T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA 3. AŞAMA RAYLI SİSTEM HATLARI OTOGAR TRANSFER MERKEZ HATTININ (Km 11+780-Km 13+005 ARASI) JEOTEKNİK İNCELEMESİ

Merih Can AYDEMİR

Danışman
Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2021

© 2021 [Merih Can AYDEMİR]

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR iv
ŞEKİLLER DİZİNİ v
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Amaç ve Kapsam 1
1.2. Proje Alanı 2
1.3. Nüfus Yerleşim 2
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü 2
2. KAYNAK ÖZETİ 4
2.1. Genel Jeoloji 4
2.2. Yapısal jeoloji ve tektonizma 12
2.3. Depremsellik 13
3. MATERYAL VE YÖNTEM 15
3.1. Materyal 15
3.2. Yöntem 15
3.2.1. Temel araştırma sondajları 15
3.2.2. Yerinde (in-situ) deneyler 17
3.2.3. Laboratuvar Deneyleri 17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 18
4.1. Mühendislik Jeolojisi 18
4.1.1. Otogar Transfer Merkezi Birimlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi 18
4.1.2. Aç-Kapa Yapısı Birimlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi 21
4.1.3. Tünel Güzergâhının Jeolojik – Jeoteknik Açıdan Değerlendirilmesi 22
4.2. Kaya sınıflaması ve destek tipleri 27
4.3. Jeoteknik Değerlendirmeler 33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 52
6. KAYNAKLAR 54
ÖZGEÇMİŞ 59

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANTALYA 3. AŞAMA RAYLI SİSTEM HATLARI OTOGAR TRANSFER MERKEZ HATTININ (Km 11+780-Km 13+005 ARASI) JEOTEKNİK İNCELEMESİ

Merih Can AYDEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK

Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında güzergah üzerinde önceden açılmış temel araştırma sondajlarına ait karotlar üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçlarından ve tünel ayna kesitleri üzerindeki jeoteknik verilerden yararlanılarak ilgili alanın jeoteknik incelemesi amaçlamıştır. Geçmişten günümüze kadar kaya sınıflama sisteminde kullanılan Q, RMR ve GSI sınıflama yöntemleriyle çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda tünel güzergahı ve yakın çevresinde yapılan araştırma çalışmalarından sağlanan verilere göre tünel güzergahında zemin profili esas olarak Yapay Dolgu (Yd), Antalya traverteni (Qtrv) ve Antalya traverteninin çok – tümüyle ayrışmış (Qtrv – W5) üst seviyelerinden oluşmaktadır. Bu çalışma, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) uygulanarak açılan bir tünelde yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarını içermektedir. NATM "A" Tipi Ana hat Tünelleri "A2 Tip ve A2 Özel Tip kazı destek sistemi" ile tasarlanmıştır. Kaya ve zemin birimlerinin mühendislik özellikleri anlatılmıştır. Elde edilen bilgilerle tünel tipleri ve destekleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu, Antalya traverteni, kaya ve zemin birimlerinin mühendislik özellikleri.

2021, 59 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF ANTALYA 3rd STAGE RAIL SYSTEM LINES OTOGAR TRANSFER CENTER LINE (Km 11+780-Km 13+005)

Merih Can AYDEMİR

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖZÇELİK

In this thesis, the basic research on the route within the scope of engineering geology studies. The results of the laboratory tests performed on the cores of the drillings and the geotechnical data on the tunnel mirror sections were used. Q, RMR and GSI classifications, which have been used in the rock classification system from past to present, have been made. According to the data obtained from the research studies conducted on the tunnel route and its immediate surroundings, the ground profile on the tunnel route mainly consists of Artificial Fill (Yd), Antalya travertine (Qtrv) and the very - completely dissociated (Qtrv - W5) upper levels of the Antalya travertine. This study includes engineering geology studies in a tunnel opened by applying the New Austrian Tunneling Method (NATM). NATM "A" Type Mainline Tunnels are designed with "A2 Type and A2 Special Type excavation support system". Engineering properties of rock and soil units are explained. Tunnel types and supports were determined with the information obtained.

Key Words: New Austrian Tunneling Method, Antalya travertine, engineering properties of rock and soil units.

2021, 59 pages

TEŞEKKÜR

Yaptığım değerlendirme ve araştırma için bana bu yolda ışık tutan, önüme çıkan engelleri birbir aşmamda, saha ve literatür araştırma çalışmalarımda yardımını eksik etmeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlarken benimle birlikte olan ve çaresiz kaldığım zamanlarda bana ilham kaynağı olan ailem ve eşime sevgilerimi sunarım.

Merih Can AYDEMİR
ANTALYA, 2021

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Proje alanının konumu 2
Şekil 2.1. Bölgesel jeoloji haritası 5
Şekil 2.2. İnceleme alanı ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik sütün kesiti (Ölçeksiz) 6
Şekil 2.3. İnceleme Alanı ve Çevresi Deprem Tehlike Haritası 13
Şekil 2.4. İnceleme alanı ve çevresi Diri Fay Haritası 13
Şekil 3.1. Sondajdan alınan karot örnekleri 16
Şekil 4.1. Granüler zeminlerin içsel sürtünme açısının SPT sonuçları ile olan ilişkisi 35
Şekil 4.2. Qtrv birimine ait normal gerilme–kesme dayanımı grafiği (h = 8.0 m.) 40
Şekil 4.3. Qtrv birimine ait normal gerilme–kesme dayanımı grafiği (h = 22.0 m.) 41
Şekil 4.4. Qtrv-W5 birimine ait normal gerilme-kesme dayanım grafiği (h = 5.0 m.) 42
Şekil 4.5. A Tipi Ana hat Tüneli – A2 Tip Kazı Destek Sistemi 44
Şekil 4.6. A Tipi Ana hat Tüneli – A2 Özel Tip Kazı Destek Sistemi 44
Şekil 4.7. Kazı aşaması 1 45
Şekil 4.8. Kazı aşaması 2 46
Şekil 4.9. Kazı aşaması 3 46
Şekil 4.10. Kazı aşaması 4 47
Şekil 4.11. Kazı aşaması 5 47
Şekil 4.12. AnahatTüneliKesiti: KM 12 + 045.00 48
Şekil 4.13. Anahat Tüneli Kesiti: KM 12+365.00 50
Şekil 4.14. Anahat Tüneli Kesiti (KM 12+405) 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Zemin grupları 14
Çizelge 2.2. Yerel zemin sınıfları 14
Çizelge 2.3. Spektrum karakteristik periyotları 14
Çizelge 3.1. Temel sondajları 16
Çizelge 4.1. Otogar Transfer Merkezi U-Kesit ve Sanat Yapıları Listesi 18
Çizelge 4.2. Kaya Sınıflama Sistemlerinin Karşılaştırılması 28
Çizelge 4.3. Kaya Sınıflaması (Q) 30
Çizelge 4.4. Kaya Sınıflaması (RMR) 30
Çizelge 4.5. Kaya Sınıflaması (ONORM B 2203) 30
Çizelge 4.6. Zeminlerin Sıklığı / Katılığı ile Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki İlişki 34
Çizelge 4.7. SPT-N ve Es bağıntıları 35
Çizelge 4.8. Kaya kütle puanlaması 36
Çizelge 4.9. Seçilen kaya kütle parametreleri 37
Çizelge 4.10. Antalya traverteni (Qtrv) RMR sınıflaması (RMR=40) 37
Çizelge 4.11. Çok Tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrw-W5) RMR sınıflaması (RMR=33) 39
Çizelge 4.12. Kaya kütle parametreleri 42
Çizelge 4.13. Kaya kütle parametreleri 43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	Kohezyon
e	Boşluk Oranı
E	Elastisite Modülü
Ep	Pressiometrik Elastisite Modülü
GSI	Jeolojik Dayanım İndeksi
GSK	Sondaj Kuyusu
Is	Nokta Yükleme İndeksi
Jr	Çatlak Pürüzlülük Durumu
Jn	Eklem Takımı Sayısı
Ja	Eklam Ayrışma Durumu
Jw	Eklem Suyu Durumu
NATM	Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu
PL	Limit Basınç
PLnet	Net Limit Basınç
RMR	Kaya Kütle Derecelendirme Sınıflaması
RQD	Kaya Kalitesi Göstergesi
RMI	Kaya Dayanım İndeksi
SRF	Gerilim Azaltma Faktörü
SRF	Gerilim Azaltma Faktörü
t	Zaman
Wk	Kuru (katı) Kısmın Ağırlığı
Wd	Suya Dogun Ağırlığı
Q	Norveç Jeoteknik Enstitüsü Sınıflama Sistemi
γk	Kuru Birim Hacim Ağırlığı
γd	Doygun Birim Hacim Ağırlığı
γn	Doğal Birim Hacim Ağırlığı
σc	Basınç Dayanımı
σt	Çekme Dayanımı
σ3	Çevre Gerilmesi
σ1	Eksenel Gerilme
ν	Poisson Oranı
(ϕ)	İçsel Sürtünme Açısı
ωn	Doğal Su İçeriği

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada, Antalya 3. Etap Varsak-Otogar raylı sistem uygulama projesine ait raylı sistem hatları otogar transfer merkez hattının jeoteknik incelemesi amaçlanmıştır.

Yüksek nüfuslu ve gelişmekte olan kentlerde yerüstü trafik yoğunluğunu, yeraltı ulaşım sistemleriyle azaltmak hem insanların trafikte geçirdiği zamanı kısaltmak adına hem de daha ekonomik bir yol olduğu için iyi bir alternatiftir. Tünellere doğan gereksinim zaman içinde çok daha eskilerden bu yana var olan bir olgudur. Tünelcilik çalışmaları günümüzden binlerce yıl öncesinde, insanların doğal mağaraları büyütme çabaları ile başlamıştır. Bilinen kaynaklara göre Babil'de günümüzden 3 bin yıl önce enlemesine uzunluğu 16 metre olan bir su tüneli olduğu bilinmektedir. Tünel inşalarında, kendini sürekli olarak yenileyen teknoloji ile birlikte günümüz yenilikleri kullanılmış olsa da günümüzde halen en çok kullanılan kazı yöntemleri listesinin birinci sırasında klasik bir tünel açma yöntemi olan "Yeni Avusturya Tünel Metodu" (NATM) gelir. (ÖNORM B 2203-1). Doğru tanımlanmış bir kayada, doğru teknik ve destek elemanları ile tünel açımı planlandığında, meydana gelecek deformasyon ve deplasmanlar önceden öngörülebilir olmalıdır. Bu deplasmanların izin verilen sınırlar içerisinde kalması da mühendislik hesaplamalarının amaçlarındandır, yapılan jeoteknik çalışmalar ile tünelin açılması için gerekli olan teçhizatın, maliyetin, çevresel ve yapısal faktörlerin, inşa sürecinin belirlenmesi sağlanmaktadır.

Bu tez kapsamında, yapılmış olan temel araştırma sondajları, laboratuvar deneyleri ve yerinde (in-situ) deneylerinden faydalanarak, tünelin kaya sınıflaması jeoteknik ve mühendislik özelliklerinin bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.2. Proje Alanı

Proje alanı Antalya Kepez ilçesi otogar mevkii Sakarya Bulvarı ve Dumlupınar Bulvarı üstündedir. Çalışma alanı konumu Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Proje alanının konumu

1.3. Nüfus Yerleşim

Çalışma alanı yoğun trafikli, yapılaşmanın bol olduğu yerleşim ve iş merkezlerinin olduğu bir konumda bulunmaktadır. Özellikle işe gidiş ve geliş saatlerinde araç ve nüfus yoğunluğu gözlenmektedir.

1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Akdeniz Bölgesi'nin batı kısmında yer alan Antalya, Batı Torosların güneyi ile Akdeniz arasında kalmış bir bölümde bulunmaktadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı olan Antalya, deniz iklim sınıfı olarak Akdeniz iklimine girer,

bölgenin iç kesimleri ise soğuk ve yarı-kara iklim tipi görülmektedir. Kentin %60'ı ormanlık alan olup maki türü bodur bitkiler Antalya'nın bitki örtüsünü oluşturur. Kentin yukarı kısımlarında karaçam ve kızılçamlar görülür.

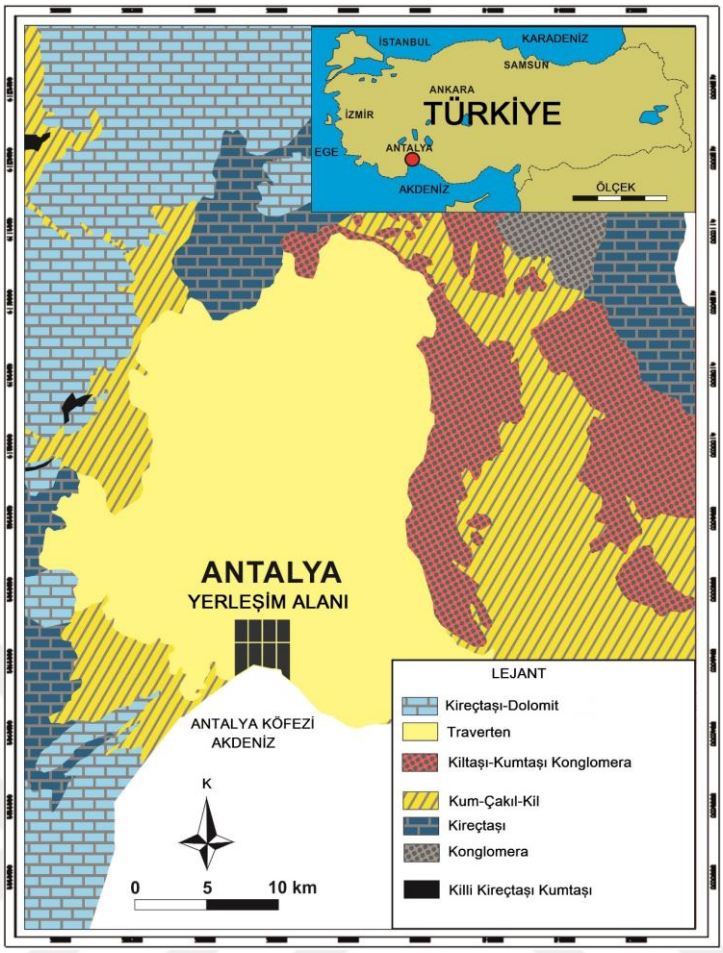
2. KAYNAK ÖZETİ

2.1. Genel Jeoloji

Bölgedeki en eski bilimsel çalışma Kalafatçıoğlu' na (1973) aittir. Kalafatçıoğlu yaptığı çalışmada kendinden önce değişik yaş ve isimlerle tanımlanan Triyas birimlerinin ritmik bir seri olduğunu söylemiş, kumtaşları, radyolarit çört ve plaketli kireçtaşı olarak üç formasyona ayırmıştır. Aynı Triyas serisi daha kuzeyde çalışan Lefevre (1967) tarafından Antalya napları olarak tanımlanmıştır. Antalya napları ise Brunn vd. (1971) tarafından Alt nap (Çataltepe ünitesi), Orta nap (Alakırçay ünitesi), Üst nap (Tahtalıdağ ünitesi) olarak ayrılmıştır. Bu ayrıma Şenel vd. (1981-1989-1992-1996) Tekirova ofiyolit napını ilave etmiştir. Antalya napları bölgede, Beydağları otoktonu olarak bilinen Jura- Kretase yaşlı Beydağları Formasyonu (Günay vd. 1982) ile başlayıp, Tersiyer Kasaba Formasyonu (Iğdır vd. 1972) ile sonlanan birim üzerinde yer alır (Şekil 2.2.).

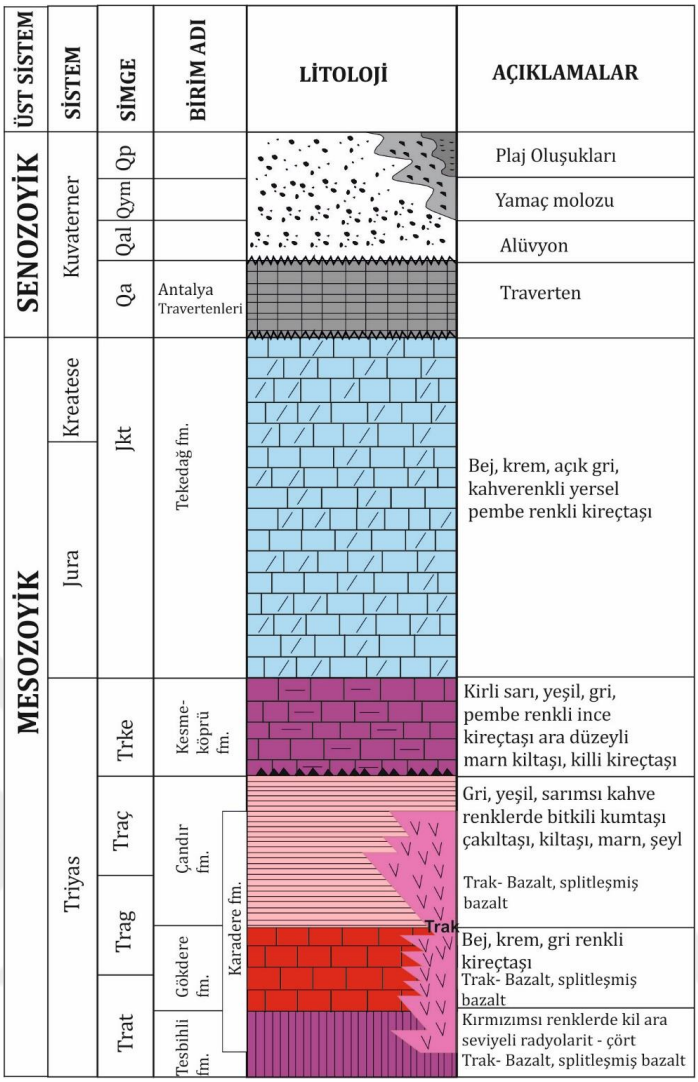
Bölgede geniş yayılım gösteren batıda Boğaçay, doğuda Aksu çayı, kuzeyde Toros Dağları ve güneyde Akdeniz ile sınırlı alanda bulunan Antalya Travertenleri, konum ve oluşum özellikleri ile literatürde önemli bir yere sahiptir (Altınlı, 1944; Darkot ve Erinç, 1951; Aydar ve Dumont, 1979). Antalya Travertenleri'nin karasal kökenli ve tektonik kökenli kırıklara bağlı kaynak suları ile oluştuğunu, buna bağlı basamaklı bir yapıya sahip olduklarını söylemişlerdir. Diğer taraftan Glover ve Robertson (2003), Dipova ve Yıldırım (2005), Koşun vd. (2005) yaptıkları çalışmalarda Antalya travertenlerinin oluşum özelliklerine göre traverten yerine kalkerli tatlısu çökellerini ifade eden Tufa teriminin (Ford ve Pedley, 1996) kullanılması gerektiğini söylemişlerdir.

Proje güzergahını kapsayan bölgenin yapısı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve diğer bilimsel kuruluşlar tarafından uzun yıllara dayanan bir süreçte araştırılmıştır. Yapılan incelemede Özçelik (2015a) tarafından yayımlanmış olan jeolojik haritadan sağlanan veriler kullanılmıştır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Bölgesel jeoloji haritası (Özçelik, 2015a)

Tesbihli Formasyonu (Trat): Genelde olarak tabakalı çörtlerden meydana gelen birim Kalafatçıoğlu (1973) tarafından adlandırılmış ve en belirgin biçimde Tesbihli tepe yakınında görüldüğünden dolayı bu şekilde adlandırılmıştır. Birim Tengerekçiözü Tepe, Demirci Tepe dolaylarında yayılım göstermektedir. Tesbihli Formasyonu, Kalafatçıoğlu (1973) tarafından 'Triyas Ritmik Serisi' olarak adlandırılan Alakırçay grubunun çoğunlukla dip taraflarında bulunmasına karşın kısım kısım diğer Formasyonlar içinde daha da ince seviyeler halinde görülebilir. İnceleme alanının dışında bulunan bazı yerlerde Jura- Kretase yaşlı tabakalı çörtlerden (Ballık Formasyonu) birimin ayırdımı zordur.



