



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ANTALYA-BURDUR DEMİRYOLU T12 TÜNELİNİN JEOLJİK VE
JEOTEKNİK İNCELENMESİ

ECE ESER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ARALIK-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ece ESER tarafından hazırlanmış olan “Burdur-Antalya Demiryolu Boyunca Açılan T-11 Tünelinin Mühendislik Jeolojisi İncelemesi” adlı yüksek lisans tez çalışması 22/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

Danışman

Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Didem YASİN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Ece ESER

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ANTALYA-BURDUR DEMİRYOLU T12 TÜNELİNİN JEOLojİK VE
JEOTEKNİK İNCELENMESİ

ECE ESER

Konya Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

2021, 127 sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

Dr. Öğr. Üyesi Didem YASİN

Bu araştırmada Burdur – Antalya Demiryolu Projesi kapsamında yüksek hızlı tren hattı için açılması planlanan 2045 m uzunluğundaki T11 tünelinin ve tünel güzergâhının mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Tüneller, kaya kütlelerinin belirli oranlarla ve yöntemler ile silindirik yapı biçiminde açılan boyu eninden fazla olan, yeraltı yapılarıdır. Tünel açma yöntemlerinden biri de Yeni Avusturya Yöntemi (NATM)' dir. Bu yöntemin birincil ve fazlaca öneme sahip olan ilkesi; kayanın dayanımını koruyarak kayanın harekete geçmemesini sağlamak ve tüneli çevreleyen kaya için kendisini destekleyen bir halka yapısı oluşturmaktır. Bu yöntem hem emniyetli olması açısından hem de tünelin daha ekonomik bir şekilde açılmasına olanak verir. Bu çalışmada; tünel girişinde açılan LSK-501, TSK-18, TSK-19 sondajı ve arazide ölçülen süreksizlik verileri kullanılmıştır. Yapılan sondajların kaya ve zemin laboratuvar sonuçları analiz edilmiştir. Tünelin girişi için toplam 5 adet süreksizlik ölçümü yapıp bu ölçümler Dips5.0 programında veri üretiminde kullanılmıştır. Bu verilere göre, tünelin kireçtaşı birimi içinde açılması koşulunda duraylı ya da duraysız olacağı analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucu duraysızlık beklenmediği ortaya çıkmıştır. Tünel girişine ait kaya kütlesi değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu çalışmada kaya kütlesi değerlendirmelerinde sadece RMR hesabı yapılmıştır. RMR hesabı için LSK-501 sondaj verileri kullanılarak tek eksenli basınç dayanım değeri ve ortalama nokta yükü dayanımı hesaplanmıştır. Kaya kütle değeri Bieniawski (1989) kaya kütlesi sınıflandırmasına göre zayıf kaya çıkmıştır. Beydağları Formasyonu Kireçtaşı birimine Ait RMR değeri 35 (Zayıf Kaya) olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Burdur – Antalya Demiryolu Projesi, Dips5.0, Tünel Açma Yöntemleri, Yeni Avusturya Yöntemi

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF ANTALYA-BURDUR RAILWAY T12 TUNNEL

Ece ESER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geological Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

2021, 127 Pages

Jury

Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

Dr. Öğr. Üyesi Didem YASİN

Tunnels are underground structures constructed by cylindrical boring of the rock masses with certain proportions and methods. One of these methods is the New Austrian Tunnelling Method (NATM). The first and most important principle of this method is to preserve the strength of the rock mass and form a supporting circle in the surrounding rock mass around the tunnel. This method enables the construction of the tunnel to be both safe and economical. This paper aims to analyse geological and geotechnical properties of the 2045-meter span T-11 tunnel that is planned to be constructed within the scope of Burdur-Antalya high-speed railway project. In this study; the data from borings LSK-501, TSK-18, TSK-19 and discontinuity measurements were used. The laboratory results of these borings were also analysed. In total of five on-site discontinuity measurements were used in Dips v5.0 to generate the required data. The acquired data was used to analyse whether the limestone will be stable or unstable in the case of tunnel boring. The results of the analyses suggest that unstabilities are not expected. Evaluation of rock masses regarding the tunnel entrance was executed. In this study, the rock masses were evaluated with only Rock Mass Rating (RMR) calculation. In order to compute RMR values, LSK-501 boring data were used to calculate the uniaxial compressive strength and average point load strength. The limestone unit of Beydaglari Formation had an RMR value of 35 and was classified as a poor rock.

Key words: Burdur-Antalya Railway Project, Dips5.0 New Austrian Tunnelling Method, Tunnelling Methods,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Burdur – Antalya Demiryolu Projesi kapsamında yüksek hızlı tren hattı için açılması planlanan 2045 m uzunluğundaki T11 tünelinin ve tünel güzergâhının NATM tünel açma yöntemi kullanılarak mühendislik jeolojisi incelenmiştir. Bu yöntem sonucun diğer yöntemlere göre daha hızlı ve göreceli olarak gerçek değerlerde bulunmasına olanak sunmaktadır. Yapılan bu çalışma tünelin mevcut olduğu zeminde dayanıklı ve güvenli olarak bir demiryolu hattının yapılıp yapılamayacağını kararlaştırılmasını sağlamaktadır. Yapılacak olan demiryolu hattı Burdur-Antalya bölgesinde ikametgah eden insanların daha kısa ve kolay olarak ulaşım sağlayabilecekleri düşünülmektedir.

Yüksek Lisans Tezi'min hazırlanması boyunca bana değerli vaktini ayıran ve hiçbir desteğini benden esirgemeyen kıymetli hocam Sn Prof.Dr. Ali Rıza Söğüt' e en içten teşekkürlerimi sunarım. Her anımda yanımda olup, sabır ve içtenlikle maddi, manevi her şekilde destekleyen, sevgili annem Derya Eser, babam Yalçın Eser, gülüşü ile bana mutluluk veren yeğenim Asaf Eser'e çalışmam sırasında gösterdiği anlayış ve yardımları için nişanlım Yüksek İnşaat Mühendisi Kemal Emin Birinci'ye ve Proyayı Mühendislik Müşavirlik A.Ş. - Era Mühendislik Hizmetleri A.Ş koordinatörü Mehmet Ali Özbudak ve proje ekibine teşekkür etmeyi borç bilirim.

Ece ESER

KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
ÖNSÖZ	VI
İÇİNDEKİLER	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI.....	1
1.2. ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE ÖZELLİKLERİ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. TÜNEL BÖLGESİ JEOLJİSİ	8
3.1.1. <i>Beydağları formasyonu</i>	11
3.1.2. <i>Yapısal jeoloji ve tektonik</i>	12
3.1.3. <i>Depremsellik</i>	15
3.1.4. <i>Hidrojeoloji</i>	18
3.2. YENİ AVUSTURYA TÜNEL AÇMA METODU (NATM)	19
3.2.1. <i>Tünel açmada Yeni Avusturya yönteminin temel prensipleri</i>	20
3.2.2. <i>Tünel açmada Yeni Avusturya yönteminin avantajları ve dezavantajları</i> :	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	32
4.1. JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	32
4.1.1. <i>Sondaj çalışmaları</i>	34
4.1.2. <i>Laboratuvar çalışmaları</i>	34
4.1.3. <i>Jeofizik çalışmaları</i>	37
4.1.4. <i>Süreksizlik değerlendirmeleri</i>	44
4.2. TÜNEL GİRİŞ VE ÇIKIŞ PORTAL KESİMLERİ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ DEĞERLENDİRMELERİ.....	51
4.2.1. <i>Tünel Giriş Portaline Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi</i>	52
4.2.1.1. <i>Tünel Giriş Portaline Ait Kaya Kütleli Değerlendirmeleri</i>	52
4.2.1.2. <i>Tünel Giriş Portaline Ait Kinematik Analizleri</i>	63
4.2.2. <i>Tünel Çıkış Portaline Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi</i>	84
4.2.2.1. <i>Tünel Çıkış Portaline Ait Kaya Kütleli Değerlendirmeleri</i>	84
4.2.2.2. <i>Tünel Çıkış Portaline Ait Kinematik Analizleri</i>	94
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
5.1. SONUÇLAR	111
5.2. ÖNERİLER.....	113
6. KAYNAKLAR	114
7. ÖZGEÇMİŞ	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

c: kohezyon

km: kilometre

m: metre

Mpa : megapascal

Φ : sürtünme açısı

Kısaltmalar

1D: Bir düşey şev

3Y: Üç yatay şev

B: Batı

DES: Düşey elektrik sondajı

Ei: Elastisite indisi

Ert: Çok elektronlu özdirenç

G: Güney

GB: Güneybatı

GSI: Jeolojik güç endeksi

Is (50) : ortalama nokta yükü dayanımı

K: Kuzey

K-G: Kuzey-Güney

KB: Kuzeybatı

Kçt: Kireçtaşı birimi

KD: Kuzeydoğu

LSK: Litoloji için açılan sondaj kuyusu

NATM: Yeni Avusturya tünel metodu

R: Refü

RMi: Kaya kütle endeksi

RMR: Kaya kütle oranı

RQD: Kaya kütle kalitesi

SPT: Standart penetrasyon deneyi

T-11: 11.Tünel

TBM: Tünel açma makinası

TEBD : Tek eksenli basınç dayanımı

TKS: Tünel için açılan sondaj kuyusu

Vp: P- sismik dalga hızı

Vs: S-sismik dalga hızı

Y: Yatay Şev

Q: Jeomekanik sınıflandırma



1. GİRİŞ

Tüneller, ulaşım için elverişli yapılarla arasında doğal engeller ve tehlikeler bulunan, iki adet yerleşim bölgesinin kesinti olmaksızın birbirlerine bağlantısını gerçekleştiren yeraltı mühendislik yapılarından biridir. Dağlık araziler, engebeler, nehirler ve denizler gibi yeryüzünde bulunan doğal engellerin, iklim şartlarından dolayı etkilenmeyecek şekilde izin verilen güvenli ve elverişli ulaştırma sistemleriyle aşılması tüneller ile sağlanmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu yüksek lisans tez çalışmasında; Burdur – Antalya Demiryolu Projesi yüksek hızlı tren için tünel açılması planlanan 2045 m uzunluğundaki T11 tünelinin ve tünel güzergâhının mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılması planlanan demiryolu inşaatı projesi ve açılacak olan tünel, bölgeye ulaşımı kolaylaştırarak ticari ve turistik etkinliğinin artmasına olanak sağlayacaktır. Açılacak tünel ile Antalya-Burdur arasında seyahat süresinin minimum seviyeye düşürülmesi planlanmaktadır. Bunun sonucunda da ekonomik büyümeye ciddi bir katma değer sağlayacağı öngörülmektedir.

Bu teze konu olan T11 tüneli Burdur-Antalya demiryolu hattında açılması tasarlanan çok sayıdaki tünellerden birini oluşturmaktadır. Burdur-Antalya arasında açılması planlanan tez konusu olan tünel ilgili olarak yapılacak çalışmalarla tünel güzergâhında yer alan kayaçların mühendislik özellikleri incelenerek elde edilen parametreler çerçevesinde demir yolunun en kısa ve en güvenilir bir güzergâhtan geçmesi yönünde önerilerde bulunulacaktır.

1.2. Çalışma Alanının Yeri ve Özellikleri

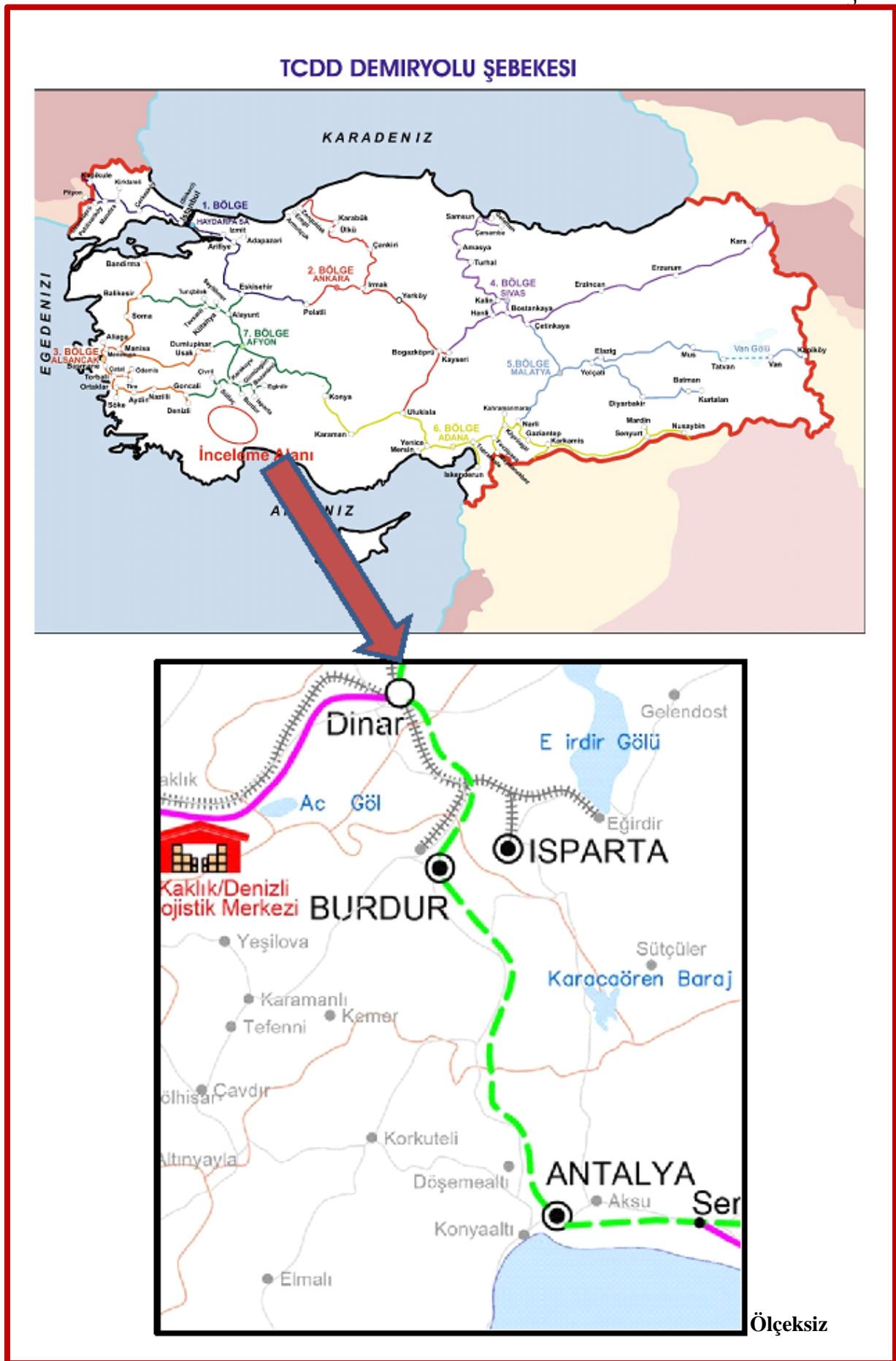
Demiryolu projesi, Burdur-Antalya Hızlı Demiryolu hattını içermektedir. Söz konusu proje Burdur-Antalya karayolunun 189+500-280+254.85 km'ler arasında yapılması planlanan 22 tünel güzergâhını kapsamaktadır. Tünellerin, Burdur-Antalya karayolu üzerinde Boğazköy, Karot ve Karaveliler yerleşim yerleri arasındaki alandan geçirilmesi planlanmaktadır. Bu tez çalışmasında 16 adet sondaj yapılması

planlanmaktadır. Sondaj çalışmaları ve alınan örnekler üzerinde yapılan deneylerle kayaçların özellikleri saptandıktan sonra tünelin geçiş yeri kesin olarak belirlenmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Burdur-Antalya demiryolu projesi T-11 tüneli google earth görüntüsü

Çalışma alanı, yapılan arazi çalışmaları sonucunda sadece Beydağları formasyonu içinde bulunmaktadır. Yapılacak olan demiryolu hattı Isparta- Burdur- Antalya güzergahını kapsamaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Çalışma sahasının Türkiye’deki yeri

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tünel güzergahının (T11 tüneli) bulunduğu bölgede çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bunlar Parejas (1942), Altınlı (1944), Dumont (1974), Dumont ve Kerey (1975), Poisson (1977), Erakman vd. (1982), (Yalçınkaya vd., 1986), Mutlutürk (2002), (Muttutürk vd., 2003), Koçkar ve Akgün (2003), Coşar (2004), Mutlutürk vd. (2008), şeklinde sıralanabilir.

Parejas (1942), tarafından, Sandıklı-Dinar-Burdur-İsparta-Eğirdir bölgelerinde yapılan çalışmalarda yörenin 1/100.000 ölçekli jeolojik haritası çıkarılmıştır. Bölgede Paleozoyik, Mesozoyik, Tersiyer ve Neojen yaşlı birimlerin varlığı ortaya konmuştur. Çalışılan bölgenin; kıvrım hattı olan Alpin jeosenklinealinin, Toridler çukurunun kuzey tarafındaki sahilde (Sandıklı-Başören-Çay) yer alabileceğinden söz edilmiştir.

Altınlı (1944) tarafından, bölgenin ve 1/100.000 ölçekli jeolojik haritalanma yapılmıştır. Yazar, Antalya-İsparta-Burdur bölgeleri için yapmış olduğu çalışmalarda; bazı fasiyeslerin benzerlikleri açısından stratigrafik litolojilerin ayrılmasındaki güçlükleri belirtmiştir. Jura yaşlı kumtaşı, radyolarit, silisli şist ve kuvarsit topluluğundan meydana gelen “flişimsi serinin” üzerine Senomaniyeni işaret eden *Pironaea (Rudist)* ve *Actaeonella* içeren kireçtaşlarının geldiğini, bunları da uyumsuz örten Eosen’in varlığından söz etmiştir.

Dumont (1976), Isparta büklümünün batı ve doğu uzanımları arasındaki yapısal birimleri ile batı Toroslardaki bilinen yapısal birimler arasındaki benzerlikleri inceleyen araştırmacı, Geç Kretase, yaşlı uzanımları kuzeybatı-güneydoğu olan hattın güneyindeki Bey Dağları ve Amanos Dağları büklümünün orta kısmında yer alan otokton ile Beyşehir-Hoyran-Hadim napı ünitelerinin kuzeyden tek bir nap sütunu olarak gelmiş olmasının ve bunların da doğu batı doğrultusunda aralanmış olması gerekeceğini savunmuştur.

Dumont ve Kerey (1975), Orta ve Batı Toroslar arasındaki alanda kalan bölgenin jeolojik özelliklerini ve davranışlarını ortaya çıkarma hedefi güden bu araştırmada, bölgedeki farklı havzalarda olduğu düşünülen kayaların farklı litolojilere sahip olduğunu belirtmiştir. Bu litolojilerin sırayla Karacahisar Birliği, Ofiyolit Birliği ve Dulup Birliği olduğu bildirilmiştir. Karacahisar Birliğinin;

kireçtaşları ve şistler ile başladığı; Bahçeevleri Formasyonunun Mezosoyik yaşlı üst formasyon olduğu, Hacıilyas, Kasımlar formasyonları ile Menteşe Dolomiti, Alakilise Kireçtaşı ve Eşekini Kireçtaşının olduğu savunulmuştur. Bu formasyonların üzerine allokton Ofiyolit Birliğin ve Dulup Birliğinin geldiği belirtilmiştir.

Poisson (1977), Batı Torosların jeolojisi ile ilgili yaptığı çalışmada bölgede üç ana yapı ayırt etmiş ve bunları; Triyas-Pliyosen zaman aralığındaki kayaçları içeren Beydağları Otokton birimi, Maastrichtiyen-Doniyen'de yerleşmiş olan Antalya Napları ve Langiyen'de yerleşmiş Lisiyen Napları olarak belirtmiştir. Antalya Naplarını alttan üste doğru; Peridotit Napları, Kocadağ Masifi, Kargı, Ispartaçay ve Çataltepe Ünitesi olarak adlandıran araştırmacı Likya (Lisiyen) Naplarını ise alttan üste doğru; Lütesiyen-Oligosen yaşlı Yavuz Ünitesi, Triyas yaşlı Domuzdağ Ünitesi, Geç Triyas-Geç Kretase yaşlı Gülbahar Ünitesi ve Erken Liyas-Geç Kretase yaşlı Gümüşlü Ünitesi olarak ayırtlamıştır. Lisiyen Naplarını Ağlasun-Burdur civarında dört formasyona ayıran araştırmacı, bunları alttan üste doğru; Triyas yaşlı Tokattepe kalkerler, Maastrichtiyen yaşlı Karcılar olistostromu, Kretase yaşlı Marmara kalkerleri ve Erken-Orta Eosen yaşlı Taşkapı formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Erakman vd. (1982), Antalya, Muğla ve Burdur civarlarında yaptıkları çalışmada otokton birlikleri, KB ve GD'dan sınırlayan allokton grupların (Elmalı ve Antalya napları) ana bindirme sınırlarını, kısacası tektonik ilişkileri çalışmışlardır. Çalışma sonucunda otokton kütleinin Elmalı (Lisiyen) naplarının altında K-KB'ya doğru devam ettiğini tesbit etmişlerdir. Bu gözlemlerin en önemlisi sürüklenme cephesinden yaklaşık 75 km geride napların altından çıkan Göcek-Dalaman tektonik penceresi olduğu ortaya konmuştur. Çalışmada, Elmalı naplarının altında bulunan Beydağı otokton kütleinin tipik özelliklerini koruyarak nereye kadar gittiğini tespit etmeyi amaçlamışlardır.

Yalçınkaya vd. (1986) tarafından, Batı Torosların jeolojik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada, yöredeki formasyonlar allokton ve otokton birimler olarak tanımlanmışlardır. Çalışma alanında yüzeyleyen ve Isparta kıvrımını da içeren formasyonlar arasındaki stratigrafik ve yapısal ilişkiler irdelenerek, farklı zamanlarda bölgedeki allokton birimlerinin yayılımları haritalanmıştır. Araştırmacılar tarafından, Antalya napları olarak ta bilinen allokton birimlerin

platformda yer yer çökelmiş olan rift çökelleri ve otokton birimler olduğu, bunların da platform çökelleri ile yanal ve düşey geçişli yapı sunduğu savunulmuştur. Allohton olarak varsayılan birimlerin ofiyolitlerle birlikte İzmir - Ankara zonundan kaynaklandığı, Geç Kretase – Paleosen zaman aralığında Menderes Masifi güneyine, Geç Paleosen - Erken Eosen zaman aralığında da Anadolu - Torid Platformu güneyine yerleştiği vurgulanmıştır.

Mutlutürk (2002), Isparta Ovasında yapmış olduğu zemin etdüleri sonucunda kohezyonsuz zeminler için uyguladıkları SPT deneyinde kumların tane boyutunun önemsendiğini, ancak kum tanelerinin kaynağının ve oluşum ortamları ile ilgili bir özelliğinin önemsenmediğini vurgulamıştır. Araştırmada, kumların tane boyu, sertliği, yoğunluğu, kökeni ve oluşum ortamının da temel zemininin davranışında önemli etkileri olduğu belirtilmiştir. Mutlutürk (2002); jeolojik kökenin ve çökeltme ortamları farklı olan kumlu zeminlerin jeo-mühendislik davranışlarındaki farklılığın oluşması halinde bu farkın SPT'deki darbe sayısı ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkiye de yansımalarının gerektiğini iddia etmiştir. Araştırmacı çalışmalarında, Isparta'daki volkanik zeminlerden elde ettiği verilerle "içsel sürtünme açısı - SPT darbe sayısı" grafiğini çizmiştir. Bu grafiği de Terzaghi ve Peck (1948) tarafından önerilmiş olan grafik ile karşılaştırarak iki eğri arasındaki belirgin farklılıkların olduğunu belirtmiştir.

Mutlutürk vd. (2003), Isparta Ovası'nda açılan 50'den fazla sondajlardan elde edilen karotlardan ve temel kazıları olarak yaptıkları gözlemlerden, önceki çalışmalarda tümüyle alüvyon olarak değerlendirilen zeminlerin aslında az tutturulmuş volkanik zeminler olduğu ve alüvyon kalınlığının da 2- 4 m arasında değiştiği belirtilmiştir. Araştırmacılar bunun yanında, önceden yapılmış olan çalışmalarda Isparta Ovası'nda yer alan onlarca metre kalınlığındaki volkanoklastik çökellerin de alüvyon olarak haritalandığını belirtmişlerdir. Mutlutürk vd. (2003) yaptıkları mikroskobik incelemelere dayanarak, volkanik zeminlerin farklı mineraller ve volkanik kayaç parçacıklarının volkanik camdan oluşmuş olan kül bir matiks ile tutturulduğunu savunmaktadırlar.

Koçkar ve Akgün (2004), Ilıksu Tünellerinin Jeoteknik Değerlendirilmesi için yapılan çalışmada, rekristalize kireçtaşı, karbonatlı şist, pelitik şist ve grafit şistler gözlenmiştir. Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Ilısu-1 (529 m) ve Ilısu-2 (165 m)

tünellerinde RocLab programı ile yüksek kalite, düşük kalite ve çok düşük kaliteli kaya kütlelerinin jeomekanik özellikleri belirlenmiştir. Q-system, Rock Mass Rating (RMR) metodu ve TBM 'ye göre tünel zemin destek tipleri ve kategorileri giriş portalı için B1-B2 ve çıkış portalı için B3 olarak belirlenmiştir. RMR, Q system ve TBM 'ye göre ampirik geçici destek sistemleri (kaya bulunu, püskürtme beton, tel örgü ve çelik setler) önerilmiştir. Bu araştırmaya dayanarak, Q-sistemi, RMR ve NATM kaya sınıflandırma sistemleri, tünel zemininin kaya kalitesi sonuçlarını net bir şekilde vermiştir. Dolayısıyla yukarıdaki yöntemler, güvenilir destek sistemlerini belirlemek için bu araştırmada yapılan sınıflandırmalar bu yüksek lisans tez çalışmasında da kullanılacaktır.

