlenmektedir. Tünelin km: 5+385-6+200 arası temsil edilen güzergah bölümü ağırlıklı olarak alüvyal çökellerden oluşur. Bu birimler tabandaki Tekke Volkanit üyesi dasit ile Gölbaşı Formasyonunu üzerler. Bölüm sonuna doğru Mecidiye istasyonu civarında alüvyon sonlanır ve Gölbaşı formasyonu ile birlikte tuf ve dasit birimleri yüzeylenmeye başlar. Güzergâhın tamamı yüzeyde yapay dolgu ile örtülüdür.

Güzergâhın geçtiği vadi tabanlarında izlenen alüvyal çökeller kumlu kil, killi kum ve killi kumlu çakıl seviyeleri ile temsil edilir. Genelde geçirimli ve çok geçirimli özelliğe sahip bu birimlerin yeraltısuyu içerirler. Alüvyonun altında yer alan dasit ile Gölbaşı Formasyonu üyesi çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşı ile Volkanik Seriyeye ait dasit birimi kaya kütleindeki çatlakların nicelik ve niteliğine bağlı olarak yeraltısuyu dolaşımına izin verir. Buna karşılık, ayrılmış tuf birimi genelde geçirimsizdir.

Periyodik yeraltısuyu ölçümü yapılan temel sondaj kuyularındaki “yeraltısuyu tablası derinlikleri” verilmiştir. Ayrıca proje güzergâhında karşılaşılan zemin ve kaya birimlerinin geçirimliliğini tespit etmek için “Sabit Seviyeli Permeabilite” ve “Basınçlı Su Deneyi” yapılmıştır.

Ankara kenti, ağırlıklı olarak Türkiye'nin 3 ve 4. derece deprem bölgesi içinde yer alması yansırı çalışma sahası olan Tandoğan - Keçiören Metro Güzergahı “Deprem Araştırma Dairesi” tarafından hazırlanan “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası” nda 4. derece deprem bölgesinde bulunur.

Jeoteknik bağlamda Q ve RMR sınıflamasına göre tünel zemininin farklı jeoteknik özellikteki aralıklarını temsil eden Q ve RMR sayıları bulunmuş ve çalışma alanında RMR ve Q kaya kütle sınıflandırmasına göre, yapılan zemin sınıflandırmalarıyla kayanın, B₁ sınıf ile C₂ sınıf arası olduğu, gevrek bir yapı özelliği gösterdiği ve tünel güzergahında % 69 Dasit, % 22 kumtaşı, % 9 alüvyondan oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca tünel zemini NATM Kaya Sınıflaması bazında 3 sınıfa ayrılmıştır. A sınıfı (A₁, A₂, A₃), B sınıfı (B₁, B₂, B₃) ve C sınıfı (C₁, C₂, C₃) olarak tanımlanan kaya sınıfları ile ilgili kaya destek türleri önerilmiştir. Ancak lokal olarak zeminin daha zayıf davranışlar gösterebileceği durumlar C kaya sınıfına bağlı olarak yapılacak kazı destek sistemi de önerilmiştir.

Yapılan ön jeolojik çalışmalarla tünel çapına bağlı olarak tünel kazısının genelde üstyarı/altyarı şeklinde yapılmasının uygun olacağına kanaat getirilmiştir. Tünelin güvenli ve ekonomik şekilde inşa edilmesine katkıda bulunmak amacıyla kazı sırasında jeoteknik ölçümlerin yapılmasının yansıra olası stabilite problemlerinin belirlenmesi, çözüm önerilerinin üretilmesi, ilerleme yönteminin kazı esnasında zemin davranış ve durumuna göre jeolojik olarak yorumlanmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