Şekil 2.2. İnceleme alanı ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik sütün kesiti (Ölçeksiz)(Şenel vd. 1996)

Formasyon kırmızı renk ve çeşitleriyle ve çok fazla kıvrımlı oluşlarıyla göze çarpar. İnce- orta katmanlı, çoğunlukla kırmızı, kızıl kahve renkli, yersel yeşil, gri, kirli sarı, siyah mavi renklerde radyolarit, çört ve şeyllerden oluşan birim, sık sık aynı renklerde, ince kil ara seviyeleri kapsar. Tabakalı çörtler Daonellalı fosil içeriği ile bilinir ve nadir olarak Holobia izlerine sahiptir. Birimin altında ve üstünde çörtlü kireçtaşları görülür. Bölgesel sinsedimanter kıvrımlar bulundurur. Tesbihli Formasyonu kesit olarak Çandır ve Gökdere Formasyonları ile geçişli; Karadere Formasyonu ile birincil ilişkilidir. Kalınlık olarak 20- 70 m. arasında değişir. Birimin yaşı içerdiği fosillere göre Ladiniyen (Orta Triyas) kabul edilmiştir.

Tesbihli Formasyonu, volkanizmanın ara sıra faal halde olduğu havza çevresinde çökelmiştir.

Gökdere Formasyonu (Trag): Plaket görünümlü holobialı kireçtaşlarından meydana gelen Formasyon, Kalafatçıoğlu (1973) tarafından adlandırılmış ve en iyi Gökdere boğazında görüldüğü için bu isim verilmiştir. Birim, kuzeybatısında İnecek Sırtı, güneyinde Çamurlu Mevki, Kocaköy Mevki ve Belenbaşı Tepe, güneybatısında Hacısekili Tepe, Değirmenbeleni Tepe ve Hayatigöl Mevki dolaylarında yayılım göstermektedir. Alakırçay grubunda her seviyede bulunabilir. Gökdere Formasyonu ince- orta tabakalı, bej, krem, gri, açık renkli plaket görünüme sahip, çoğunlukla çört yumrulu, bol miktada radyolaryalı, yersel Halobialı kireçtaşlarından oluşur. Sert ve midye kabuğu şeklinde kırılmalı, plaket görünümlü olan bu kireçtaşlarında çatlaklar kavkı-kalsit dolguludur. Bölgesel kalkarenit, şeyl, tabakalı çört, tüfit, yastık lav ara seviyelerini içinde bulundurur. Kısım kısım görülen ammonitli kırmızı kireçtaşı bulundurur ve seyrek miktarda diyabaz dayklıdır. Tabaka sınırlarında, çok ince seviyeler halinde sarımsı, yeşilimsi, açık gri renklerde kiltaşları bulunur. Alakırçay napına ait diğer Formasyonlar olan Tesbihli ve Çandır Formasyonları ile yanal ve düşey yönde geçişli, Karadere Formasyonu ile ilksel ilişkilidir. Oldukça kırıklı ve kıvrımlı yapı gösteren Formasyonun kalınlığı çok değişken olup, 10-350 metre arasında kalınlık gösterebilir. Birimin yaşı, içerdiği fosillere göre Noriyen- Aniziyen (Üst- Orta Triyas) kabul görmüştür. Formasyon, volkanizmanın ara sıra faal olduğu, duraysız havza ortamında çökelmiştir (Kalafatçıoğlu, 1973).

Karadere Formasyonu (Trak): Bazik volkanitlerle tanımlanan ve Juteau (1968) ve Juteau Marcoux (1973) tarafından adlanlandırılan birim Minnetti Tepe, Erenbelli Tepe dolaylarında yayılım göstermektedir. Birim, koyu kahve, kızıl, yeşilimsi siyah, yeşilimsi gri renkli, yastık yapılı alkalen özellikte bazalt, spilit ve splititleşmiş bazaltlardan meydana gelir (Juteau, 1975). Bölgesel katmanlı çört, mikrit ve şeyl ara seviyelidir. Kısım kısım ince mercekler ve kamalar halinde aglomera seviyelerini barındırır. Birimin üst bölgelerinde az miktarda kızıl renkli ammonitli kireçtaşı mercekleri görülür. Formasyonun hakim kaya türünü meydana getiren bazaltlar, plajioklas/andezin, ojit ve titanlı olivin barındırır. Ayrıca seyrek derecede titanomagnetit ve lösit bulundurur. Kısım kısım diyabaz dayklıdır. Kaya türü spilit, spilitleşmiş bazalt, bazalt ve diyabazdır. Alakırçay grubunun Karadere Formasyonunu

meydana volkanitler üzerinde kısım kısım Jura- Kretase yaşlı neritik kireçtaşları çökelmesi mevcuttur. Platform tipi dediğimiz bu karbonatların Tahtalıdağ napının ana kütlesini oluşturan Jura- Kretase yaşlı platform tipi karbonatlardan ayırımını yapmak zordur. Karadere Formasyonu yanal ve düşey yönde Gökdere, Tesbihli ve Çandır Formasyonları ile giriktir. 0-700 metre arasında değişen kalınlığa sahiptir.

Birim stratigrafik konuma göre Ladiniyen- Noriyen (Orta- Üst Triyas) yaşlıdır. Bu Formasyon, Aniziyen sonu, Ladiniyen başında birimin parçalanması sonucunda açılmış (riftleşmiş) ve bununla birlikte volkanizma Noriyen sonlarına kadar sürmüştür (Juteau ve Marcoux, 1973).

Çandır Formasyonu (Traç): Bitkili kumtaşı ve şeyllerden meydana gelen Çandır Formasyonuna, Kalafatçıoğlu (1973) tarafından ismi verilmiştir. Hacılaringöl Mevki, Üçtepe, Nergizli Tepe kuzeybatısında Dedeini Tepe ve güneybatısında Büyükdöllük Mevki dolaylarında oldukça geniş bir yayılım göstermektedir. Formasyon gri, açık gri, yeşil, sarımsı kahve renklerde, ince- orta- kalın tabakalanmalı çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, şeyl vb. kaya türlerden oluşur. Kiltaşı ince tabakalanmalı ve yapraklanmalı olup şeyller bol mika kapsamaları ile tanınır. Kumtaşlarında taneler kireçtaşı, çört, volkanit parçalarından oluşur. Bu taneler kısım kısım bitki kırıntıları da içerir. Çimento kil ve killi karbonat olup taneler köşeli, orta ve iyi boylanma gösterirler. Türbiditik, özellikle kırıntılı kayaçlardan meydana gelen bu formasyon, Alakırçay grubundaki diğer formasyonlardan daha büyük bölge kapsar. Formasyon yanal ve düşey kesitte Gökdere ve Tesbihli Formasyonları ile geçişli, Karadere Formasyonu ile giriktir. 150- 450 metreler arası kalınlığa sahiptir. Alakırçay grubunun diğer Formasyonları ile olan girikliği ve stratigrafik konuma göre Aniziyen-Noriyen (Orta-Üst Triyas) yaşlı olarak bilinir. Formasyon, volkanizmanın ve türbidit akıntıların yoğun olduğu havza bünyesinde çökelmiştir (Kalafatçıoğlu, 1973).

Kesmeköprü Formasyonu (Trke): Marcoux (1977) tarafından ismi verilen bu formasyon genel olarak alacalı marnlardan oluşur. Ayan (1968) ise Finike bölgesindeki çalışmalarında bu birimi Alacalı Marnlar olarak tanımlamıştır. Kesmeköprü Formasyonu çok küçük bir alanda yayılım göstermektedir. Formasyonu ince- orta tabakalı, kirli sarı, yeşil, gri, pembe, kırmızı, bej renklerde ince kireçtaşı ara düzeyli marn, kiltaşı ve killi kireçtaşları meydana getirir. Kısım kısım jips mercekleri

bulunur. Birim içerisinde değişik büyüklükte vermiküler kireçtaşı seviyeleri görülür. İnce kireçtaşı seviyeleri bol lamelli kavkı yığışımlıdır. Kısım kısım cüce Gastropoda izleri görülür. Bu formasyon Üst taraftan Gökdere Formasyonu ile yersel uyumsuz olarak örtülür ve yaklaşık 350 m. kalınlığa sahiptir. Formasyonun yaşı fosil kapsamına göre Aniziyen- Skitiyen (Orta-Alt Triyas) olarak kabul edilmiştir. Birim sığ şelf (gel-git ortamı) ortamında meydana gelmiştir (Marcoux, 1977; 1979).

Tekedağı Formasyonu (JKt): Neritik kireçtaşlarından meydana gelen birim değişik araştırmacılar tarafından adlandırılmış olup, Colin (1955) tarafından Likya Serisi ve Elmalı Serisi, Tolun (1965), Zaralıoğlu (1967) ve Ayan (1968) tarafından Finike bölgesindeki çalışmalarında, Finike Kalker Formasyonu, Finike Kireçtaşları, Şenel vd. (1981) tarafındanda Tekedağı'nda tip kesit görüldüğünden Tekedağı Formasyonu olarak isim verilmiştir. Orta- kalın tabakalı, bej, krem, kirli sarı, açık gri, açık kahve renkli, yersel pembe, kirli beyaz renkli neritik kireçtaşlarından meydana gelir. Tabanda kısım kısım dolomit veya megalodonlu ve mercanlı kireçtaşları bulunur. Yukarda dolomit ve dolomitik kireçtaşı seviyelerini görmek mümkündür. Formasyonun malm düzeyinde oolitik kireçtaşları açıkça bellidir. Alt Kretase kayalarında kısım kısım ince bitumlu laminalı düzeyler veya kıymıksı ayrışmalı kireçtaşları görülür. Üst bölgede rudistli kireçtaşları ve rekristalize kireçtaşları sıkça bulunur. Aşınma yüzeyleri koyu renkli, kırılma yüzeyleri gri, beyazımsı, sarımsı renklerde olan kireçtaşları masif görünümlüdür. Yeryer silisli olan ve dolomitleşmenin hemen her seviyede görülebildiği birim sık erime boşluklu olup, sert, bol çatlaklı ve çatlaklar kalsit dolguludur. Makro ve mikro fosil yönünden zengin olan Resiyen- Senomaniyen (Jura-Kretase) yaşlı bu kireçtaşları alttan Alakırçay grubu (Triyas) çökelleriyle geçişli olup üstten Paleosen- Eosen tarafından transgresif olarak örtülür. Yaklaşık 1200 metre kalınlık gösterir. Kıyı ötesi platform ortamında çökelmiştir. Tekedağ Formasyonu kireçtaşları içinde, Girevitdağı' nın kuzey ve güneyinde normal fay hattı vardır. Bunlar KD- GB doğrultuludur. Bu yön dağın KD - GB gidişine gelir. 3.5 km uzunluğa sahip güney tarafındaki fay hattı doğrultusunda alttaki Triyas birimleri yüzeye çıkmıştır (Kalafatçıolu, 1973).

Antalya Traverteni (Qa): Poisson (1977) tarafından Antalya Travertenleri olarak adlandırılan birim, ilk olarak Ford ve Pedley (1996) tarafından traverten yerine kalkerli tatlısu çökellerini ifade eden Tufa teriminin kullanılması üzerine kimi araştırmacılar

tarafından Antalya Tufası olarak da adlandırılmıştır. Antalya travertenleri, Antalya yerleşim biriminin içinde bulunduğu batıda Boğaçay, doğuda Aksu çayı, kuzeyde Toros Dağları ve güneyde Akdeniz ile sınırlı yaklaşık 630 km^2' lik bir alanda yayılım gösterir (İnan 1980, 1985). Karasal ve çok sığ (bataklık) ortamda gelişen travertenler, eski topografyanın, çökelme alanındaki ısısı, derinliği, karbonat oranın yoğunluğu, florası ve fauna değişikliklerine göre sık dokulu masif, bitki dokulu, süngerimsi, oolitik olmak üzere dört farklı tiptedir (Özçelik, 1992).

a. Sık Dokulu Masif Traverten: Sık dokusundan kaynaklı olarak gözeneği ve geçirgenliği yok denecek kadar az olan bu tip yavaş çökelme sonucu oluşmuştur. Masif görüntüsü ve krem beyazı renk tonuyla kireçtaşlarından ayırt edilmeleri güçtür. Kireçtaşları kalsit kristallidir ve denizel ya da gölsel çevre oluşumudur, çevre fosillerini bulundurur. Ender oranda bitki fosili içeren sık dokulu masif travertenler ise, aragonit kristalli yapıya sahiptir. Bu sebeplerden ötürü ikisi arasındaki fark sadece mikroskopik incelemeyle mümkündür.

b. Bitki Dokulu Traverten: Ortamda bulunan bitkilerin kendi kök ve gövdelerinin, karbonat çökelim ile çürümesi sebebiyle ortamda bitki boşlukları meydana gelir. Bu dokudaki traverten, ortam bağlayıcısına uyumla çeşitlilik oluşturarak masif tiple süngerimsi tip arasında doku oluşturur.

c. Süngerimsi Traverten: Ortamda su seviyesinin kalınlık olarak ince düzeyde bulunduğu, kütlesel ısınmanın hızlı, buharlaşma ile birlikte karbondioksit oranındaki azalmanın yüksek olduğu ortamda meydana gelir. Gözenekleri fazla ve görünümü sünger şeklindedir, bu yapıya sahip olması sebebiyle, oksidasyonun çok oluşuna sebep olur ve kahve renge sahipdirler.

d. Oolitik Traverten: Ortam içindeki yabancı maddelerin (radyolarit, kireçtaşı, kuvars, vs.) karbonatla sarılımı ve birikerek sıkışmasıyla meydana gelir.

Çeşitli çalışmalar sonucunda Antalya travertenleri konum ve yayılımlarına göre sayısı araştırmacılara göre değişen platolara ayrılmıştır (Penck, 1918; Phillipson, 1918, Darkot ve Erinç, 1951; DSİ, 1977, 1985; Nossin, 1989; Burger, 1990; Dipova, 2002; Glover ve Robertson, 2003; Dipova ve Yıldırım, 2005). Bu travertenler, alt ve üst plato

olarak iki seviyede görülür. 250-300 m. seviyesinde bulunan Döşemealtı ovası üst plato; 50-150 m seviyesinde bulunan alan Düden ovası ile Varsak ovası alt plato içindedir. Üçüncü olarak deniz seviyesi altında devam eden diğer plato, akdeniz sahilinin 2,5 km güneyinde 50 m uzunlukta bir fay ya da falezle biter. DSİ'nin (1985) yaptığı sondajlarda, Antalya travertenlerin üst platoda 254, alt platoda 151 m kalınlıkta olduğu belirlenmiştir. Antalya travertenlerinin ova kenarlarında kalınlığı 15-20 m arasında değişmektedir. Birim Condora sp. fosiline (Akay vd. 1985) dayandırılarak Üst Pliyosen- Kuvaterner yaşlı olarak kabul görmüştür. Yanal yönde alüvyon ile geçişli olan Antalya travertenlerinin temel kayasını, kumtaşı, kiltaşı, çakıltaşı, marn ve şeyllerden oluşan Çandır Formasyonu teşkil eder.

Plaj oluşukları (Qp): Akdeniz kıyısı boyunca bentler halinde değişik genişlikteki kumlardan ve çakıllardan oluşur. Bu oluşuklar, sahil çevresinde bulunan kayaların dalga, gel-git, rüzgar ve güneş etkisiyle ayrışarak taşınma sonucu ya da dağlardan denize akan akarsu ve derelerden gelen parçaların birikmesi sonucunda meydana gelirler. Malzemelerin içerdiği tanelerin şekil ve boyutları, aktarım anınında karşılaştıkları ayrışma ve aşınma zorluğuna, büyüklükleri ise biriken parçaların bolluğuna göre değişkenlik göstermektedir. Genellikle yuvarlak ve yassı şekile sahip tanelerden meydana gelen plaj oluşuklarının Büyük Liman ve Sarısu boyunca genişlikleri artmaktadır.

Yamaç molozu (Qym): Kısım kısım tutturulmamış ve çoğunlukla gevşek olan yamaç molozları, çevre kayaların aşınıp yer çekimi etkisiyle taşınması sonucu oluşmuşlardır. Genel olarak köşeli ve düzensiz depolanan malzemelerden oluşan birim kendinden daha yaşlı birimleri uyumsuz olarak örter.

Alüvyon (Qal): Alüvyon birimi, Boğaçay ovası olarak tanımlanan ve batıda Triyas yaşlı kiltaşı, kumtaşı, çakıltaşı, marn, şeyl, kireçtaşı, radyolarit ve çörtlerden oluşan birimler, kuzey ve kuzeydoğuda Antalya travertenleri, güney ve güneybatıda Jura-Kretase ve Triyas yaşlı kireçtaşı birimleri ile sınırlanan alan içinde olmak üzere geniş bir yayılım göstermektedir. Kıyı kesimlerde 5-10 m, iç kesimlerde ise 90 m' ye ulaşan Kuvaterner yaşlı Boğaçay ovası alüvyonları, ovanın batısındaki Doyran, kuzeyindeki Karaman, güneybatısındaki Çandır çayı ve bu üç çayın birleşmesi ile meydana gelen Boğaçay tarafından getirilen malzemelerdir.

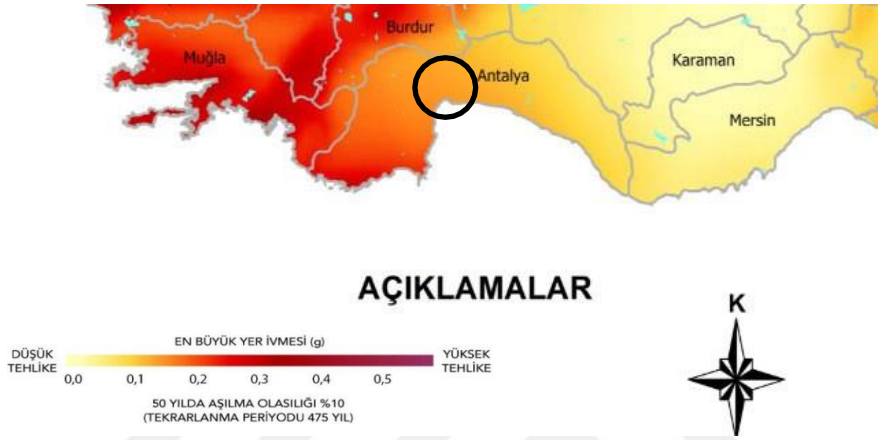
Zaman zaman su seviyesinin yükselmesi ve alçalmasına bağlı olarak değişik bileşimlerde gelen malzemelerin düzensiz biçimde çökelmeleri sonucu ovada zemin görünüşü oldukça karmaşık bir hal almıştır (Özçelik, 2015a,b). Ovanın Doyran çayı, Karaman çayı, Çandır çayı ve Boğaçay yataklarının bulunduğu kısımları ile batı kesimi çakıllı kum ve kumlu çakıl olmak üzere iri malzeme ağırlıklıdır. Kum ve çakıllar kireçtaşı, radyolarit, çört, serpantin ve bazalt kökenlidir. DSİ'nin (1965) açmış olduğu su kuyularına göre bu alanlarda alüvyon kalınlığı 17-80 m arasında değişmektedir. Ovanın iç kesimlerinde ise alüvyal malzemeler genellikle killi ve kumlu olup bu alanda alüvyon kalınlığı 90 m'ye kadar ulaşmaktadır. Kil birimleri içinde bant veya mercek halinde kum seviyeleri bulunmaktadır. İncelenen derinliklerde kil ve killi seviyelerden sonra çakıl seviyeleri geçilmiştir. Bu derinliklerden sonra ise alüvyonda litoloji değişimi belirlenememiş ancak DSİ (1977) tarafından alüvyonun tabanını killerin teşkil ettiği belirtilmiştir.