Coşar (2004), tünel çalışmaları için RMR, M-RMR, Q, GSI ve TBM kaya sınıflandırılmaları yaparak buna göre kazı ve destek tipleri (Püskürtme beton ve kaya cıvataları) önermiştir. Ağırlıklı olarak tünel portalları üzerinde yoğun bir çalışma yapılmış ancak tünelin orta kesimlerinde yoğun bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle kazı amacı için sınırlı bilgi vardır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında ise tünel yolunun tamamını kapsayacak bir çalışma yapılacaktır. Araştırmacılar, Kaya Kütle Oranı (RMR), Jeomekanik Sınıflandırma (Q) sistemi, Jeolojik Güç Endeksi (GSI), Kaya Kütle Endeksi (RMi) ve TBM tüneldeki kaya birimlerinin kaya kütle özelliklerini belirlemişlerdir. Araştırmacı, kayaç karakteristiklerini belirlemek amacıyla laboratuvar ve saha verilerini sınıflama sistemlerinde (RMR, Q sistemi) kullanmıştır. Yapacağımız araştırmada daha iyi sonuçlar elde edebilmemiz için üç ana kaya sınıflandırma sistemi (Q-sistemi, TBM ve RMR) kullanmayı planlıyoruz. Tünel zeminlerinin kaya kütle sınıflaması, RMR yöntemi, Q sistemi, TBM ve Jeolojik Geç Endeksi (GSI) sınıflaması kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Akgün ve ark., 2013).

Mutlutürk vd. (2008), Isparta şehir merkezindeki Hızırbey Mahallesi'nde bulunan bir inşaatın temel çukurundaki volkanik kayalardan oluşan zemininden bir tane örselenmemiş numune alarak volkanik zeminde oluşan çökmenin gelişimini incelemişlerdir. Araştırmacılar tarafından, çökme potansiyeliyle birlikte, zeminin su içeriği, doğal birim hacim ağırlığı ve tane boyu dağılımı gibi bir takım fiziksel özellikleri de belirlenmiştir. Mutlutürk vd. (2008) tarafından, volkanik zeminden ayrıca üç tane de örselenmemiş örnek alınarak odometre deneyi için hazırlanmıştır. Çift odometre ile çökme deneyleri yapılarak zeminin çökme potansiyelin değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, İsmailov (1997) tarafından önerilen çökme

potansiyelinin sınıflandırılması abağını kullanarak volkanik kökenli zeminin “zayıf çöken zemin” gurubuna girdiğini ve kritik çökme basıncının da 80 kPa olduğunu haesaplamışlardır. Ayrıca araştırmacılar tarafından, Isparta’daki volkanik kökenli zeminlerin fiziksel özellikler bakımından yüksek bir çökme potansiyeline sahip olan löslere benzerlik gösterdiğini ve Isparta’da başlıca temel zemini olan bu volkanik çökellerin daha fazla sayıda örnek alınarak deneyler yapılması halinde içyapılarında oluşabilecek çökmenin araştırılması açısından önemli olacağı vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

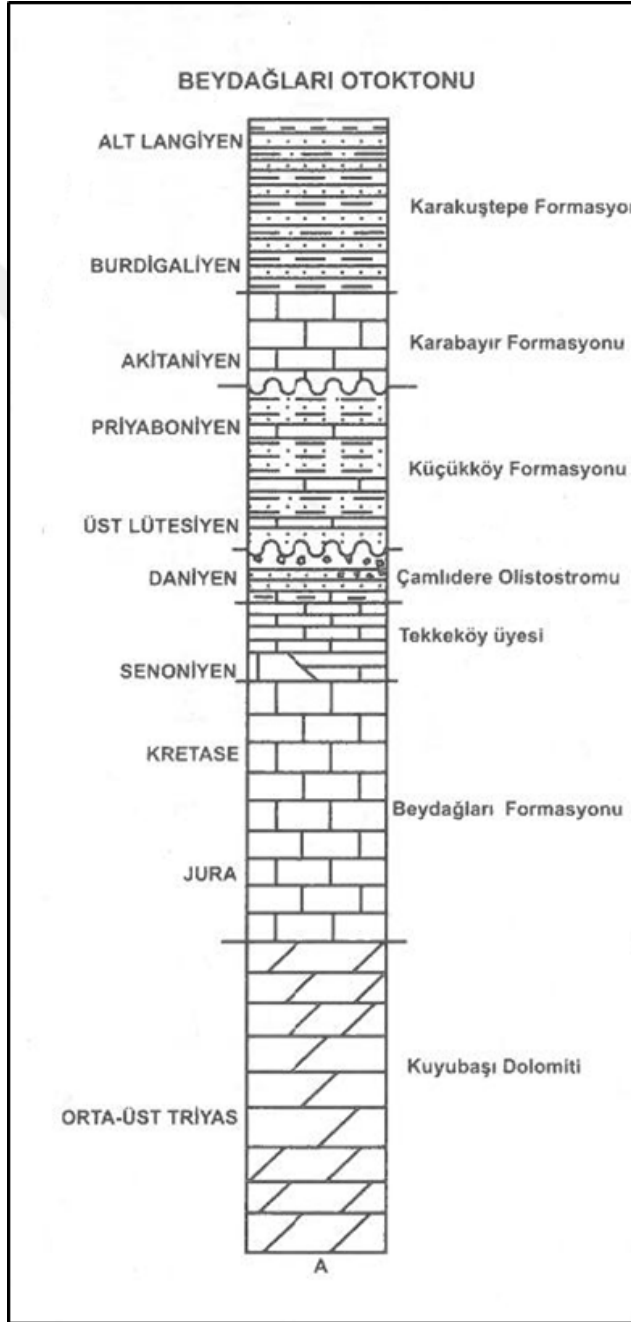
3.1. Tünel Bölgesi Jeolojisi

Tez çalışması kapsamında çalışma alanı olan Isparta Bölgesi’nde Beydağları otoktonu, doğu ve güney kesiminde Antalya napları, kuzeybatıda ise Yeşilbayrak napı ve Likya napları yer alır. Tünelin bulunduğu bölge, yapılan arazi çalışmaları sonucunda tek bir formasyonu kapsamaktadır (Şekil 3.1). Liyas-Geç Kretase yaşındaki neritik kireçtaşlarından oluşan istif, Günay ve diğ. (1982) tarafından Beydağları Formasyonu olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanını kapsayan yapısal irimlerin dağılımı (Günay ve diğ. 1982)

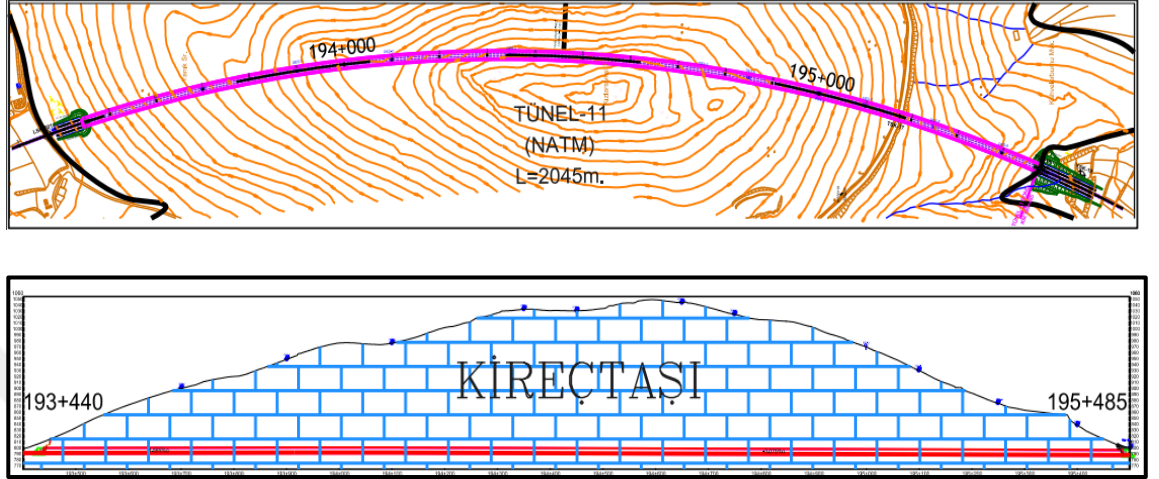
Beydağları Otoktonu: Genelde platrom tipi çökelleri kapsayan Batı Toroslar da bulunan otokton kaya birimidir. Beydağları Otokton istifi altan üste doğru Orta-Üst Triyas, Jura, Kretase, Senoniyen, Daniyen, Üst Lütseyen, Priyaboniyen istiflerinden oluşur (Şekil 3.2). Çalışma kapsamında tünel güzzerhanında sadece Beydağları formasyonu yüzeylemekte olup burada da sadece ona değinilmiştir.



Şekil 3.2. Beylardağı Otoktonunun Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (MTA, 2010)

3.1.1. Beydağları formasyonu

Isparta bükümünün batı kanadını oluşturan Jura-Kretase yaşlı kayaç birimleri Beydağları platformunu oluşturmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Beydağları formasyonu en kesit gösterimi

Çalışma alanında Beydağları formasyonunun Üst Kretase yaşlı karbonatları yüzeylenir. Formasyonun üst bölgesinde görülen *Globotruncana*'lı mikritler, bazen Tekkeköy üyesi olarak ayırtlanmıştır. Formasyon orta-kalın tabakaya sahip, aşınma yüzeyinin rengi gri, açık gri renklerde, kırılma yüzeyinin ise bej, krem, açık gri, kahve olan, içerisinde yer yer rastlanan rudist yama resifleri bulunan kireçtaşlarından oluşur. Yer yer dolomit ve dolomitik kireçtaşı seviyeleri içeren bu karbonatlar sıkı,sert çatlaklar biçimindedir. Çatlakların dolgu malzemesi ise duru kalsittir (Şekil 3.3). Bazı geniş çatlaklarda aragonit oluşumu söz konusudur. Yersel erime boşluklu olup, karstlaşma yaygın olarak görülür. Üzerinde birçok dolin ve düden gelişmiştir. Beydağları formasyonu mikro fauna bakımından zengin sayılır. Bazı düzeyleri bol miliolidli olup, yer yer gastropod, lamelli, mercan, alg vb. makro fosil izlerini kapsamaktadır. Çalışma alanının doğusundaki Beydağları formasyonunun üst kısmında geç Senoniyen yaşlı *Globotruncana*'lı mikritler de bulunmaktadır. Şenel ve diğ. (1989) tarafından Tekkeköy üyesi olarak isimlendirilmiş olup bu tez çalışması kapsamında çalışılan alanda bu üye gözlenmemektedir.

Beydağları Formasyonu, çalışma alanı içerisinde Jura-Kretase yaşlı neritik kireçtaşlarında oluşur. (Günay vd 1982). Beydağları Formasyonunun Geç Kretase yaşlı kayaçları orta-kalın katmanlı aşınma yüzeyi rengi gri, koyu gri, kırılma yüzeyi rengi bej, krem, kirli beyaz, açık kahveli kireçtaşlarıdır (Şenel, 1997). Beydağları Formasyonu doğuda Burdigaliyen yaşlı Sinekçi Formasyonu, batıda ise geç Paleosen-Eosen yaşlı Dişitaştepe Formasyonu tarafından uyumsuzlukla üzerlenmektedir. Formasyonun kalınlığı (Şenel, 1997) tarafından 500 metre olarak verilmiş olup, aynı çalışmada formasyonun yaşının Geç Kretase olduğu belirtilmiştir.

3.1.2. Yapısal jeoloji ve tektonik

Isparta ili, Batı Anadolu ve onun devamını oluşturan Ege Denizi, günümüzde başlıca KG ve GBKD yönlü çekme tektoniğinin etkisinde kalmaktadır. Bu genişleme düzeninin kontrolünde gelişen DB, KD ve KB yönlü faylar güncel olarak Batı Anadolu'nun depremsellik bakımından en aktif fay sistemini oluşturmaktadır (Koçyiğit, 1984, Koçyiğit vd, 2000).

Burdur Gölünün sahip olmuş olduğu fay düzenekleri KD-GB (kuzeydoğu- güneybatı) , KB-GD (kuzeybatı- güneydoğu) ve K-G (kuzey-güney) uzanımlı olarak 3 farklı koşulda incelenebilir. T-11 tüneline 2 fay sistemi etkilemektedir. Bu faylar KD-GB ve KB-GD uzanımlı normal fay türündedir (Çizelge 3.1).

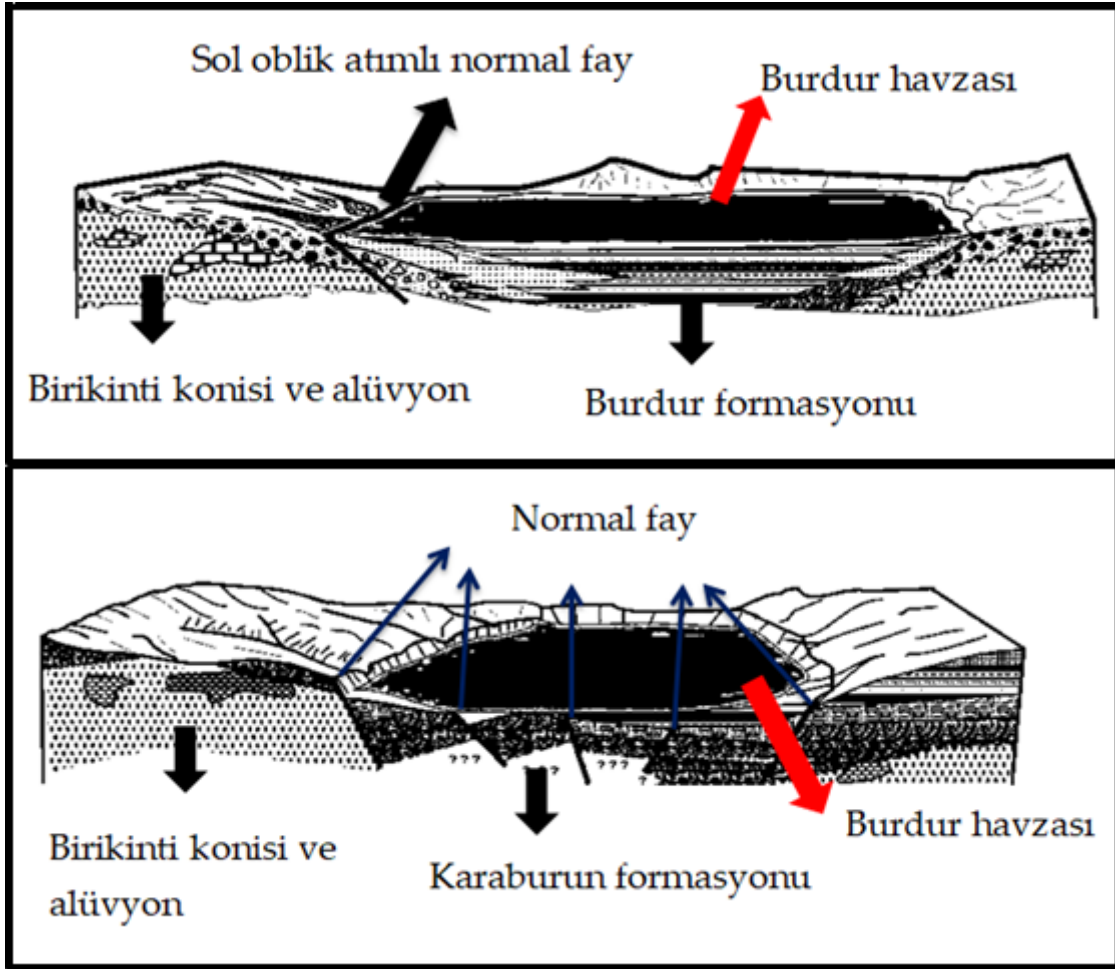
Çizelge 3.1. T-11 tüneline fay sistemi

FAY SİSTEMLERİNİN UZANIM YÖNÜ	FAYIN TÜRÜ
KD-GB	SOL OBLİK ATIMLI NORMAL FAY
KB-GD	NORMAL FAY

KD-GB uzanımlı fay sistemi Burdur Gölü'nü hem kuzeyden hem de güneyden sınırlamaktadır. Acıgöl ve Burdur gölleri arasındaki bölgenin sismotektonik özellikleri sonucunda fayın litolojik karakterleri belirlenmiştir. Kuzey ve güney yönünden KD uzanımlı faylar sol oblik atımlı normal fay

karakterindedir. Fay, litolojik olarak içerisinde Plio-Kuvarterner karasal tortularını ve Erken Miyosen deniz tortularını bulundurmaktadır.

Burdur Gölü havzasının Pliyosen-Miyosen zamanındaki morfolojik ve tektonik evrimi Atalay (1977) tarafından incelenmiştir. Acıgöl ve Burdur gölleri arasındaki bölgenin sismotektonik özelliklerinden yararlanılarak incelenen çalışmalar sonucundan esinlenilerek aşağıdaki şekillerde jeolojik zamanlara göre tektonik gelişimi gösterilmiştir (Şekil 3.4).



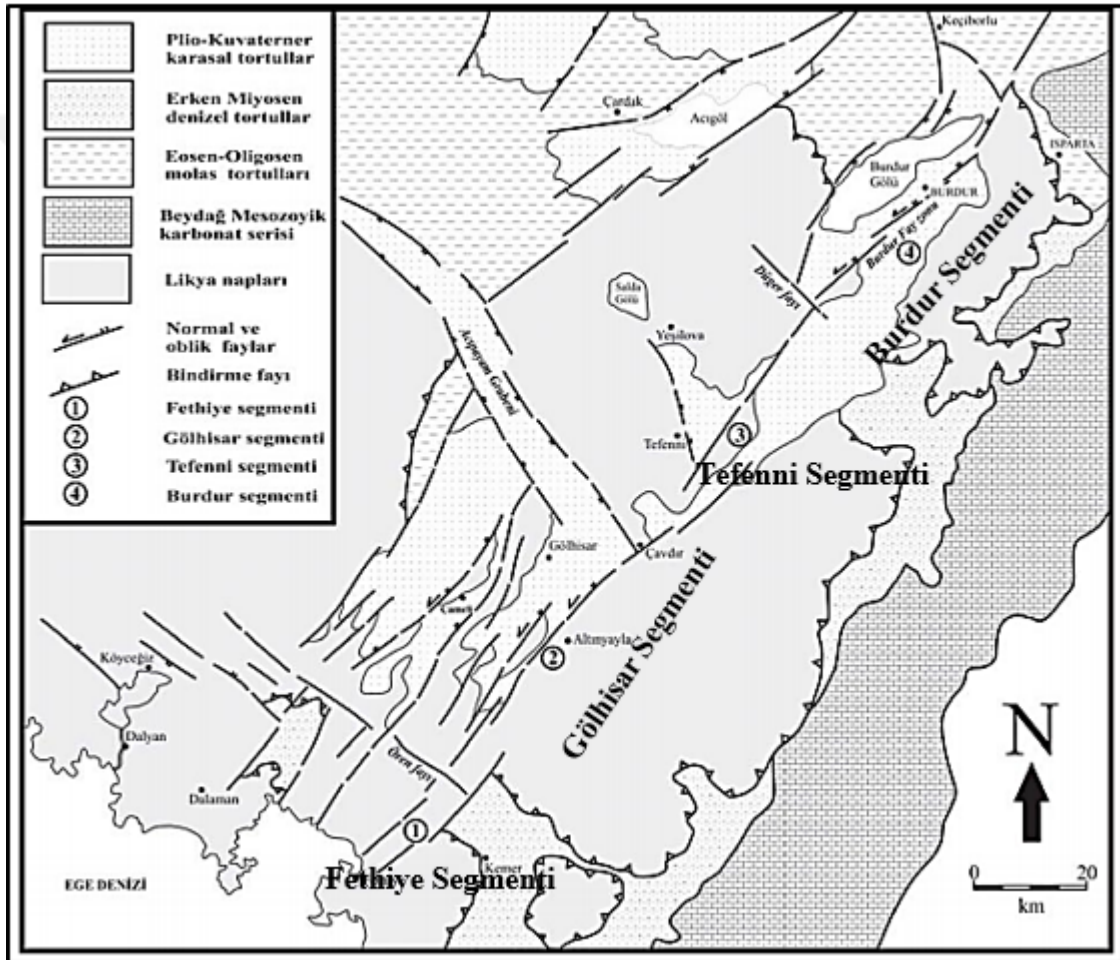
Şekil 3.4. Pliyosen dönemine ait Burdur Havzası'nın tektonik gelişimi (Atalay 1977'den düzenlenerek alınmıştır.)

Fethiye-Burdur bölgeleri arasında yer alan, Burdur fay zonunda KB yönüne doğru giden faylar ile sınırlanan dört farklı bölümü bulunmuştur (Şekil 3.5). (Bozcu ve diğ. 2007). Bunlar güneybatı yönünden başlayıp kuzeydoğu yönüne doğru; Fethiye, Gölhisar, Tefenni ve Burdur segmenti olarak sıralanmaktadır.

Fethiye-Burdur fay zonunda yer alan Burdur bölümü amaçlanmıştır. Yapılan arazi çalışmalarında Batı Anadolu'nun, Fethiye-Burdur fay zonu ve Eskişehir fay zonu

aracılığıyla Orta Anadolu'dan ayrıldığı, batı ve güneybatıya doğru hareket ettiği ve Batı Anadolu bloğunun batıya doğru hareket hızının kuzeyden güneye doğru arttığı (Barka ve diğ. 1995) tespit edilmiştir. Ölçülen GPS sonuçlarına göre bu fay zonunun boyunca her yıl 15 mm.'lik bir kaymanın olduğu tespit edilmiştir (Barka ve diğ. 1997).

Isparta açısının doğu ve batı kanatlarının birbirleriyle ters yönde olmalarından dolayı durumları, günümüzde de halen aktif vaziyetteki çok katlı bindirme ve ters faylar ile bunları verev olarak kesen doğrultu atımlı fayların oluşumuna neden olmuştur. (Yağmurlu ve Şentürk 2005).



Şekil 3.5. Fethiye Körfezi ile Burdur Gölü arasında kalan bölümde Fethiye-Burdur fay zonunu oluşturan dört bölümün konumları ve diğer fay sistemleriyle ilişkileri. (Bozcu ve diğ. 2007).

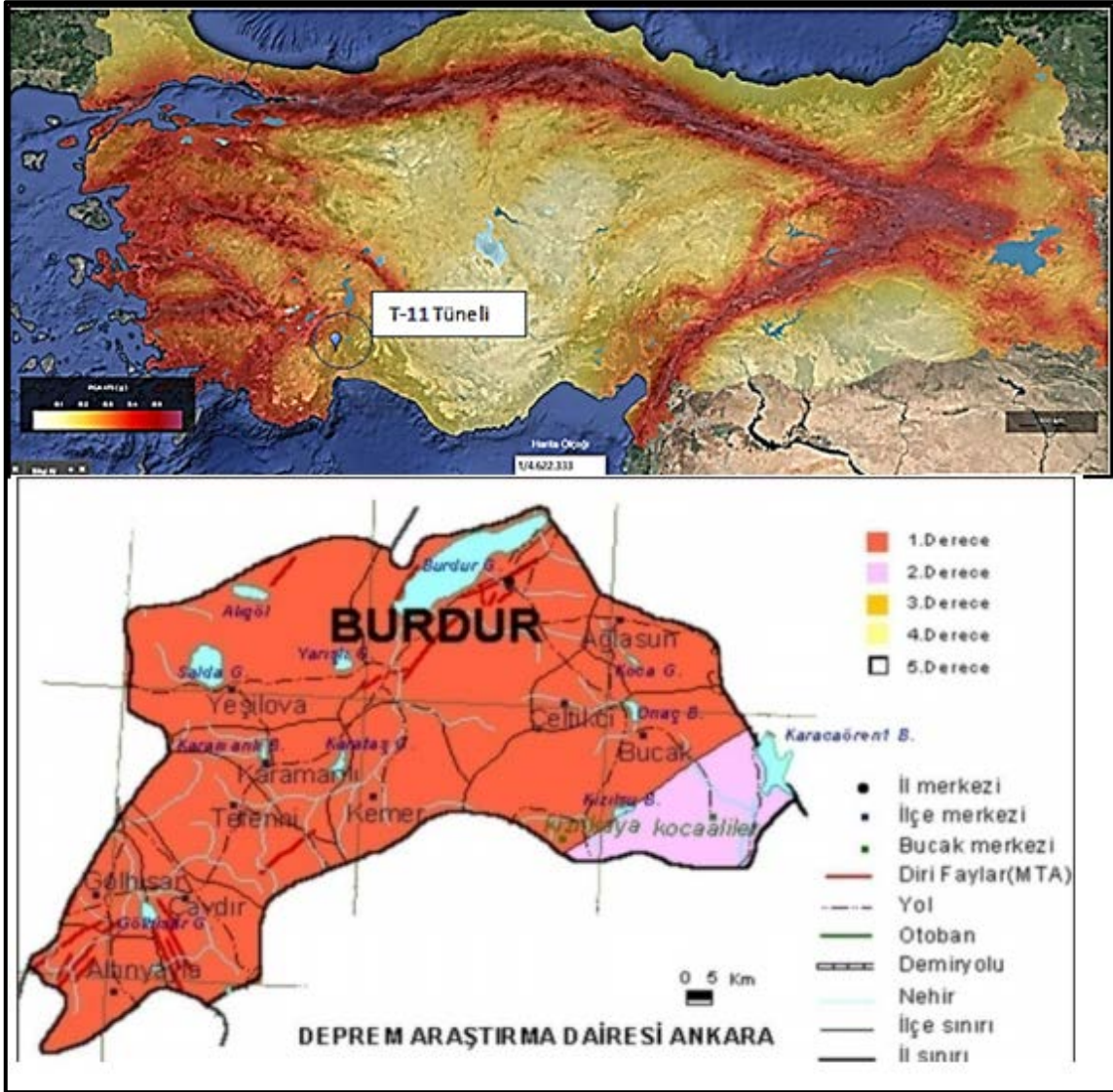
Burdur fayı çoğu yerde tek bir yapısal çizgiye sahip olmayıp, birbirine paralel gelişmiş kesikli uzanımaya sahip segmentlerden oluşur. Bu segmentler KD doğrultusunda uzanım gösteren ve genişliği 3-10 km arasına değişen bir zon içinde yer alır. Burdur fayı içinde yer alan fayların büyük bir bölümü, aynı zamanda bölgedeki Neojen havzaları sınırlayan büyüme (açılma) fayları özelliği taşımakta ve