İncelemesi yapılan delme tüneli yapımı tamamlandığında, Belediye ve Mecidiye istasyonları arasında, trenlerin hat değiştireceği makas tüneli olarak işlev görecektir. Proje benzerlerinden farklı olarak, TBM (Tünel delme makinası) tünellerinden delme metoduyla makas tüneli yapımı, projesiyle Dünyada ilk olarak açılan TBM makas tünellerinden biridir. Tandoğan - Keçiören metrosuyla senede 7 milyon yolcu taşınacağı tahmin edilmektedir Ankara'nın trafik sorununu % 9 oranında azaltacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Özarslan, H., "Meteroloj-Belediye İstasyonları Arası Tünel Jeoteknik Raporu" "*Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.*", Ankara, s. 1-80, 2003.
2. Chaput, E., "Ankara mıntıkasının 1/135-000 mikyasında jeoloji haritasına dair izahat", *Geol. Enst., İstanbul*, 1931.
3. Bailey, E., McCallien W., "The Ankara melange and the Anatolian thrust" "*MTA Mecm'*", no. 403, Ankara, s. 1663, 1950.
4. Erol, O., "Ankara civarının jeolojisi hakkında rapor", "*MTA Enstitusu yayını*", no: 2491, Ankara s. 238, 1954.
5. Erol, O., Yurdakul, E., Algan, U., Gürel, N., Herece, E., Tekirli, E., Ünsal, Y., Yüksel, M., "Ankara metropoliten arazi kullanım haritası", "*MTA Enstitusu raporu*", Ankara s. 99, 1980.
6. Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Catal, E., Sozeri, B., Yıldırım, H., Hakyemez, Y., "Ankara Elmadağ Kalecik Dolayının Temel Jeoloji Özellikleri", "*Ankara Jeoloji Mühendisliği*", Ankara, s. 31-46. 1984.
7. Kiper, B., "Pliyosen'de Ankara ile Etimesgut-Batıkent havzaları arasında uzanan paleosirt", "*Jeoloji Muhendisliği*", Ankara, s. 35-39. 1984.
8. Gökten, E., Kazancı, N., Acar, Ş., "Ankara kuzeybatısında (Bağlum-Kazan arası) Geç Kretase-Pliyosen serilerinin stratigrafisi ve tektoniği", "*Maden Tetkik Arama Dergisi*", Ankara, 108, s. 69-81, 1988.
9. Akyürek, B., Akbaş, B., Dağ, Z., "1/100000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Çankırı E16 paftası", "*MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi*", Ankara, 1988.
10. Koçyiğit, A., "Changing stress orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the Neotectonics of the Ankara region (NW Central Anatolia)", "*TPJD Bülteni*", 3 (1), s. 43-55, 1991.

11. Erol, O., ‘‘Ankara yresinin jeomorfolojik gelişimi’’, ‘‘*Jeoloji Sempozyumu Bildirileri*’’, s. 25-35, 1991.
12. Varol, B., Gökten, E., ‘‘The Facies Properties and Depositional Environments of Nodular and Red Marly Limestones "Ammonitico Rosso" in the Ankara Jurassic Sequence’’, ‘‘*Terra Nova*’’, *Central Turkey*, 6, s. 64-71, 1994.
13. Baran, B., Gökten, E., ‘‘Seismotectonics of Ankara and surrounding region’’, ‘‘*Earthquake Research in Turkiye*’’, s.18, 1996.
14. Akyürek, B., Duru, M., St, F., Papak, İ., şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gnen, O., Granit, S., Yaşar, T., ‘‘1/100000 lekli aınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Ankara F15 paftası’’, ‘‘*MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi*’’, Ankara, 1997.
15. Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Karakuş, K., Fodor, L., Araz, H., Karadenizli, L., ‘‘Does continious compressive tectonic regime exist during Late Paleogene in NW Central Anatolia, Turkey’’, ‘‘*Turkish journal of Earth Sciences*’’, 6, s. 77-83, TÜBİTAK, 1997.
16. Duru, M., Aksoy, A., ‘‘1/100000 lekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Bolu H29 paftası’’, *MTA Jeoloji Etudleri Dairesi, Ankara*, 42, 2002.
17. Toori, M., ‘‘Orhaniye ve civarının Neojen Stratigrafisi ve Tektoniği, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*’’, *Lisans Tezi*, s. 75, Ankara, 2005.
18. Kutluay, A., ‘‘Yenikent ve civarının (KB Ankara-Türkiye) Neojen stratigrafisi ve neotektoniği, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*’’, yüksek lisans tezi, s. 65, 2007.
19. Birand, A., ‘‘Ankara Killerinin şişme potansiyelinin Metilen Mavisi deneyi ile tayini’’, ‘‘*Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*’’, 17, 1993.
20. Arda, ř., ‘‘Preconsolidation of Ankara clay, *METU Civil Engineering*’’, Master thesis, pp. 56, 1966.