2.2. Yapısal jeoloji ve tektonizma

İnceleme alanı ve çevresi Langiyen, Üst Tortoniyen ve Üst Pliyosen – günümüz olarak üç farklı sıkışma zamanından etkilenmiştir. Langiyen sıkışma devresinde, Lisiyen napları kuzeybatıdan güneydoğuya kadar aktarılarak yerleşmiş ve bu zamandaki tektonizmadan Antalya Miyosen Havzası da az oranda etkiye maruz kalmıştır. Üst Tortoniyen sıkışma devresinde, önce D–KD ile B–GB doğrultusu sıkışmayla Aksu bindirmesi, Kırkkavak oblik ters fayı, Köprüçay senklinali, Beşkonak antiklini, Taşağıl senklini ve Kargı ters fayları görülmüştür. İleriki zamanda sıkışma kuzey – güney yönüne gitmiş ve buna bağlı olarak da Çakallar kıvrımları, Gökçeler normal fayı oluştuğu görülmüştür. Üst Pliyosenden bugüne olan sıkışma devresinde de, mezoskopik faylarla tanınan D–B doğrultulu sıkışma oluşmuş ve ileri zamanda da sıkışmanın kuzey–güney yönüne gitmesiyle Antalya körfezi grabeni gelişmiştir (Akay ve Uysal, 1985).

2.3. Depremsellik

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) (2018) tarafından hazırlanmış "Türkiye Deprem Tehlike Haritası"na göre inceleme alanının yer ivmesi değerleri, 0.1g – 0.2g arasındadır. (Şekil 2.3.). Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) 2012 yılında tekrardan paylaştığı Türkiye Diri Fay Haritaları içinde bu bölge kapsamında haritalanmış herhangi bir diri fay bulunmamaktadır (Şekil 2.4.).



Şekil 2.3. İnceleme Alanı ve Çevresi Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)



Şekil 2.4. İnceleme alanı ve çevresi Diri Fay Haritası (MTA, 2012)

Ayrıca, inceleme alanında yapılan çalışmalar sonucu "Zemin Grubu = B" (Çizelge 2.1.) "Yerel Zemin Sınıfı = Z2" (Çizelge 2.2.), "Zemin Spektrum Karakteristik Periyotları Ta = 0.15 sn, Tb = 0.40 sn" (Çizelge 2.3.) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. Zemin grupları (DBYBHY,2007)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayaçlar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayaçlar, sert çimentolu tortul kayaçlar…….	---	---	>1000	>1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl…….	>50	85-100	---	>700
	3. Sert kil ve siltli kil……..	>32	---	>400	>700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlar……..	---	---	500--1000	700--1000
	2. Sıkı kum, çakıl…….....	30--50	65--85	---	400--700
	3. Çok katı kil ve siltli kil…….	16--32	---	200--400	300--700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar……	---	---	<500	400--7000
	2. Orta sıkı kum, çakıl……...	10--30	35--65	---	200--400
	3. Katı kil ve siltli kil…….....	8--16	---	100--200	200--300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak,kalın,alüvyon,tabakaları……	---	---	---	<200
	2. Gevşek kum……...	<10	35	---	<200
	3. Yumuşak kil, siltli kil……	<8	---	<100	<200

Çizelge 2.2. Yerel zemin sınıfları (DBYBHY, 2007)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	15 m < $h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler

Çizelge 2.3. Spektrum karakteristik periyotları (Ta, Tb) (DBYBHY, 2007)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A	T_B
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Antalya 3. Aşama Raylı Sistem Hatları NATM Tünellerinin Jeoteknik İncelemesi amacıyla yapılan bu çalışma büro, arazi (in-situ), laboratuvar ve değerlendirme çalışmaları olmak üzere 4 aşamada gerçekleşmiştir. Jeolojik–jeoteknik uygulamalar sonucunda, güzergaha ait jeolojik-jeoteknik etüt raporları ile çevrede uygulanmış ve alakalı geçmiş çalışmalardan faydalanılmıştır. Temel sondajlar sırasında yapılan yerinde deney sonuçları (Standart Penetrasyon Deneyi, Presiyometre Deneyi, Basınçlı Su Deneyi) ile sondajlardan alınan zemin ve kaya örneklerinden yapılan laboratuvar deney sonuçlarından da yararlanılmıştır.

3.2. Yöntem

Planlanan yüksek lisans tezi dört basamakta yürütülmüştür. İlk olarak ofisde inceleme bölgesinde olan birimler ile komşu çevrede varsa yapılan tez, makale, bildiri gibi önceki yıllarda yapılan çalışmalar bulunarak bu alan hakkında ayrıntılı bilgiler bulunmuştur. Devamında inceleme bölgesinde, uygulanması planlanan arazi etüdleri ile hali hazırda bulunan süreksizlikler bulunarak harita üstünde işaretlenmiştir. Ayrıyetten inceleme alanında bulunan dokanaklar ve çeşitli jeolojik yapılar da bulunarak harita üstünde işaretlenmiştir. Jeolojik profilin ortaya çıkarılmasına amacıyla inceleme alanında açılan sondaj kuyularından örnekler, test yapmak için toplanmıştır. Bu etütler sonucunda toplanan örneklerden uygun olanlar teste sokularak kaya sınıflamaları bulunmuştur. Arazi ve laboratuvar çalışmalarında bulunan tüm bilgiler kullanılarak bu tezin yazımı gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Temel araştırma sondajları

İnceleme alanında zemin ve kaya birimlerinin jeolojik–jeoteknik bakımdan ayrıntılandırılması, bu alanda yer bulan birimlerin mühendislik özelliklerinin bulunması ve yeraltı suyu seviyesinin tespiti amaçlanarak 17 lokasyonda toplam 307 metre temel sondajı yapılmıştır (Çizelge 3.1.). Temel sondajları ve yerinde (in – situ) deneylerinden zemin ve kaya (karot) örnekleri alınmış, karot numuneleri düzenli olarak karot sandıklarına konularak muhafaza edilmiştir (Şekil 3.1.). Yeraltı suyu

seviyesini tespit etmek için vardiya sonunda sondaj kuyusundaki sirkülasyon suyu "bailer" kovası ile boşaltılmış ve ertesi gün sabah kuyulardaki sular ölçülerek yeraltı suyunun derinliği kaydedilmiştir. Ayrıca sondaj işlemi tamamlandıktan sonra yer altı suyunun periyodik gözlemi için kuyulara perfore PVC boru indirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sondaj loglarına işlenmiştir.



Şekil 3.1. Sondajdan alınan karot örnekleri

Çizelge 3.1. Temel sondajları

Sondaj No	Km	Yapı Tipi	Derinlik (m)	Koordinatlar		
				N(X)	E(Y)	Kot(m)
OTM-7	12+601.55	Tünel	21.00	4 087 941.00	559 489.00	84.66
OTM-8	12+718.22	Tünel	12.00	4 087 821.00	559 479.00	82.60
AVO-25	11+872.74	Aç-Kapa	10.00	4 088 014.00	560 091.00	91.83
AVO-26	11+978.78	Aç-Kapa	11.00	4 088 058.00	559 944.00	91.29
AVO-27	12+074.34	Tünel	17.00	4 088 100.00	559 906.00	91.04
AVO-28	12+155.82	Tünel	19.00	4 088 082.00	559 821.00	90.11
AVO-29	12+251.59	Tünel	20.00	4 088 082.00	559 722.00	88.67
AVO-30	12+325.88	Tünel	25.00	4 088 125.00	559.654.00	89.11
AVO-31	12+376.44	Tünel	23.00	4 088 174.00	559.600.00	89.30
AOM-01	12+405.96	Tünel	19.00	4 088 183.00	559 514.00	88.72
AOM-02	12+422.06	Tünel	20.00	4 088 118.00	559 544.00	88.52
AOM-03	12+449.49	Tünel	29.00	4 088 067.00	559 589.00	89.03
AOM-04	12+507.63	Tünel	26.00	4 088 011.00	559 573.00	87.67
AOM-05	12+572.86	Tünel	20.00	4 087 951.00	559 547.00	85.61
AOM-06	12+633.11	Tünel	15.00	4 087 891.00	559 536.00	84.07
AOM-07A	12+680.94	Tünel	10.00	4 087 845.00	559 473 00	83.07
AOM-08	12+695.48	Güzergah	10.00	4 087 519.00	559 371.00	75.08

3.2.2. Yerinde (in-situ) deneyler

Sondaj çalışmaları sırasında birimlerin çalışma yerinde niteliklerinin bulunması amacıyla standart penetrasyon deneyi (SPT), pressiyometre deneyi, basınçlı su deneyi (BST) deneyleri uygulanmıştır.

Standart penetrasyon deneyi (SPT): Zeminlerin yerindeki mukavemetlerini belirlemeye yönelik zemin birimleri ile kayaçların çok ayrışmış seviyelerinde 1.5 metre aralıklar ile "Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)" uygulanmıştır. Penetrometre ile elde edilen örselenmiş örnekler plastik kaplar içerisinde korunarak Zemin – Kaya Mekaniği Laboratuvarı'na gönderilip, SPT sonuçları temel araştırma sondaj loglarına işlenmiştir.

Pressiyometre deneyi: İnceleme alanı güzegahında yer alan zemin ve kaya birimlerine ait deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla pressiyometre deneyleri yapılmıştır. Deneylerde Louis Menard GA tipi pressiyometre ile 60 mm'lik N tipi probe kullanılmıştır. Her sondaj için deFormasyon modülü (Ep) ile limit (Pl) ve net limit (Pl)net basınçlarının derinlik boyunca değişimi belirlenmiştir. Belirlenen deFormasyon modülü ve net limit basınçlarının derinlik boyunca değişimini gösterir.

Basınçlı su deneyi (BST): İnceleme güzergahındaki aç–kapa yapılarını oluşturan kaya birimlerinin geçirgenliğini bulmak amacıyla ilgili temel araştırma sondajı kuyularında "Basınçlı Su Deneyleri (BST)" yapılmıştır. Deney bulguları "Lugeon" şeklinde hesaplanmış ve geçirgenlik sayısal şekilde belirtilmiştir.

3.2.3. Laboratuvar Deneyleri

Temel araştırma sondajlarından elde edilen zemin birimleri ile çok zayıf kaya birimlerinden alınan örnekler üzerinde zeminin indeks ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile bu çalışma dahilinde; doğal su içeriği, Atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, plastisite indeksi), dane boyutu dağılımı, Birleştirilmiş zemin sınıflaması (USCS) ve karotlardan sağlanan kayaç örnekleri ile ilgili olarak; tek eksenli basma dayanımı, elastisite modülü tayini, doğal birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Mühendislik Jeolojisi

Tünel güzergahının zemin koşullarının incelenmesi ve kritik kesimlerin belirlenmesi amacı ile önceki çalışmalara ait değerlendirmeler, jeolojik haritalama, temel sondajları, yerinde (in – situ) ve laboratuvar deneylerinde kurulu jeolojik – jeoteknik araştırma çalışmaları yürütülmüştür. Arazide yapılan çalışmalarda kayaç oluşumundaki belirsizlikler ile kayaçların yapısı birlikte değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Özçelik 2020). Çalışma alanına ait yarma ve sanat yapıları listesi Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Otogar Transfer Merkezi U-Kesit ve Sanat Yapıları Listesi

Kazı/Yapı Tipi	Km
U-Kesit	Otogar Transfer Merkezi Hattı Km: 11+780.000 – 11+922.440
Aç Kapa	Otogar Transfer Merkezi Hattı 11+922.440 – 12+045.000
Tünel Otogar	Transfer Merkezi Hattı 12+045.000 – 12+521.062
İstasyon (Aç-Kapa)	Otogar Transfer Merkezi Hattı 12+521.062 – 12+627.582
Tünel	Tünel Otogar Transfer Merkezi Hattı 12+627.582 – 12+801.480
Aç Kapa	Otogar Transfer Merkezi Hattı 12+801.480 – 12+898.920
U-Kesit	Transfer Merkezi Hattı Km: 12+898.920 – 13+005.000
Aç Kapa	Otogar Bağlantı Hattı Km: 0+000 – 0+631.828 (Sağ) / 0+668.624 (Sol)

4.1.1. Otogar Transfer Merkezi Birimlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi

Tünel alanı ve yakın civarda yapılan jeolojik – jeoteknik araştırma çalışmalarından sağlanan verilere göre tünel güzergahında zemin profili esas olarak Yapay Dolgu (Yd), Antalya traverteni (Qtrv) ve Antalya traverteninin çok – tümüyle ayrışmış (Qtrv – W5) üst seviyelerinden oluşmaktadır. Bu birimlere ait jeomekanik veriler aşağıda sunulmaktadır.

Yapay Dolgu (Yd): İnceleme alanında yapılan jeolojik haritalama ve sondaj verileri doğrultusunda tünel güzergahı boyunca yüzeylenen Yapay Dolgu (Yd) 0.25 – 5.90 metre arasında değişken kalınlığa sahip olup; gri, bej renkli, kısım kısım muhtelif renkli, orta sıkı – sıkı, kısım kısım gevşek, kuru, ince – iri taneli, sert, köşeli killi kumlu çakıl ve kumlu çakıl ile kahverenkli, çok sıkı çakıllı killi kum birimlerinden

oluşmaktadır. Birim içerisinde bitki kalıntıları, inşaat artıkları ve inorganik atıklar gözlenmiştir. Bununla birlikte 15 cm'ye varan boyutlarda traverten –kireçtaşı kökenli kayaç parçaları ve bloklar ayırtlanmıştır. Yapay dolgunun kazık imalatı yapılacak veya şevlendirilecek kesimlerdeki kalınlığı ~2.10 metreler seviyesinde olduğu görülmüştür. 5.90 metreye varan yapay dolgu kalınlıkları mevcut 2.00 x 2.00 menfez dolgularında gözlemlenmektedir. Yapay Dolgu (Yd) birimi içinde uygulanan SPT deneyleriyle ulaşılan numuneler üstünde gerçekleştirien laboratuvar deneyleri ait değerler aşağıdadır.

SPT (N) $8 \leq$ SPT (N) ≤ 38
Su içeriği (Wn) % $7.9 \leq$ Wn $\leq$ % 17.6
Likit limit (LL) NP $\leq$ LL ≤ 31.5
Plastisite İndeksi (PI) NP $\leq$ PI ≤ 11.5
4 nolu elek üstünde kalan (+4) % $28.5 \leq +4 \leq$ % 61.0
200 nolu elekten geçen (–200) % $5.1 \leq -200 \leq$ % 43.7
Zemin sınıfı (USCS) CL, SC, SM, GP, GP – GM, GM, GW – GM
Yapay Dolgu (Yd) genel olarak geçirimli özelliğe sahip olup kum çakıl seviyeleri boyunca yeraltı suyu dolaşımına izin verirler.

Antalya Traverteni (Qtrv): Tünel güzergahı boyunca gerçekleştirilen temel araştırma sondajlarında, yüzeyde Yapay Dolgu (Yd) altında, ana kayayı oluşturan, üst seviyeleri nispeten ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv) gözlenmektedir. Tufa ve traverten seviyeleri ile temsil edilen Antalya traverteni (Qtrv) içerisinde traverten seviyeleri genellikle; krem – bej – açık kahverenge sahip, ufalanabilir – az sert – kısım kısım orta sert, orta zayıf – zayıf – kısım kısım çok zayıf dayanımlı, az – çok – kısım kısım tümüyle ayrışmış özellikte iken tufa seviyeleri genel olarak; krem – bej renkli, ufalanabilir – az sert – kısım kısım orta sert, zayıf – orta zayıf dayanımlı, orta seviyede – yer yer çok ayrışmış özelliktedir. Bununla birlikte tünel güzergahı boyunca Antalya traverteni (Qtrv) içerisinde ayırtlanan diğer bir birim olan marn seviyeleri genel olarak; krem – bej renkli, yumuşak, çok zayıf dayanımlı ve tümüyle ayrışmış özelliktedir. Temel araştırma sondajı çalışmaları kapsamında proje güzergahı boyunca Antalya traverteni (Qtrv) içerisinde kısım kısım erime boşlukları tespit edilmiştir. Bu erime boşluklarının bir kısmının içerisinde açık kahverengi – kızılımsı kahverenkli, orta sıkı, nemli, ince – iri taneli, az – orta sert, köşeli – yarı köşeli, traverten kökenli çakıllı,

düşük – orta kısım kısım yüksek plastisiteli ince malzemeli ve ince – iri taneli, sert kumlu özellikler sunan kumlu çakıllı kilden oluşan boşluk dolgusunun varlığı saptanmıştır. Bu kapsamda söz konusu erime boşluklarında, imalat sırasında karşılaşılabilecek problemlerin yerinde değerlendirilmesi uygun olacaktır. Antalya traverteni (Qtrv) üst seviyelerinde dayanımın düştüğü ve süngerimsi – gözenekli yapıda olduğu, alt seviyelerinin ise daha masif yapıda ve nispeten dayanımlı olduğu saptanmıştır. Antalya traverteninin (Qtrv) çok ayrışmış, kırıklı, parçalı seviyelerinde süreksizlikler gözlenemezken, göreli olarak sağlam ve dayanımlı seviyelerde izlenen gözlenebilen bu birime ait süreksizlikler 0o – 90o; açık, mat, pürüzlü, kil dolgulu, kısım kısım FeO boyalıdır. Antalya travertenleri (Qtrv) birimi üzerinde uygulanan temel sondajlardan ulaşılan karot yüzdesi (TCR) ve kaya kalite değeri (RQD) ile bu birimde yapılan kaya mekaniği ve pressiyometre deney sonuçlarına ilişkin değerler aşağıda verilmiştir.

Karot Yüzdesi (TCR) % 53 ≤ TCR ≤ % 100
Kaya Kalitesi (RQD) % 14 ≤ RQD ≤ % 70
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (qu) 22.30 MPa ≤ qu ≤ 59.40 MPa
Birim Hacim Ağırlık (γn) 2.23 gr/cm3 ≤ γn ≤ 2.52 gr/cm3
Elastisite Modülü (Ei) 3.50 GPa ≤ Ei ≤ 15.10 GPa
Pressiyometre limit basıncı (Pln) 28.00 kg/cm2 ≤ Pln ≤ 43.30 kg/cm2
Pressiyometre modülü (Ep) 5 719 kg/cm2 ≤ Ep ≤ 24 818 kg/cm2

Antalya traverteni (Qtrv) yeraltı suyu açısından genel olarak geçirimli özelliğe sahiptir. Ayrıca traverten birimi, içermiş olduğu çatlak sistemleri ve gözenek yapısı sayesinde yeraltı suyu dolaşımına izin verir.

Sondaj kuyularında Antalya travertenlerinin çok – tümüyle ayrışmış seviyelerinde (Qtrv – W5) yapılan SPT ve pressiyometre deneyleri ile SPT deneylerinden elde edilen örselenmiş örnekler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları aşağıdadır.

SPT (N) R
Su içeriği (Wn) % 2.8 ≤ Wn ≤ % 17.70
Likit limit (LL) NP
Plastisite İndeksi(PI) NP

4 nolu elek üstünde kalan (+4) % 23.5 ≤ +4 ≤ % 98.2
200 nolu elekten geçen (–200) % 0.1 ≤ –200 ≤ % 31.1
Zemin sınıfı (USCS) GP, SM
Pressiyometre limit basıncı (Pln) 15.60 kg/cm2
Pressiyometre modülü (Ep) 158 kg/cm2

Çok – tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv – W5), geçirimli – yarı geçirimli özelliktedir. Bu birimler gözenekli yapısına bağlı olarak, tabaka düzlemleri eklem sistemleri boyunca yeraltı suyu dolaşımına izin verirler.