Çizelge 3.2. 37° Boylam 30° enleme göre 100 km çapında, 3.5<M<9 arasında büyüklüğe sahip 2010-2019 yılları arasındaki deprem listesi (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>)

No	Deprem Kodu	Olus tarihi	Olus zamanı	Enlem	Boylam	Der (km)	xM	M D	M L	M w	Ms	Mb	Tip	Yer
1	20200721015717.00	2020.07.21	57:17.9	37.3422	29.8313	6.3	3.5	0	3.5	3.5	0	0	Ke	KARAMANLI (BURDUR) [South East 3.5 km]
2	20200621190403.00	2020.06.21	04:03.7	36.2567	30.9483	55.5	3.7	0	3.7	3.5	0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
3	20200205151151.00	2020.02.05	11:52.0	36.5978	30.0922	7.5	4.1	0	4.1	4	0	0	Ke	ARIFKOY-FİNİKE (ANTALYA) [North East 10.3 km]
4	20180928002629.00	2018.09.28	26:29.8	37.1542	30.4442	103.2	4.1	0	4.1	3.9	0	0	Ke	AKKOC-DOŞEMEALTI (ANTALYA) [South West 1.9 km]
5	20180910230255.00	2018.09.10	02:55.3	37.1797	30.6337	105.7	4.9	0	4.9	4.6	0	0	Ke	İLİCAKOY-DOŞEMEALTI (ANTALYA) [North West 1.6 km]
6	20180723024022.00	2018.07.23	40:22.8	37.5482	29.8168	5	4.7	0	4.7	4.7	0	0	Ke	KAVAK-YESİLOVA (BURDUR) [South 4.1 km]
7	20180705223757.00	2018.07.05	37:57.2	37.0097	30.6958	86.4	3.6	0	3.6	3.4	0	0	Ke	ODABASI-KEPEZ (ANTALYA) [South East 2.8 km]
8	20170930075425.00	2017.09.30	54:25.3	36.4948	31.2842	108.9	3.5	0	3.5	3.5	0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
9	20170929160839.00	2017.09.29	08:39.7	37.0488	30.6487	86.6	4.6	0	4.6	4.4	0	0	Ke	ODABASI-KEPEZ (ANTALYA) [North West 3.3 km]
10	20170731031131.00	2017.07.31	11:31.2	37.4225	31.369	5.1	3.5	0	3.5	3.4	0	0	Ke	PINARBASI-DEREBUCAK (KONYA) [North West 6.2 km]
11	20170730112132.00	2017.07.30	21:32.7	37.3913	31.3725	5	3.6	0	3.5	3.6	0	0	Ke	PINARBASI-DEREBUCAK (KONYA) [South West 6.0 km]
12	20170628185956.00	2017.06.28	59:56.6	36.9278	29.6268	5	3.8	0	3.7	3.8	0	0	Ke	COBANISA-FETHİYE (MUĞLA) [South West 5.7 km]
13	20170226112218.00	2017.02.26	22:18.9	37.1648	30.2405	6	3.5	0	3.4	3.5	0	0	Ke	AKYAR-KORKUTELİ (ANTALYA) [East 5.3 km]
14	20161130212329.00	2016.11.30	23:29.4	36.399	30.1732	72.7	4	0	3.7	4	0	0	Ke	TURUNCOVA-FİNİKE (ANTALYA) [5.19 km]
15	20160709071531.00	2016.07.09	15:31.4	36.9797	30.4645	101.3	4.2	0	4.2	4.1	0	0	Ke	SOGUTCUK-KORKUTELİ (ANTALYA) [9.63 km]
16	20151217160843.00	2015.12.17	08:43.6	36.1475	30.541	22.6	3.6	0	3.6	0	0	0	Ke	AKDENİZ
17	20151123133927.00	2015.11.23	39:27.9	37.4023	31.3743	11.6	3.7	0	3.7	0	0	0	Ke	PINARBASI-DEREBUCAK (KONYA) [West 5.6 km]
18	20151108171543.00	2015.11.08	15:43.9	37.236	31.3413	5	3.6	0	3.6	0	0	0	Ke	DUZAGAC-MANAVGAT (ANTALYA) [East 7.5 km]
19	20150916032322.00	2015.09.16	23:22.9	36.147	30.785	80	3.9	0	3.9		0	0	Ke	AKDENİZ
20	20150913051019.00	2015.09.13	10:19.5	36.7068	30.0077	5	3.8	0	3.8	3.5	0	0	Ke	GEÇMEN-ELMALI (ANTALYA) [North East 2.4 km]
21	20150831060244.00	2015.08.31	02:44.5	37.3045	30.7395	127.5	3.8	0	3.8		0	0	Ke	KOCAALILER-BUCAK (BURDUR) [1.29 km]
22	20150824160914.00	2015.08.24	09:14.6	36.995	30.6422	97.5	3.9	0	3.9		0	0	Ke	DUACI-KEPEZ (ANTALYA) [North West 2.7 km]
23	20150216115243.00	2015.02.16	52:43.7	37.1805	30.0155	5	4.7	0	4.6	4.7	0	0	Ke	TASKESİĞİ-KORKUTELİ (ANTALYA) [South West 7.0 km]
24	20150210085629.00	2015.02.10	56:29.4	37.1802	30.003	5	4.5	0	4.5	4.5	0	0	Ke	TASKESİĞİ-KORKUTELİ (ANTALYA) [South West 7.9 km]
25	20150208093624.00	2015.02.08	36:24.5	37.1783	30.036	5	3.7	0	3.7		0	0	Ke	BASPINAR-KORKUTELİ (ANTALYA) [West 5.1 km]
26	20150121195511.00	2015.01.21	55:11.3	37.6305	30.0648	6.3	3.6	0	3.6		0	0	Ke	YARIKOY- (BURDUR) [North East 0.8 km]
27	20140912225537.00	2014.09.12	55:37.1	36.2435	30.9075	55	4.4	0	4.4	4.2	0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)

Çizelge 3.2.Devamı

28	20140904210001.00	2014.09.04	00:01.8	36.24	30.9068	82.2	5.3	0	5.2	5.3	0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
29	20140824194330.00	2014.08.24	43:30.2	37.685	30.61	4	5.1	0	5.1	4.8	0	0	Ke	YAZIR-AGLASUN (BURDUR) [North East 3.6 km]
30	20140811103925.00	2014.08.11	39:25.4	36.711	30.5488	4.8	3.6	0	3.6		0	0	Ke	GOYNUK-KEMER (ANTALYA) [North 4.2 km]
31	20140802032417.00	2014.08.02	24:17.7	37.1418	31.2837	5	3.5	0	3.5		0	0	Ke	BURMAHAN-MANAVGAT (ANTALYA) [South East 4.8 km]
32	20140717223536.00	2014.07.17	35:36.0	37.1562	30.506	86.2	3.5	0	3.5		0	0	Ke	AKKOC-DOSEMEALTI (ANTALYA) [East 3.9 km]
33	20140701112148.00	2014.07.01	21:48.5	36.6052	29.9905	83.1	3.8	0	3.8		0	0	Ke	GOLTARLA-ELMALI (ANTALYA) [North East 5.8 km]
34	20140417193424.00	2014.04.17	34:24.1	37.8142	30.882	5	3.7	0	3.7		0	0	Ke	AGILKOY-EGIRDİR (ISPARTA) [West 1.9 km]
35	20131225181135.00	2013.12.25	11:35.2	36.9662	31.0962	123.2	4.6	0	4.4	4.6	0	0	Ke	URUNDU-SERİK (ANTALYA) [North West 1.1 km]
36	20131208173156.00	2013.12.08	31:56.3	36.6108	31.2355	88.6	5	0	5	5	0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
37	20130902163359.00	2013.09.02	33:59.6	36.7548	30.3443	54.8	3.6	0	3.6		0	0	Ke	DEREKOY-KUMLUCA (ANTALYA) [2.25 km]
38	20130627203031.00	2013.06.27	03:01.4	36.7523	31.264	86.5	3.7	0	3.7		0	0	Ke	SİDE AÇIKLARI-ANTALYA (AKDENİZ)
39	20130515165226.00	2013.05.15	52:26.3	36.9707	30.4898	92.2	3.9	0	3.9		0	0	Ke	ASAGIKARAMAN-KONYALTI (ANTALYA) [North West 9.9 km]
40	20130104140952.00	2013.01.04	09:52.9	37.1168	29.6818	5	3.5	0	3.5		0	0	Ke	BAYIR-CAVDİR (BURDUR) [North West 2.5 km]
41	20121208054307.00	2012.12.08	43:07.6	36.6925	30.0245	3.2	3.5	0	3.5		0	0	Ke	KUCUKSOGLE-ELMALI (ANTALYA) [North West 0.7 km]
42	20121026094033.00	2012.10.26	40:33.4	36.6213	31.3498	29.4	4.1	0	4.1		0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
43	20121004032909.00	2012.10.04	29:09.8	36.3155	30.5777	28.4	3.5	0	3.5		0	0	Ke	ADRASAN-KUMLUCA (ANTALYA) [East 13.1 km]
44	20120913045614.00	2012.09.13	56:15.0	37.8543	30.6463	6	3.5	0	3.5		0	0	Ke	KULEONU- (ISPARTA) [South East 3.4 km]
45	20120814124448.00	2012.08.14	44:48.2	37.1775	30.9688	105.5	3.8	0	3.8		0	0	Ke	HACIOSMANLAR-SERİK (ANTALYA) [North East 3.1 km]
46	20120812002040.00	2012.08.12	20:40.0	36.4347	30.9362	6.5	3.6	0	3.6		0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
47	20120728012414.00	2012.07.28	24:14.6	36.4383	30.8988	5	3.5	0	3.5		0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
48	20120620202236.00	2012.06.20	22:36.8	36.1835	30.4905	24.1	4	0	4		0	0	Ke	MAVİKENT AÇIKLARI-ANTALYA (AKDENİZ)
49	20120501023318.00	2012.05.01	33:18.4	37.2312	30.2608	5	3.7	0	3.7		0	0	Ke	BOZOVA-KORKUTELİ (ANTALYA) [North West 2.8 km]
50	20120318035144.00	2012.03.18	51:44.2	37.0642	30.6173	9.7	3.5	0	3.5		0	0	Ke	KOMURCULER-DOSEMEALTI (ANTALYA) [South East 3.5 km]
51	20120129172950.00	2012.01.29	29:50.5	36.7492	31.1535	74.9	3.6	0	3.6		0	0	Ke	BELEK AÇIKLARI-ANTALYA (AKDENİZ)
52	20111215063759.00	2011.12.15	37:59.4	36.9805	30.3208	79.8	4	0	4		0	0	Ke	YAZIR-KORKUTELİ (ANTALYA) [South East 4.9 km]
53	20110916013017.00	2011.09.16	30:17.4	36.3507	30.9023	28.7	3.5	3.5	0		0	0	Ke	ANTALYA KORFEZİ (AKDENİZ)
54	20110824053334.00	2011.08.24	33:34.1	37.5718	29.778	6.9	3.6	0	3.6		0	0	Ke	ISIKLAR-YESİLOVA (BURDUR) [North East 2.1 km]
55	20110817202748.00	2011.08.17	27:48.4	36.8862	30.9907	111.4	3.6	3.6	0		0	0	Ke	KADRIYE-SERİK (ANTALYA) [West 1.8 km]
56	20110623092907.00	2011.06.23	29:07.4	37.053	30.9837	110.4	3.5	3.5	0		0	0	Ke	TONGUCLU-SERİK (ANTALYA) [South East 2.1 km]
57	20110316111801.00	2011.03.16	18:01.6	37.3058	30.4837	7.7	4.4	0	4.1		0	4.4	Ke	UGURLU-BUCAK (BURDUR) [South West 1.8 km]
58	20110315091635.00	2011.03.15	16:35.3	37.2845	30.486	13.1	3.5	0	3.5		0	0	Ke	BOGAZKOY-BUCAK (BURDUR) [North West 2.4 km]
59	20110309220514.00	2011.03.09	05:14.9	36.7953	30.937	105.6	3.5	0	3.5		0	0	Ke	OZLU-AKSU (ANTALYA) [South East 9.2 km]



Şekil 3.7. T-11 tünelinin deprem haritasındaki konumu (AFAD,2019) ve Burdur ili ve çevresinin deprem haritası (AFAD 2011)

3.1.4. Hidrojeoloji

Çalışma güzergahı üzerinde, vadi geçişlerinin yer aldığı topoğrafik yapıya da bağlı olarak irili ufaklı bir çok dere geçişi ve geniş alüvyon düzlükleri yer almaktadır. Güzergah civarında yağışlara bağlı olarak debileri değişen birçok kaynak ve dere bulunmaktadır.

Beydağları formasyonu (Kb): Birim, neritik kireçtaşı biriminden oluşur. Birim geçirimli olup, suyu taşıma ve depolama potansiyeli vardır. Bu tünelin sondajlarında basınçlı su testi yapılmamıştır. Birimin çatlaklı kireçtaşlarından olmasından dolayı,

karbonatların atmosferdeki karbonik asit etkisiyle çözünmesi (dissolüsyonu) sonucunda geniş çatlaklar, kondüitler, ya da mağaralar oluşabilir. Karstlaşmaya bağlı kireçtaşının geçirgenlikleri 10^{-2} ile 10^{-6} m/s arasında değişmektedir. Karstik yapılara su ile temasta bulduklarında evaporitlerde de rastlanabilmektedir. Dissolüsyon çok hızlı bir olaydır. Mağaraların lokal çökmeler (sübsidans) sonucu yüzeye kadar ulaşan çöküntü delikleri birkaç yıldan sonra evaporitlerde de gözlenebilir (Şekil 3.8).

		k	k	K	K	K
		(darcy)	(cm^2)	(cm/s)	(m/s)	(gal/day/ft^2)
Rocks	Gravel	10^5	10^{-3}	10^2	1	10^6
	Gravel	10^4	10^{-4}	10	10^{-1}	10^5
Unconsolidated deposits	Gravel	10^3	10^{-5}	1	10^{-2}	10^4
	Clean sand	10^2	10^{-6}	10^{-1}	10^{-3}	10^3
	Silty sand	10	10^{-7}	10^{-2}	10^{-4}	10^2
	Silty sand	1	10^{-8}	10^{-3}	10^{-5}	10^1
	Silty sand	10^{-1}	10^{-9}	10^{-4}	10^{-6}	10
	Silt, loess	10^{-2}	10^{-10}	10^{-5}	10^{-7}	1
	Silt, loess	10^{-3}	10^{-11}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-1}
	Silt, loess	10^{-4}	10^{-12}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-2}
	Silt, loess	10^{-5}	10^{-13}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-3}
	Silt, loess	10^{-6}	10^{-14}	10^{-9}	10^{-11}	10^{-4}
Rocks	Unfractured igneous and metamorphic rocks	10^{-7}	10^{-15}	10^{-10}	10^{-12}	10^{-5}
	Shale	10^{-8}	10^{-16}	10^{-11}	10^{-13}	10^{-6}
	Unfractured igneous and metamorphic rocks	10^{-7}	10^{-15}	10^{-10}	10^{-12}	10^{-5}
	Shale	10^{-8}	10^{-16}	10^{-11}	10^{-13}	10^{-6}
	Unfractured igneous and metamorphic rocks	10^{-7}	10^{-15}	10^{-10}	10^{-12}	10^{-5}
	Shale	10^{-8}	10^{-16}	10^{-11}	10^{-13}	10^{-6}
	Unfractured igneous and metamorphic rocks	10^{-7}	10^{-15}	10^{-10}	10^{-12}	10^{-5}

Şekil 3.8. Bazı kayaç ve çökellerin hidrolik iletkenlik ve geçirgenlik değerleri

3.2. Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM)

NATM, tünelcilikte tünel açma yöntemlerinden biri olan Avusturya Tünel Açma Metodu olarak bilinen ve çoğunlukla hidroelektrik santrallerinin yapımında kullanılan kazı metodlarından elde edilen verilerden faydalanılarak

geliştirilmiştir. Patentini 1958 yılında Anton Brunner almış bulunmaktadır. Temellerini Ladislaus von Rabcewicz 1963 yılında atmıştır. Bu yöntemi 1978 senesinde Leopold Müller geliştirmiş olup 1979 senesinde Mahir Vardar Türkiye literatürüne geçirmiştir. İlk Rabcewicz tarafından Venezuela’da NATM metodu ile kullanılarak büyük ölçekli ilk tünel yapılmıştır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi, tanımlanırken bu yöntemin ne kazı ne de sağlamlaştırma için yapılan bir yöntemdir denilmektedir. NATM, tünel yapımı sırasında kazıların devam eden performansını inceleyen ve yapımın her mertebesinde bulunması gerekir. Patent başvurusu yapıldığı sırada NATM için ifade şöyledir: “İnce geçici bir destekleme yerleştirmek ve deformasyonlara izin vermek yoluyla kaya basıncının düşürülmesi ve bu basıncın çevreleyen kayaya dağıtılmasıdır. Böylece son destekleme daha az yüklenecek ve daha sonra daha da ince bir yapı halinde son destekleme yerleştirilebilecektir. Deformasyonlar ölçümler ile gözlenmeli ve sonuçlar yapısal analiz ve tasarım ile birlikte değerlendirilmelidir”. Rabcewicz (1963) ise bu yöntem için sade ve anlaşılır bir dil kullanarak şöyle tanımlamıştır: “İnce ve geçici bir destekleme uygulayarak, deformasyonlara izin vererek, tünel içine doğru gelişen kaya basıncını azaltmak ve yükleri kazı çevresindeki kayaya dağıtmak. Böylelikle son destekleme (kaplama) daha az yüklenecek, daha sonra yapılabilecek ve daha ince bir yapı olabilecektir. Deformasyonlar kazı sırasında ölçülecek ve projedeki hesaplamalarla karşılaştırılacaktır”.

3.2.1. Tünel açmada Yeni Avusturya yönteminin temel prensipleri

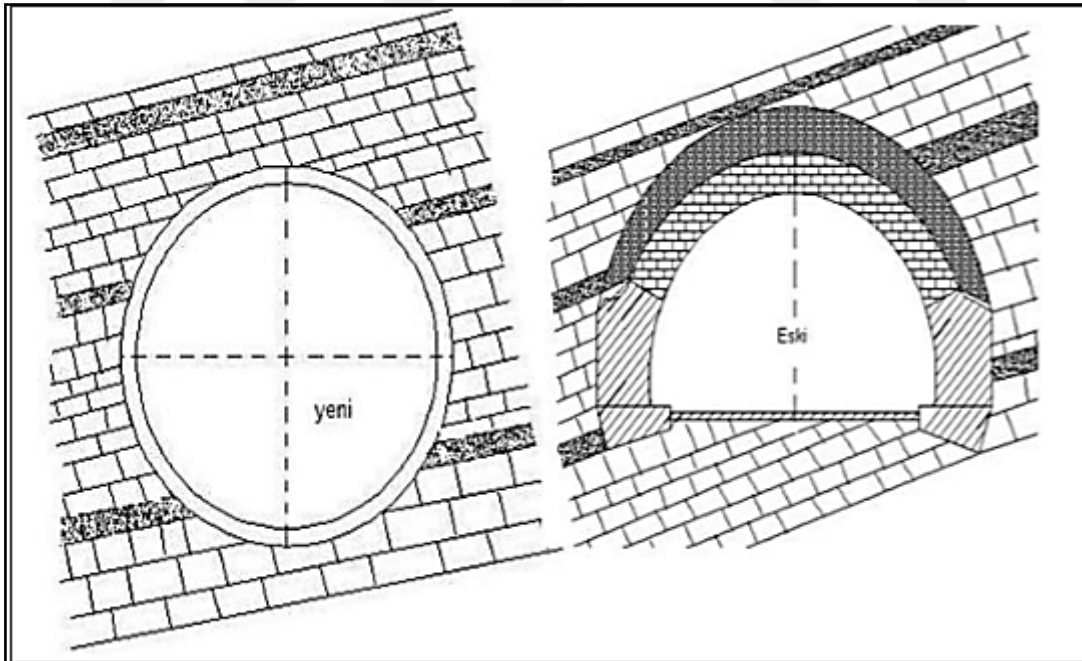
Tünelcilikte yenilikçi bir yöntemin ortaya çıkmasına neden olan ‘Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi’(NATM) özellikle deformasyonlu kaya ve zeminlerde başka yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

- Bu yöntem için yapılan birincil ve fazlaca öneme sahip olan ilkesi; kayanın dayanımını koruyarak kayanın harekete geçmesini sağlamak ve tüneli çevreleyen kaya için kendini destekleyen bir halka oluşturmaktır. Ön sağlamlaştırma, kayanın kendisini destekleyebilmesi için gereklidir. Bu yüzden yapılan ön sağlamlaştırmanın yük-deformasyon davranışının uygun biçimde olması ve halkanın tam vaktinde yerleştirilmesi gerekmektedir.

- NATM'nin ikincil ilkesi; tünelde meydana gelen deformasyonların ve kaplamada oluşan gerilimlerin belirlenen aletlerle ölçülmesi gerekmektedir.
- NATM'nin üçüncül ilkesi; kararlara bağlı kalınarak bölgede oluşan anlaşmazlıkların çözümlenmesi ve tünelle alakalı tüm işlerin tarafların birlikteliği içinde yapması gerekmektedir.
- NATM'nin dördüncül ilkesi; her çeşit tünel koşuluna uygun olması ile tünelde, mevcut koşullara göre rahatlıkla uygulanabilmesidir. Bu özellik NATM'nin kazı ve sağlamlaştırma metodu olmadığını felsefi bir yöntem olduğunu belirtir.

NATM sisteminin temel unsurları 22 maddeden oluşan, 1977 senesinde Müller tarafından yayınlanmıştır. 1979 senesinde de Vardar tarafından çevirisi yapılmıştır. 22 maddeden oluşan NATM temel prensiplerinin açıklamaları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

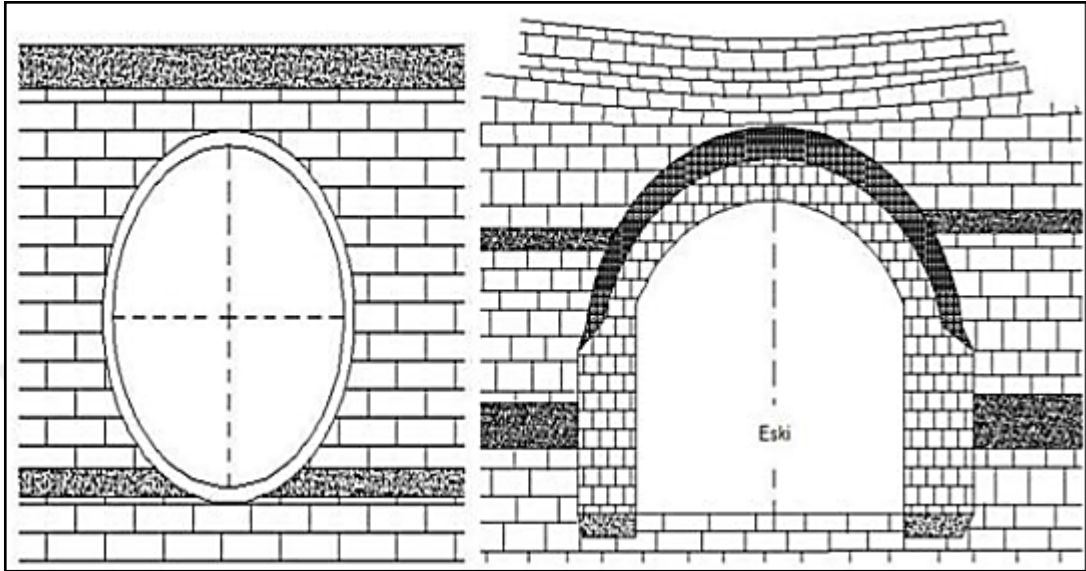
1. Yeraltı litolojisinin ana malzemesi dağın bütün halinde kendisidir. Yani tünelin birincil gerçek taşıyıcı kısmı, boşluğu çevreleyebilen ayrıca ana malzeme olan kayanın kendisidir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Yeraltı bölgesinin taşıyıcı bölümü

2. Kayanın işlem görmeden önceki yani başlangıçtaki dayanıklılığı korunmalıdır. Bu yüzden yöntem uygulanırken önemli bilinmesi gereken ana malzeme olan kayanın birincil dayanımlılığını korumaktır.

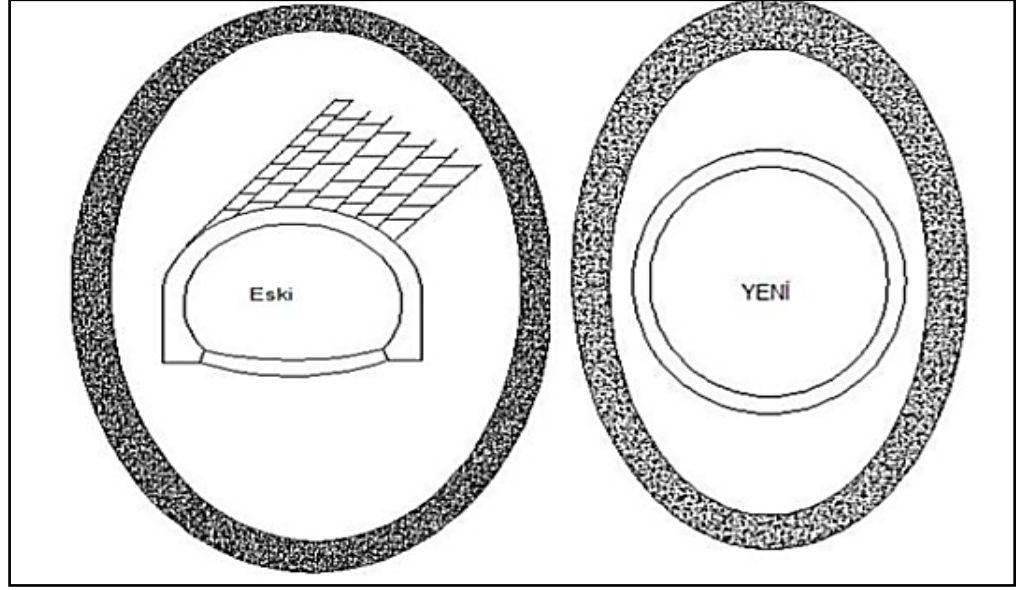
3. Ana malzemenin gevşemesi tüneller için sorun oluşturabilmektedir. Çünkü gevşemeler, ana malzeme olan kayanın taşıma direncini azaltmaktadır. Bunun için fiziksel özelliklerden biri olan ayrışmanın etkisiyle sıkı olmayan kayaların şekillerinin bozulması önlenmelidir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kayaç gevşemelerinin tünellerdeki etkisi

4. Tek ve iki eksenli basınç gerilme ortamlarından kaçınılmalıdır. Çünkü bu türden gerilmelerin etkisinde olan kayanın taşıma direnci düşmektedir.