21. Ergünay, O., “Sismik tehlike ve risk açısından Ankara’ya genel bakış”, “*Yerbilimleri Açısından Ankara’nın Sorunları Sempozyumu*”, s. 88-94, Ankara, 1978.
22. Kasapoğlu, K.E., “Ankara Kenti Zeminlerinin Jeoteknik Özellikleri ve Depremselliği”, “*TMMOB, Jeoloji Muhendisleri Odası Yayını*”, 54, 176 s. 12-54, Ankara, 2000.
23. Mucukgil, A., “Ankara Kızılcahamam Kınık Tünelindeki Jeoteknik Problemler, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*”, Yüksek Lisans Tezi, s. 66, 1987.
24. Kılıç, R., Demirbaş E., “Sincan (Ankara) Kepir gölü civarındaki Üst Pliyosen çökellerinin jeoteknik özellikleri”, “*Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Bülteni*”, 15, s.123 - 128, Ankara, 1989.
25. Ergüler, Z., Ulusay, R., “A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) clay”, “*Eng., Geo.*”, 67, pp. 331-352, 2002.
26. Kılıç R., Bilgehan, R., Ulanış, K., Ulugergerli, E., Akça, İ. , “Teknopark Alanının Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik incelemesi raporu”, “*Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği*”, Ankara, 2004.
27. Gutenberg, B., Richter, C.F., “Earthquake magnitude, Intensity, Energy and Acceleration”, “*Bull. Seis. Soc. Am.*”, 3 (32), 1956.
28. Gumbel, E.J., “Statistics of extremes”, “*Columbia University Press*”, Newyork, 1958.
29. Campbell, K.W., “Empirical near source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra”, “*Seismol. Res. Lett*”, 68 (1), pp. 154–179, California, 1997.
30. Erdik, M., Doyuran, V., Gülkan, P., Akkaş, N., “A probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey”, “*Tectonophysics*” 117, pp. 295-344, 1985.

31. Gülkan, P., Koçyigit, A., Yüçemen, M.S., Doyuran, V., Başöz, N., ‘‘Earthquake zoning map of Turkey based on most recent data’’, ‘‘*METU Earthquake Eng.Res. Center*’’, 93 (1). pp.156, Ankara, 1993.
32. Özmen, B., Kocaefe, S., ‘‘The Seismicity and Earthquake Hazard of Ankara’’, ‘‘*International Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management*’’, Ankara, 1999.
33. Çetin, K.O., ‘‘Reliability-Based Assessment of Seismic Soil Liquefaction Initiation Hazard’’. ‘‘*Dissertation in partial fulfillment for the degree of doctor of philosophy, University of California*’’, Berkeley, 2000.
34. Gülkan, P., Kalkan, E., ‘‘Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey’’. ‘‘*J. Seis.*’’, 6, pp. 397-409, 2002.
35. Ansal, A., Erdik, M., Studer, J., Springman, S., Laue, J., Buchheister, J., Giardini, D., Faeh, D., Koksak, D., ‘‘Seismic microzonation for earthquake risk mitigation in Turkey’’, ‘‘*13th World Conference on Earthquake Engineering*’’, Canada, 2004.
36. Sağlam, H., ‘‘Demetevler (Ankara) bölgesinin zeminlerinin hakim titreşim periyodu ve büyütmelerinin belirlenmesi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*’’, Yüksek lisans tezi, s. 64, Ankara, 2003.
37. Ulusay, R., Tuncay E., Sönmez H., Gökçeoğlu, C., ‘‘An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey’’ ‘‘*Engineering Geology*’’, 74 (3-4), pp. 265-291, 2004.
38. Koçkar, M. K., ‘‘Engineering geological and geotechnical site characterization and determination of the seismic hazards of Upper Pliocene and Quaternary deposits situated towards the west of Ankara, *METU*’’, PhD Thesis, pp.401, Ankara, 2006.
39. Kasapoğlu, K.E., ‘‘Ankara Kenti Zeminlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*’’, Doçentlik tezi, s. 206, Ankara