4.1.2. Aç-Kapa Yapısı Birimlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi

Bağlantı hattı aç – kapa yapısı ve yakın çevresinde yapılan jeolojik – jeoteknik araştırma çalışmalarından sağlanan verilere göre tünel güzergahında zemin profili esas olarak Yapay Dolgu (Yd), Antalya traverteni (Qtrv) ve Antalya traverteninin çok – tümüyle ayrışmış (Qtrv – W5) üst seviyelerinden oluşmaktadır. Bu birimlere ait jeomekanik veriler aşağıda sunulmaktadır.

Yapay Dolgu (Yd): İnceleme alanında yüzeyde yayılım gösteren mevcut yol dolguları ile aç – kapa yaklaşım dolgusu olarak temsil edilen Yapay Dolgu (Yd) biriminin kalınlığı 5.90 metreye kadar değişmektedir. Genel olarak; muhtelif renkli, kısım kısım krem – bej renkli, gevşek – orta sıkı, kuru, ince – iri taneli, dağılgan – sert, yarı yuvarlak – yuvarlak killi kumlu çakıl ile kahverenkli, nemli, orta katı, düşük plastisiteli, çakıllı kumlu kil seviyelerinden oluşmaktadır. Yapay Dolgu (Yd) biriminde uygulanan SPT deneyleri ile ulaşılan örneklerden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine ait değerler aşağıdadır:

SPT (N) 7 ≤ SPT (N) ≤ 10
Su içeriği (Wn) % 7 ≤ Wn ≤ % 16.5
Likit limit (LL) NP Plastisite İndeksi (PI) NP
4 nolu elek üstünde kalan (+4) % 28.4 ≤ +4 ≤ % 51.3
200 nolu elekten geçen (-200) % 24.1 ≤ – 200 ≤ % 27.9
Zemin sınıfı (USCS) SM, GM

Yapay Dolgu (Yd) genel olarak geçirimli özelliğe sahip olup kum çakıl seviyeleri boyunca yeraltı suyu dolaşımına izin verirler.

Antalya Traverteni (Qtrv): İnceleme alanında anakaya niteliğindeki Antalya Traverteni (Qtrv) bu kesimde, traverten – tufa ile temsil edilir. Temel sondajlarında gözlenen bu birim genellikle; krem – bej renge sahip, ufalanabilir – orta sert, zayıf – orta dayanımlı kısım kısım çok zayıf dayanımlı, orta derecede – kısım kısım çok ayrışmıştır. Birim kısım kısım boşluklu yapıya sahip olup bu boşluklar ikincil kil dolguludur. Antalya Travertenine (Qtrv) ait süreksizlikler; 0° – 30° açık, mat, pürüzlü, kil dolguludur. Antalya Traverteni (Qtrv) içinde uygulanan temel sondajlarında bulunan karot yüzdesi (TCR) ve kaya kalite değerleri (RQD) ile pressiyometre değerleri aşağıdadır:

Karot Yüzdesi (TCR) % 23 ≤ TCR ≤ % 80
Kaya Kalitesi (RQD) % 23 ≤ RQD ≤ % 62
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (qu) 31.9 MPa ≤ qu ≤ 76.60 MPa
Birim Hacim Ağırlık (γn) 2.36 gr/cm^3 ≤ γn ≤ 2.52 gr/cm^3
Pressiyometre limit basıncı (Pln) 27.90 kg/cm^2 ≤ Pln ≤ 43.30 kg/cm^2
Pressiyometre modülü (Ep) 5 490 ≤ Ep ≤ 24 818 kg/cm^2

Antalya travertenlerinin üst kesimlerinde 5.90 metre derinliğe kadar çok – tümüyle ayrışmış seviyeler (Qtrv – W5) gözlenmektedir. Antalya traverteni (Qtrv) yeraltı suyu açısından genel olarak geçirimli özelliğe sahiptir. Ayrıca bu birimin gözenekli yapısına bağlı olarak, tabaka düzlemleri eklem sistemleri boyunca yeraltı suyu dolaşımına izin verirler.

4.1.3. Tünel Güzergâhının Jeolojik – Jeoteknik Açıdan Değerlendirilmesi

Tünel güzergahı Otogar Transfer Merkezi Hattı (Km: 11 + 780 – 13 + 005.03) ile Otogar Transfer Merkezi“ kesimi idealize zemin profili, temel araştırma sondaj logları, yerinde (in – situ) deneyler, zemin ve kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları yardımı ile tespit edilmiş, farklı jeolojik koşullar ve yapı tipleri altında güzergaha ait jeolojik – jeoteknik özellikler belirlenmiştir.

Otogar Transfer Merkezi Hattı Km 11 + 780.000 – 11 + 922.440 U-Kesit Kesimi: Güzergahın bu kesiminde bulunan 135 metre uzunluğundaki U-kesit profilini yüzeyde Yapay Dolgu (Yd) ve altında çok – tümüyle ayrışmış seviyeleri olan Antalya traverteni (Qtrv-W5) oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen araştırma çalışmalarından elde edilen verilere göre, Yapay Dolgu (Yd) kalınlığının proje eksenindeki mevcut menfez bölgesinde 5.9 metre seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu menfez U-Kesit kazısı esnasında deplase edilecektir. Buna ek olarak, açılacak yarma şevleri ve kazık imalatı bölgelerinde yapay dolgu seviyesi ~2 metre olarak gözlemlenmiştir. Yapay Dolgu (Yd) bu kesimde genel olarak, kahverengi – açık kahverengi, killi kumlu çakıl ile temsil edilmektedir. Düşük sıkılık ve kıvamlılık özellikleri sunan bu birimde, SPT – N değerleri; 7 – 10 arasında değişkenlik göstermektedir. Bu kesimde gözlenen çok – tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv-W5) genellikle; krem – bej renge sahip, ufalanabilir – kısım kısım az sert, zayıf – çok zayıf dayanımlı, çok ayrışmış traverten ve tufa ile temsil edilir. Km11 + 853 – 11 + 923 aralığı kazıklı iksa ile imal edilecektir. Bununla birlikte söz konusu birimler bu kesimde yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik sunmakta olup, yapılan araştırma çalışmalarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

Otogar Transfer Merkezi Hattı Km 11 + 922.440 – 12 + 045.000 Aç – Kapa Kesimi: U-kesit sonundan tünel başlangıcına kadar olan bu kesim aç – kapa metodu ile oluşturulacaktır. Bu kesimde, güzergah başlangıcından bu yana yüzeyde hakim birim olarak gözlenen Yapay Dolgu (Yd) seviyeleri ve hemen altında, üst seviyeleri çok – tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv) yer almaktadır. Araştırma çalışmaları kapsamında elde edilen veriler ışığında, Yapay Dolgu (Yd) kalınlığının proje eksenindeki mevcut menfez bölgesinde 3.6 – 5.5 metre arasında değiştiği tespit edilmiştir. Menfez dolgusu dışında kalan kazı ve imalat kesitlerinde yapay dolgu kalınlığı ~1.20 metre civarında gözlemlenmiştir. Yapay Dolgu (Yd) bu kesimde genel olarak, çakıllı killi kum ve killi kumlu çakıl ile belirtilmektedir. Söz konusu kesimde Antalya traverteni (Qtrv) ve çok – tümüyle ayrışmış seviyeleri (Qtrv–W5), traverten ve tufa birimleri ile temsil edilmektedir. Antalya traverteni (Qtrv) bej – krem renkli, orta derecede – üst seviyeleri çok – tümüyle ayrışmış yapıda olup, birim içerisinde kısım kısım erime boşlukları ve bu boşlukların kil dolgulu seviyeleri ayırtlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu erime boşluklarında, imalat sırasında karşılaşılabilecek problemlerin yerinde değerlendirilmesi uygun olacaktır. Ufalanabilir – az sert, kısım

kısım sert, zayıf – orta – kısım kısım çok zayıf dayanım özellikleri gösteren Antalya traverteni (Qtrv) içerisinde yapılan pressiyometre deneyi sonuçlarına ait net limit basınç (Pln) değerleri; 28.20 – 43.10 kg/cm^2, deformasyon modülü (Ep) değerleri ise; 5967 – 24818 kg/cm^2 arasında değişkenlik gösterirken, Antalya traverteninin çok – tümüyle ayrışmış seviyelerinde (Qtrv – W5) yapılan pressiyometre deneyi sonucuna ait net limit basınç (Pln) değeri; 15.60 kg/cm2, deFormasyon modülü (Ep) değeri ise; 158 kg/cm^2'dir. Antalya travertenine (Qtrv) ait seviyelerde tek eksenli sıkışma dayanımı aralığı (qu) 31.90 – 56.30 MPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, aç – kapa bölgesi üst yapı tabanı bu birime oturmaktadır. Bu kesim kazıklı iksa ile imal edilecektir. İlgili kesimde söz konusu birimler yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik sunmakta olup, yapılan araştırma çalışmalarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

Otogar Transfer Merkezi Hattı Km 12 + 045.000 – 12 + 521.062 ve 12 + 627.582 – 12 + 801.480 Tünel Kesimi: Güzergahın bu aralığında öngörülen tünel, anakaya Antalya Traverteninden (Qtrv) oluşmaktadır. Bunun yanı sıra zemin profilinin üst seviyelerde çok – tümüyle ayrışmış Antalya Traverteni (Qtrv-W5) ve Yapay Dolgu (Yd) izlenmektedir. Araştırma çalışmalarından elde edilen verilere göre, Yapay Dolgu (Yd) 1.4 – 3.6 metre arasında değişken kalınlığa sahiptir. Bu birimin altında 1.3 – 6.3 metre arası kalınlık gösteren çok tümüyle ayrışmış Antalya Traverteni (Qtrv-W5) bulunmaktadır. Antalya traverteni (Qtrv) genel olarak; krem – bej renkli, orta derecede – üst seviyeleri orta – yer yer çok ayrışmış ve süngerimsi –gözenekli yapıda olup birim içerisinde kısım kısım dolgulu seviyeler ayırtlanmıştır. Birim içerisinde kısım kısım geniş çaplı erime boşlukları ve bu boşlukların dolgulu seviyeleri bulunmaktadır. Bu kapsamda söz konusu erime boşluklarında, imalat sırasında karşılaşılabilecek problemlerin yerinde değerlendirilmesi uygun olacaktır. Saha çalışmalarından elde edilen verilere göre, bu seviyelerde yapılan tek eksenli basınç dayanımı değerleri (qu) 24.1 – 72.9 MPa aralığında tespit edilmiştir. Öte yandan arazide yapılan pressiyometre deney sonuçlarına göre, söz konusu kesimde, deformasyon modülü (Ep) değerleri; 5 490 – 24 818 kg/cm^2 aralığında, net limit basınç (Pln) değerleri ise; 27.9 – 43.3 kg/cm^2 aralığında belirlenmiştir. İlgili kesimde söz konusu birimler yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik sunmakta olup, yapılan araştırma çalışmalarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

Otogar Transfer Merkezi Hattı Km 12 + 521.062 – 12 + 627.582 İstasyon Kesimi: İstasyon bölgesinde, yüzeyde Yapay Dolgu (Yd) altında ise üst seviyeleri çok – tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv) gözlenmekte olup, gerçekleştirilen araştırma çalışmaları kapsamında elde edilen verilere göre, Yapay Dolgu (Yd) 2.0 – 2.2 metre arasında değişken kalınlığa sahip olduğu görülmüştür. Yapay dolgunun altında 1.3 metre kalınlıklarda çok – tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv) gözlenmektedir. Söz konusu kesimde yapılacak olan İstasyonun imal edileceği derinliklerdeki birim olan Antalya traverteni (Qtrv) ise tufa ve traverten ile temsil edilmektedir. Birim genel olarak, krem – bej, yer yer kahverenkli, az – orta derecede ayrışmış, az – orta sert, kısım kısım sert yapıdadır. Birim içerisinde kısım kısım geniş çaplı erime boşlukları ve bu boşlukların dolgulu seviyeleri bulunmaktadır. Bu kapsamda söz konusu erime boşluklarında, imalat sırasında karşılaşılabilecek problemlerin yerinde değerlendirilmesi uygun olacaktır. Arazide yapılan pressiyometre deney sonuçlarına göre, deformasyon modülü (Ep) değerleri; 1 555 – 11 265 kg/cm^2 aralığında, net limit basınç (Pln) değerleri ise; 27.9 – 39.1 kg/cm^2 aralığında belirlenmiştir. Ayrıca, arazi verilerine göre, bu seviyelerde yapılan tek eksenli basınç dayanımı değerleri (qu) 15.0 – 50.0 MPa aralığında tespit edilmiştir. İlgili kesimde söz konusu birimler yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik sunmakta olup, yapılan araştırma çalışmalarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

Otogar Transfer Merkezi Hattı Km 12 + 801.480 – 12 + 898.920 Aç – Kapa Kesimi: Tünel sonundan U-kesit başlangıcına kadar olan bu kesim aç – kapa metodu ile oluşturulacaktır. Bu kesimde, güzergah başlangıcından bu yana yüzeyde hakim birim olarak gözlenen Yapay Dolgu (Yd) seviyeleri ve hemen altında, üst seviyeleri çok – tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv) yer almaktadır. Araştırma çalışmaları kapsamında elde edilen veriler ışığında, Yapay Dolgu (Yd) seviyeleri ~1.20 metre kalınlığa ulaşmaktadır. Yapay Dolgu (Yd) bu kesimde genel olarak, çakıllı killi kum ile temsil edilmektedir. Araştırma çalışmaları verilerine göre, Yapay Dolgu (Yd) içerisinde SPT – N değeri ilk 50 darbede 11 cm' den daha fazla ilerlemediğinden refü olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu kesimde Antalya traverteni (Qtrv) ve çok – tümüyle ayrışmış seviyeleri (Qtrv – W5), traverten ve tufa birimleri ile temsil edilmektedir. Antalya traverteni (Qtrv) bej – krem, kahverengimsi bej renkli, orta derecede – az ayrışmış, üst seviyeleri ise çok – tümüyle ayrışmış yapıdadır. Az sert – sert, zayıf – orta dayanımlı özellikleri gösteren Antalya travertenine (Qtrv) ait

seviyelerde tek eksenli sıkışma dayanımı aralığı (qu) 15.00 – 50.10 MPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, aç – kapa bölgesi üst yapı tabanı bu birime oturmaktadır. İlgili kesimde söz konusu birimler yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik sunmakta olup, yapılan araştırma çalışmalarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

Otogar Transfer Merkezi Hattı Km 12 + 898.920 – 13 + 005.000 U-Kesit Kesimi: Güzergahın bu kesiminde bulunan ~105 metre uzunluğundaki U-kesit profilini yüzeyde Yapay Dolgu (Yd) ve altında çok – tümüyle ayrışmış seviyeleri olan Antalya traverteni (Qtrv) oluşturmaktadır. Söz konusu birimler bu kesimde yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik sunmakta olup, yapılan araştırma çalışmalarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Km: 12 + 900 – 12 + 945 aralığında öngörülen U-kesit kazıklı iksa ile imal edilecektir.

Otogar Bağlantı Hattı Km 0 + 000 – 0 + 631.828 (Sağ) / 0 + 668.624 (Sol) Aç – Kapa Kesimi: Bu kesimde, güzergah başlangıcından bu yana yüzeyde hakim birim olarak gözlenen Yapay Dolgu (Yd) seviyeleri ve hemen altında, üst seviyeleri çok – tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrv) yer almaktadır. Araştırma çalışmaları kapsamında elde edilen veriler ışığında, Yapay Dolgu (Yd) seviyeleri ~3.50 metre kalınlığa ulaşmaktadır. Yapay Dolgu (Yd) bu kesimde genel olarak, kumlu çakıllı kil ve killi kumlu çakıl ile temsil edilmektedir. Araştırma çalışmaları verilerine göre, Yapay Dolgu (Yd) içerisinde tespit edilen SPT – N değerleri, 6 – 38 arasında değişkenlik göstermektedir. Söz konusu kesimde Antalya traverteni (Qtrv) ve çok – tümüyle ayrışmış seviyeleri (Qtrv – W5), traverten ve tufa birimleri ile temsil edilmektedir. Antalya traverteni (Qtrv) bej – krem renkli, orta derecede – üst seviyeleri çok – tümüyle ayrışmış yapıda olup, birim içerisinde kısım kısım erime boşlukları ve bu boşlukların dolgulu seviyeleri ayırtlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu erime boşluklarında, imalat sırasında karşılaşılabilecek problemlerin yerinde değerlendirilmesi uygun olacaktır. Ufalanabilir – az sert, zayıf – orta – kısım kısım çok zayıf dayanım özellikleri gösteren Antalya traverteni (Qtrv) içerisinde yapılan pressiyometre deneyi sonuçlarına ait net limit basınç (Pln) değerleri; 27.7 – 43.1 kg/cm^2 arasında, deformasyon modülü (Ep) değerleri ise; 2 136 – 25 210 kg/cm^2 arasında değişkenlik gösterirken, Antalya traverteninin çok – tümüyle ayrışmış seviyelerinde (Qtrv – W5) yapılan pressiyometre deneyi sonuçlarına ait net limit basınç (Pln) değeri; 15.6 kg/cm2, deformasyon modülü (Ep) değeri ise; 158 kg/cm^2

dir. Antalya travertenine (Qtrv) ait seviyelerde tek eksenli sıkışma dayanımı aralığı (qu) 23.10 – 59.60 MPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, aç – kapa bölgesi üst yapı tabanı bu birime oturmaktadır.

İlgili kesimde söz konusu birimler yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik sunmakta olup, yapılan araştırma çalışmalarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

4.2. Kaya sınıflaması ve destek tipleri

Güzergah boyunca NATM yapım metodu ile inşa edilmesi planlanan anahat tünellerine ait geçkilere ilişkin jeolojik – jeoteknik değerlendirmeler yukarda ele alınmıştır. Söz konusu NATM tünellerine ait tünel destekleme tasarımları ve bu bağlamda hazırlanan kaya kütle mühendislik sınıflamaları aşağıda belirtilmiştir.

Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması: Yeraltında yapılan kazı çalışmaların tehlikesiz ve ekonomik şekilde yapılması, çalışması yapılan kaya sınıflaması ve bununla birlikte olarak tünel destek tasarımı ile doğru orantıdadır (Deere 1968; Hoek ve Brown, 1997; Hoek 1998; Hoek vd. 2002). Bugünün teknolojisi ile modern tünelcilikde projelendirmeye başlıca etkisi bulunan kaya sınıflamalarında kayanın kütle özelliği önem arz etmektedir. Bunun sonucunda geliştirilen ve çoğu farklı ülkedeki yeraltı kazı çalışmalarında yaygın şekilde geçerli olan iki tane önemli kaya sınıflaması bulunmaktadır. Bu kaya sınıflamaları;

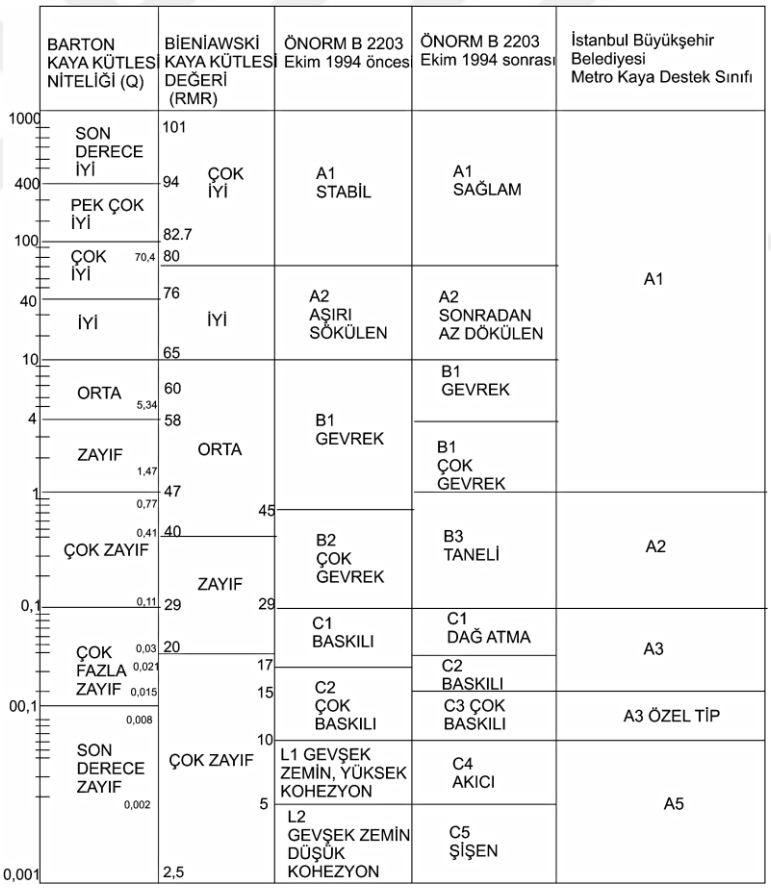
NGI Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Müh. Sınıflaması (Q) ve CSIR Eklemli Kaya Kütlelerinin Jeomekanik Sınıflaması (RMR)'dır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) (ÖNORM B 2203-1) ile tam uyum gösteren bu metotlarda kayanın kütle özelliği (Q ve RMR) sayısal şekilde gösterilmektedir. NGI metodunda Q 0.001 ile 1000 değerleri içinde değişiklik gösterip, en kötü kaya koşulu ile en mükemmel kaya değerleri içinde bulunmaktadır. Aynı biçimde 0 – 100 değerleri içinde RMR değerleri beş kaya sınıfını oluşturmaktadır. Takip eden alanlarda detaylı şekilde anlatılan bu kaya sınıflamaları aralarındaki teorik bağıntı ise altta şu şekildedir:

RMR = 9 ln Q + 44

Yine de uygulama aşamasında her iki metotda önerilen kaya sınıflarının sınır değerleri üstteki bağıntı ile tam uyum göstermemektedir. Fakat Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemi (NATM) prensipleri doğrultusunda Avusturya'da ve çoğunlukla Avrupa'da uygulana kaya sınıflandırma sistemleri içinde Avusturya Standardı ÖNORM B 2203-1 önemli yer tutar. Bu kaya sınıflaması; tünel profili boyunca izlenen kayaçların jeolojik – jeoteknik özellikleri, tünel kesiti, örtü yükü önemle gözetilerek kaya ortamının zamana göre hareketi kapsamında yapılmaktadır. Bu yöntemde belirlenen kaya sınıflarının diğer sınıflama yöntemlerinde hangi aralığa karşılık geldiği Çizelge 4.2.'de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Kaya Sınıflama Sistemlerinin Karşılaştırılması



NGI Tünel Kaya Sınıflaması (Q): Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nden Barton vd. (1974) genellikle yeraltı kazıları sırasında meydana stabilite sıkıntılarının

belirlenmesine bağlı olarak kaya kütlesi kalitesini (Q) sayısal şekilde ortaya koyan bir metot bulmuştur.

Q = (RQD / Jn) x (Jr / Ja) x (Jw / SRF)

Burada;
RQD = Kaya kalitesi tanımlaması
Jn = Eklem takımı sayısı
Jr = Eklem pürüzlülük sayısı
Ja = Eklem ayrışma sayısı
Jw = Eklem suyu azaltma faktörü
SRF = Gerilim azaltma faktörü

Üstteki esasların değişik kaya koşullarına bağlı olarak nitelik ve nicelik farklılıkları sayısal şekilde tanım bulmaktadır. Kaya kütlesinin mühendislik sınıflamasında, altı esas için tek tek sayısal içerikler bulunduktan sonra üstteki formül sayesinde Q sayısı elde edilmektedir. Tünel profili boyunca belirlenen kayaçların sınıflamasında, tünel açıklığı B = 10.00 metre ve tünel destek oranı ESR = 1.00 değeri kullanılmıştır. Ayrı Q sayısı ile belirlenen tünel aralıkları farklı bölümlere ayrılmış ve bu kaya sınıflarına dek gelen ayrı destek türleri tavsiye edilmiştir.

CSIR Tünel Sınıflaması (RMR): Bieniawski'nin (1989) geliştirdiği eklemli kaya kütlelerinin jeomekanik kaya sınıflaması için beş esasa uyulmaktadır. Bu esaslar;

a. Kayanın Mukavemeti
b. RQD değeri
c. Eklem Sıklığı
d. Eklem Durumu
e. Yeraltı suyu

Bu uygulamayla kaya kütlesinin özgül özellikleri doğrultuunda her esasa karşı gelen sayısal sonuçlar farklı farklı bulunduktan sonra hepsinin toplaması yapılmakta ve bulunan sayı süreksizliklerin bulunduğu yere göre düzeltmesi yapılmalıdır. Düzeltilen toplam sayı RMR kaya kütle sayısı şeklinde adlandırılır. Jeomekanik sınıflamaya

doğrultusunda kaya kütleleri RMR sayılarına göre beş gruba bölünür. Bu sınıflamada bütün kaya sınıfı için destek çeşidi, tünel kayasına ait kohezyon ve içsel sürtünme açısı ile ortalama desteksiz durma zamanı hakkında fikir edinilmektedir.

Destek Tipleri: Söz konusu tünel kesiminde zemin kesitini oluşturan farklı türlerdeki jeomekanik özelliklerde olan kaya kütleleri RMR (Bieniawaski, 1989; 1993), Hoek-Brown Relation (Hoek vd. 2002) ve Q-System (Barton 2002) kaya sınıflamasına dayalı olarak değerlendirilmiş (Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.) ve tünelin söz konusu kesimlerinde kaya koşullarına bağlı olarak Çizelge 4.5.'te özetlenen NATM Kaya Sınıflaması (ÖNORM B 2203) tespit edilmiştir. Bu kaya sınıfları için öngörülen destek tipleri aşağıda açıklanmaktadır.

Çizelge 4.3. Kaya Sınıflaması (Q)

Km (Sağ Hat)	Litoloji	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Kaya Sınıfı
ANAHAT TÜNELLERİ									
Km: 12+045-12+521.062 12+627.582-12+801.480	Qtrv	45 (1B)	12 (2G)	1.5 (3E)	2 (4C)	0.66 (5B)	2.5 (6H)	0.7425	Ç. Zayıf

Çizelge 4.4. Kaya Sınıflaması (RMR)

Km (Sağ Hat)	Litoloji	Kaya Mukav.	RQD	Eklem Sıklığı	Eklem Durumu	Yeraltı suyu	Düzeltme Sayısı	RMR	Kaya Sınıfı
ANAHAT TÜNELLERİ									
Km: 12+045-12+521.062 12+627.582-12+801.480	Qtrv	4	8	8	10	15	-5	40	Zayıf

Çizelge 4.5. Kaya Sınıflaması (ONORM B 2203)

Km (Sağ Hat)	Litoloji	Barton Kaya Kütlesi Niteliği (Q)	Bieniawski Kaya Kütlesi Değeri (RMR)	ÖNORM B2203	METRO KAYA DESTEK SINIFI
ANAHAT TÜNELLERİ					
Km: 12+045-12+521.062 12+627.582-12+801.480	Qtrv	0.7425 Ç. Zayıf	35 Zayıf	B3	A2

NATM Tünel Kaya Sınıflaması: Tünel proje çizimi esnasında ya da inşa durumunda Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ilkeleri temel alınmaktadır. Yapılması tavsiye edilen ÖNORM B 2203 kaya sınıflandırma sistemi;

A (Sağlam – hafif aşırı sökülen)
B (Gevrek)
C (Baskılı)

Olmak üzere üç tane ana bölüm ve bu bölümlerin içindeki alt sekmelerinden oluşur.

"A" olarak gösterilen kaya kütleleri genellikle sağlam olup elastik davranış sergiler. Kaya kütlesine tesir eden basınçlar çoğunlukla göçüklere sebep olmaz. Süreksizlik konumu dolayısıyla yersel stabilite sorunları görülebilir.

"B" şeklinde tanımlanan kaya kütlelerinin hareketi yapısal zayıflık ve / veya çekme mukavemeti yetersizliği nedeniyle çabuk gevşeme ve ayrışmaya karşı hassasdır.

"C" olarak tanımlanan kaya kütlelerinin hareketi çoğunlukla kaya basıncının tekrar dağılımı süreci ve / veya deplasman sınırları sebebiyle meydana gelen gerilmelerin kaya mukavemetinden daha büyük olduğuna işarettir. Kaya kütlelerinin çok yüksek gerilmelere maruz kalması nedeniyle kabuk atma, burkulma, kesme ve boşluk yönünde plastik hareket davranışı gibi zayıflık düzenleri meydana gelir.

Bu sınıflama ile ilgili detay bilgiler Karayolları Genel Müdürlüğü "NATM Uygulamalı Yeraltı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi" nde verilmektedir. Bu işlemde kaya sınıflarının oluşturulması sayısal bir işleme bağlanmaz. Bunun tersinde tünel profilini oluşturan kayaçların jeomekanik özellikleri, tünelin kesiti, üstündeki örtü ağırlığı ve kaya ortamının zamana göre hareketi baz alınarak kaya kütleleri sınıflandırılması yapılmaktadır.

NATM sınıflamasına (ÖNORM B 2203) göre tünelin B3 kaya sınıfında açılacağı görülmektedir. Ancak, zemin, tünel boyutları, tünel üzerindeki örtü kalınlığı ve çevre koşullarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda ilgili kesim aralığında açılacak tünellerin kaya destek sınıfı İstanbul Metrosu'nda uygulanan sisteme göre A2 olarak

kabul edilebilir. Bu bağlamda, tünellerin ilgili sınıfa karşılık gelen "A2 Tip" veya "A2 Özel Tip" destek tipi ile desteklenmesi öngörülmüştür. "A2 Özel Tip" kesitinin uygulanma sebebi tünellerin karstik zeminde inşa edilecek olmasıdır. Aşınma durumu karşısında direnç sağlayamayan ve kolaylıkla eriyebilen kayalardan meydana gelen araziler "karstik araziler" olarak tanımlanır. Karstik bölgeler kalker, tuz ve jips gibi eriyebilen kayaçların dış etkiler ile (örneğin topraktaki CO2 ile zenginleşen ve asidik özellik kazanan akarsu, havadaki CO2 ile zenginleşen ve asidik özellik kazanan yağmur suyu gibi) çözünmesi sonucunda oluşurlar. Bu bölgesel çözünmeler, yüzey çökükleri ve kayaçların içinde bulundurdukları küçüklü büyüklü erime boşlukları ile tanımlanırlar. Bu boşlukların meydana gelişi ve büyümesi, yeraltı suyu ve yüzey sularının akışına bağlı olduğundan ve genellikle düzensiz bir yayılım gösterdiğinden binalaşma ve altyapı işleri tarafından yüksek tehlike arz eder. Karstik boşluklar çözünme işlemi süresince birbirleri ile bağlantılı hale gelirler ve yüzey sularının akifere ulaşımını sağlarlar. Bu sebeple erime süreci sürekli devam eder ve karstik boşluklar zamanla genişler. Çalışma alanındaki 1–5 metre boyutlarındaki, kısım kısım içerisi kil dolgulu erime boşluklarının zamanla problem yaratabileceği, tünel imalatı sırasında özellikle tavan bölgesindeki boşluklu yapıların içerisindeki killi zeminlerin aşırı sökülme veya dökülme şeklinde mobilize olabileceği düşünülmektedir. Bu sebepten tünel kazısında bu boşlukların enjeksiyon ile doldurulması gerekliliğinden dolayı destek sınıfı "A2 Özel Tip" olarak adlandırılmış ve A2 Tip destek sınıfına ek olarak "enjeksiyonlu süren" uygulaması yapılması uygun görülmüştür. Bu durumda yapılmasına karar verilen tüm enjeksiyon uygulamalarında önden tespit edilmiş karstik boşlukların hacimleri ile bu boşlukları doldurmak için kullanılan enjeksiyon miktarının, ilgili kalite kontrolleri ile birlikte karşılaştırılması, istenilen geçirimsiz masif yapının oluşturulmasına kanaat edilip tünel imalatlarına başlanması açısından önem arz etmektedir.

Proje güzergahında yapılan projelendirme çalışmalarında, yukarıda sözü edilen yöntemlerle elde edilen kaya sınıfları, İstanbul Metro projelerinde kabul edilen özel destek sınıfları ile optimize edilmiştir. Yapılan optimizasyona koşut olarak, tünel ile geçilecek bölgelerdeki, yoğun şehirleşme, yeraltı suyundaki ve litolojideki heterojen yapı ve imalat koşulları da göz önünde tutularak, kaya birimlerde açılacak ana hat tünellerinde boşluksuz kesimlerde A2 Tip", yoğun boşluklu, kil dolgulu kesimlerde

ise “A2 Özel Tip”; destekleme esas alınarak tasarım yapılması uygun bulunmuştur. Söz konusu destek sistemine ait detaylar şu şekildedir;

A2 Tip Kazı Destek Sistemi

Püskürtme beton (d = 20 cm)

Çelik hasır (2 kat)

Çelik iksa (M/M 1.00 - 1.50 m aralıklı)

Harç dolgulu kaya bulonları (L = 3.00~4.00 m)

1.5",1¼" Enjeksiyonlu/ Enjeksiyonsuz Süren L=3.00~4.00m veya süren çubukları Φ26mm,L=3.00m

İlerleme mesafesi Ayna (1.50 m)

Üst yarı kazısı (Max.10 m)

A2 Özel Tip Kazı Destek Sistemi

Püskürtme beton (d = 20 cm)

Çelik hasır (2 kat)

Çelik iksa (M/M 0.50 - 1.00 m aralıklı)

Harç dolgulu kaya bulonları (L = 3.00 ~ 4.00 m)

4” enjeksiyon delikli şemsiye boruları, L=6.00 m, 0.30 ~ 0.40 m aralıklı)

İlerleme uzunluğu Ayna (0.50 – 1.00 m)

Üst yarı alanı kazısı (Max.7.20 m)

4.3. Jeoteknik Değerlendirmeler

İnceleme alanında tünel analizleri gerçekleştirilirken, aynı kazı sınıfına ait en kritik kesitler analiz edilmiş, tünel tasarımına ait değerlendirmeler bu kapsamda gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda, ana hat NATM tünellerinde kazı derinliği, jeolojik – jeoteknik etmenler vb. koşullar göz önüne alındığında, Tünel, NATM “A” Tipi Ana hat Tünelleri “A2 Tip ve A2 Özel Tip kazı destek sistemi” ile tasarlanmıştır. Bu kesimlere ait idealize zemin profillerinde yer alan birimlere ait jeoteknik parametreler ve analiz detayları aşağıda başlıklandırılmıştır.

İdealize Zemin Profil Birimlerine ait Jeoteknik Parametreler: Tünel bölgesinde kritik olarak belirlenen kesitlere en yakın lokasyondaki sondajların verileri ile yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak idealize zemin profilini oluşturan birimlerin analizlerinde kullanılan parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Zemin Parametreleri: Ana hat NATM tünellerinin planlandığı güzergah boyunca karşılaşılan yapay dolgu (Yd) birimi ile ilgili olarak AVO-25 – AVO-31, AOM-2 – AOM-7A arasındaki sondajlara ve OTM-08 sondajına ait veriler ile bu sondajlardan yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Yapay Dolgu (Yd) Zemin Parametreleri: Proje bölgesinde yapay dolgu yüzeyden itibaren genelde yaklaşık 2 – 6 metre kalınlığında ölçülmüştür. Killi kumlu çakıl özelliğindeki birim için stabilite analizlerinde kullanılacak parametreler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

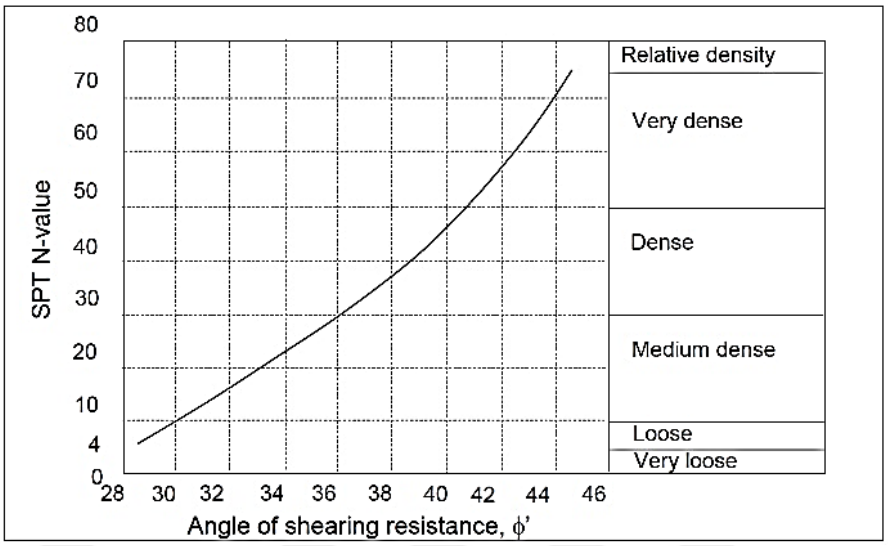
Birim hacim ağırlık

SPT N=9(düşük değerlerin ortalaması);= γ19 kN/m3 (Carter & Bentley, 1991) (Çizelge 4.6.)

Çizelge 4.6. Zeminlerin Sıklığı / Katılığı ile Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki İlişki (Carter & Bentley, 1991)

Malzeme		Birim Hacim Ağırlığı (kg/m^3)	
		Islak	Kuru
Kum ve Çakıl	Çok Gevşek	1700-1800	1300-1400
	Gevşek	1800-1900	1400-1500
	Orta Yoğun	1900-2100	1500-1800
	Yoğun	2000-2200	2000-2200
	Çok Yoğun	2200-2300	2000-2200
Kötü derecelenmiş kunkar		1700-1900	1300-1500
İyi derecelenmiş kumlar		1800-2300	1400-2200
İyi derecelenmiş kum/çakıl karışımları		1900-2300	1500-2200
Killer	Konsolide olmayan killer	1600-1700	900-1100
	Yumuşak, açık yapılı	1700-1900	1100-1400
	Tipik, normal konsolide	1800-2200	1300-1900
	Kaya killeri (aşırı konsolide)	2000-2400	1700-2200
Kırmızı toprak		1700-2100	1300-1800

Efektif içsel sürtünme açısı: Şekil 4.1.'den →SPT N=9 ve granüler zeminler için;$\phi' = 30^0$ (Peck vd, 1974)



Şekil 4.1. Granüler zeminlerin içsel sürtünme açısının SPT sonuçları ile olan ilişkisi (Peck vd, 1974)

Ayrıca, birimin granüler yapısı ve ince malzeme yüzdesi göz önüne alınarak minimum efektif kohezyon değeri, c′=5 kPa olarak alınmıştır.

DeFormasyon Modülü:

SPT sonuçları kullanılarak, FHWA (2002) korelasyonu kullanılarak;

Çizelge 4.7.'de Kumlu Çakıl için:

Es = 1200 x (9+6) = 1200 x 9 = 18 000 kPa elde edilmektedir.

Çizelge 4.7. SPT-N ve Es bağıntıları (Bowles, 2002)

Zemin Türü	**E (kN/m^2)**
Normal konsolide kumlar	500(N+15)
	7000√N
	6000N
	(15000-22000) ln N
	(2600-2900)N
Suya duygun kumlar	250(N+15)
Çakıllı kumlar	1200(N+6)
	N ≤ 15 için 600(N+6)
	N > 15 için 2000+ 600(N+6)
Killi kumlar	320(N+15)
Silt, kumlu silt, killi silt	300(N+6)

Yukarıda hesaplanan değerlerin ortalaması E = 10 000 kPa olup, elastisite modülü, E = 10 000 kPa olarak seçilmiştir.