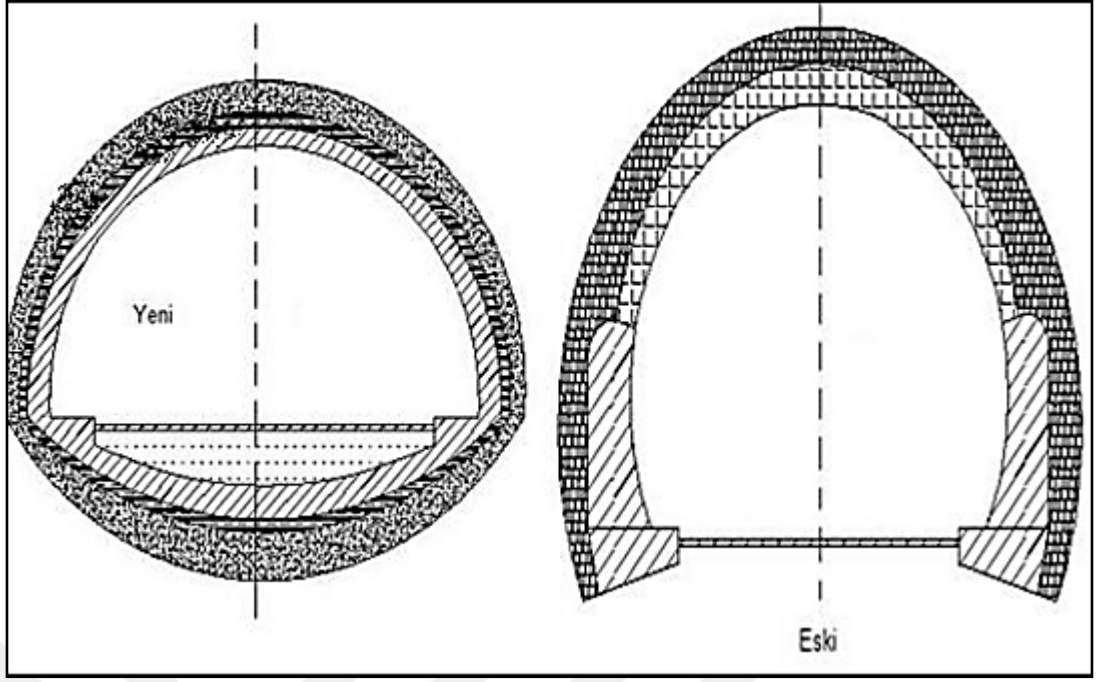
5. Koruyucu zon, kayacın taşıma direncine etki etmeden oluşturulmalıdır. Kazı sonrasında oluşan deformasyonlar, koruyucu zonun oluşmasına yeterli olacak şekilde fakat kayacın aşırı gevşeyerek taşıma direncinin düşmesine sebep olmayacak biçimde denetlenmeli ve yönlendirilmelidir. Bu alanda başarılı olduğu sürece güvenlik artar ve daha ekonomik olur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Koruyucu bölgenin halkası

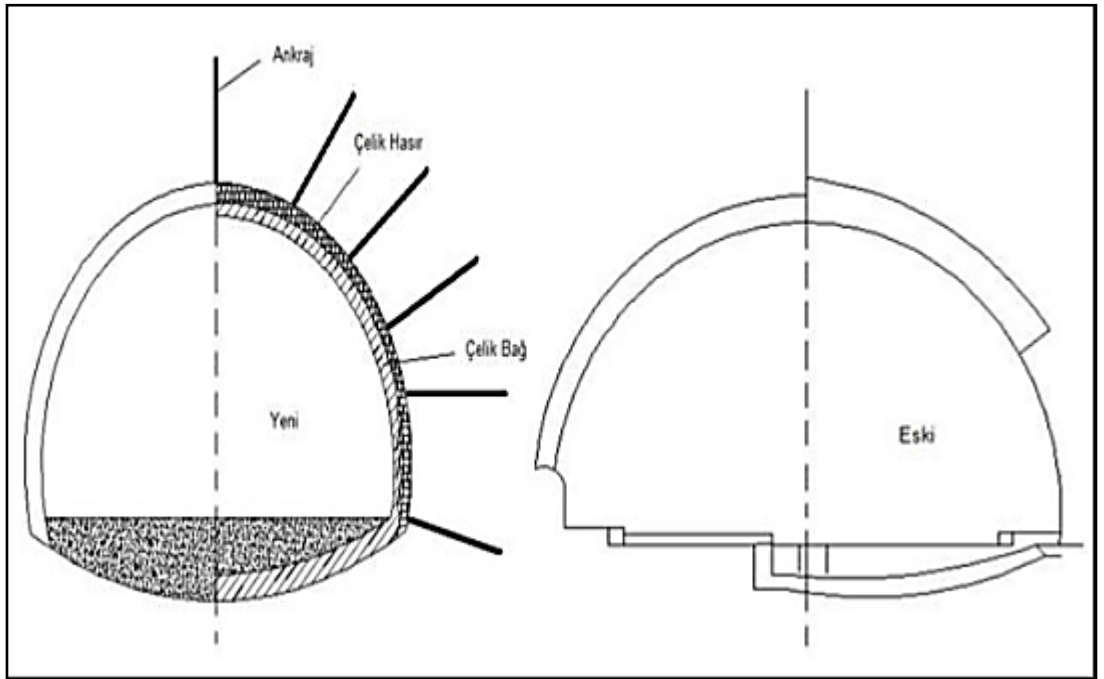
6.Sağlamlaştırma işlemleri tam vaktinde ve gerekli esneklikte yapılmalıdır. Bunun oluşması için sağlamlaştırma işlemlerine çok erken ya da çok geç başlanmamalıdır. İksa direnci oluşturacak olan yapının ise ne çok rijitözelliğe sahip ne de zayıf olmamasına dikkat edilmelidir.

7.Kayacın kendini tutma süresi olarak bilinen özgül zaman faktörü doğru bir biçimde tahmin edilmelidir. Bu nedenle, zamana bağlı olan kırılmaların sonuçlarını ortaya koyan özgül zaman faktörleri kayaç ve kaya sağlamlaştırma için ayrı ve doğru bir şekilde belirlenmelidir. (Şekil 3.12).



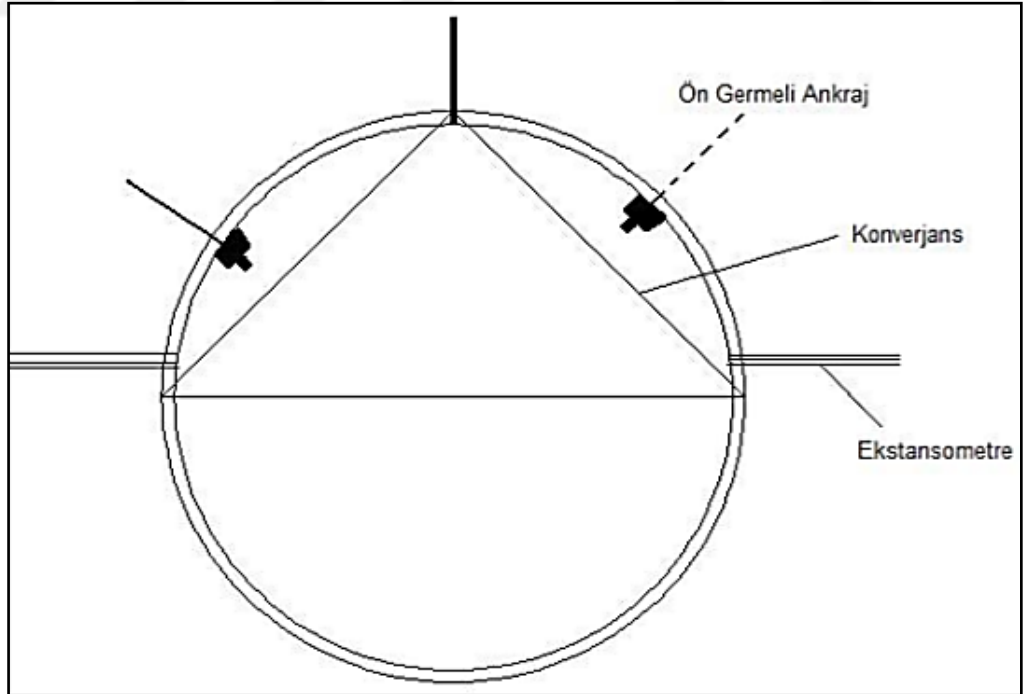
Şekil 3.13. Sağlamaştırma modeli kaplamaları

11. Sağlamaştırma ankraj , çelik olan hasır ve bağlarla olmalıdır. Sağlamaştırma, kabuğu kalınlaştırarak değil, kabuğun gerekli esnekliğini sağlayabilecek olan çelikten hasır ve bağlarla yapılmalı, kayanın kendi yükünü taşıması için oluşabilecek etkin gerilmeler ankrajlar yardımı ile dağın iç kısmına aktarılmalıdır (Şekil 3.14).



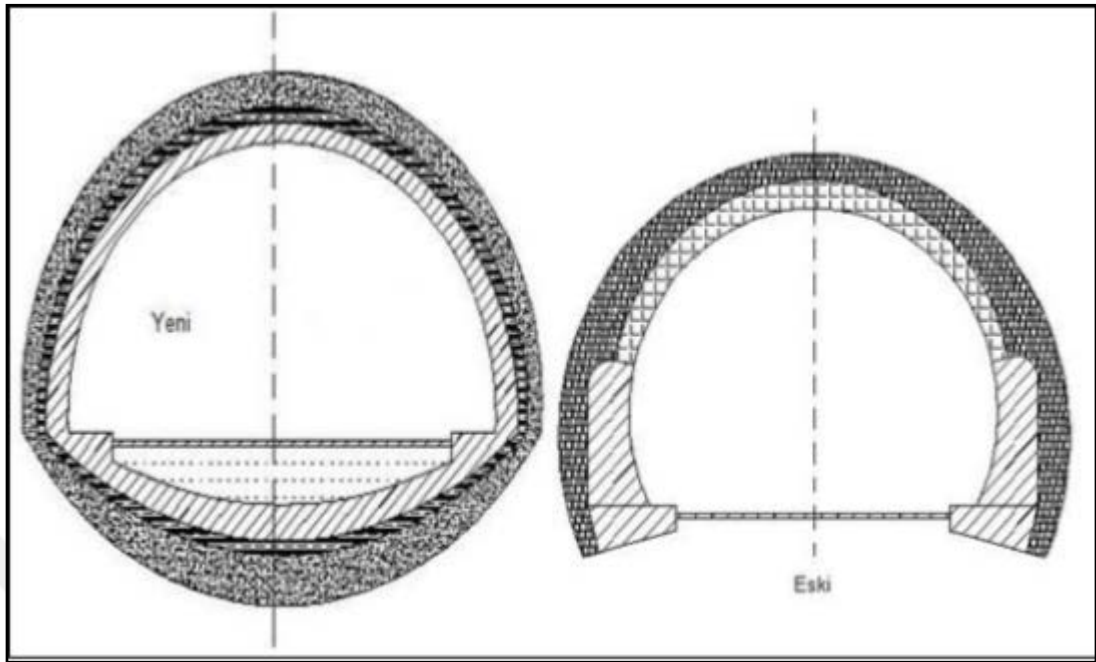
Şekil 3.14. Sağlamaştırma için kullanılan takımlar

12. Sağlamlaştırma zamanı ve araçları ölçümlerle belirlenmelidir. Tünel duvarındaki ve onu kuşatan kayaçlar içerisindeki deformasyon ve gerilmelerin ölçülmesi, uygulama sırasında kayacın davranış özelliğini göstermesi bakımından büyük ölçüde önem taşır. Ön varsayımlar göz önüne alınarak uygulanan projelendirme ile dağın iç kısmına girildikten sonra asıl uygulanacak olan proje, genellikle beklenmedik bir şekilde ortaya çıkan yeni etmenlerin meydana getirdiği olaylar nedeniyle birbirlerinden farklı olacaktır. Bu sebeple yeraltı projelerinin kaya yapılarında, sürekli bir şekilde değişikliğe neden olan hareketlilik vardır; yeraltı kaya yapıları mühendisliği projeleri tek olarak değil adım adım ve konum konum değişen bir projelendirme sistemi ile uygulanmalıdır. Bu sistemin kaya ortamı için uyumlu ve uygun olması için; gözlemlerin, ölçümlerin, deneylerin, denetlemelerin, yorumlamaların ve arşivlendirmelerin tüm mühendislik jeolojisi kapsamında kaya mekaniği araştırma ve çalışmalarının eksik bir şekilde yapılması mecburidir. Bu çalışma ve araştırmaların yapılmadığı sürece belirlenen kesitler boyunca projenin değişmeyerek aynı biçimde kullanılması durumlarında Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nin kullanılmadığı bilinmelidir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Sağlamlaştırma için yapılması gereken ölçümler

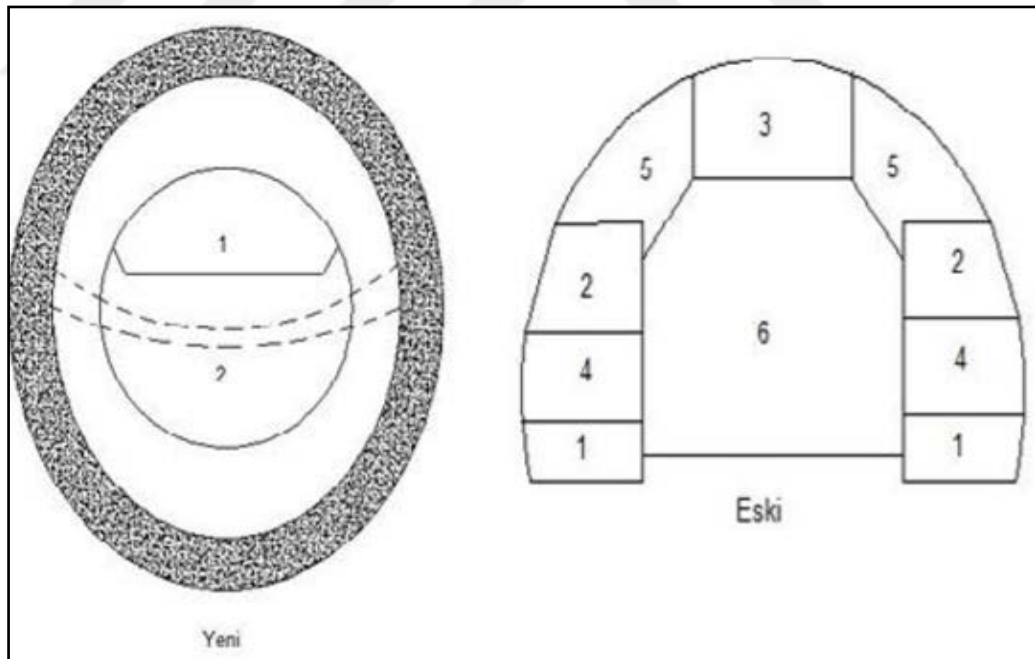
sağlamlaştırılması ve sağlamlaştırma çemberinin bir halkaya tamamlanması gerekmeyebilir (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. Halka biçimdeki sağlamlaştırma kabuğu

15. Halka, en kısa sürede oluşturulmalıdır. Kayacın ikincil gerilmeleri sırasındaki oluşum biçimi, kabuğun meydana getirdiği deformasyonlarına bağlıdır. Net bir şekilde tam kapanmamış çember, taşıyıcı halka vaziyetinde olduğu için meydana gelecek gevşemelerin artmasına neden olur. Böylece oluşan boşluğu çevreleyerek halkanın taşıma direncini düşürecektir. Kaya içinde meydana gelen deformasyonları ile plastik zonların zamanla değişebileceği varsayımında bulunacak olunursa, sağlamlaştırmanın yayını en kısa sürede halka biçimde kapatmak etkili ve pozitif sonuçlar verecektir. İki boyutta bahsettiğimiz tünel mukavemetini üç boyutta olarak bir tüp içinde yorumlayacak olursak; sağlamlaştırma halkasında miktarca fazla ayrılmış kalot kazılarında, tavanın sağlamlaştırılması ile meydana gelen yay şeklindeki (daha çok deformasyonların oluşması sebebi ile) tüneli, ekseninin olduğu yöndeki doğrultuda bükmeye çalışan bir kuvvet meydana getirdiği görülür. Bükülmeye zorlanan bu tüpün uç kısmında bulunan kalot kabuğunda olan yan ayakların fazla bir şekilde gerilme oluşturmasıyla arını tehlike içinde bırakır. Bu nedenle kalotun anosu ile sağlamlaştırmanın halkası arasındaki mesafe fazla olmamalı ve tünel kaplaması olabildiğince yakın sürede yapılmalıdır.

16. Dağın çok fazla deformasyona uğramaması için olabildiğince az bir şekilde incelenmelidir. Boşluk açılması ile oluşan birincil gerilme durumu bozulur ve ortaya ilk gerilme durumundan farklı bir gerilme dağılımı meydana gelmektedir. Boşluğun şeklini ve ebadını değiştirmeye neden olacak her yeni yapılan kazı gerilmelerin bir kez daha şiddetlerinin, konumlarının ve yönlerinin değişmesine sebep olur. Böylece kayanın dokusu giderek gevşemeye başlayacak ve kayanın taşıma direncinde azalma meydana gelecektir. Gerilmelerin boşalması boyunca kaçınılmaz olan boşluk içinde meydana gelen deformasyonlar, süreksizlik yüzleklerini genişletmekte, rölatif ötelenmelerle malzemenin yani kayanın kendi dokusunu örselemektedir. Bu durum boşluklardan dolayı kayanın daha çok su alarak çatlaklar içinde mekanik değişmeler bakımından önemlidir. Kayanın hiçbir deformasyona uğramadan yani kazı öncesinde olduğu durum en sağlam olduğu durumudur. Bu olay en önemli bilinmesi gereken noktalardan biridir. Kayanın en sağlam olduğu koşulu en az değiştirebilen ilke ikincil gerilmenin bir kez daha oluşturulmasıdır. Bu durumda en uygun olan kazı yöntemi tam kesit kazı yöntemidir (Şekil 3.18).



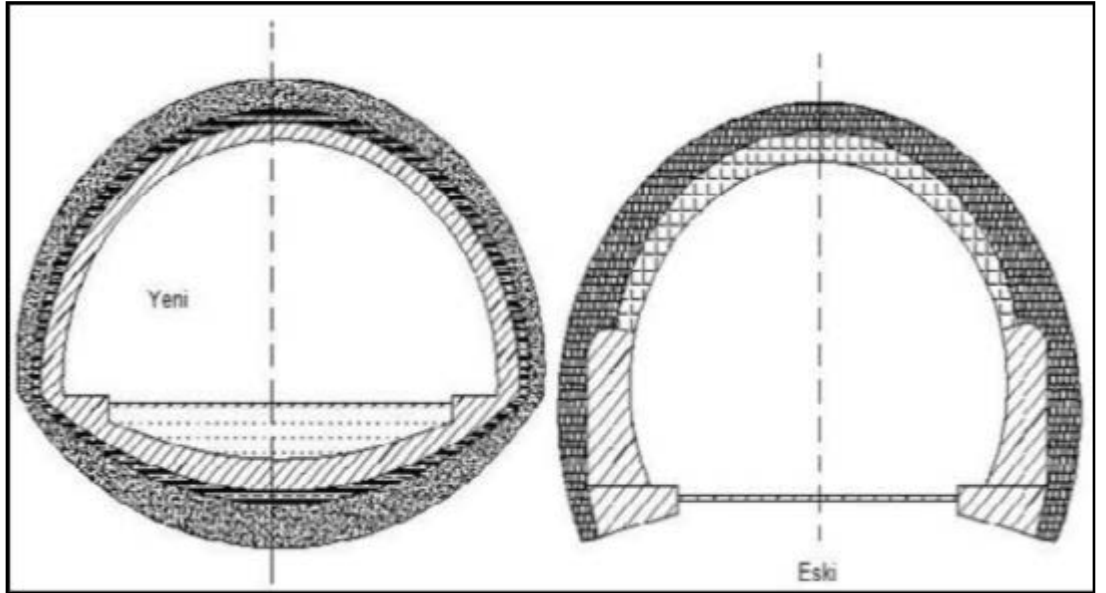
Şekil 3.18. Sistemin deformasyon davranışı

17. Tünel açma yöntemi yapının güvenliği bakımından önemlidir. Tünel açma yönteminin uygulanış biçimi yeraltı kaya yapısının duraylılığı (stabilitesi) ve güvenliği açısından, kayanın zamana bağlı davranışını direk olarak etkilediği

için büyük önem taşımaktadır. Yöntemler uygulanış biçimine göre projelendirmede ve zamanlamada büyük farklılıklar oluştururlar. Bu bakımdan arın panosunun uzunlukları, atım derinlikleri, sağlamlaştırmanın gerçekleşme süresi, tabanın kaplanması, sağlamlaştırma direncinin sağlanması yeraltı yapılarının güvenliği için büyük ölçüde etki ederler.

18. Yuvarlatılmış boyutta boşluk için profiller kullanılmalıdır. Yeraltı boşluğunun yani tünel en kesiti elips veya dairesel şeklinde olmalı, herhangi bir çıkıntı, köşe ve çentik olmamalıdır. Bu durum gerilmelerin fazlaşmasına neden olarak kaya içinde ve yapı duvarında aşırı boyutlandırmaya sebep vererek yapının güvenliğini ve dayanımı için tehlike arz ederler.

19. İç kabuk bölümü ince olmalı dış kabukla arasında sürtünme olmayacak biçimde sıkıca birbirlerine bağlı yapıda olmalıdır. İki tane kabuktan meydana gelen sağlamlaştırmalarda, iç kabukta oluşması istenmeyen bükülme momentlerinin olmaması için kaplamanın ince yapılması gerekmektedir. Ancak dış kabuktan dolayı oluşabilecek yüklerin kesilmemesi için dış kabuğun bölgeye sıkı bir halde sürtünmesiz biçimde tam yüzeyine sıkıca oturmasının sağlanması gerekmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. İç ve dış kabuk

20. Ön koşullarda (geçici) sağlamlaştırma için yapılan işlemlerle yapının duraylılığı temin edilmelidir. Kabuktan ve çevresindeki kayadan meydana gelen yeraltındaki kaya yapısının deformasyonları iç kabuk yerleştirilmeden önce

durdurulmalı, yani ikincil denge durumunun son şekli dengeli bir halde olmalıdır. İkinci kabuğun vazifesi, oluşabilecek durumlar için güvenliğin arttırmasını sağlamak ve tüneli mimari olarak görünümüne kavuşturmadır. Ancak yeraltı sularının olduğu koşullarda iç kabuk oluşabilecek tüm yüklerin taşınmasını sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Bu durumlarda kabuklar arasında su geçmeyecek malzemeler (bitüm, naylon vb) kullanılarak tasarlanmalıdır. Geçici sağlamlaştırma için kullanılan ankrajların, kalıcı sağlamlaştırma koşullarında hesaba katılabilmesi ve korozyona karşı korunaklı olması sağlanmalıdır.

21. Yapım boyunca denetlemelerin ve yönlendirme miktarlarının yapılması gerekmektedir. Kaya ve kabuktan oluşmuş olan yapının, yapım aşaması boyunca karşılıklı olarak davranışlarının bilinmesi, deformasyonların oluşup oluşmadığının belirlenmesi ile gerilmelerin, konum, büyüklük ve çeşitlerinin saptanması bakımından fazlaca önem taşımaktadır. Malzemelerin (kaya, beton) içine yerleştirilmiş olan ölçüm aletleri yapı bitiminde de kontrol amaçlı kullanılmaya devam edilmelidir.

22. Drenaj bölgesinden ve ana malzemedeki (dağ) kabuğa ulaşan su basıncı olmamalıdır. Bu yüzden kabuğa ulaşan su basıncı denetimli bir şekilde boşaltılmalıdır. Yeraltı suyunun olduğu koşullarda yeraltında açılmış olan her boşluk, drenaj yapısı gibi işlemekte ve suyu içine doğru çekmektedir. Bu durumda süreksizliklerin özelliklerini değiştirerek çalışma ortamını zorlayan koşullar altında olmasına neden olan sulara karşı önlemler alınmalıdır. Bu önlemler suyun boşaldığı ağızla betonla tıkararak kabuğun gerisinde oluşacak şekilde büyük su basıncı değerleri oluşturabilmesidir. Çatlakta olan su basıncı yapının taşıma direncinin düşmesine neden olur. Direncin düşmesini önlemek için su drene edilmelidir. Böylece boşluk çevresine engelleyici olarak drenaj boruları yerleştirilmelidir. (Vardar, 1979)

3.2.2. Tünel açmada Yeni Avusturya yönteminin avantajları ve dezavantajları :

✓ Yöntemin avantajları :

- Yöntemi önemli kılan özelliklerinden biri her tür zemin koşulunda yapılabilir olmasıdır. Bundan dolayı karmaşık jeolojik ortamlarda açılan veya kazıdaki

en kesitinin değiştiği koşullarda oluşan tünellerde emniyetli bir şekilde uygulanabilir.

- Büyük kesitlere sahip tünellerin zeminin zayıf olduğu yerlerde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemiyle açılması, açılan tüneller için daha ekonomik olmaktadır.
- Tüneller boşluk suyu basınçlarının yüksek olduğu koşullarda membranların kullanılmasıyla ıslak olmayan ortamlarda açılabilir.
- Optimum bir tasarım meydana getirebildiği için tünellerde kullanılan desteklemeler daha ucuz maddiyatta olmaktadır.
- Sadece bir tane ana makine ile çalışılmaz.