40. İnternet: Deprem Araştırması Daire Başkanlığı, “2007 Deprem Bölgeleri Haritaları”, <http://www.deprem.gov.tr/>
41. Ambraseys N.N. and Finkel C., “The Seismicity of Turkey and adjacent areas” ‘*A Historical Review*’, pp. 240, İstanbul, 1995.
42. Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z., “Türkiye ve civarının Deprem Kataloğu (MS 11-1964 sonuna kadar)”, ‘*İstanbul Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Yayınları*’, 24, s.169, 1967.
43. Özmen, B., Kocaefe, S., “The Seismicity and Earthquake Hazard of Ankara”, ‘*International Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management*’, ODTU, Ankara 1999.
44. Koçyiğit, A., “Orta Anadolunun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği”. ‘*TPJD Bülteni*’, 2003.
45. İnternet: Deprem Araştırması Daire Başkanlığı, “Ankara civarında meydana gelen depremler”, <http://www.deprem.gov.tr/>
46. Kırmızıtaş, H., Doğdu, M.Ş., Apaydın, A., Aktaş, S., “Özel Hidrojeolojik Etüt Raporu Yazım Kılavuzu”, ‘*JMO Yayını*’, 92, Ankara, 2005.
47. Özarslan, H., “Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. Belediye-Mecidiye İstasyonları Arası Tünel Jeoteknik Raporu”, 5, s. 1-80, Ankara, 2005.
48. ISRM, “Rock characterization, testing and monitoring”, Editör, *E.T. Brown*, pp 211, Oxford, 1981.
49. Hever, J., “Engineering Classification of Rock Massesforthe Design of Tunnel Support”, ‘*Norwegian Geotechnical İnstitute Publication*’, 106, Norway, 1974.
50. Bieniawski, Z.T., “The Geomechanics Classification in rock engineering applications”, ‘*Proceedings of the 3rd Congress on Rock Mechanics*’, 2, pp. 4-48, Montreux, 1979.

51. Özkan, İ., Ünal, E., “Kaya kütlesi sınıflama sistemleri üzerine kritik bir değerlendirme”, “3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı”, 1996.
52. Baydur, H., Özarslan, H., “Ankaray Projesi-Geoteknik uygulamalar”, “Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5.Ulusal Kongresi”, 3, s. 961-1013, Ankara, 1994.
53. Başarır, H., Özsan, A., Karakuş, M., “Analysis of support requirements for a shallow diversion tunnel at Guledar Dam Site, Turkey”, “Engineering Geology”, 81, pp. 131-145, 2005.
54. Özarslan. H., “Ankara Metrosu jeoteknik etüd raporları”, “Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.”, Ankara, 1994.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih SİS 1988 yılında Elazığ/Palu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2008'de kazandığı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden 2013 yılında mezun oldu. Malatya/Erkenek Karayolu Tünel projesi, Tandoğan-Keçiören Metro geçiş tüneli, İstanbul/Kasımpaşa karayolu tüneli ve halen İstanbul/Çamlıca karayolu tüneli geçiş projesinde kısım şefi olarak çalışmaktadır.

Adres: Kurbağalıdere Cad. Hamiyet Sok. No:11/3 Hasanpaşa Kadıköy/İstanbul

Telefon: 0535 261 67 44

e-posta : fatihsis8823@gmail.com