Bu birim için analizlerde kullanılan parametreler aşağıda özetlenmiştir;

γ = 19 kN/m3

c′= 5 kPa, ϕ'= 30°

E = 15 000 kPa

Kaya Parametreleri: İnceleme alanında yer alan, NATM metodu ile yapılması planlanan tünel "A2 Tip ve A2 Özel Destekleme Tipi" ana hat tünelidir. İlgili kesime ait araştırma çalışmalarından elde edilen veri tabanı dikkate alınarak Bieniawski (1979) a göre "kaya kütle puanlaması" (RMR) yapılmış ve buna bağlı olarak da "jeolojik dayanım indeksi" (GSI) sayısı elde edilmiştir. (Çizelge 4.8.) Ana hat tüneli bölgesinde gözlenen Traverten (Qtrv-W5) birimi genellikle az – orta düzeyde ayrışmış kısım kısım çok – tamamıyla ayrışmış ve orta – orta zayıf kısım kısım çok zayıf – zayıf dayanımlıdır. Bu birim ile traverten (Qtrv-W5) biriminin tümüyle ayrışmış seviyelerine ait kaya kütle puanlamaları çizelgede verilmiştir. Bu hesaplamalarda süreksizliğin aralığı, uzunluğu, açıklığı, pürüzlülük, dolgu, ayrışma, yeraltı suyu, kaya kalitesi göstergesi ve kaya malzemesinin dayanımı dikkate alınmaktadır. Buna ilaveten tünel zeminini oluşturan kayaçlar için seçilen tek eksenli basma dayanımı ve birim ağırlık ile ilgili laboratuvar verileri güvenli tarafta kalınarak seçilmiş olup, GSI sayısı (Modifiye RMR – 5), kayaç malzeme sabiti (mi), örselenme faktörü (df) ve kayaçlara ait elastisite modülü gibi veriler Çizelge 4.9. 'de özetlenmiştir. Antalya traverteni (Qtrv) ve çok – tümüyle ayrışmış seviyelerine ait RMR sınıflama parametreleri açılımları Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11. 'te verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kaya kütle puanlaması

Jeolojik Birim	Kaya Mukav.	RQD	Eklem Sıklığı	Eklem Durumu	Yeraltı suyu	RMR	GSI
Qtrv	4	8	8	10	15	45	40
Qtrv(W5)	2	3	5	8	15	32	28

Çizelge 4.9. Seçilen kaya kütle parametreleri

Jeolojik Birim	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	GSI	Kayaç Malzeme Sabiti (mi)	Elastisite Modülü (Ei) (MPa)	Birim Ağırlık (kN/m^3)	Örselenme Faktörü (D)
Qtrv	15	40	10	8000	23.50	0.70
Qtrv(W5)	5	28	9	3000	23.50	0.30

Çizelge 4.10. Antalya traverteni (Qtrv) RMR sınıflaması (RMR=40)

A. Sınıflama parametreleri ve puanları

1	Kaya malzemesinin dayanımı	Nokta yüklü dayanım indeksi	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanımı		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 Mpa
	Puan		15	12	7	4	2	1	0
2	Kaya kütlesi göstergesi, RQD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik aralığı		>2m	0,6-2m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Puan		20	15	10	8	5		
4	Süreksizlik koşulu		Çok kaba yüzeyler Sürekli değil Ayrılma yok Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma <1 mm Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma <1 mm Yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler ve fay dolgusu < 5mm veya 1-5mm Açık eklemler, sürekli eklemler	Yumuşak fay dolgusu > 5mm kalınlıkta veya açık eklemler > 5mm devamlı süreksizlikler		
	Puan		30	25	20	10	0		
5	Yeraltı suyu	Tünelin10m`lik kısmından gelen su	yok	10 lt/dk	< 25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk		
			veya	veya	veya	veya	veya		
		Eklemdeki su basıncı / En büyük asal gerilme ORANI	0	0- 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		

B. Tünelde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi

Doğrultu tünel eksenine dik						Doğrultu tünel eksenine paralel	Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0-20^0 arasında
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme					
Eğim 45-90^0	Eğim 20-45^0	Eğim 45-90^0	Eğim 20-45^0	Eğim 45-90^0		Eğim 20-45^0	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil		Orta	Orta

C. Süreksizlik yönelimine göre düzeltme

Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

D. Kaya sınıfları puanları

Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

E. Kaya sınıflarının bazı özellikleri

Sınıf No.					
Ortalama desteksiz kalabilme süresi	15 m açıklık için 20yıl	10 m açıklık için 1yıl	5 m açıklık için 1 hafta	2,5 m açıklık için 10 saat	1 m açıklık için 30 dakikal
Kaya kütlesinin kohezyonu (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Kaya kütlesinin sürtünme açısı	> 45°	35- 45°	25-35°	15-25°	< 15°

F. Süreksizlik yüzeyi koşulunun puanlanması için önerilen kılavuz (Bieniawski 1989)

Parametre	Puanlar				
Süreksizliklerin uzunluğu (devamlılık)	< 1m (6)	1 - 3m (4)	3 - 10m (2)	10 - 20m (1)	> 20m (0)
Süreksizlik açıklığı	Yok (6)	< 0,1 mm (5)	0,1-1,0 mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az Pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu		Sert dolgu		Yumuşak dolgu	
	Yok (6)	< 5 mm (4)	> 5 mm (2)	< 5 mm (2)	> 5 mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az bozunmuş (5)	Orta derecede bozunmuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok bozunmuş (0)

Çizelge 4.11. Çok Tümüyle ayrışmış Antalya traverteni (Qtrw-W5) RMR sınıflaması (RMR=33)

A. Sınıflama parametreleri ve puanları

1	Kaya malzemesinin dayanımı	Nokta yüklü dayanım indeksi	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanımı		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 Mpa
	Puan		15	12	7	4	2	1	0
2	Kaya kütlesi göstergesi, RQD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik aralığı		>2m	0,6-2m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Puan		20	15	10	8	5		
4	Süreksizlik koşulu		Çok kaba yüzeyler Sürekli değil Ayrılma yok Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma <1 mm Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma <1 mm Yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler ve fay dolgusu < 5mm veya 1-5mm Açık eklemler, sürekli eklemler	Yumuşak fay dolgusu > 5mm kalınlıkta veya açık eklemler > 5mm devamlı süreksizlikler		
	Puan		30	25	20	10	0		
5	Yeraltı suyu	Tünelin10m`lik kısmından gelen su	yok	10 lt/dk	< 25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk		
		Eklemdeki su basıncı / En büyük asal gerilme ORANI	0	0- 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		

B. Tünelde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi

Doğrultu tünel eksenine dik						Doğrultu tünel eksenine paralel	Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0-20^0 arasında
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme					
Eğim 45-90^0	Eğim 20-45^0	Eğim 45-90^0	Eğim 20-45^0	Eğim 45-90^0		Eğim 20-45^0	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil		Orta	Orta

C. Süreksizlik yönelimine göre düzeltme

Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

D. Kaya sınıfları puanları

Sınıf No.	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

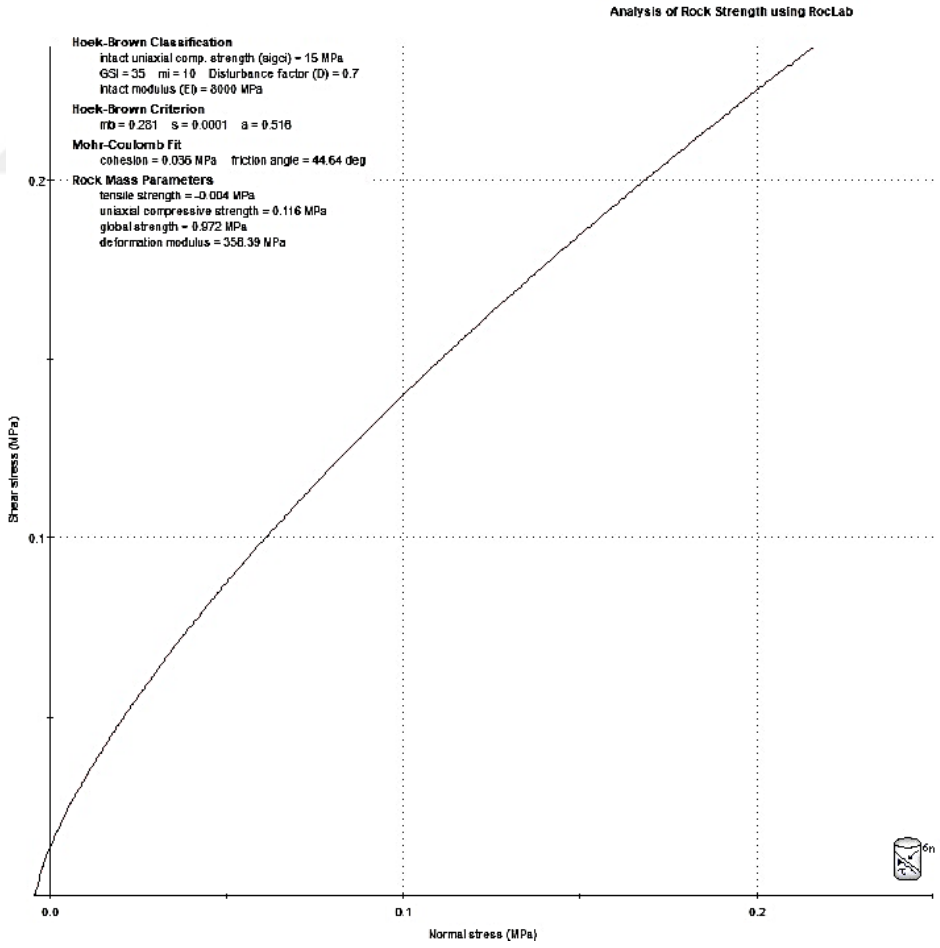
E. Kaya sınıflarının bazı özellikleri

Sınıf No.					
Ortalama desteksiz kalabilme süresi	15 m açıklık için 20yıl	10 m açıklık için 1yıl	5 m açıklık için 1 hafta	2,5 m açıklık için 10 saat	1 m açıklık için 30 dakikal
Kaya kütlesinin kohezyonu (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Kaya kütlesinin sürtünme açısı	> 45^0	35- 45^0	25-35^0	15-25^0	< 15^0

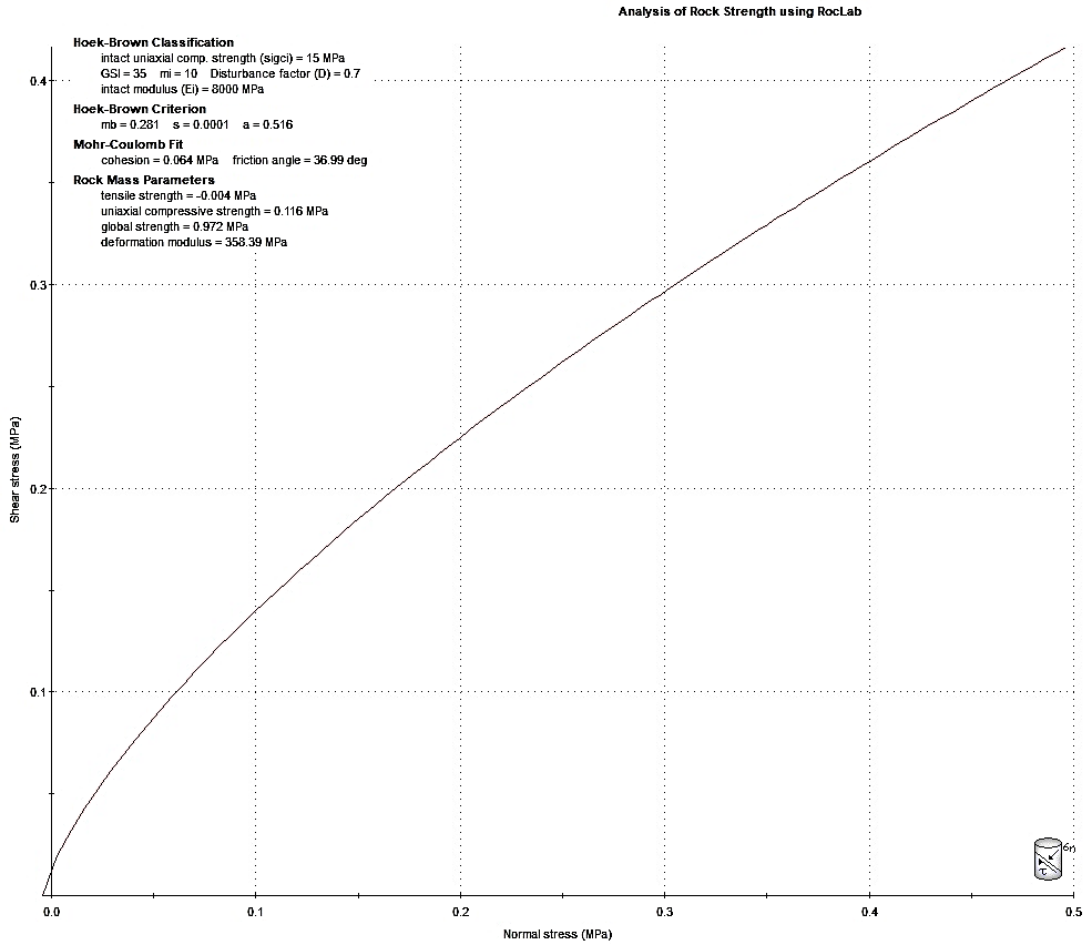
F. Süreksizlik yüzeyi koşulunun puanlanması için önerilen kılavuz (Bieniawski 1989)

Parametre	Puanlar				
Süreksizliklerin uzunluğu (devamlılık)	< 1m (6)	1 - 3m (4)	3 - 10m (2)	10 - 20m (1)	> 20m (0)
Süreksizlik açıklığı	Yok (6)	< 0,1 mm (5)	0,1-1,0 mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az Pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu		Sert dolgu		Yumuşak dolgu	
	Yok (6)	< 5 mm (4)	> 5 mm (2)	< 5 mm (2)	> 5 mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az bozunmuş (5)	Orta derecede bozunmuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok bozunmuş (0)

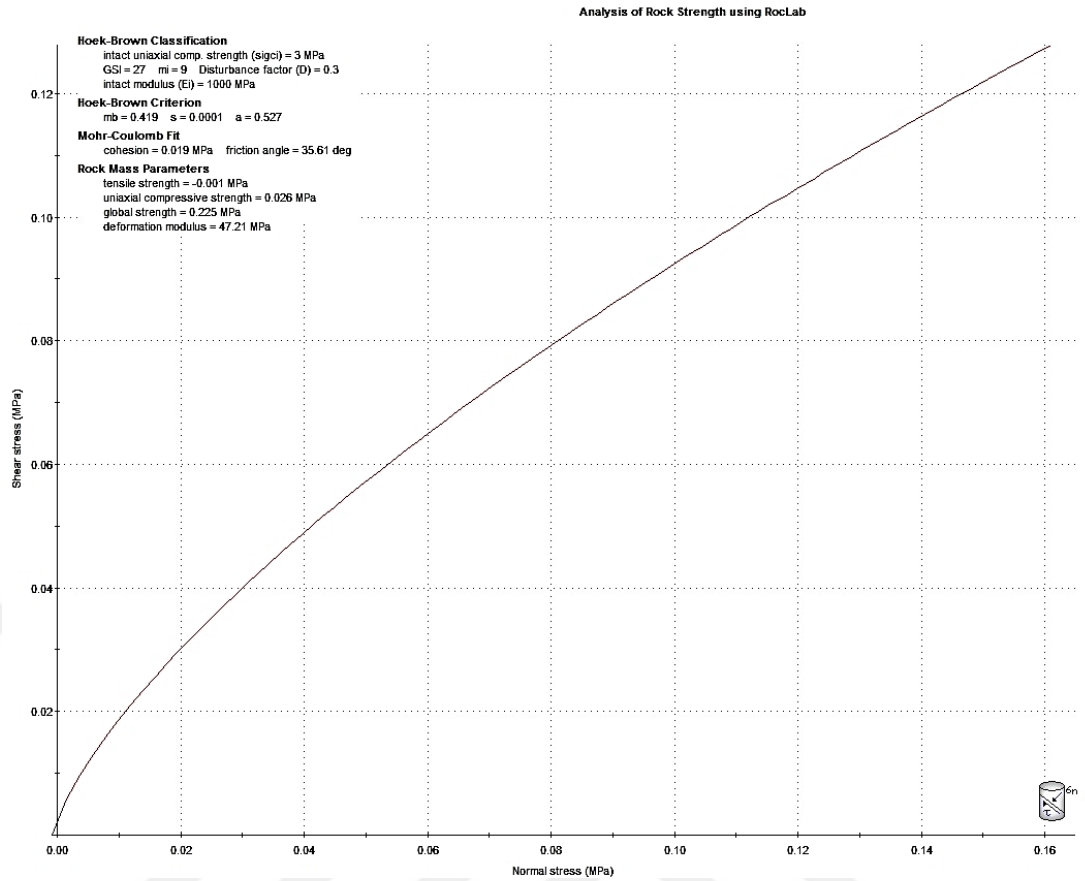
Traverten birimi (Qtrv) ve bu birimin tümüyle ayrışmış kesimlerine (Qtrv-W5) birimine ait kaya kütle parametreleri RocLab (version 1.033) bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve birimlere ait tünel etki zonu derinliğine göre değişen normal gerilme – kesme dayanımı grafikleri Şekil 4.2. Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. 'de RocLab grafiklerinde verilmiştir.



Şekil 4.2. Qtrv birimine ait normal gerilme–kesme dayanımı grafiği (h = 8.0 m.)



Şekil 4.3. Qtrv birimine ait normal gerilme–kesme dayanımı grafiği (h = 22.0 m.)



Şekil 4.4. Qtrv-W5 birimine ait normal gerilme-kesme dayanım grafiği (h = 5.0 m.)

Bu bağlamda, tünel tasarımında kullanılacak kesit analizleri için birimlere ait kohezyon (C), içsel sürtünme açısı (ϕ), birim hacim ağırlık (γ) ve deformasyon modülü (E) değerleri çizelge 4.12. 'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.12. Kaya kütle parametreleri

Jeolojik Birim	Derinlik (m)	γ (kN/m^3)	C (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)
Qtrv (8.00m)	8	23.50	47	41	358
Qtrv (22.00m)	22	23.50	64	37	358
Qtrv (W5)	5	23.50	18	43	149

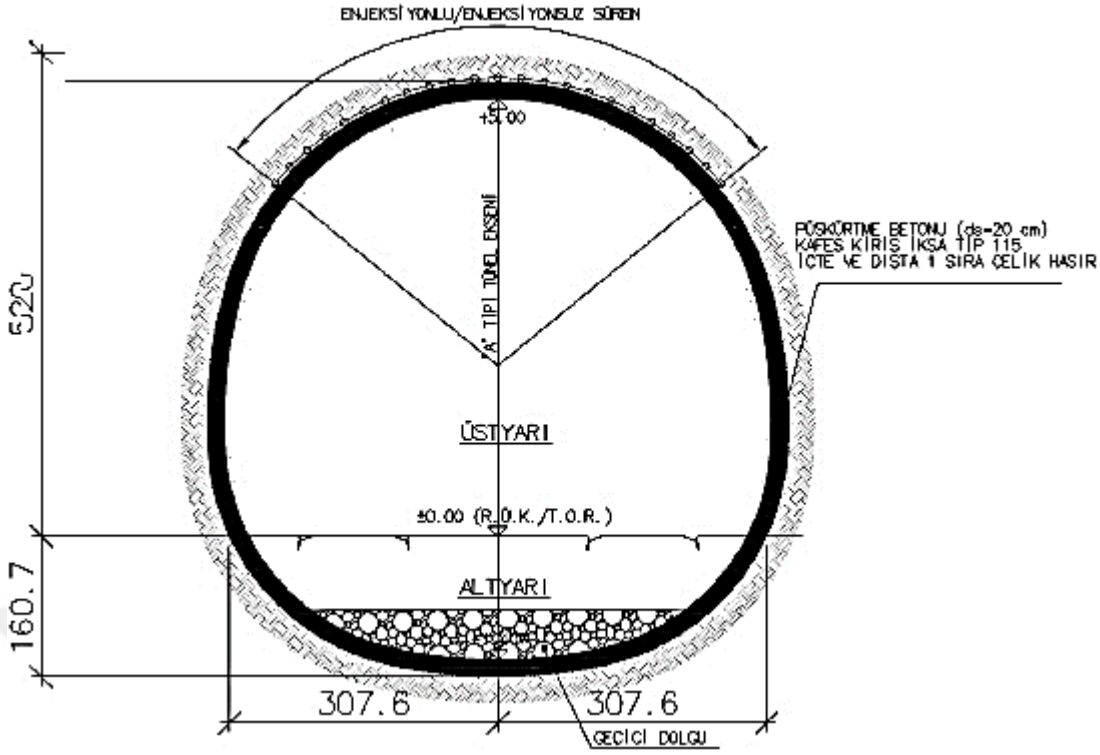
Buna ek olarak, öngörülen kritik kesimlerde destek sistemlerine ait tünel kesit analizleri için seçilen farklı kaya ve zemin birimlerine ait kohezyon (c), içsel sürtünme

açısı (ϕ), birim hacim ağırlık (γ) ve deformasyon modülü (E) değerleri çizelge 4.13.'de özetlenmektedir.