✓ **Yöntemin dezavantajları :**

- Yeraltı suyunun olduğu bölgenin altında ise uygulanması için ek ölçümler yapılabilir,
- İlerleme oranı diğer yöntemlere göre daha küçük olması nedeniyle önemli artışlar beklenmez,
- Personellerin yetiştirilmesi ve uygulamalarda pratik kazandırılmaları kolay değildir,
- Projenin meydana gelmesi için, projeyi oluşturan ve yapan açısından birlikte yapılan anlaşma ve projenin risk dağılımı oldukça zordur,
- Otomasyon için sunulan olanak belli bir sınırlamaya bağlıdır,
- Yöntemin materyallerinin kalitesi yüksek ve güvenilir olmalıdır.

4. ARAşTIRMA BULGULARI VE TARTIşMA

4.1. Jeoteknik Çalışmalar ve Değerlendirmeler

T-11 tüneli için yapılan jeoteknik araştırmalar için yerinde arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri ve sondajlar yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda tünel üç bölüme ayrılmıştır. Böylece tünel giriş

portali, tünel çıkış portali ve tünel gövdesi olmak üzere üç bölümde incelenmiştir.

Sondaj ve laboratuvar deneyleri, jeofizik çalışmalar ve süreksizlik lnlerinin değerlendirmeleri tünel portali ve gövdesi için ayırt edilmeden yapılmıştır. Tünel güzergahı boyunca toplamda dört adet sondaj yapılmıştır. Jeofizik alışma olarak elektrik özdirenç yöntemlerinden, çok elektrotlu zdiren (ERT) alışmaları 2 profilde ve düşey elektrik sondajı(DES) alışmaları 11 noktada yapılmıştır. Süreksizlik lmleri de yerinde arazi çalışmaları yapılarak belirlenmiştir (Foto 4.1).



Foto 4.1. Arazide süreksizlik ölçümlerinin alındığı kireçtaşı birimi lokasyonu

4.1.1. Sondaj çalışmaları

Tünel güzergahında, tünel portalı için 3 adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajlar tünel giriş ve çıkışında yer almaktadır. Tünel girişinde 1 adet (LSK-501), tünel çıkışında 2 adet (TSK-18, YSK-19) sondaj yapılmıştır. Aşağıdaki çizelgede sondajların derinlikleri, yerleri ve koordinatları belirtilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Tünel portalına ait sondaj verileri

Sıra No	Sondaj No		Derinlik (m)	KOORDİNAT (WGS84-TM33)		SONDAJIN YERİ		
				X	Y	SOL	EKSEN	SAG
1	LSK-	501	20	4145634	547807		EKSEN	
2	TSK-	18	35	4143548	547751		EKSEN	
3	YSK-	19	20	4143472	547730	22 m		

4.1.2. Laboratuvar çalışmaları

Yapılan sondajlara bağlı olarak laboratuvar çalışmaları zemin ve kaya deneyleri olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Zemin deneylerinde kullanılan yöntemler yapılan sondajda elde edilen zeminin sınıflandırılmasına belirlemeye yöneliktir. Zemin deneyleri sonucunda zemin sınıflandırılması yapılmaktadır (Çizelge 4.2.). T-11 tüneli için zemin deneyi olarak SPT (standart penetrasyon deneyi) deneyi yapılmıştır. Arazi de uygulanan SPT deneyine ait numuneler laboratuvar ortamına götürülerek zemin türü, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin sıklık, dayanım, kıvam ve sıvılaşma durumu ile temel zemini taşıma kapasitesi ve tahmini oturmayı belirlemektedir. Tünelin zemin sınıflandırılması için üç adet kuyu sondajı açılmıştır. Bu sondajlar SPT deneyi ile farklı derinliklerde yapılmıştır. Kaya deneylerinde ise tek eksenli basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır (Çizelge 4.3).

Tünel girişinde bir adet sondaj yapılmıştır. Yapılan sondajda kuyu LSK-501 olarak adlandırılmıştır. LSK-501 (litoloji sondaj kuyusu) kuyusu için 20.00 m derinliğinde sondaj yapılmıştır. Sondaj verilerinin laboratuvar çalışmaları zemin ve kaya deneyleri olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre oluşturulan zemin profilinde zemin sınıflandırılması; 0.00-2.60 m arası kahve-kızıl-bej renkli, killi, siltli, kumlu, köşeli-yarı köşeli, kireçtaşı kökenli, kuru, sıkı-çok sıkı ÇAKIL; 2.60-20.00 m arası grimsi-bej-beyaz renkli, genelde orta

derecede-çok ayrılmış, yer yer taze-az ayrılmış, genelde orta zayıf-zayıf dayanımlı, yer yer dayanımlı-orta dayanımlı, genelde çok kırıklı-parçalanmış, yer yer kırıklı yapıda, gözenekli, boşluklu, süreksizlik yüzeyleri dalgalı, pürüzlü, çok zayıf-orta kaya kalitesinde KİREÇTAŞI olarak belirlenmiştir. Yerlatisuyuna rastlanılmamıştır.

Çizelge 4.2. LSK-501 kuyusuna ait zemin deney bilgileri

LSK-501 NUMARALI KUYUYA AİT DENEY BİLGİLERİ (ZEMİN)						
Numune Cinsi	Derinlik (m)	USCS	SPT-N	Su İçeriği (%)	Atterberg Limitleri	
					LL	Pl
SPT-1	0.75-1.20	GM	38	13,68	NP	NP
SPT-2	1.50-1.62	GM	R	7,83	NP	NP

Çizelge 4.3. LSK-501 kuyusuna ait kaya deney bilgileri

LSK-501 NUMARALI KUYUYA AİT DENEY BİLGİLERİ (KAYA)							
DERİNLİK	TCR	RQD	D.B.H.A (g/cm ³)	E, Gpa	P.Oranı V	T.E.B.D qu (MPa)	Is (50) (MPa)
0.00-0.75	64						
1.20-1.50	67						
1.62-3.00	38	0	25.18				3.46
3.02-4.50	55	8	25.86	62.82	0.31	69.72	
4.51-6.00	77	17	25.26			18.62	
6.00-7.50	62	13	25.77				1.6
7.50-9.00	70	23	26.1			34.76	
9.00-10.50	76	7	25.87				3.28
10.50-12.00	75	22	24.76			15.13	
12.00-13.50	81	15	25.49				1.15
13.50-15.00	100	48	26.56			15.39	
15.00-16.50	100	63	25.54				4.29
16.50-18.00	100	42	25.8			17.38	
18.00-20.00	100	33	25.79				1.66
			26.03			46.35	

TSK-18 (tünel sondaj kuyusu) kuyusu için 35.00 m derinliğinde sondaj yapılmıştır. Sondaj verilerinin laboratuvar çalışmaları sadece kaya deneyleri olarak incelenmiştir (Çizelge 4.5). Deney sonuçlarına göre oluşturulan zemin profilinde zemin sınıflandırılması ; 0.00-35.00 m arası gri-krem renkli, yer yer kalsit dolgulu, az-orta derecede ayrılmış, kırıklı-çatlaklı, orta-orta zayıf dayanımlı KİREÇTAŞI olarak belirlenmiştir. Yeraltısuyuna rastlanılmamıştır.

Çizelge 4.5. TSK-18 kuyusuna ait kaya deney bilgileri

TSK-18 NUMARALI KUYUYA AİT DENEY BİLGİLERİ (KAYA)									
DERİNLİK	TCR	RQD	D.B.H.A (g/cm ³)	Üç Ek. C (MPa)	Üç Ek. F (°)	E, Gpa	P.Oranı V	T.E.B.D qu (MPa)	Is (50) (MPa)
0,30-0,50	96	32	25.33					47.8	
3,80-4,00	90	60	25.02			15.985	0.22	52.1	
6,10-6,30	98	82	24.83						4.10
9,00-9,20	75	30	25.18			13.113	0.24	43.8	
12,80-13,00	96	36	25.16						3.50
16,30-16,50	82	30	24.79			14.649	0.23	47.0	
18,80-19,00	82	30	25.22					53.2	
20,50-20,70	90	16	25.13			14.699	0.22	47.6	
25,60-25,80	88	36	25.27						3.30
27,50-27,70	88	36	24.82			14.746	0.22	47.3	
29,00-29,20	91	5	25.17					48.1	
31,80-31,90	90	16	24.85						3.90
32,80-33,00	90	16	25.52						3.40

YSK-19 (yarma sondaj kuyusu) kuyusu için 20.00 m derinliğinde sondaj yapılmıştır. SPT deneylerine göre zemin refü çıktığı için laboratuvar çalışmaları yapılmamıştır (Çizelge 4.6). Sondaj verilerinin laboratuvar çalışmaları sadece kaya deneyleri olarak incelenmiştir (Çizelge 4.7). Deney sonuçlarına göre oluşturulan zemin profilinde zemin sınıflandırılması; 0.00-15.00 m arası kahverengi, kireçtaşı kökenli, köşeli, çakıl ve bloklu, yer yer siltli, kumlu, çok sıkı YAMAÇ MOLOZU; 15.00-20.00 m arası Beyaz renkli, kalsit dolgulu, erime boşluklu, az-orta zayıf dayanımlı, az-orta derecede ayrıışmış, kırıklı-çok kırıklı yapıda zayıf-orta kaya kalitesinde KİREÇTAŞI olarak belirlenmiştir. 16.50 m’de yeraltısuyuna rastlanmıştır.

Çizelge 4.6. YSK-19 kuyusuna ait zemin deney bilgileri

YSK-19 NUMARALI KUYUYA AİT DENEY BİLGİLERİ (ZEMİN)			
Numune Cinsi	Derinlik (m)	USCS	SPT-N
SPT-1	0.75-0.79	-	R
SPT-2	1.50-1.55	-	R
SPT-3	3.00-3.03	-	R
SPT-4	4.50-4.54	-	R
SPT-5	6.00-6.03	-	R

Çizelge 4.7. YSK-19 kuyusuna ait kaya deney bilgileri

YSK-19 NUMARALI KUYUYA AİT DENEY BİLGİLERİ (KAYA)							
DERİNLİK	TCR	RQD	D.B.H.A (g/cm ³)	E, Gpa	P.Oranı V	T.E.B.D qu (MPa)	Is (50) (MPa)
6.03-7.50	30	-					
7.50-9.00	40	-					
9.00-10.50	35	-					
10.50-12.00	45	-					
12.00-13.50	40	-	25.39				2.9
13.50-15.00	35	-					
15.00-16.50	90	65	26.25	15.374	0.19	50.2	
16.50-18.00	80	55	25.81				3.0
18.00-19.50	70	30					
19.50-20.00	90	75	24.89	10.738	0.23	35.1	

4.1.3. Jeofizik çalışmaları

T-11 tüneline 193+000-195+850 km ler arasında jeolojik birimlerin elektrik iletim direncine göre ayırım yapmamızı sağlayan elektrik özdirenç yöntemlerinden, çok elektrotlu özdirenç (ERT) çalışmaları 2 profilde ve düşey elektrik sondajı (DES) çalışmaları 11 noktada yapılmıştır. Tünel giriş ve çıkışlarında sismik dalga hızları ve dinamik-elastik parametrelerin tespiti amacıyla 2 profil Masw, 1 profil Remi çalışmaları (Çok kanallı yüzey dalgası analiz yöntemleri) yapılmıştır. T-11 tüneli için yapılan jeofizik çalışmaları lokasyon koordinatları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 4.8).

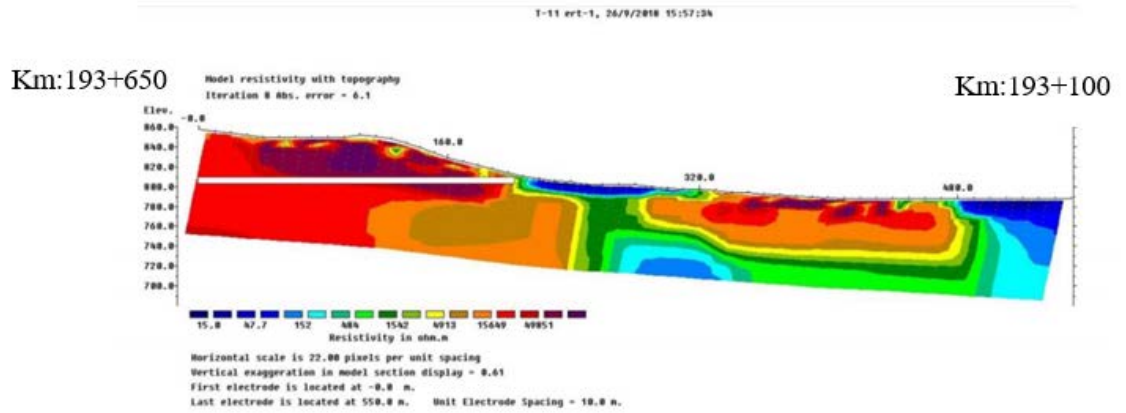
Çizelge 4.8. T-11 tüneline yapılan Jeofizik çalışmalar lokasyon koordinatları

Profil No	Km	
	Başlangıç	Bitiş
Ert-1	193+100	193+650
Ert-2	195+000	195+850
Profil No	Km	
	Başlangıç Km	Bitiş Km
Mw-1	193+380	193+450
Mw-2	195+500	195+570
Remi-1	193+300	193+415
Profil No	Km	
Des-1	193+700	
Des-2	193+900	
Des-3	194+100	
Des-4	194+350	
Des-5	194+750	
Des-6	194+850	
Des-7	195+100	
Des-8	195+250	
Des-9	195+400	
Des-10	195+500	
Des-11	195+700	

T-11 tüneline yapılan çok elektrotlu elektrik öz direnç çalışmaları 2 profile ayrılarak yapılmıştır. Alınan elektrik öz direnç tomografi ölçümleri Res2dinv yazılımında 2-boyutlu olarak modellenerek elektrik öz direnç yapı kesiti elde edilmiştir. Yapılan çalışmaların lokasyon koordinatları Ert-1 için başlangıç 193+100 km bitiş 193+650 km; Ert-2 için başlangıç 195+000 km bitiş 195+850 km olarak belirlenmiştir.

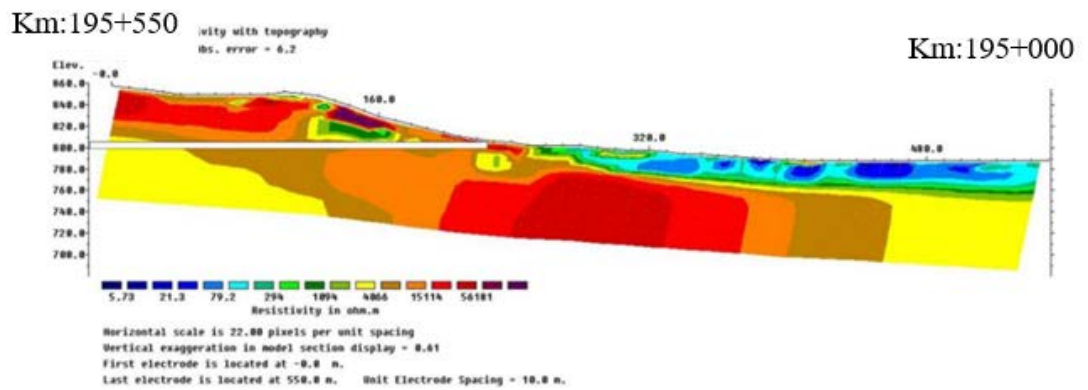
ERT-1 profilinde; Mavi renk tonları ile gösterilen kesimlerin örtü birim, açık mavi renk tonları ile gösterilen kesimlerin Gözenekli Kireçtaşı ve Gözenekli killi Kireçtaşı, yeşil-sarı-kahverengi renk tonları ile gösterilen kesimlerin Kırıklı-çatlaklı Kireçtaşı, kırmızı kırmızı renk tonları ile gösterilen kesimlerin masif kireçtaşı birimleri olduğu tahmin edilmektedir. Ancak koyu kırmızı renk tonları ile gösterilen çok yüksek öz dirence sahip kuru kırık-çatlaklı kesimler veya erime boşluğu oluşabilecek kesimler olduğu düşünülmektedir.

Ert-1 kesitine bakıldığında profil boyunca 0-200 metreleri arası gözenekli ve kırıklı çatlaklı birimlerin yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Elektrik özdirenç tomografi kesiti 1(ERT-1)

ERT-2 profilinde; Mavi renk tonları ile gösterilen kesimlerin örtü birim, açık mavi renk tonları ile gösterilen kesimlerin Gözenekli Kireçtaşı ve Gözenekli killi Kireçtaşı, yeşil-sarı-kahverengi renk tonları ile gösterilen kesimlerin Kırıklı-çatlaklı Kireçtaşı, kırmızı kırmızı renk tonları ile gösterilen kesimlerin masif kireçtaşı birimleri olduğu tahmin edilmektedir. Ancak koyu kırmızı renk tonları ile gösterilen çok yüksek özdirence sahip kuru kırık-çatlaklı kesimler veya erime boşluğu oluşabilecek kesimler olduğu düşünülmektedir. Ert-2 kesitine bakıldığında profil boyunca 0-250 metreleri arası gözenekli ve kırıklı çatlaklı birimlerin yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 4.2).

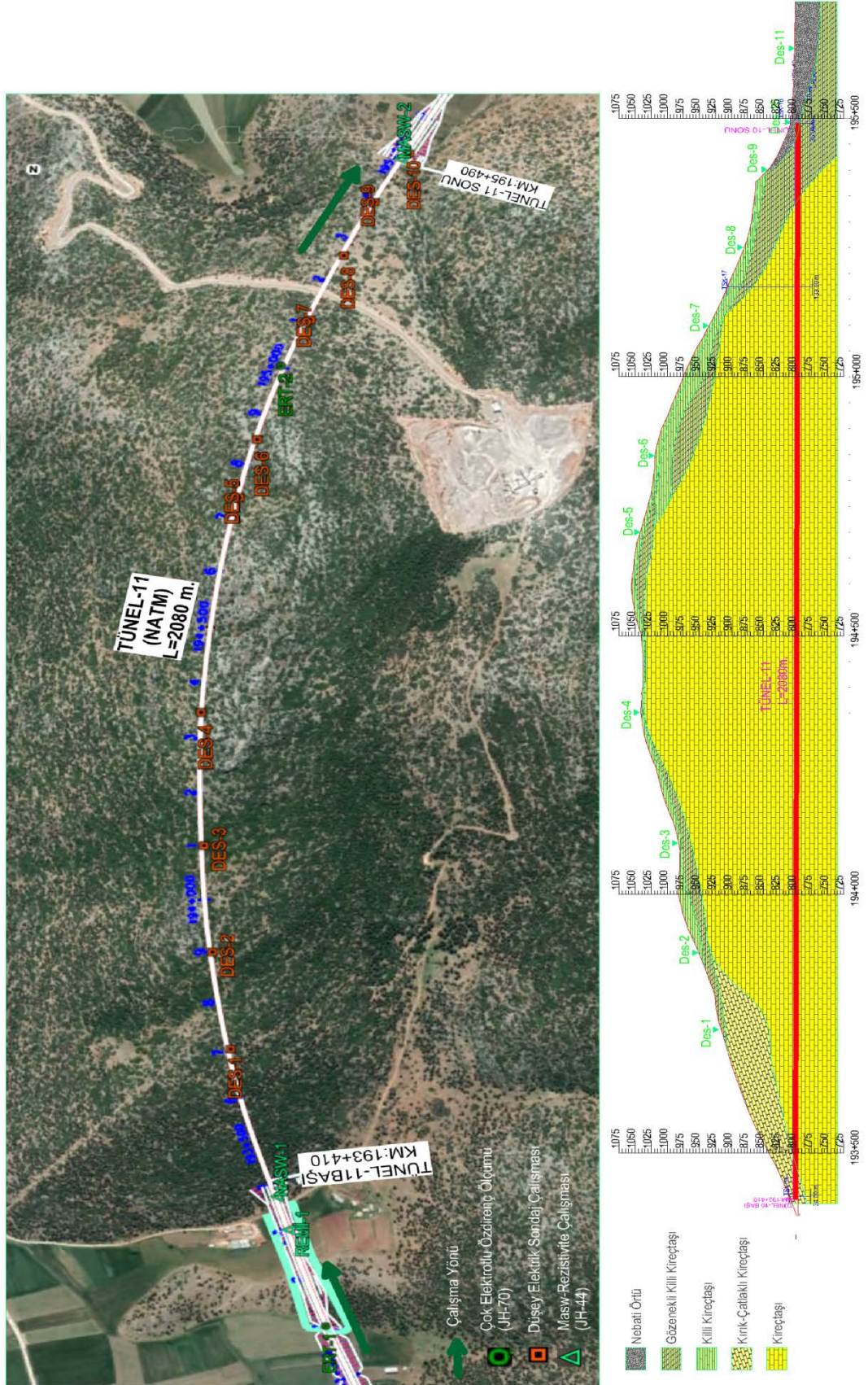


Şekil 4.2. Elektrik özdirenç tomografi kesiti 2(ERT-2)

T-11 tüneline 193+700-195+700 km de 11 noktada düşey elektrik sondaj çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4.3). Yapılan çalışmalar sonucunda öz direncin belirgin olarak değiştiği kesimler sahada yapılan diğer çalışmalar ile birlikte değerlendirilerek olası litolojiler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 4.9. Öz direnç değerleri ve olası litolojiler

Profil No	Tabaka Derinliği (m)	Rezistivite(Ω m)	Olası Litoloji Tarifleri
Des-1	4	3000	Gözenekli killi Kçt.
	72	11250	Gözenekli Kçt
	70	4250	Gözenekli killi Kçt
		75500	Masif Kçt.
Des-2	6.5	700	Gözenekli killi Kçt.
	9	10500	Gözenekli Kçt
	160	57750	Kırıklı çatlaklı Kçt
		72500	Masif Kçt.
Des-3	1	900	Gözenekli killi Kçt.
	8	12250	Gözenekli Kçt
	30	47500	Kırıklı çatlaklı Kçt
	165	65750	Masif Kçt.
		85000	Masif Kçt.
Des-4	1.5	1250	Gözenekli killi Kçt.
	1	28000	Gözenekli Kçt
	60	80000	Masif Kçt.
	215	45000	Kırıklı çatlaklı Kçt
		85000	Masif Kçt.
Des-5	2	2300	Gözenekli killi Kçt.
	15	18500	Gözenekli Kçt
	17	80000	Masif Kçt.
	227	65000	Kırıklı çatlaklı Kçt
		95000	Masif Kçt.
Des-6	2	2000	Gözenekli killi Kçt.
	20	25500	Gözenekli Kçt
	40	7500	Gözenekli killi Kçt.
	215	65000	Kırıklı çatlaklı Kçt
		92500	Masif Kçt.
Des-7	1	1500	Gözenekli killi Kçt.
	1	31500	Gözenekli Kçt
	45	82000	Masif Kçt.
	114	58000	Kırıklı çatlaklı Kçt
		85500	Masif Kçt.
Des-8	4	900	Gözenekli killi Kçt.
	5	35000	Gözenekli Kçt
	25	7750	Gözenekli killi Kçt.
	100	33000	Gözenekli Kçt
		65000	Masif Kçt.
Des-9	2	240	Nebati Örtü
	9	4250	Gözenekli killi Kçt.
	20	2250	Gözenekli killi Kçt.
	100	22500	Gözenekli Kçt
		48500	Masif Kçt.
Des-10	8	250	Nebati Örtü
	5	3750	Gözenekli killi Kçt.
	30	900	Gözenekli killi Kçt.
	30	150	Nebati Örtü
		1250	Gözenekli killi Kçt.
Des-11	2	45	Nebati Örtü
	13	60	Nebati Örtü
	20	100	Nebati Örtü
		1200	Gözenekli killi Kçt.