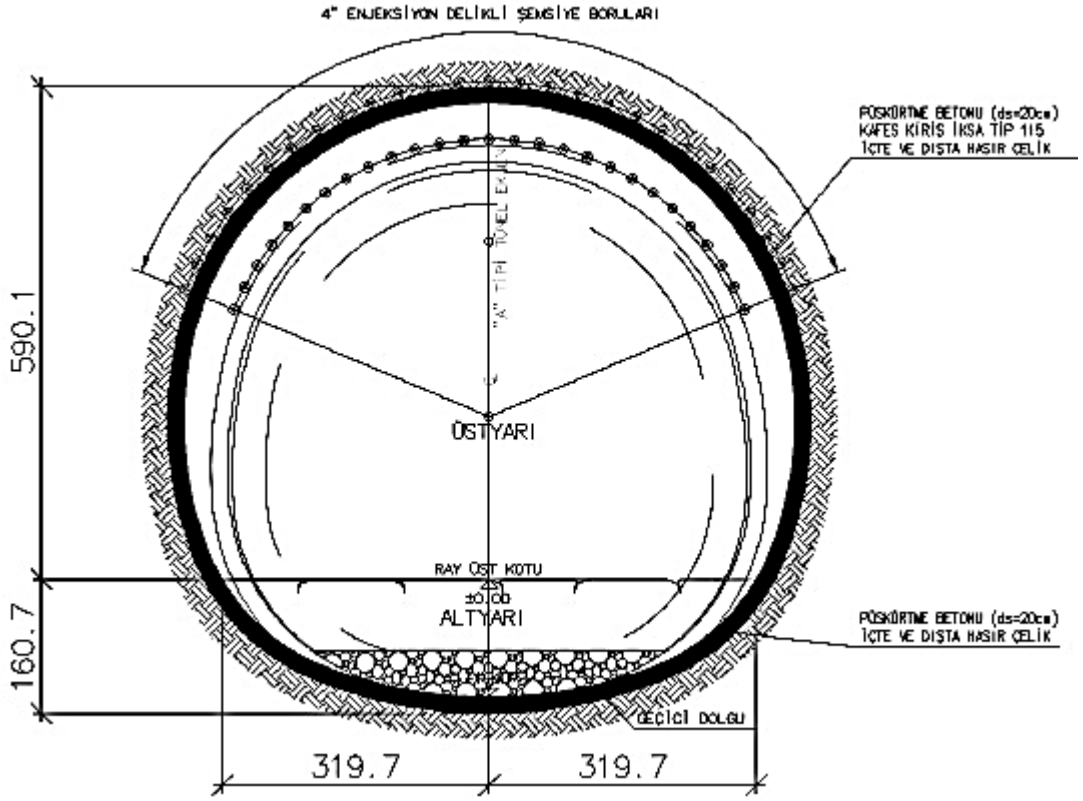
Çizelge 4.13. Kaya kütle parametreleri

Model Km	Jeolojik Birim	C (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m^3)	E (MPa)
12+045	Yd	5	30	19	15
	Qtrv(W5)	18	43	23.5	149
	Qtrv	47	41	23.5	358
12+365	Yd	5	30	19	15
	Qtrv(W5)	18	43	23.5	149
	Qtrv	64	37	23.5	358
12+405	Yd	5	30	19	16
	Qtrv(W5)	18	43	23.5	149
	Qtrv	64	37	23.5	358

Ana hat NATM Tünel Kazıları ve Destek Tipleri: Tünel kazı alanları ve tünelin açılacağı birimin özellikleri göz önüne alınarak; " A2 Tip ve A2 Özel Tip Kazı Destek Sistemi" ile açılacak (Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.) yapılacak tüneller için üst yarı ve alt yarı olarak iki seviye kazılması planı yapılmaktadır. Bununla birlikte, tünel kazısı sırasında haritalama yapılarak zemin koşulları kayıt altına alınmalı ve tünel aynasından açılacak yatay sondajlar vasıtasıyla ayna gerisindeki zemin ve yeraltı suyu hakkında bilgi sağlanmalıdır. Diğer taraftan, tünelde tesis edilecek enstrümantasyon ölçümlerinin sonuçları dikkatle izlenmeli ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak gerektiğinde kazı ve destek sistemleri modifiye edilmelidir. Tünel stabilite çözümleri için PLAXIS sonlu eleman programı ve zeminin plastik hareketini modelleyebilen "Hardening Soil" parçası işletilmiştir. Bu parçada programa bilgi olarak zeminin birim ağırlığı (γ), içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyonu c, elastisite modülü (E) ve poisson oranı (ν) girilmektedir.



Şekil 4.5. A Tipi Ana hat Tüneli – A2 Tip Kazı Destek Sistemi



Şekil 4.6. A Tipi Ana hat Tüneli – A2 Özel Tip Kazı Destek Sistemi

Kazı zemini programdaki on beş noktalı üçgen elemanlar kullanılmış ve modellemesi yapılmıştır. Bu elemanlar dokuzuncu seviyeden integrasyon için uygunluk sağlarlar. Destek takımını meydana getiren püskürtme betonu ve iç kaplama elemanları programdaki özel plak elemanlarıyla modellenmesi gerçekleşmiştir. Sistem kazı etapları alakalı zemin elemanları kaldırılarak ve gereken destek elemanları kullanılarak modellemesi yapılmaktadır. Program bu yeni tabloda dengeye gelene kadar iteratif olarak çalışma göstermektedir. Yapılan analiz neticesinde her kazı etabında tünelde meydana gelen deplasman, moment, kesme, eksenel kuvvetleri hesaplanabilmektedir. Ayrıca zemin elemanlarındaki deplasman, efektif ve total gerilmeler ve plastikleşen bölgeler görülebilmesi mümkündür. Öngörülen NATM tünellerinin tamamının, delme tünel olarak yapılması düşünülmektedir. Analiz kesitleri belirlenirken tünel üzerindeki örtü kalınlıkları, tünellerin açılacağı birimler ve tünel üzerindeki yapılar dikkate alınmış olup, analizler bu tip kesitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. PLAXIS ile yapılan analizlerde A2 kaya destek sınıfı içerisinde açılacak tünellerin modellenmesi sırasında kullanılan kazı aşamaları aşağıda özetlenmiştir;

Kazı Aşaması 1: Sol hat üst yarı kazısının tamamlanması ve püskürtme betonu parçalarının koyulması (Püskürtme betonu parçaları koyulmadan önce üç boyutlu gevşeme etkilerini modellemek amacı ile üst yarı elemanlarına A2 kaya destek sınıfı için %50 gevşetme uygulanmıştır). Şekil 4.7.



Şekil 4.7. Kazı aşaması 1

Kazı Aşaması 2: Sol hat alt yarı kazısının tamamlanması ve püskürtme betonu ringinin faal durumdan alınması (Püskürtme betonu elemanları yerleştirilmeden önce üç boyutlu gevşeme etkilerini modellemek amacı ile alt yarı elemanlarına A2 kaya destek sınıfı için %50 gevşetme uygulanmıştır). Şekil 4.8.



Şekil 4.8. Kazı aşaması 2

Kazı Aşaması 3: Sağ hat üst yarı kazısının tamamlanması ve püskürtme betonu parçalarının koyulması (Püskürtme betonu parçaları yerleştirilmeden önce üç boyutlu gevşeme etkilerini modellemek amacı ile üst yarı elemanlarına A2 kaya destek sınıfı için %50 gevşetme uygulanmıştır). Şekil 4.9.



Şekil 4.9. Kazı aşaması 3

Kazı Aşaması 4: Sağ hat alt yarı kazısının tamamlanması ve püskürtme betonu ringinin faal durumdan alınması (Püskürtme betonu elemanları yerleştirilmeden önce üç boyutlu gevşeme etkilerini modellemek amacı ile alt yarı elemanlarına A2 kaya destek sınıfı için %50 gevşetme uygulanmıştır). Şekil 4.10.



Şekil 4.10. Kazı aşaması 4

Kazı Aşaması 5: Püskürtme betonu parçalarının alınıp iç kaplama parçalarının konulması. Şekil 4.11.



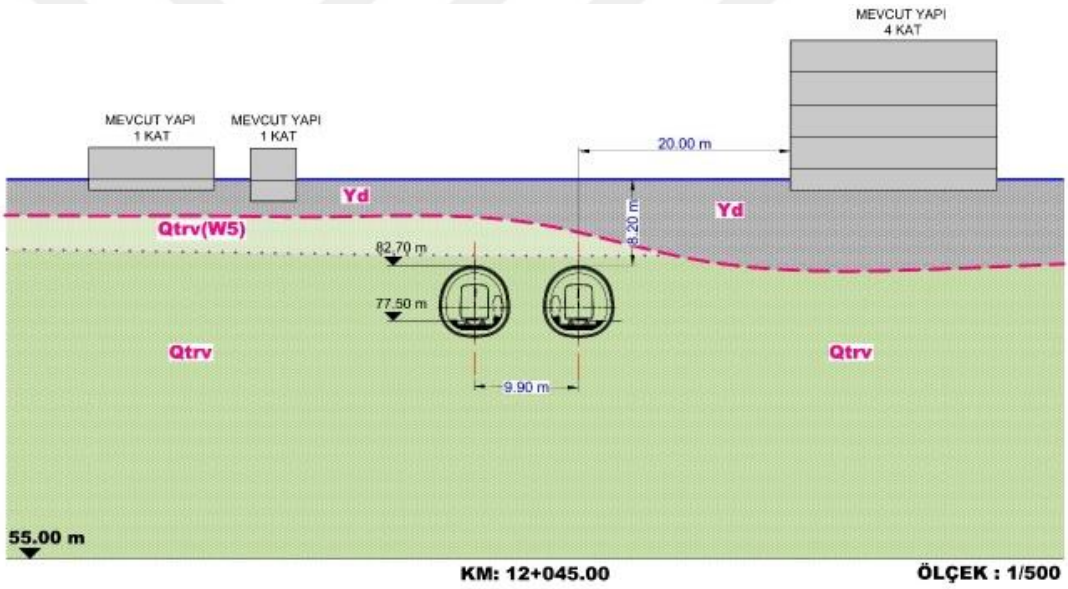
Şekil 4.11. Kazı aşaması 5

Kazı Aşaması 6: Deprem analizlerinin PLAXIS programı ve eşdeğer statik (pseudo-statik) yöntem kullanılarak gerçekleştirilmesi. Tünelin açılacağı bölge 2. derece deprem bölgesi olup, maksimum yatay yer ivmesi değeri ahmax = 0.30 g olarak alınmıştır. Eşdeğer statik hesap işleminde kullanılacak yatay eşdeğer deprem katsayı ölçüsü tünel deprem analizlerinde kh=0.5 ahmax olarak alınmıştır). Aşağıda kritik

analiz kesitlerinde gerçekleştirilen analiz sonuçları ve bu sonuçlara göre yapılan kesit tahkiki sonuçları özetlenmiştir.

Ana hat NATM Tünelleri Stabilite Analizleri

KM 12+045 Stabilite Analizleri: Bu kesit tünel kazısının Antalya Traverteni birimi içerisinde gerçekleştirileceği, ana hat NATM tünelleri üzerindeki örtü kalınlıklarının en düşük (~ 8.15 m) olduğu ve iki hat tünelinin birbirine en çok yaklaştığı (merkezden merkeze mesafe 9.90 m) durumu modellemektedir. Bu kesimde yeraltı suyu seviyesi gözlemlenmemiştir. KM 12+045 için genel kesit görünümü Şekil 4.12.'de verilmiştir. Analizlerde, yüzey kotunda hareketli yükü temsilen q=15 kPa ve mevcut binaların yüklerini temsilen tek katlı binalar için q= 15 kPa ve 4 katlı bina için q=4 x 15 = 60 kPa sürşarj yükü tanımlanmıştır.

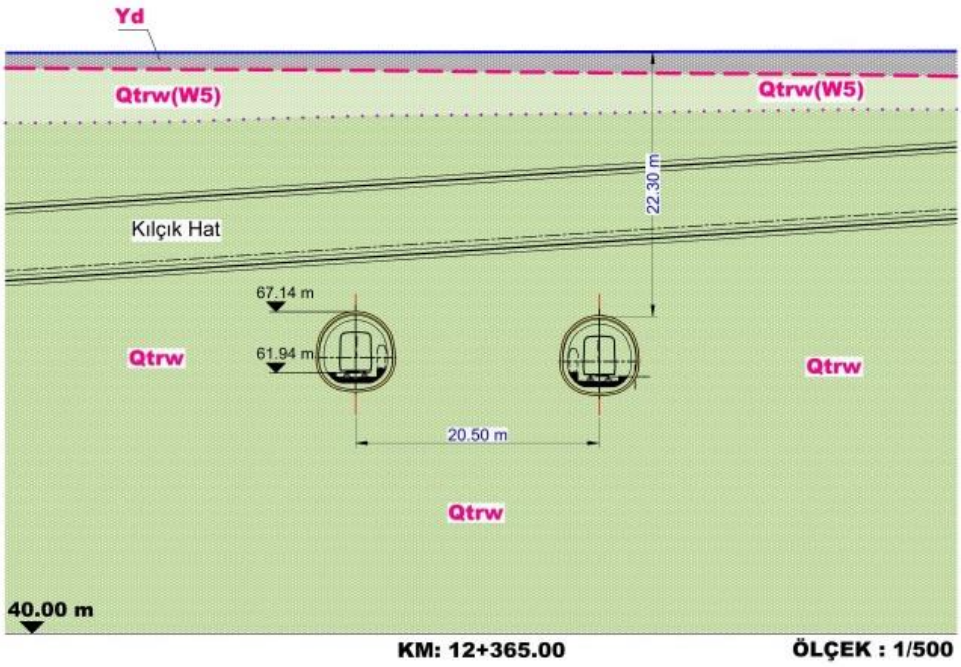


Şekil 4.12. AnahatTüneliKesiti: KM 12 + 045.00 (https://www.yukselproje.com.tr)

Kesit tahkiki analizleri, her kazı aşaması için analiz sonuçlarından elde edilen en kritik kesit tesirleri değerlendirilerek kesit tahkikleri gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, analiz sonuçlarına göre mevcut binalarda her noktada hesaplanan yatay birim deformasyon ve açısal dönme değerleri Boscardin & Cording (1989) tarafından önerilen ve binalar için hasar derecesi veren grafiklere girilerek değerlendirilmiş ve buna göre, tünel kazısı sonrası, tek katlı binaların temel seviyelerinde hesaplanan maksimum düşey deplasman değerleri yaklaşık 0.11 mm ve 0.22 mm, maksimum açısal dönme değerleri ise 0.01×10^{-3} ve 0.03×10^{-3}; 4 katlı binanın temel seviyelerinde

hesaplanan maksimum düşey deplasman değeri yaklaşık 0.21 mm, maksimum açısal dönme değeri ise $0.02x10^{-3}$ mertebelerindedir. Söz konusu deplasman ve açısal dönme sonuçları betonarme yapılar için uygun görülen sonuçların (Bowles, 2002) altında olup, tünel kazısı nedeniyle binalarda oluşması beklenen hasarlar "İhmal Edilebilir Hasar" bölgesinde kalmaktadır. Hesaplanan bu hasar seviyeleri kabul edilebilir limitler içerisinde olup, tünel kazılarının binalarda herhangi bir yapısal problem yaratması beklenmemektedir. Bununla birlikte, kazı sırasında tünelde, yüzeyde ve civar yapılardaki deplasmanları sistemli şekilde kontrol edebilmek için uygun bir çalışma alanı sisteminin kurulması önerilmektedir. Konut ve sanat yapısı geçişlerinin bulunduğu alanlarda, tüneli kazmaya başlamadan evvel, kazı bölgesi civarındaki mevcut konutların (inşaatı devam eden konutlar da dahil olmak üzere) mevcut hali kontrolünün sağlanması ve kazı sırasında devamlı olarak gerçekleştirilecek okumalar sayesinde ilgili konutlara ve tünel destekleme sistemlerine ait yerdeğiştirmelerin kontrol edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi, gereken önlemlerin zaman kaybetmeden alınması uygun olacaktır.

KM 12 + 365 Stabilite Analizleri: Bu kesit tünel kazısının Antalya Traverteni birimi içerisinde gerçekleştirileceği, yeni yapılacak olan aç kapa yapısı ile NATM tünellerinin en yakınlaştığı kesimi modellemektedir. Plaxis analizleri, NATM tünelleri iç kaplama imalatının tamamlanmasının ardından, kılçık hattı aç – kapa kazısı ve kılçık hattı imalatının ardından yüzeyin geri dolgu ile kapatılması aşamalarını kapsamaktadır. Bu kesimde yeraltı suyu seviyesi gözlemlenmemiştir. KM: 12+365 için genel kesit görünümü Şekil 4.13. 'de verilmiştir. Burada, NATM tünelleri üzerinde örtü kalınlığı 22.3 m olup, kılçık hattı enine kesen kesit yönünde iki hat tüneli arasındaki mesafe 20.5 m'dir. Analizlerde, yüzey kotunda hareketli yükü temsilen q=15 kPa ve kılçık hattı yapısı içerisindeki trafik yükünü temsilen q=15 kPa sürşarj yükü tanımlanmıştır.

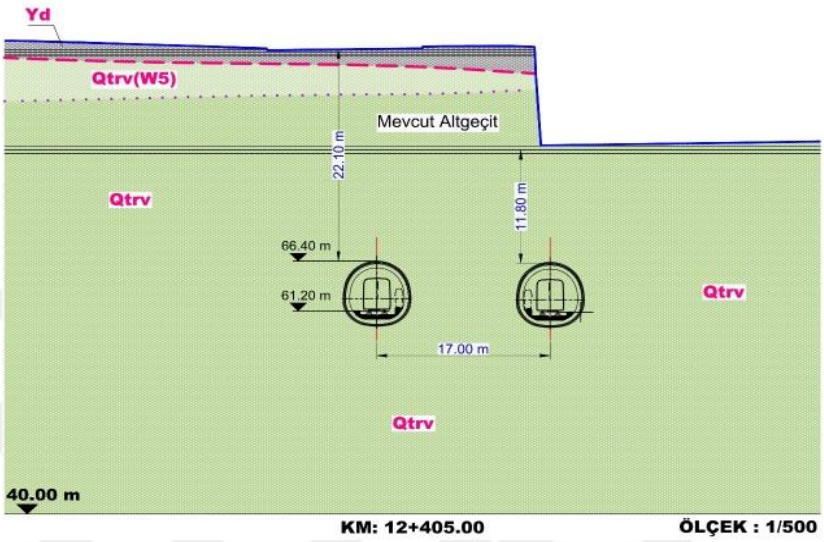


Şekil 4.13. Anahat Tüneli Kesiti: KM 12+365.00 (https://www.yukselproje.com.tr)

Bununla birlikte, kazı sırasında tünelde, yüzeyde ve komşu yapılardaki gelişen aktiviteleri düzenli olarak izlemek için uygun bir çalışma alanı sisteminin kurulması önerilmektedir. Konut ve sanat yapısı geçişlerinin bulunduğu alanlarda, tüneli kazmaya başlamadan evvel, kazı bölgesi civarındaki mevcut konutların (inşaatı devam eden konutlar da dahil olmak üzere) mevcut hali kontrolünün sağlanması ve kazı sırasında devamlı olarak gerçekleştirilecek okumalar sayesinde ilgili konutlara ve tünel destekleme sistemlerine ait yerdeğiştirmelerin kontrol edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi, gereken önlemlerin zaman kaybetmeden alınması uygun olacaktır.