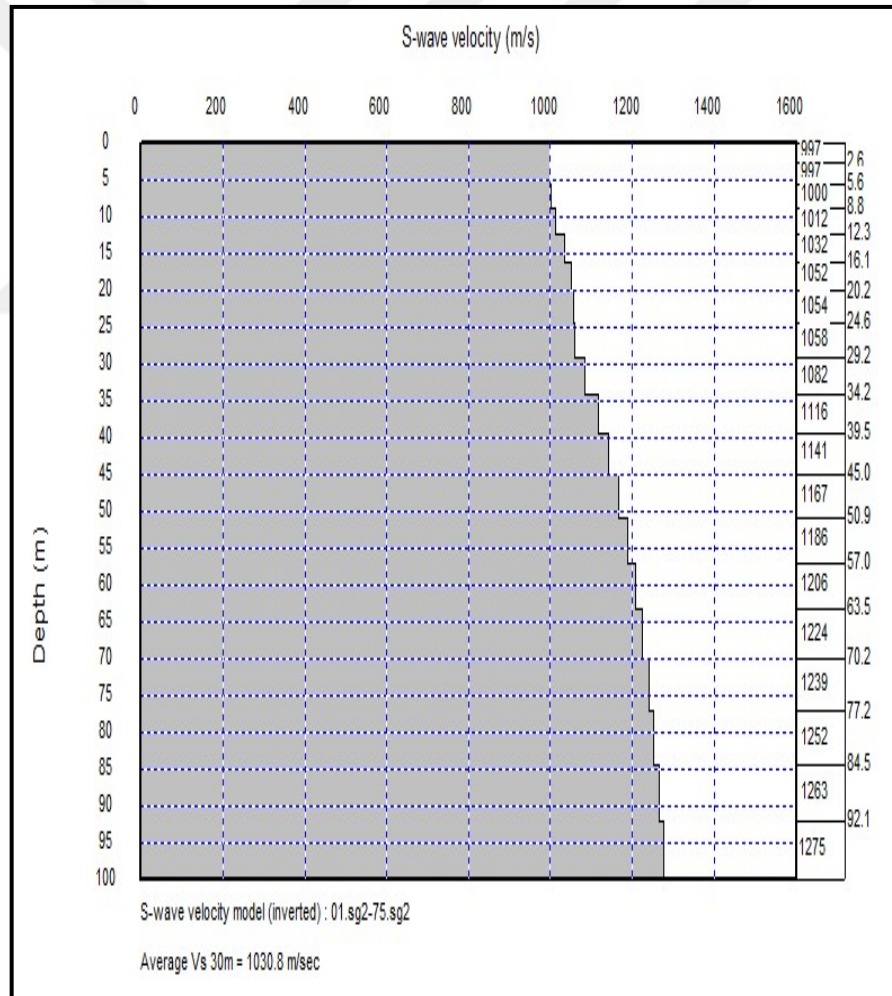


Şekil 4.3. T-11 tüneline yapılan Des sonuçlarının birleştirilmiş hali

T-11 tüneline 2 profil Masw ve 1 profil Remi sismik çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çok kanallı yüzey dalgası analiz yöntemi çalışmaları sonucunda elde edilen kesitler üzerinde sismik dalga hızlarının belirgin olarak değiştiği kesimler sunulmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. V_p ve V_s dalga hızlarına göre dinamik-elastik mühendislik parametreleri

Profil No	Tbk.	V_p	V_s	h	Vs30	V_p/V_s	r	G_{max}	E_d	v	K
		(m/s)	(m/s)				(m)	(gr/cm ³)	(kg/cm ²)		(kg/cm ²)
Mw-1	1	802	525	5	667	1.53	1.6	4540	10216	0.13	4541
	2	3215	645	8		4.98	2.3	9696	28683	0.48	227981
	3	4839	769	-		6.29	2.6	15266	45404	0.49	584145
Mw-2	1	735	552	2	795	1.33	1.6	4911	8379	0.15	2159
	2	2455	628	2		3.91	2.2	8593	25176	0.46	119857
	3	2659	932	-		2.85	2.2	19307	55216	0.43	131407



Şekil 4.4. T-11 tüneli giriş portalında yapılan REMİ çalışmasından elde edilen Vs kesiti

T-11 tüneline yapılan sismik ölçümlerde elde edilen V_p (P-sismik dalga hızı) hızları incelendiğinde yaklaşık 2-5 m ye kadar görülen biriminin Kolay sökülebilir sınıfına, 2-5 m derinlikten 4-13 m derinliğe kadar görülen birimlerin Son Derece Zor sınıfına, 4-13 m derinlikten araştırma derinliğine kadar görülen biriminin Son Derece Zor sökülebilir sınıfına girdiği görülmektedir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. V_p hızlarına göre zeminlerin sökülebilirlikleri

Profil No	Tbk.	V_p	h	Sökülebilirlik
		(m/s)	(m)	
Mw-1	1	802	5	Kolay
	2	3215	8	Son Derece Zor
	3	4839	-	Son Derece Zor
Mw-2	1	735	2	Kolay
	2	2455	2	Son Derece Zor
	3	2659	-	Son Derece Zor

T-11 tüneline yapılan sismik ölçümlerde elde edilen V_s (s- sismik dalga hızı) hızları Keçeli (1990) ye göre incelendiğinde yaklaşık 2-5 m ye kadar görülen biriminin Sert sınıfına, 2-5 m derinlikten 4-13 m derinliğe kadar görülen birimin Sert sınıfına, 4-13 m derinlikten araştırma derinliğine kadar görülen biriminde Sert sınıfına girdiği görülmektedir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. V_s hızlarına göre zemin durumları, Keçeli(1990)

Profil No	Tbk.	V_s	h	Zemin Durumu
		(m/s)	(m)	Keçeli(1990)
Mw-1	1	525	5	Sert
	2	645	8	Sert
	3	769	-	Sert
Mw-2	1	552	2	Sert
	2	628	2	Sert
	3	932	-	Sert

Yapılan jeofizik yöntemler sonucunda zeminin sökülebilirliği kolay ve son derece zor sökülebilirlik özelliklerini taşıdığını ortaya koymaktadır. Zemin durumunda sert sınıfa girdiği gözlenmiştir.

4.1.4. Süreksizlik değerlendirmeleri

Tünel giriş ve çıkışlarında süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler kireçtaşı yüzleklerinden alınmıştır. Tünel girişinden 5 adet , tünel çıkışından 9 adet süreksizlik ölçümü alınarak toplamda 14 adet ölçüm yapılmıştır. Süreksizlik ölçümleri schmidt çekici ile yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde eğim ve eğim yönü hesaplanmıştır. Tünel girişi için hesaplanan eğim ve eğim yönü Dips v5.0 programı, tünel çıkışı için Dipsv6.0 programı uygulanarak streografik diyagramları oluşturulmuştur.

Tünel girişinde ölçülen süreksizlikler kireçtaşı birimden alınmıştır (Foto 4.2). Süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.13). Bu değerler dips programına girilerek süreksizliklerin yoğunlaştığı alanlar hesaplanmıştır. Plan da tünel ekseninin kuzey ile yaptığı açı 109 ° olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.4).

Çizelge 4.13. Tünel girişinde ölçülen süreksizliklerin eğim(DİP) ve eğim yönleri(DİP DİRECTION)

Dips1*			
ID	Dip	Dip Direction	Set
1	9	312	3
2	77	310	
3	45	131	
4	57	306	
5*	8	314	3

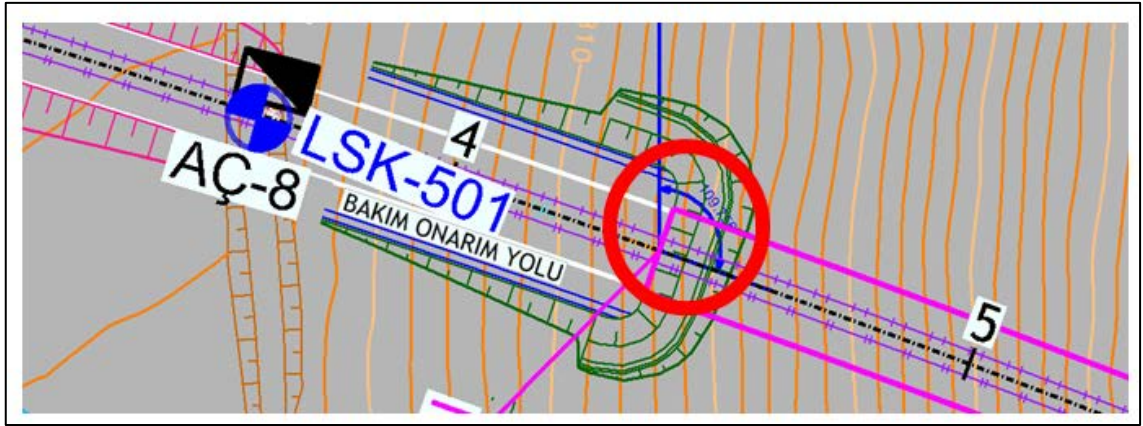
ID	DİP	DİP DİRECTION	SET
1	9	312	3
2	77	310	
3	45	131	
4	57	306	
5	8	314	3

Çizelge.4.13. Süreksizlik Değerlendirmeleri

Süreksizlik Ölçüm Veri Formu													
Burdur-Antalya Demiryolu													
Tarih													
Sayfa													
KM: / Durak 547844- 4145546													
Set	Tür	Eğim (0°-90°)	Eğim Yönü (0°-360°)	Aralık	Açıklık	Devamlılık	Devamlılığın Bitişi	Pürüzlülük	JRC (*)	Dolgu Türü	Su Durumu Ayrışma	Litoloji	Açıklama / Notlar
1	8	9	312	3-4	3-4	1-3	a	VII		3-5	-	W3	KIREÇTAŞI
2	3	77	310	3-4	3-4	1-3	a	VII		3-5	-	W3	KIREÇTAŞI
3	3	45	131	3-4	3-4	1-3	a	VII		3-5	-	W3	KIREÇTAŞI
4	3	57	306	3-4	3-4	1-3	a	VII		3-5	-	W3	KIREÇTAŞI
5	8	8	314	3-4	3-4	1-3	a	VII		3-5	-	W3	KIREÇTAŞI
6													
7													
8													
9													
10													
11													
SÜREKSİZLİK TANIMLAMALARI (*JRC ölçümleri profilometre ile yapılacaktır)													
Tür	Pürüzlülük	Aralık	Açıklık	mm	Dolgu Türü	Relation between J_r and JRC_n (Subscripts refer to block size in cm)							
1 Fay Zonu	A Basamaklı				1 Dolgusuz	I	Rough						
2 Fay	B Dalgalı	1 Oldukça Dar		<20	2 Yüzeysel Sivama	II	Smooth						
3 Eklem	C Düzlemsel	2 Çok Dar		20-60	3 KI	III	Slickensided						
4 Klivaj	1 Kaygan (JRC 0-4)	3 Dar		60-200	4 Breş	IV	Rough						
5 Şistozite	2 Pürüzsüz (JRC 4-8)	4 Orta		200-600	5 Mineral	V	Smooth						
6 Makaslama	3 Az Pürüzlü (JRC 8-12)	5 Geniş		600-2000	6 Çimentolanma	VI	Slickensided						
7 Çatlak	4 Pürüzlü (JRC 12-16)	6 Çok Geniş		2000-6000	7 Klorit, Talk, Jips	VII	Rough						
8 Tabaka	5 Çok Pürüzlü (JRC 16-20)	7 Oldukça Geniş		>6000		VIII	Smooth						
Açıklık	mm	Devamlılık	mm	Devamlılığın Bitişi	Su Durumu								
1 Çok Sıkı	<0.1	1 Çok Düşük	<1	a Süreksizliğin iki ucunda devamlılığı gözlenemedi	1 Kuru	IV	Rough						
2 Sıkı	0.1 - 0.25	2 Düşük	1 - 3	b Süreksizliğin bir ucunda devamlılık gözlendi	2 Nemli	V	Smooth						
3 Kısmen Açık	0.25 - 0.50	3 Orta	3-10	c Süreksizliğin iki ucunda devamlılığı gözlendi	3 Islak	VI	Slickensided						
4 Açık	0.5 - 2.5	4 Yüksek	10-20		4 Sızıntı	VII	Rough						
5 Orta Geniş	2.5 - 10	5 Çok Yüksek	>20		5 Akış	VIII	Smooth						
6 Geniş	>10					IX	Slickensided						
7 Çok Geniş	10-100	1 Taze											
8 Aşırı Geniş	100-1000	2 Az Ayrışmış											
9 Boşluklu	>1000	3 Orta Derece Ayrışmış											
Schmidt Geri Sığama Değerleri: 42-38-34-40-40-36-46-43-30-38-32-42-38-40-41-38-30-36-38-42-48													



Foto 4.2. Tünel girişinde Kireçtaşı biriminden süreksizlik ölçümlerinin yapıldığı lokasyon.



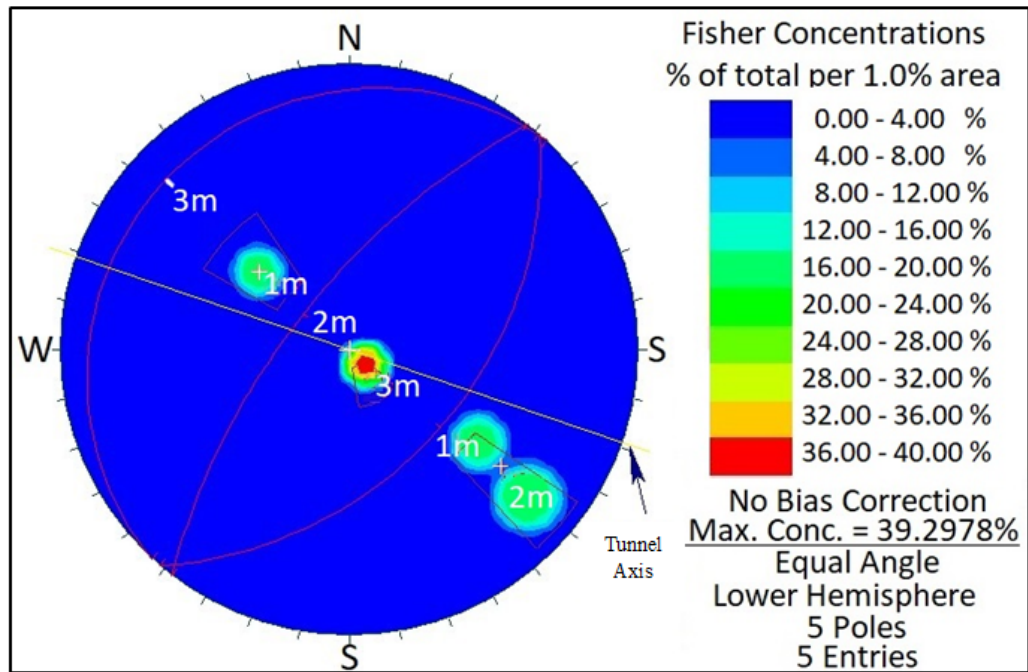
Şekil 4.4. Tünel girişinde tünel ekseninin kuzey ile yaptığı açının planda gösterimi

Tünel girişinde ölçülen süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri dips programında girilerek aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

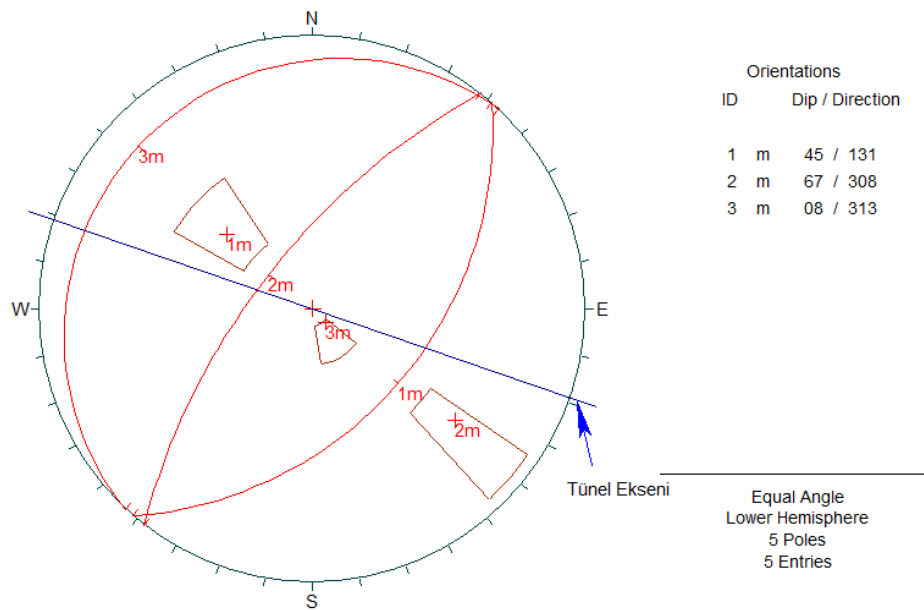
Süreksizlikler belirli bölgelerde yoğunlaşarak yüzde dilimliklerle renklendirilmiştir. Renklere göre üç tane süreksizlik seti oluşmuştur. 1m süreksizliğinde, süreksizliğin sadece %12-%16'lık kısmının alındığı belirlenmiştir. Süreksizliğin en fazla yoğunlaştığı bölge kırmızı renkte

bulunmaktadır. Bu bölgede süreksizliğin %36 -%40 'lık kısmı alınmıştır (Şekil 4.5).

Arazi de toplamda 5 adet süreksizlik ölçülüp, ölçülen süreksizlikler de eğim ve eğim yönleri birbirine yakın olanlar kendi içlerinde set halinde alınmaktadır. Böylece tünel girişinde 3 adet süreksizlik seti meydana gelmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Tünel girişindeki süreksizliklerin renk skalasına göre yoğunlaştığı alanlar



Şekil 4.6. Tünel girişindeki süreksizliklerin eğim ve eğim yönlerine göre oluşan süreksizlik setleri

Tünel çıkışında ölçülen süreksizlikler kireçtaşı yüzleklerinden alınmıştır (Foto 4.3). Süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.14). Bu değerler dips programına girilerek süreksizliklerin yoğunlaştığı alanlar hesaplanmıştır. Tünel çıkışı için plan da tünel ekseninin kuzey ile yaptığı açı 201° olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7).



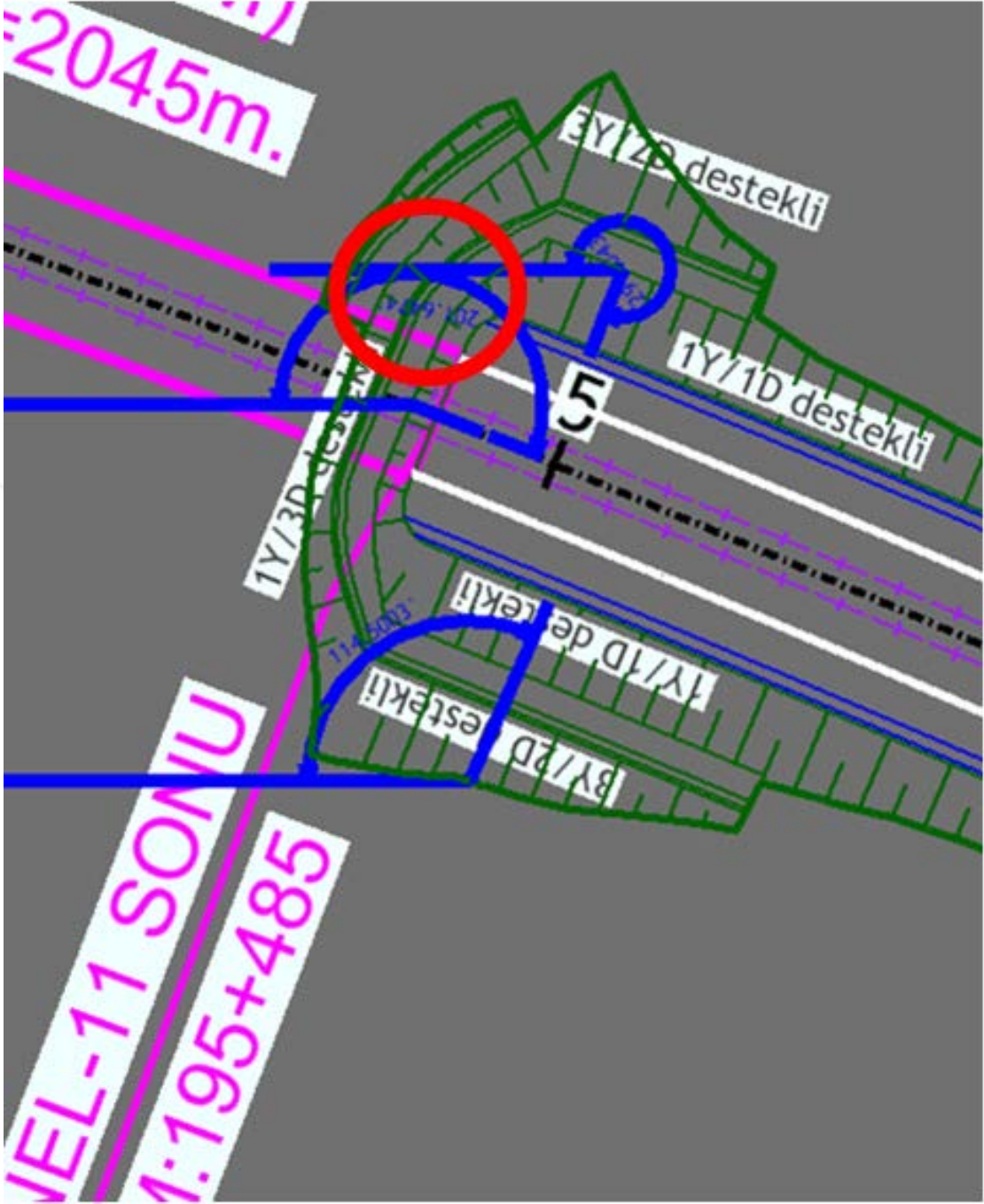
Foto 4.3. Tünel çıkışında Kireçtaşı biriminden süreksizlik ölçümlerinin yapıldığı lokasyon.

Çizelge 4.14. Tünel çıkışında ölçülen süreksizliklerin eğim(DİP) ve eğim yönleri(DİP DİRECTİON)

ID	DİP	DİP DİRECTİON	SET
1	16	284	3
2	85	192	3
3	84	279	3
4	75	209	3
5	76	192	3
6	25	273	3
7	79	185	3
8	81	195	3
9	83	191	3

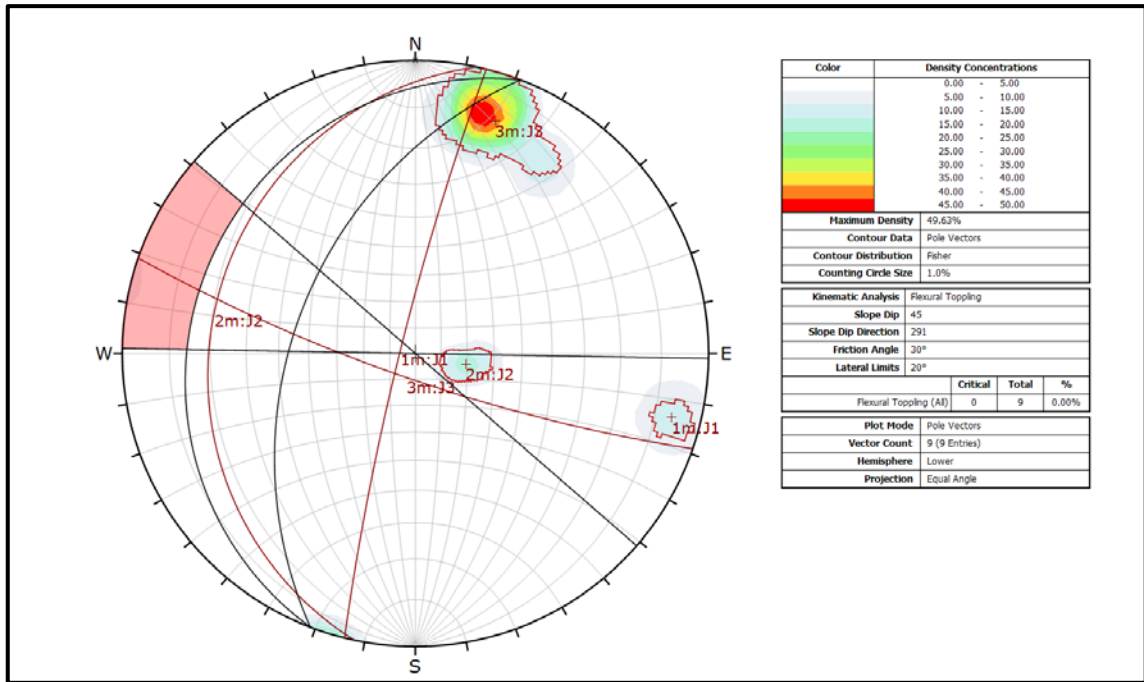
Çizelge.4.14. Süreksizlik Değerlendirmeleri

BURDUR-ANTALYA DEMIRYOLU-T-11 ÇIKIŞ														
Süreksizlik Ölçüm Veri Formu														
Proje Adı	BURDUR-ANTALYA DEMIRYOLU-T-11 ÇIKIŞ													
Yapan														
KM: / Durak	547390- 4143533													
Set	Tür	Eğim (0°-90°)	Eğim Yönu (0°-360°)	Aralık	Açıklık	Devamlılık	Devamlılığın Bittiği	Pürüzlülük	JRC (*)	Dolgu Türü	Su Durumu	Ayrışma	Litoloji	Açıklama / Notlar
1	3	16	284	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
2	3	85	192	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
3	3	84	279	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
4	3	75	209	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
5	3	76	192	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
6	3	25	273	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
7	3	79	185	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
8	3	81	195	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
9	3	83	191	3-4	4-5	2	c	V	V	3-5	-	W2-W3	KİREÇTAŞI	
10														
11														
SÜREKSİZLİK TANIMLAMALARI (*JRC ölçümleri profilometre ile yapılacaktır)														
Tür	Pürüzlülük	Aralık	mm	Dolgu Türü	JRC	Devamlılık	Devamlılığın Bittiği	Pürüzlülük	JRC (*)	Dolgu Türü	Su Durumu	Ayrışma	Litoloji	Açıklama / Notlar
1	Fay Zonu	A Basamaklı												
2	Fay	B Dalgalı	<20	1 Dolgunsuz										
3	Eklemler	C Düzlemsel	20-60	2 Yüzeysel Sivama										
4	Klivanj	1 Kaygan (JRC 0-4)	60-200	3 Kil										
5	Şistozite	2 Pürüzsüz (JRC 4-8)	200-600	4 Breş										
6	Makaslılar	3 Az Pürüzlü (JRC 8-12)	600-2000	5 Mineral										
7	Çatlaklar	4 Pürüzlü (JRC 12-16)	2000-6000	6 Çimentolanma										
8	Tabaka	5 Çok Pürüzlü (JRC 16-20)	>6000	7 Klorit, Talk, Jips										
Açıklık	mm	Devamlılık	mm	Devamlılığın Bittiği	Su Durumu	Relation between J _r and JRC _n (Subscripts refer to block size in cm)								
1	<0.1	1 Çok Düşük	<1	a Süreksizliğin iki ucunda devamlılığı gözlenemedi	1 Kuru	I	Rough		4	20	11			
2	0.1 - 0.25	2 Düşük	1 - 3	b Süreksizliğin bir ucunda devamlılık gözlemlendi	2 Nemli	II	Smooth		3	14	9			
3	0.25 - 0.50	3 Orta	3-10	c Süreksizliğin iki ucunda devamlılığı gözlemlendi	3 Islak	III	Slickensided		2	11	8			
4	0.5 - 2.5	4 Yüksek	10-20		4 Sızmtı	IV	Rough	Stepped	3	14	9			
5	2.5 - 10	5 Çok Yüksek	>20		5 Akış	V	Smooth		2	11	8			
6	>10					VI	Slickensided	Undulating	1.5	7	6			
7	10-100	1 Taze				VII	Rough		1.5	2.5	2.3			
8	100-1000	2 Az Ayrışmış				VIII	Smooth		1.0	1.5	0.9			
9	>1000	3 Orta Derece Ayrışmış				IX	Slickensided	Planar	0.5	0.5	0.6			
Schmidt Geri Sıçrama Değerleri: 42-44-38-38-40-34-34-32-36-35-39-35-40-42-42-38-41-32-38-34-32-42														

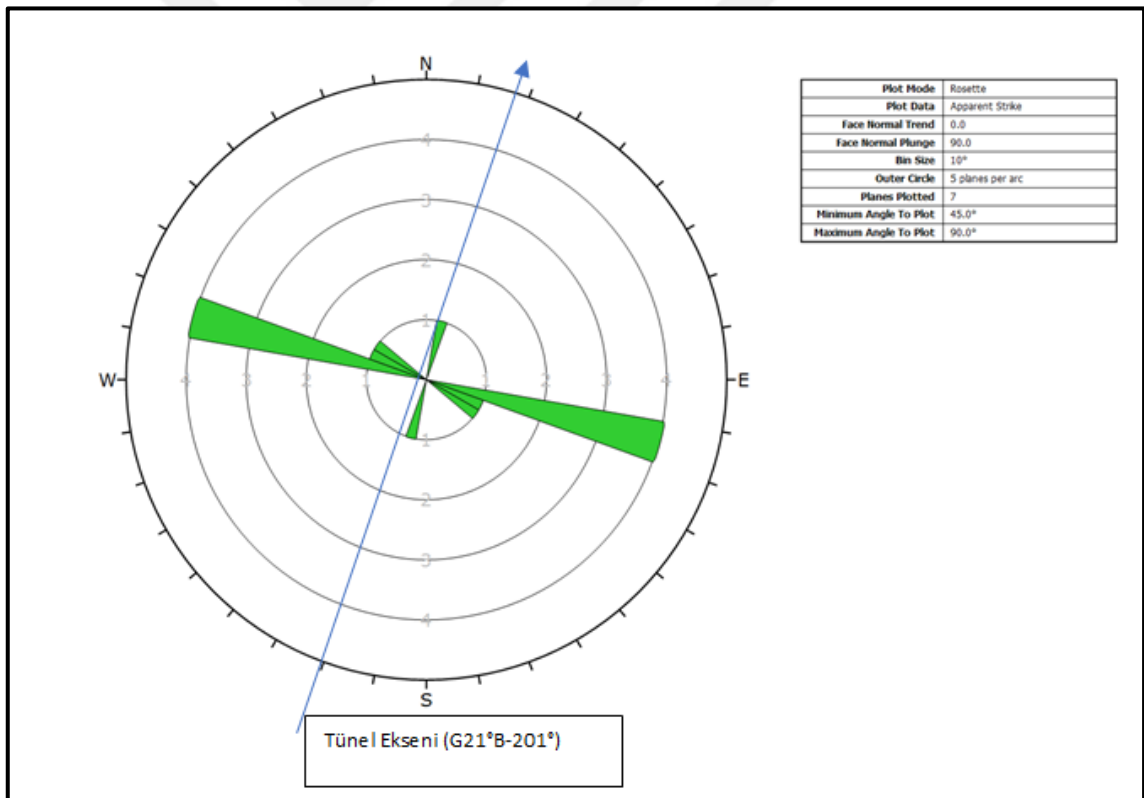


Şekil 4.7. Tünel çıkışında tünel ekseninin kuzey ile yaptığı açının planda gösterimi

Tünel çıkışı için arazi de toplamda 9 adet süreksizlik ölçülüp, ölçülen süreksizlikler de eğim ve eğim yönleri birbirine yakın olanlar kendi içlerinde set halinde alınmaktadır. Dips v6.0 programı kullanılarak tünel çıkışında 3 adet süreksizlik seti meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 4.8. ve Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Tünel çıkışında bulunan süreksizliklerin eğim ve eğim yönlerine göre oluşan süreksizlik setleri



Şekil 4.9. Tünel çıkışında bulunan süreksizliklerin gül diyagramı.