KM 12+405 Stabilite Analizleri: Bu kesit tünel kazısının Antalya Traverteni birimi içerisinde gerçekleştirileceği, mevcut altgeçit yapısı ile NATM tünellerinin en yakınlaştığı (tüneller ile altgeçit arası 11.2 m mesafede) kesimi ve tüneller üzerinde en yüksek örtü yükünün (~ 22.10 m) olduğu durumu modellemektedir. Bu kesimde yeraltı suyu seviyesi gözlemlenmemiştir. KM: 12+405 için genel kesit görünümü Şekil 4.14. ‘de verilmiştir. Burada, NATM tünelleri üzerinde örtü kalınlığı 11.80 – 22.10 m olup, iki hat tüneli arasındaki mesafe 17.0 m’dir. Analizlerde, yüzey kotunda hareketli yükü temsilen q=15 kPa ve altgeçit içerisindeki trafik yükünü temsilen q=15 kPa sürşarj yükü tanımlanmıştır. Buna ek olarak, analiz sonuçlarına göre, tünel kazısı sonrası, mevcut altgeçit yapısının temel seviyelerinde hesaplanan maksimum düşey deplasman

değerleri yaklaşık 0.54 cm, maksimum açısal dönme değeri ise $0.17x10^{-3}$ mertebelerindedir. Söz konusu deplasman ve açısal dönme değerlerinin betonarme yapılarda uygun görülen sonuçların (Bowles, 2002) altındadır. Hesaplanan bu hasar seviyeleri kabul edilebilir limitler içerisinde olup, tünel kazılarının binalarda herhangi bir yapısal problem yaratması beklenmemektedir.



Şekil 4.14. Anahat Tüneli Kesiti (KM 12+405) (https://www. yukselproje.com.tr)

Bununla birlikte, kazı anında tünel içerisinde, yüzeyde ve çevrede bulunan yapılardaki yerdeğişimleri düzenli şekilde izleyebilmek için uygun bir çalışma alanı sisteminin kurulması önerilmektedir. Konut geçişlerinin olduğu yerlerde, tünel kazısına başlamadan evvel, kazı yeri civarında binaların (inşaatı devam eden binalar da dahil olmak üzere) mevcut durumunun incelenmesi ve kazı sırasında düzenli olarak yapılacak okumalar vasıtasıyla ilgili binalara ve tünel destekleme sistemlerine ait yerdeğiştirmelerin düzenli izlenmesi ve sonuçlarının değerlendirilerek, gereken durumlarda ihtiyaç olan önlemlerin zaman kaybı olmadan alınması uygun olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Makyol İnşaat Sanayi Turizm ve Ticaret A.Ş. yüklenimi altında bulunan "Antalya 3. Aşama Raylı Sistem Hatları Yapımı İşi" kapsamında yapımı öngörülen NATM "A" Tipi Tüneller "A2 Özel Tip Kazı Destek Sistemi" ile tasarlanmıştır.

Çalışma kapsamında, Ağustos 2018 tarihli "Otogar Transfer Merkezi Uygulama Projesi Jeolojik – Jeoteknik Araştırma Raporu'nda (MAK–AT3–L00–000–GE–31–101–C0) içerisinde sunulan çalışmalardan faydalanılarak, yapımı öngörülen NATM tüneller ile ilgili jeoteknik çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

1) Söz konusu metro hatlarında zemin görüntüsünü meydana getiren değişik jeomekanik özellikleri olan kaya kütleleri Q ve RMR kaya sınıflamasına bağlı olarak değerlendirilmiş Çizelge 4.3. ve 4.4.) ve tünelin söz konusu kesimlerinde kaya koşulları Çizelge 4.5.' te özetlenen NATM Kaya Sınıflaması (ONORM B 2203) tespit edilmiştir.

2) İnceleme alanında yapılan temel sondajlarında, Antalya travertenine (Qtvr) ait kısım kısım 1 ila 4 metre arasında değişken kalınlıkta karstik boşluklara rastlanılmış olup bunların bir kısmının kil dolgulu olduğu gözlemlenmiştir. Karşılaşılan karstik boşlukların tünelin geçeceği derinliklerin üzerinde olması durumunda deFormasyon ve çökmeyi engellemek; geçirimsizliği sağlamak amacı ile enjeksiyonlu süren imalatı ile doldurulması uygun olacaktır. Bu durumda yapılmasına karar verilen tüm enjeksiyon uygulamalarında önden tespit edilmiş karstik boşlukların hacimleri ile bu boşlukları doldurmak için kullanılan enjeksiyon miktarının, ilgili kalite kontrolleri ile birlikte karşılaştırılması, istenilen geçirimsiz masif yapının oluşturulmasına kanaat edilip tünel imalatlarına başlanması açısından önem arz etmektedir.

3) Tünel geçici ve kalıcı destek sistemi hesapları, sonlu elemanlar yöntemi ile PLAXIS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz kesitleri belirlenirken tünel üzerindeki örtü kalınlıkları, yeraltı suyu seviyeleri, tünellerin açılacağı birimler ve tünel üzerindeki yapılar dikkate alınmış olup, analizler bu tip kesitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. A2 Tip ve A2 Özel Tip Kazı Destek Sistemine ait detaylar şu şekildedir;

A2 Tip Kazı Destek Sistemi

- Püskürtme betonu (d = 20 cm)
- Çelik hasır (2 kat)
- Çelik iksa (M/M 1.00 - 1.50 m aralıklı)
- Harç dolgulu kaya bulonları (L = 3.00~4.00 m)
-1.5",1¼" Enjeksiyonlu/ Enjeksiyonsuz Süren L=3.00~4.00m veya süren çubukları Φ26mm, L=3.00m)
- İlerleme mesafesi → Ayna (1.50 m) → Üst yarı kazısı (Max.10 m)

A2 Özel Tip Kazı Destek Sistemi

- Püskürtme betonu (d = 20 cm)
- Çelik hasır (2 kat)
- Çelik iksa (M/M 0.50 - 1.00 m aralıklı)
- Harç dolgulu kaya bulonları (L = 3.00 ~ 4.00 m)
- 4" enjeksiyon delikli şemsiye boruları, L=6.00 m, 0.30 ~ 0.40 m aralıklı)
- İlerleme uzunluğu → Ayna (0.50 – 1.00 m)
→ Üst yarının kazımı (Max.7.20 m)

4) Tünel kazısı sırasında haritalama yapılarak zemin koşulları kayıt altına alınmalı ve tünel aynasından açılacak yatay sondajlar vasıtasıyla ayna gerisindeki zemin ve yeraltı suyu hakkında bilgi sağlanmalıdır. Tünelde tesis edilecek enstrümantasyon ölçümlerinin sonuçları dikkatle izlenmeli ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak gerektiğinde kazı ve destek sistemleri modifiye edilmelidir.

5) Tünel kazıları sırasında tünel içerisinde, yüzeylerde ve çevredeki yapılarda yerdeğişimleri tertipli şekilde görebilmek için uygun bir çalışma alanı yapılması önerilmektedir. Konut ve sanat yapısı geçişlerinin bulunduğu alanlarda, tüneli kazmaya başlamadan evvel, kazı bölgesi civarındaki mevcut konutların (inşaatı devam eden konutlar da dahil olmak üzere) mevcut hali kontrolünün sağlanması ve kazı sırasında devamlı olarak gerçekleştirilecek okumalar sayesinde ilgili konutlara ve tünel destekleme sistemlerine ait yerdeğiştirmelerin kontrol edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi, gereken önlemlerin zaman kaybetmeden alınması uygun olacaktır. Buna ek olarak, gerekli durumlarda İdare'nin onayı alınarak tünel destekleme sistemlerine ait gerilme ölçümlerinin yapılması da uygun olacaktır.

6. KAYNAKLAR

AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı)., 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritasıhttps://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi. (Erişim tarihi 3.05.2021)

Akay, E., Uysal, Ş., Poisson, A., Cravette, J., Muller. C., 1985. Antalya Neojen havzasının stratigrafisi. Türkiye Jeololji Kurultayı Bülteni, 28, 105-119.

Altınlı, E., 1944. Antalya bölgesinin stratigrafik etüdü. DÜ Fen Fakültesi Mecmuası, Seri: B, 9(3), 227-238.

Ayan, T., 1968. Finike-Kumluca (Antalya) Petrol yeteneği ile ilgili ön rapor. MTA Raporu. No: 4299 (yayımlanmamış), Ankara 67

Aydar, C., Dumont, J. F., 1979. Antalya Travertenlerinde Görülen Dizilimlerden Elde Edilen Landsat Görüntüleri Üzerinde Yapılan Gözlemler: Neotektonil ve Hidrojeoloji arasında olabilecek Bağıntıların Tartışması. MTA Dergisi, 92, 131-135, Ankara

Barton, N., Lien, R., Lunde, I., 1974. Engineering Clasification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, NGI Publication No.106, 53p. Oslo Norway.

Bieniawaski, Z.T. 1993. Classification of rock masses for engineering: The RMR-system and future trends. Comprehensive Rock Engineering, J. A. Hudson ed., vol. 3, pp. 553-573.

Bieniawski, Z.T. 1978.Determining rock mass deformability- experiencesfromcase histories. Int. J. Rock Mech. Min. Sci.&Geomech. Abstr. 15,237-247.

Bieniawski, Z.T., 1974. Geomechanics classification of rock mases and its application intunnelling. Proc. 3rd Cong. Of Int. Society for Rock Mechanics, Denver, Vol. 2,27-32.

Bieniawski, Z.T., 1976. Rock mass classification in rock engineering. Proc. Sym. On Exploration for Rock Engineering, Cape Town, Balkema, 97-106.

Bieniawski, Z.T., 1979. The geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. 4 th Cong. Rock Mechanics, ISRM, Montreux, Vol. 2,4-48.

Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and Sons, 237pp.

Boscardin, M.D., Cording, E.J., 1989. Building Response to Excavation-Induced Settlement. Journal of Geotechnical Engineering, Volume 115 Issue 1. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1989)115:1(1)

Bowles, J. E., 2002. Foundation Analysis & Design, 1230p. England.

Brunn, J.F., Dumont, J., Graciansky, P.C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O., Poisson, A., 1971. Outline of the geology of the western Taurides: Geology and history of Turkey. A.S. Campbell (ed.) Petroleum Exploration Soci. of Libya, 225-255, Tripoli.

Burger, D., 1990. The travertine complex of Antalya, southwest Turkey. Z. Geomorph., 77, 25-46.

Carter, M, Bentley, S.P., 1991. Correlations of soil properties, Pentech Press Limited, Graham Lodge, Graham Road. London NW4 3DG, UK. 130 pp. ISBN: 0-7273-0317-1

Colin, H., 1955. Elmalı 123/3-4, Kaş 140/1-2-3 haritaları ve jeolojik izahnameleri. MTA Raporu. No: 2246 (yayımlanmamış), Ankara.

Darkot, B., Erinç, S., 1951. Aksu Batısında Antalya Traverten Taraçaları. DÜ Coğrafya Enstitüsü Dergisi, 1, 2, 55- 65.

Deere, D. U., 1968. Geological considerations in Rock Mechanics in Engineering Practice (Chp.1). K. G. Stagg and O. C. Zienkiewicz (eds.) Wiley, New York, pp. 1-20.54

Deprem Bölgelerinde Yapılacak. Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY, 2007)

Dipova, N., 2002. Antalya kıyı düzlüklerinin oluşumu ve geoteknik özellikleri. IV. Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 429-442, Antalya

Dipova, N., Yıldırım, M., 2005. Antalya Tufa platolarının oluşumu ve jeomorfolojik özellikleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, cilt 29, sayı 2-2005, sayfa 53-69.

DSİ, 1965. Antalya Boğaçay ovası yeraltısuyu rezerv raporu, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, No:0904/6-Pr, Ankara.

DSİ, 1977. Antalya Boğaçay ovası hidrojeolojik etüt raporu, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, 34s, Ankara

DSİ, 1985. Antalya-Kırkgöz Kaynakları ve Traverten Platosu Karst Hidrojeolojik Etüd Raporu. DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, 131s, Ankara.

Ford, T. D., Pedley, H. M., 1996. A Rewiew of Tufa and Travertines Deposits of the World. Earth Sciences Rewiews, 41, 117-175.

Glover, C., Robertson, A.H.F., 2003. Origin of tufa (cool-water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey. Geological Journal, 38, 329-359

Günay, Y., Bölükbaşı, S., ve Yoldemir, O., 1982. Beydağlarının Stratigrafisi ve Yapısı. Türkiye Altıncı Petrol Kongresi, 91- 101, Ankara.

Hoek, E, Torres, C.C., Corkum, B., 2002. Hoek Brown Failure Criterion, 236p. Canada.

Hoek, E., 1998. Rock Engineering for Tunnels, Technical Course Notes, 163p. Canada.

Hoek, E., Brown, E.T., 1997. Practical Estimates of Rock Mass Strength, İnt.J Rock Mechanic Min. Sci.Vol 34 No.8, 429p. Canada.

Hoek, E., Torres, C.C., Corkum, B., 2002. Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition. Proceedings North American rock mechanics society meeting. Toronto, Canada

Iğdır, I., Gözler, M. Z., Ergül, E., 1972. Fethiye-P23a3 ve P23c1 paftalarının jeolojisi. MTA Raporu, 6526 (yayınlanmamış), 24, Ankara.

İnan, N., 1980. Antalya Travertenleri. MTA Raporu, No: 7175.

İnan, N., 1985. Antalya Travertenleri'nin Olusumu ve Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 24(3), 31-37, Ankara.

Juteau, T., 1968, Commentaire de la carte geologique des ophiolites de la region de Kumluca (Taurus Lycien): cadre structural, modes du gisement et description des principoux facies du cortege ophiolitique. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Bülteni, 70, 70-91.

Juteau, T., I975, Les ophiolites des nappes d' Antalya (Taurides occdentales, Turguie): Petrologie d'un fragment de I 'ancienne croute oceangue tethysience Sci., These, Terre, Nancy, 32, 692p.

Juteau, T., Marcoux, J., 1973. Un example de volcanisme sour. marin au Triyas superieur le strato-volcano du Kara Dere Çalbalı Dağ (Ophiolites des nappes d' Antalya–Taurides occidentales-Turguie). Int. Sym. Uber. Diestra. Der Alpine-Medit. Wien, 238-239. 70

Kalafatçıoğlu, A., 1973. Antalya körfezi batı kısmının jeolojisi. MTA Dergisi, 81, 82-131.

Karayolları Türkiye Teknik Şartnamesi, Karayoları Genel Müdürlüğü, Yayın No: 257, Ankara, 2006, s. 312-325

Koşun, E., Sarıgül, A., Varol, B., 2005. Antalya Tufalarının Litofasıyes Özellikleri. MTA Dergisi, 130, 57-70.

Lefevre, R., 1967. Nouvel element de la geologie du Taurus Lyccien Les nappes d'Antalya (Turquie), C.R.A.S. 263, 1365- 1368.

Marcoux, J., 1977. Geological sections of the Antalya region. (Guvenç, T. and the others -eds.) Western Taurus excursion geological quide book; VI. Cologium on the geology of Aegean Regions, İzmir.

Marcoux, J., 1979. Antalya naplarının genel yapısı ve Tetis güney kenarı paleocoğrafyasındaki yeri. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 22(1), 1-6.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) 2012. https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari (Erişim tarihi: 3.05.2021)

Nossin, J. J., 1989. SPOT stereo interpretation in karst terrain, Southern Turkey. ITC Journal, 2.

ÖNORM B 2203-1., 2001. Austrian Standards Institute, Underground works, Part 1: Cyclic Driving. Works contract, Issue 2001-12-01.

Özçelik, M., 1992. Antalya Yerleşim Merkezi Travertenlerinin Fizikomekanik Özellikleri ve 18L- 19L paftalarının jeoteknik haritası. AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), 74 s.

Özçelik, M., 2015a. Effect of wastewater on building foundation in karst travertine areas in Antalya, Turkey. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 74, 1213–1224 DOI: 10.1007/s10064-014-0695-4

Özçelik, M., 2015b. Foundation investigations and design in a karst terrain for the Antalya Aquarium complex, Turkey. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 48, 204-211. DOI: 10.1144/qjegh2014-044

Özçelik, M., 2020. Examination of uncertainties and risk sources in Dudullu-Bostanci (Istanbul) Metro construction. Arab J Geosci 13, 355. DOI: 10.1007/s12517-020-05400-z

Penck, W., 1918. Die Tektonischen Grundzuge west Eiszeitalter, Leipzig.

Phillipson, A., 1918. Kleinasien, Handbuch der Regionalen Geologie, 2/2. Carl Winters Universita¨tsbuchhandlung: Heidelberg.

Poisson, A., 1977. Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquies). Doktorat d'etat Thése, Université de Paris-Sud Orsay, 795p.

Şenel, M., 1980. Finike-Kumluca-Kemer (Teke Torosları) dolayının jeolojisi, Antalya. MTA Raporu, No:6874 (yayınlanmamıs), 114, Ankara. 72

Şenel, M., 1984. Discussion on the Antalya nappes. In Geology of Taurus belt (edited by O. Tekeli, M.C. Göncüoğlu), Proceedings, 41-51.

Şenel, M., 1986. Tahtalıdağ Antalya ve dolayının jeolojisi. ĐÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 232s.

Şenel, M., 1997. 1: 100 000 ölçekli Antalya – L11 Paftası Jeoloji Haritası. No:8, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara

Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A., Z., Uğuz, M. F., Korucu, M., Özgül, N., 1992. Eğirdir Yenisarbademli- Gebiz ve Geris- Köprülü (Isparta- Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi. MTA- TPAO Raporu, No: 3132 (yayınlanmamıs), Ankara.

Şenel, M., Gedik, Đ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A. Z., Uğuz, M. F., Bölükbaşı, A. S., Korucu, M., Özgül, N., 1996. Isparta Büklümü doğusunda otokton ve allokton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). MTA Dergisi, 118, 111- 160.

Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z. R., Şen, A. M., Karaman, T., Dinçer, M. A., Durukan, E., Arbas, A., Örçen, S., Bilgi, C., 1989. Çameli (Denizli)- Yesilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve dolayının jeolojisi. MTA Raporu, No:9429, 334, Ankara.

Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, Ünverdi, M., Gözler, M. Z., 1981. Teke Torosları Güneybatısı' nın jeolojisi. MTA Dergisi, 95/96, 13-43.

Tolun, N., 1965, 1:25 000 ölçekli Antalya P24 a2 ve a3 paftalarının jeolojik incelenmesi. MTA Raporu. No: 3627 (yayımlanmamış), Ankara.

Zaralıoğlu, M., 1967. Demre-Finike-Çatallar arasında kalan sahanın 1/25.000 ölçekli jeoloji etüdü (Antalya P24a2, a3). MTA Raporu. No: 407 (yayımlanmamış), 27s., Ankara.

https://www. yukselproje.com.tr/ antalya 3. aşama rayli sistem hatlari yapim işi (erişim tarihi: 27.09.2020)