4.2. Tünel Giriş ve Çıkış Portal Kesimleri Mühendislik Jeolojisi Değerlendirmeleri

Tünel portalleri için şev analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler arazide ölçülen süreksizlere bağlı olarak Dips ve Slide programları kullanılarak ayrı ayrı

değerlendirilmiştir. Dips programı kullanılarak kinematik analizler sonucunda düzlemsel kayma, devrilme ve kamasal kayma koşullarına bakılmıştır. Böylece şev duraylılığı incelenmiştir. Slide programı ile yapılan analizlerde Kaya kütle değerlendirmesi yapılmış olup, Gen. Hoek-Brown yöntemi kullanılarak güvenlik sayıları hesaplatılmıştır.

Tünel giriş portalinde grimsi-bej-beyaz renkli, orta derecede ayrışmış-ayrışmış, süreksizlikleri; aralığı 6cm-20 cm arasında değişen, devamlılığı 10-20 m olan, süreksizlik açıklığı 0.25-2.5 mm, süreksizlik yüzeyleri az pürüzlü, süreksizlikleri yumuşak dolgulu ve kalsit dolgulu olan, genelde orta zayıf-zayıf dayanımlı, yer yer dayanımlı-orta dayanımlı Kireçtaşı biriminden oluşmaktadır (Çizelge 4.15).

Tünel çıkışında ve portalinde sondaj verileri ve arazi gözlemlerine göre Beydağları formasyonuna ait yamaç molozundan oluşan birim ile Kireçtaşı birimi içerisinde kalmaktadır. Kireçtaşı birimi grimsi renkli, silis içeriği yüksek, ayrışmış-orta derecede ayrışmış, orta zayıf-zayıf dayanımlı, erime boşluklu, çatlakları kil-kalsit dolgulu oluşmaktadır.

Çizelge 4.15. Tünel bölgesinin mühendislik jeolojisi

Kilometre	Başlangıç	193+388	195+485
	Bitiş	193+440	195+579
Açıklama		Giriş Portalı	Çıkış Portalı
Formasyon		Beydağları Formasyonu	Beydağları Formasyonu ve Yamaç Molozu
Litoloji		Kireçtaşı	Kireçtaşı+Yamaç Molozu
Ayrışma		W3	W2-W3

Yapılan sondajlarda yeraltı su seviyesinin olmadığı ve kayaçların kırıklı, çatlaklı ve boşluklu yapı olmasından dolayı boşluk su basıncı yoktur. Bu nedenle $ru=0$ olarak kabul edilmiştir.

4.2.1. Tünel Giriş Portalı Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi

4.2.1.1. Tünel Giriş Portaline Ait Kaya Kütle Değerlendirmeleri

Tünel giriş portaline ait kaya kütle değerlendirmeleri RMR(CSIR) Sınıflama Sistemine göre yapılmıştır. RMR(CSIR) Sınıflama Sistemi, 1972-1973 yılları arasında ilk kez Bieniawski (1973) tarafından yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilmiştir. Bieniawski'nin 1973 döneminde Güney Afrika

Bilimsel ve Sanayi Araştırma Merkezi (CSIR) 'nde çalışıyor olması sebebiyle, adı daha sonra "Kaya Kütleli Puanlama Sistemi (Rock Mass Rating System-RMR)" olarak değiştirilmiş olan bu sistem, sistemi kullananlar tarafından uzun yıllar boyunca "CSIR Jeomekanik Sınıflama Sistemi" olarak anılmıştır. Sistemin geliştiricisinin yani Bieniawski'nin uyarılarına rağmen, 1980 lerin sonuna doğru RMR adının kullanımı yaygınlaşmıştır.

Tünel giriş RMR sınıflandırılması LSK-501 sondaj laboratuvar sonuçlarından elde edilen verilere göre belirlenmiştir. RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında belli parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu proje için aşağıdaki parametreler esas alınmıştır.

Tek eksenli basınç dayanım değeri (T.E.B.D.); LSK-501 sondajında laboratuvar verilerine göre 7 adet T.E.B.D bulunmuştur (Çizelge 4.16.). Bu verilerin ortalaması alınarak tek eksenli basınç dayanım değeri **31.05 MPa** olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.16. LSK-501 tek eksenli basınç dayanım değerleri

T.E.B.D qu (MPa)						
69.72	18.62	34.76	15.13	15.39	17.38	46.35

Ortalama nokta yükü dayanımı (Is(50)) ; LSK-501 laboratuvar sonuçlarına göre 6 adet nokta yükü dayanımı hesaplanmıştır. Hesaplanan verilerin ortalaması alınmıştır. Alınan ortalama değeri $12 \cdot Is(50)$ yapılarak ortalama nokta yükü dayanımı bulunmuştur (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. LSK-501 ortalama nokta yükü dayanım değerleri

Is (50) (MPa)						
3.46	1.6	3.28	1.15	4.29	1.66	Ort.=2.57

$$12 \cdot Is(50) = 12 \cdot 2.57 = \mathbf{30.84 \text{ MPa}}$$

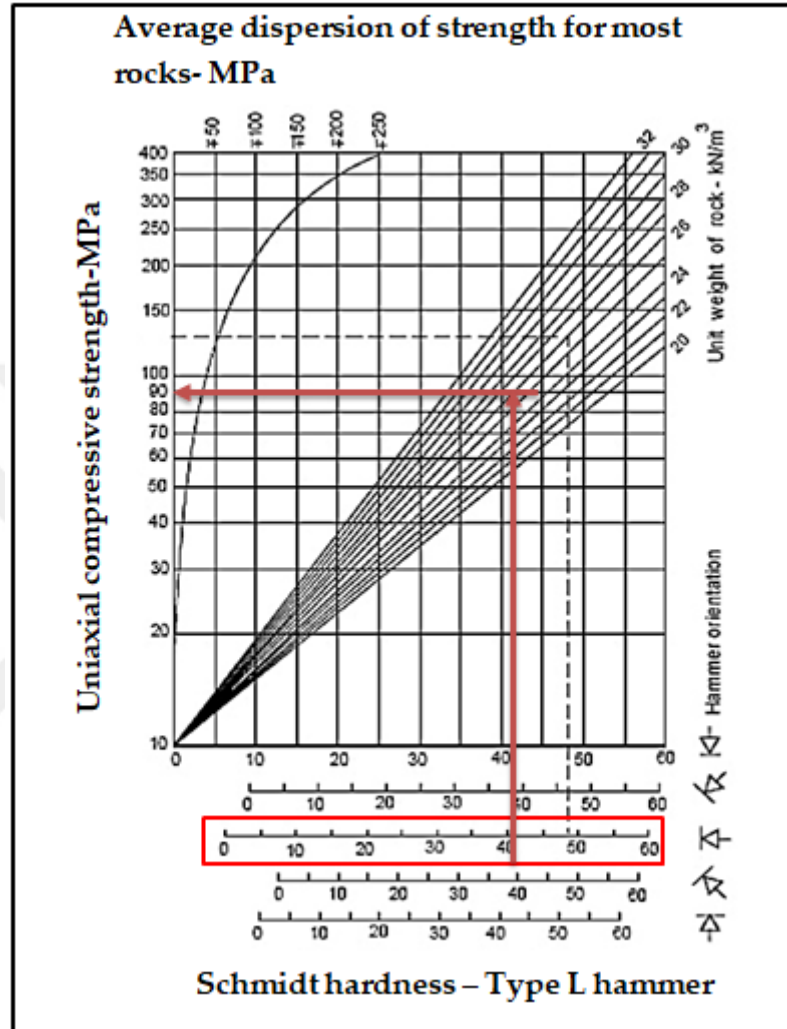
(4.1)

Schmidt sertlik tayininden tünel girişı için arazide geri sıçrama değerleri alınmıştır. Alınan bu değerlerin en yüksek 10 tanesinin ortalaması hesaplanmıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Tünel girişı schmidt geri sıçrama değerleri

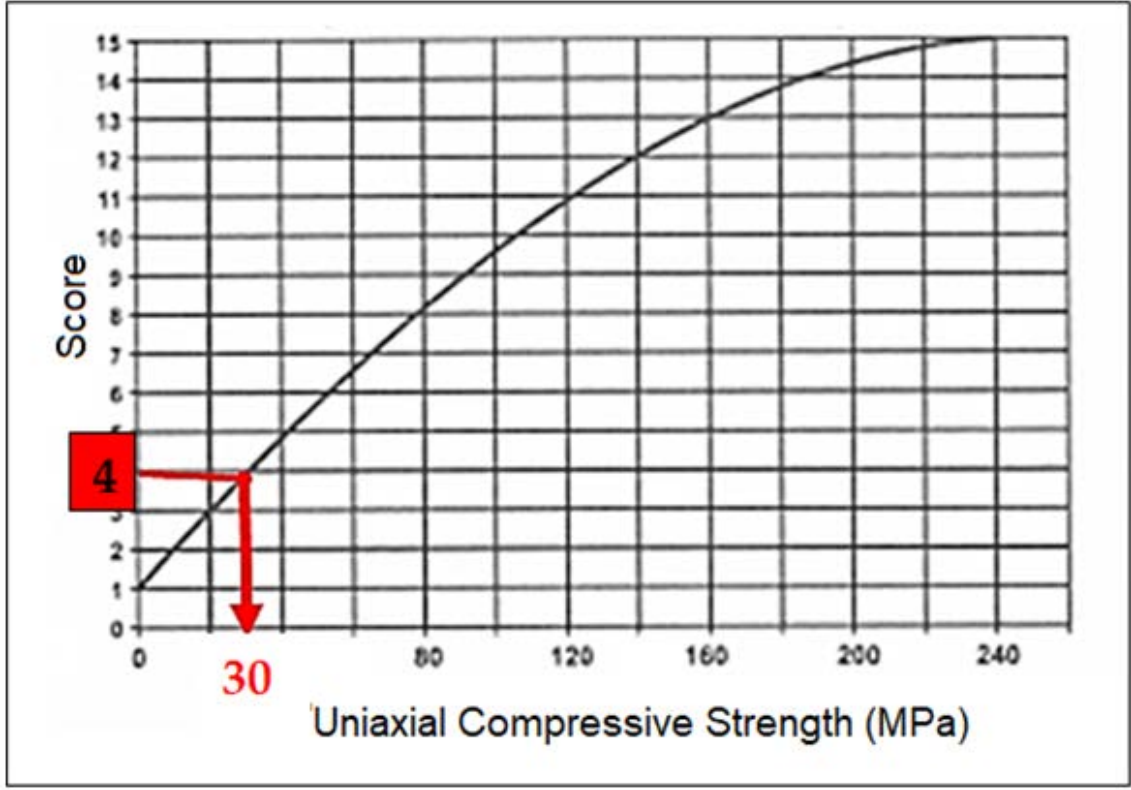
Sıra No	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Sıra No	Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	42	11	32
2	38	12	42
3	34	13	38
4	40	14	40
5	40	15	41
6	36	16	38
7	46	17	30
8	43	18	36
9	30	19	38
10	38	20	42
En yüksek 10 tanesi ortalaması=41			

Schmidt sertliğinden tek eksenli basınç dayanımının tahmini için oluşturulan abak (Deere ve Miller, 1966) ile hesaplanan ortalama değerin kesişim noktası okunmuştur (Şekil 4.10). Bu verileri göre Schmidt sertlik tayininden tünel girişi 90 MPa olarak bulunmuştur.



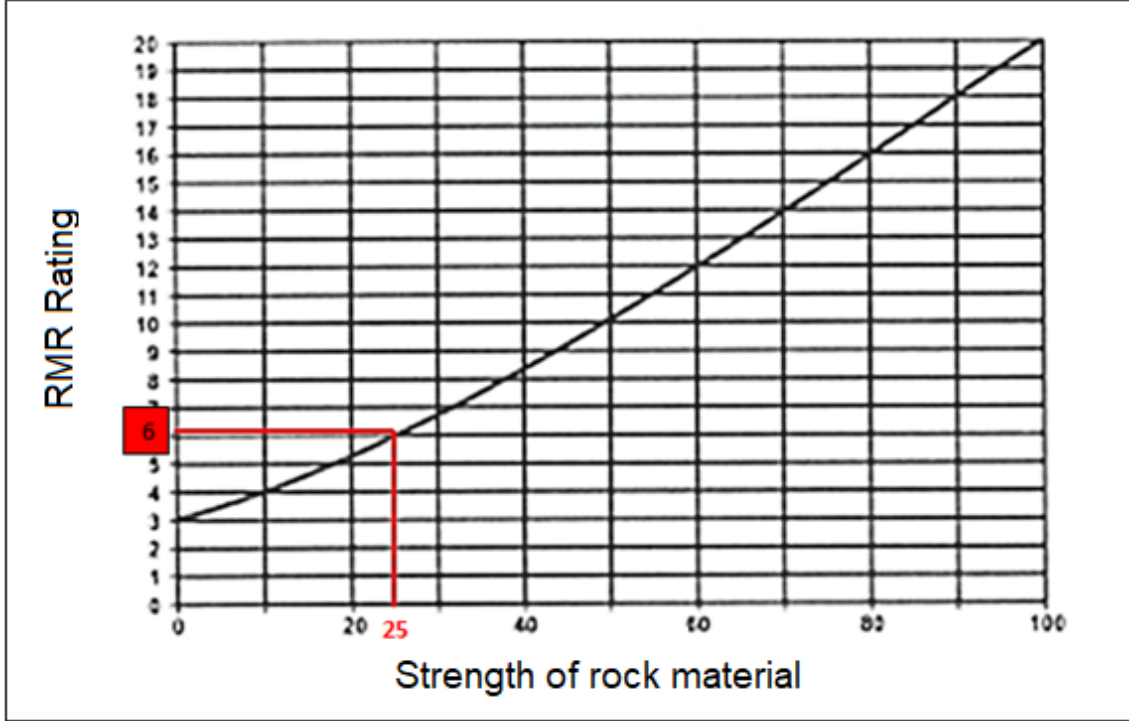
Şekil 4.10. Schmidt sertliğinden tek eksenli basınç dayanımının tahmini için oluşturulan abak (Deere ve Miller, 1966).

Güvenli tarafta kalınarak tek eksenli sıkışma dayanımı 30 MPa kabul edilmiştir. Buna göre RMR puanı 4 olarak seçilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kayaç malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (Mpa)

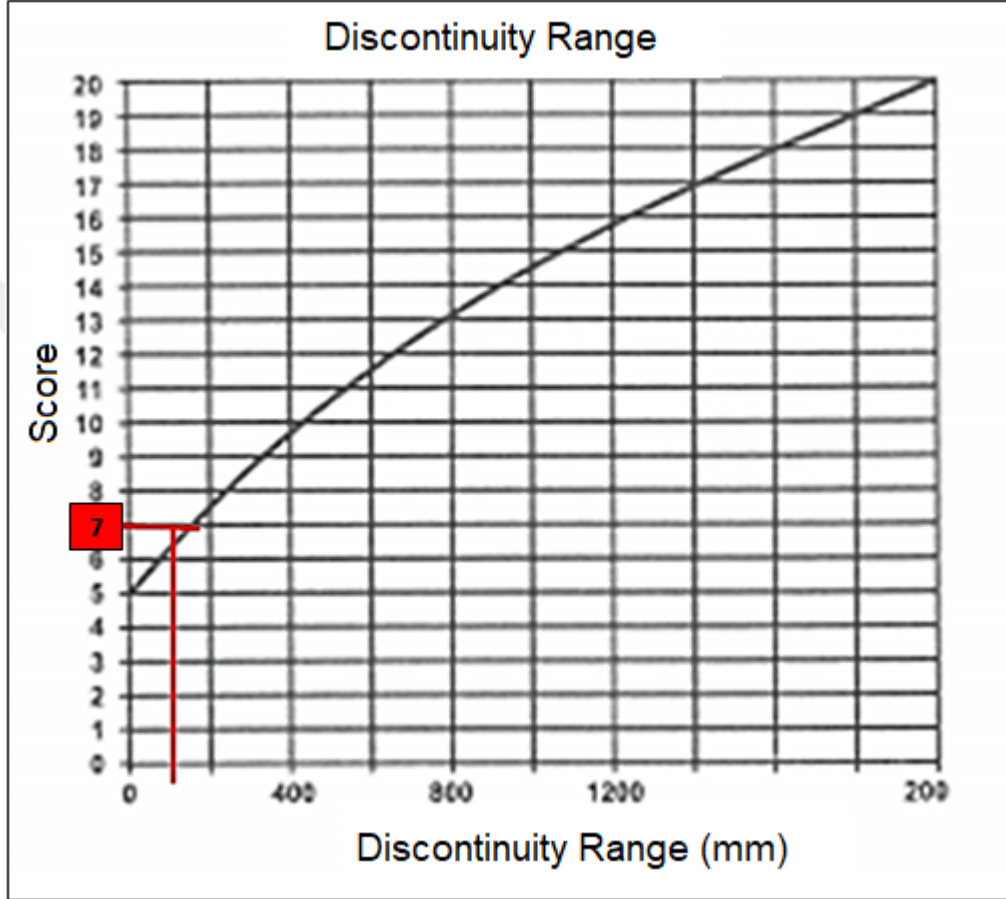
RQD (kaya kütle kalitesi) Değeri ; Tünel kesimine yakın yapılan MSK-67 sondajında RQD değeri 0-63 arasından ortalama %25 olarak bulunmuştur. Buna göre RMR puanı 6 olarak seçilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Kayaç malzemesinin yüzde RQD değeri (%)

Süreksizlik Aralığı; Tünel girişi için 60 cm ile 200 cm arasında değişiklik gösteren süreksizlik aralıkları belirlenmiştir. Buna göre RMR puanı 7 olarak seçilmiştir (Şekil 4.13).

Süreksizliklerin durumu, yeraltı koşulları ve süreksizliklerin yönelimi arazi de belirlenmiştir. Belirlenen değerlere göre aşağıdaki sonuçlar oluşturulmuştur.



Şekil 4.13. Arazi de belirlenen süreksizlik aralığı puanlama grafiği (mm)

Süreksizliklerin durumu(devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık);

Yapılan değerlendirmelere göre birim 10-20 m arası devamlılık, 0.25-2.5 mm açıklıklı, az pürüzlü, sert dolgulu <5 mm, az-orta derecede bozunmuş olup bu değerler için RMR puanı 12 olarak seçilmiştir.

Yeraltı Suyu koşulları; Yapılan yakın sondajlardan referans alınarak tünel kotlarında yeraltı suyunun olmayacağı varsayılmaktadır. Güvenli tarafta kalınarak nemli seçilmiştir. Buna göre RMR puanı 10 olarak seçilmiştir.

Süreksizliklerin yönelimi; Tünel eksen kesiminde süreksizliklerin doğrultuları tünel eksenine dik, eğime karşı yönde ilerlemede olumlu değerli kabul edilmiştir. Bu durumda RMR puanı -5 olarak seçilmiştir.

$$\text{Düzeltilmiş RMR} = \text{Temel RMR} + \text{RSY} \quad (4.2)$$

(Süreksizlik yönelimi "RSY" : sıfıra eşit veya negatif bir değerdir !)

Yukarıda verilen değerlere göre; Bieniawski (1989) Kaya kütle değeri (RMR) tünel gövdesi için RMR 35 (zayıf kaya) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Tünel girişi RMR kaya kütle sınıflandırması

I. Temel RMR Sınıflama Parametreleri								
1	Kaya dayanımı, Mpa	Nokta Yükleme Dayanımı	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Daha düşük değerler için TEB değeri tercih edilir.	
		Tek Eksenli Basınç Dayanımı, TEB	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5
	Değer	15	12	7	4	2	1	0
Puan					4			
2	Kayaç kalite belirteci, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25	
	Değer		20	17	13	8	3	
	Puan					6		
3	Süreksizlik aralığı, cm		>200	60-200	20-60	6-20	<6	
	Değer		20	15	10	8	5	
	Puan					7		
Süreksizliklerin durumu								
4	Süreksizlik uzunluğu (devamlılık)		<1	1-3m	3-10m	10-20m	>20	
	Süreksizlik açıklığı		Yok	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm	
	Pürüzlülük		Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan	
	Dolgu		Yok	Sert dolgu <5mm	Sert dolgu >5mm	Yumuşak dolgu <5mm	Yumuşak dolgu > 5mm	
	Bozunma (ayırışma)		Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş	
	Değer		6	5	3	1	0	
Puan					13			
5	Yeraltı suyu	10 m tünel uz. gelen su, l/m	Yok	<10	10-25	25-125	>125	
		Genel Su durumu	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı	
	Değer		15	10	7	4	0	
Puan			10					
II. Süreksizlik yönelimine göre değer düzeltme								
Toplam Değer		Çok olumlu	Olumlu	Orta	Olumsuz	Çok olumsuz		
Değer	Tünel&Maden	0	-2	-5	-10	-12		
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25		
	Yarma Yamaç	0	-5	-25	-50	-60		
Puan			-5					
III. Çalışma Alanındaki Toplam RMR Değeri								
RMR		35						
IV. Toplam RMR Değeri ve Anlamı								
Toplam değer		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<21		
Sınıflandırma Numarası		I	II	III	IV	V		
Tanım		Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf		
Ortalama desteksiz kalma zamanı		15m açıklıkta 20 yıl	10m açıklıkta 1 yıl	5m açıklıkta 1 hafta	2,5m açıklıkta 10 saat	1m açıklıkta 30 dak.		
Kaya Kütle kohezyonu, kPa		>400	300-400	200-300	100-200	<100		
Kaya Kütle sürtünme açısı, °		>45	35-45	25-35	15-25	<15		

Tünellerde kaya kütle sınıflandırma sisteminden elde edilen niteliksel verilerin niceliksel verilere dönüştürülmesi gereklidir. Bu amaçla kaya kütlesi kayma mukavemeti parametreleri ve Elastisite Modülünün belirlenmesine yönelik aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılabilir.

Beydağları Formasyonu Kireçtaşı birimine Ait **RMR değeri 35 (Zayıf Kaya)** olarak bulunmuştur.

(Bieniawski, 1989) RMR sisteminde kaya kütlesi “çok iyi kaya, iyi kaya, orta kaya, zayıf kaya ve çok zayıf kaya” olmak üzere toplam puan bazında 5 sınıfa ayrılmakta ve her sınıf için kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri verilmektedir. Ayrıca, RMR sayısı ile içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkiyi aşağıdaki bağıntı ile açıklamaktadır:

$$\Phi = 0.5.RMR + 5 \quad (4.3)$$

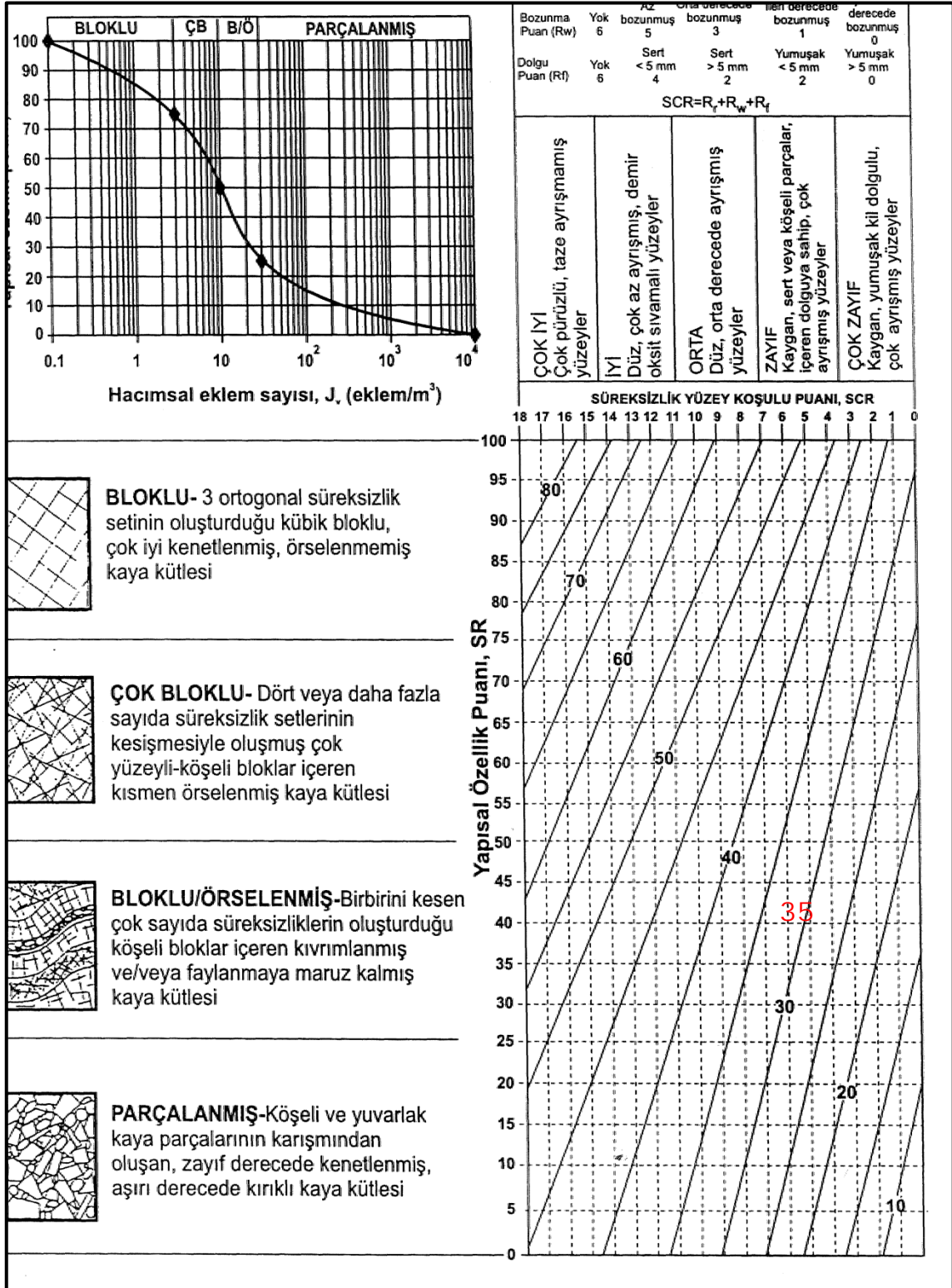
- Φ , kaya kütlesi içsel sürtünme açısı: 15-25° (lineer interpolasyon ile: 24°)
- c , kaya kütlesi kohezyon değeri: 100-200 kPa (lineer interpolasyon ile: 161 kPa)

Tünel giriş portaline ait GSI sınıflandırılması; Hoek vd. (1995) tarafından önerilen ve Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strength Index, GSI) adı verilen yeni bir kavram, 1995 yılında RMR'ın yerine Hoek - Brown Yenilme Ölçütüne dahil edilerek kaya kütlesi sabitlerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanılmıştır (Çizelge 4.20).

$$GSI = RMR - 5 \text{ (süreksizlik düzeltmesi olmadan)} \quad (4.4)$$

40-5=35 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.20. Tünel giriş portaline ait GSI sınıflandırması



Elastisite İndisi (Ei); Giriş portalını tanımlamak için yapılan LSK-501 sondajı laboratuvar deneylerinin Ei: 69720 Mpa'dır. Güvenli tarafta kalınarak ve aynı birimde yapılan sondajların deney sonuçları göz önünde bulundurarak 10000 MPa alınması uygun görülmüştür (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Tünel giriş portalindeki kireçtaşı biriminin jeoteknik özellikleri

Kilometre	Başlangıç	193+370	
	Bitiş	193+440	
Açıklama		Giriş Portalı	
		Yan Şevi (KM:193+440)	Alın Şevi (KM:193+440)
Hmax (m)		22.56/17.33	23.37
Formasyon		Beydağları Formasyonu	
Litoloji		Kireçtaşı	
Ayrışma		W3	
GSI		34	
LSK-501	RQD	25	
	UCS (Mpa)	31	
	Ei (MPa)	10000	
	D.B.H (MN/m ³)	0.025	
mi		9	

4.2.1.2. Tünel Giriş Portaline Ait Kinematik Analizleri

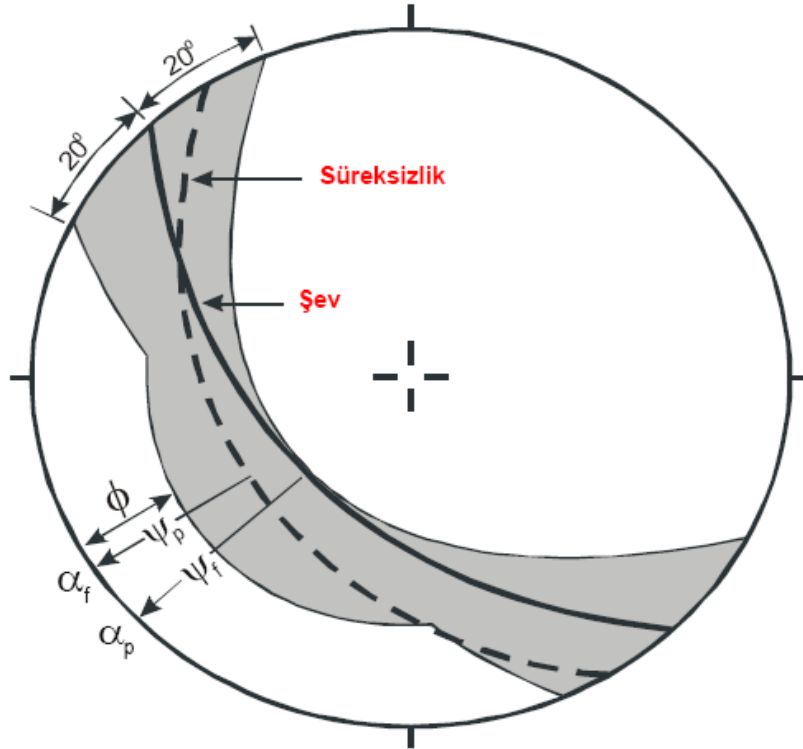
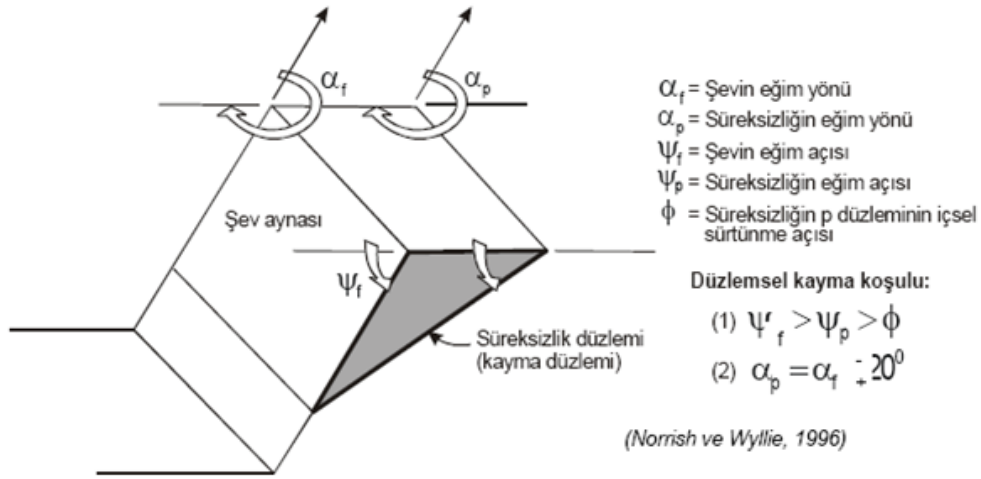
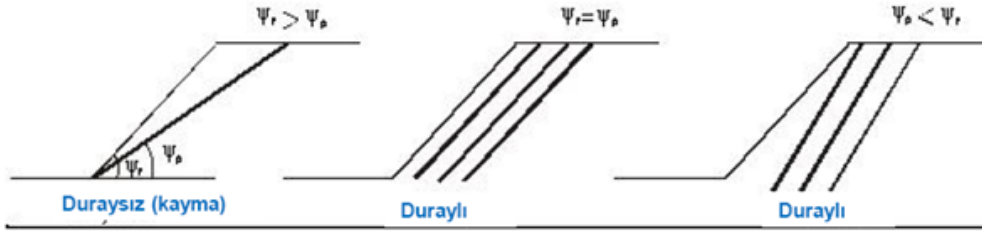
Giriş portaline kinematik analizleri için arazide ölçülen süreksizlik (Foto 4.4) ölçümlerine göre Dips programı kullanılmıştır. Kaya şevlerinde meydana gelen yenilmeler dikkate alındığında, yenilmelerin genel olarak kaya kütlelerinin içerdiği ve süreksizlik olarak tanımlanan duraysızlıklar eklem, tabakalanma, fay, makaslama çatlakları gibi unsurlara bağlı olarak geliştiği görülür. Kinematik analiz yöntemi; süreksizliklerin kontrol ettiği duraysızlıkların (eklem, tabakalanma, fay, makaslama çatlakları v.b) doğal ya da kazı sonrası oluşturulan bir şevde analiz edilmesinde kullanılan yöntemdir.



Foto 4.4. Giriş portalı Kireçtaşı biriminden süreksizlik ölçümlerinin yapıldığı lokasyon.

Kinematik analizlerde ölçüm alınan çatlak konumunun doğrultu ve eğimleri, sürtünme açısı ve yarma doğrultusu ile eğim miktarı kullanılarak üç biçimde yenilme durumu meydana gelmektedir. Bu yenilme durumları düzlemsel, kama ve devrilme türüdür. Bu yenilmeler için duraysızlık analizleri yapılmaktadır. Kaya şevleri sadece bir süreksizlik düzlemine bağlı olarak gelişen bir yenilme türüdür. Tünel giriş kesiminde yapılan kinematik analizlerde, yarmalarda oluşabilecek yenilme durumları incelenmiştir.

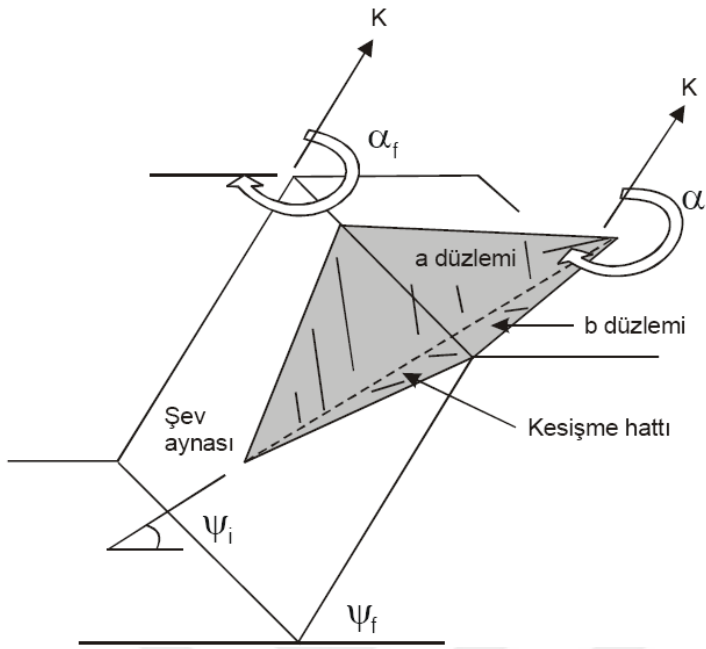
Düzlemsel kayma kinematik analiz koşulları:



(Norrish ve Wyllie, 1996)

Şekil 4.14. Düzlemsel kayma kinematik analiz koşullarının stereografik diyagramları

Kama tipi kayma kinematik analiz koşulları :

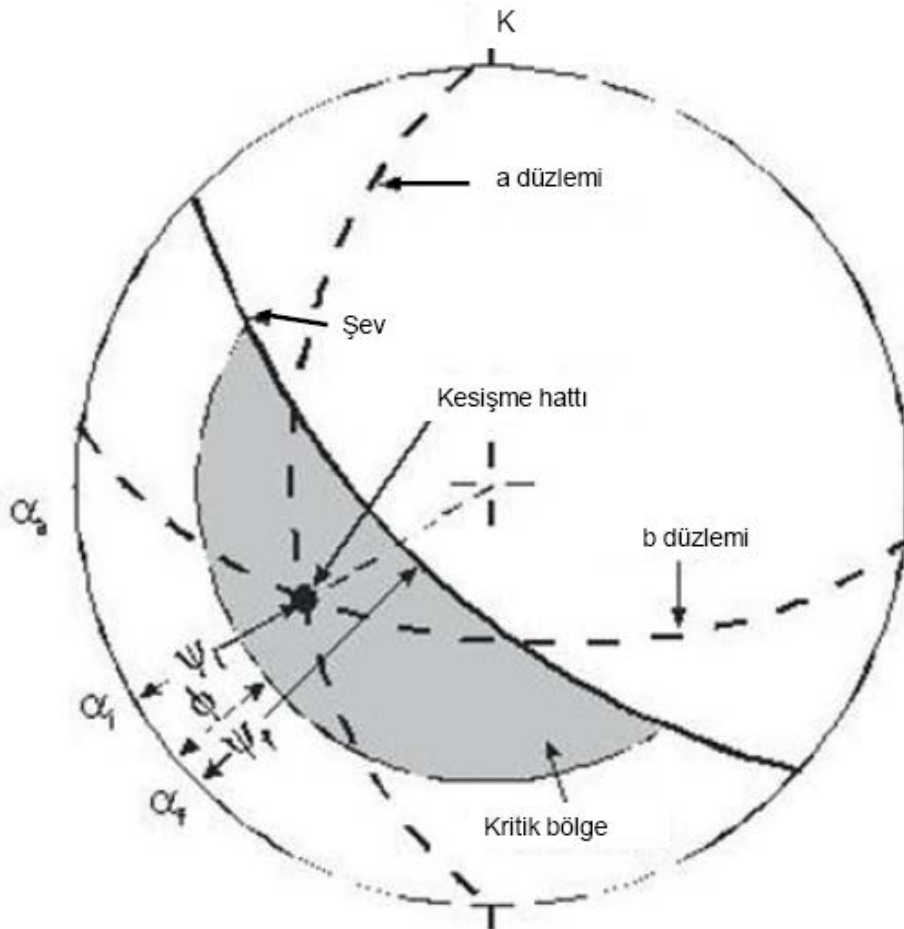


- α_f = Şev eğim yönü
 α_a = a düzleminin eğim yönü
 α_b = b düzleminin eğim yönü
 ψ_f = Şev eğim açısı
 ψ_a = a düzleminin eğim açısı
 ψ_b = b düzleminin eğim açısı
 ϕ = İçsel sürtünme açısı
 ψ_i = Kesişme hattının dalımı
 α_i = Kesişme hattının azimu

Kama tipi kayma koşulu

$$\psi_f > \psi_i > \phi$$

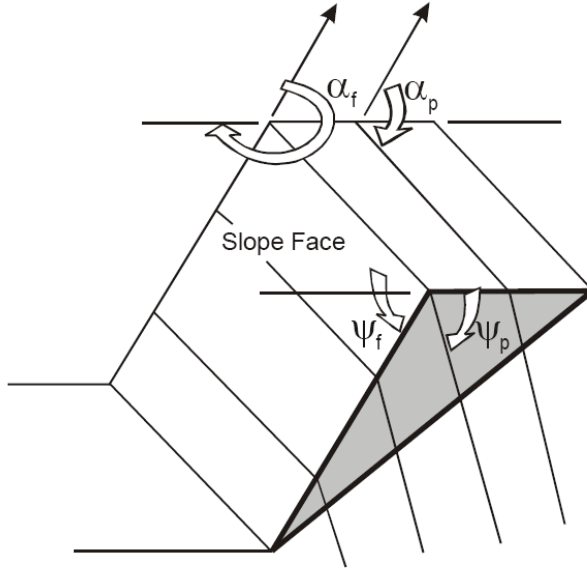
(Norrish ve Wyllie, 1996)



(Norrish ve Wyllie, 1996)

Şekil 4.15. Kama tipi kayma kinematik analiz koşullarının stereografik diyagramları

Devrilme tipi kayma kinematik analiz koşulları :



α_f = şevin eğim yönü

α_p = süreksizliğin eğim açısı

ψ_f = şevin eğim açısı

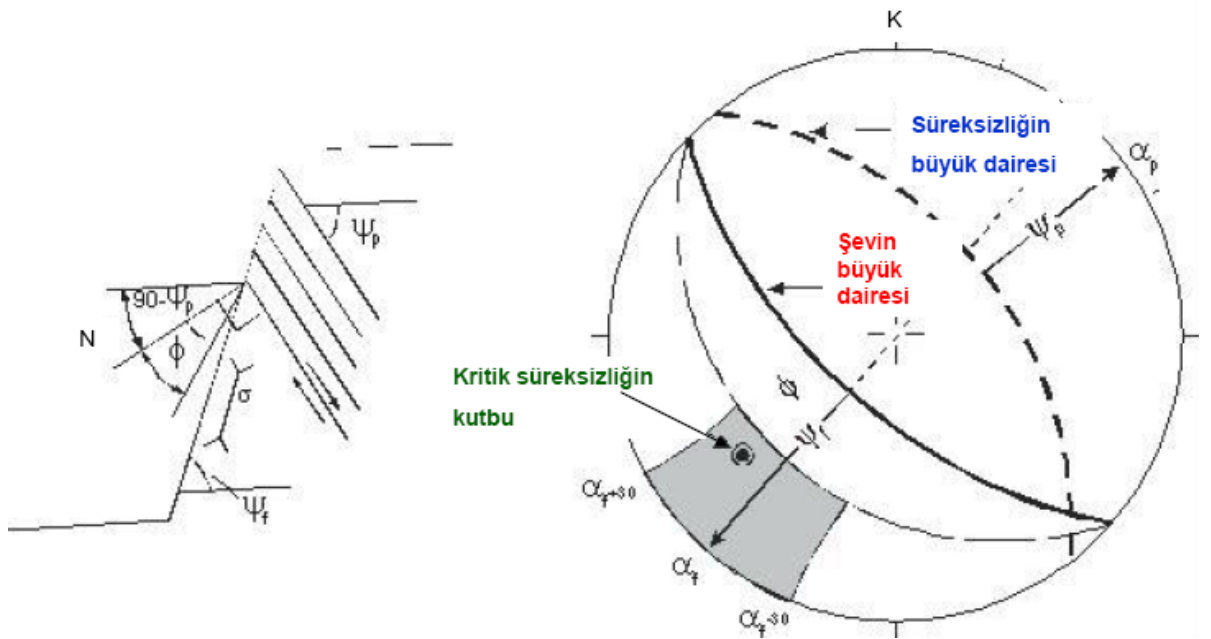
ψ_p = süreksizliğin eğim açısı

ϕ = süreksizliğin sürtünme açısı

Devrilme koşulu

- (1) $(90 - \psi_p) \leq \psi_f - \phi$
- (2) $\alpha_p = (\alpha_f \text{ m } 180^\circ) \text{ m } 30^\circ$

(Norrish ve Wyllie, 1996)



Şekil 4.16. Devrilme tipi kayma kinematik analiz koşullarının streografik diyagramları

Kireçtaşı birimi için kayaç türlerine göre içsel sürtünme açısı aşağıdaki tablodan 30° olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23).

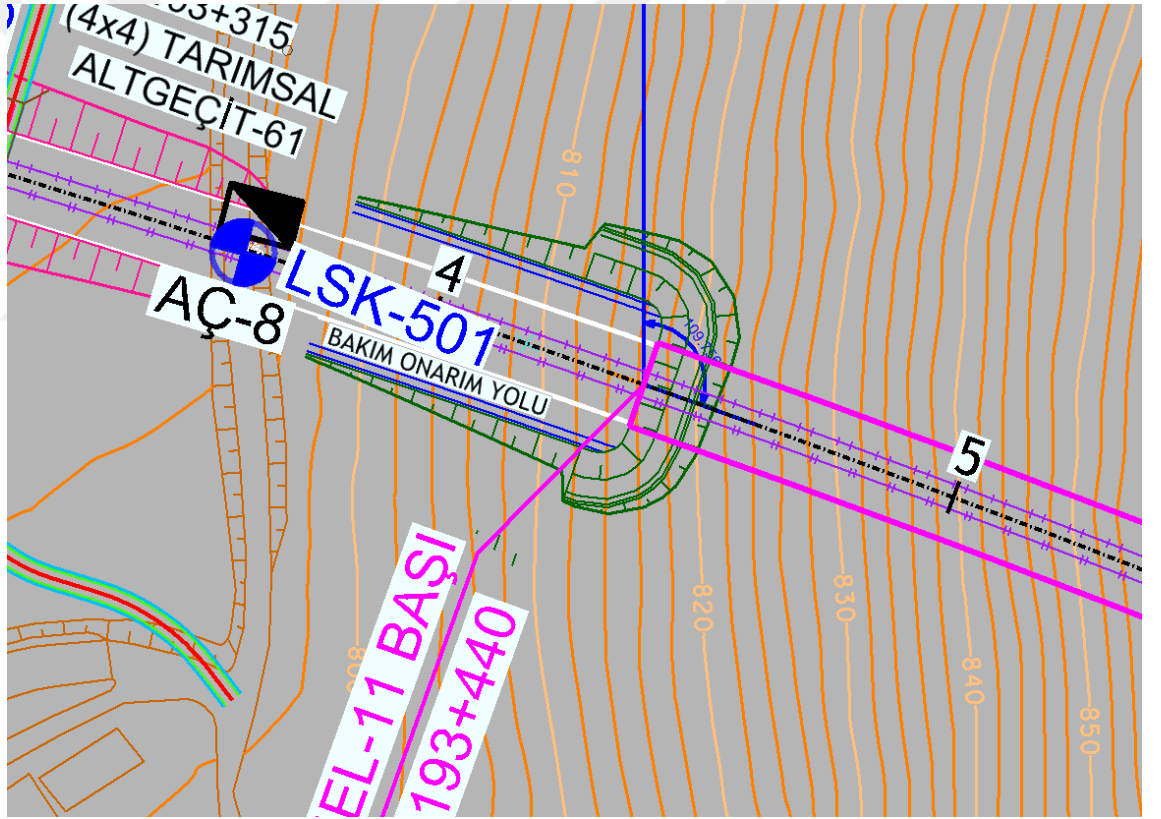
Çizelge 4.22. Kayaç türlerine göre dolgulu içsel sürtünme açısı (Barton 1974)

<i>Shear strength of rock discontinuities</i>					
Table 1: Shear strength of filled discontinuities and filling materials (After Barton 1974)					
Rock	Description	Peak c' (MPa)	Peak ϕ°	Residual c' (MPa)	Residual ϕ°
Basalt	Clayey basaltic breccia, wide variation from clay to basalt content	0.24	42		
Bentonite	Bentonite seam in chalk Thin layers Triaxial tests	0.015 0.09-0.12 0.06-0.1	7.5 12-17 9-13		
Bentonitic shale	Triaxial tests Direct shear tests	0-0.27	8.5-29	0.03	8.5
Clays	Over-consolidated, slips, joints and minor shears	0-0.18	12-18.5	0-0.003	10.5-16
Clay shale	Triaxial tests Stratification surfaces	0.06	32	0	19-25
Coal measure rocks	Clay mylonite seams, 10 to 25 mm	0.012	16	0	11-11.5
Dolomite	Altered shale bed, \pm 150 mm thick	0.04	1(5)	0.02	17
Diorite, granodiorite and porphyry	Clay gouge (2% clay, PI = 17%)	0	26.5		
Granite	Clay filled faults Sandy loam fault filling Tectonic shear zone, schistose and broken granites, disintegrated rock and gouge	0-0.1 0.05 0.24	24-45 40 42		
Greywacke	1-2 mm clay in bedding planes			0	21
Limestone	6 mm clay layer 10-20 mm clay fillings <1 mm clay filling	0.1 0.05-0.2	13-14 17-21	0	13
Limestone, marl and lignites	Interbedded lignite layers Lignite/marl contact	0.08 0.1	38 10		
Limestone	Marlaceous joints, 20 mm thick	0	25	0	15-24
Lignite	Layer between lignite and clay	0.014-0.03	15-17.5		
Montmorillonite Bentonite clay	80 mm seams of bentonite (montmorillonite) clay in chalk	0.36 0.016-0.02	14 7.5-11.5	0.08	11
Schists, quartzites and siliceous schists	100-15- mm thick clay filling Stratification with thin clay Stratification with thick clay	0.03-0.08 0.61-0.74 0.38	32 41 31		
Slates	Finely laminated and altered	0.05	33		
Quartz / kaolin / pyrolusite	Remoulded triaxial tests	0.042-0.09	36-38		

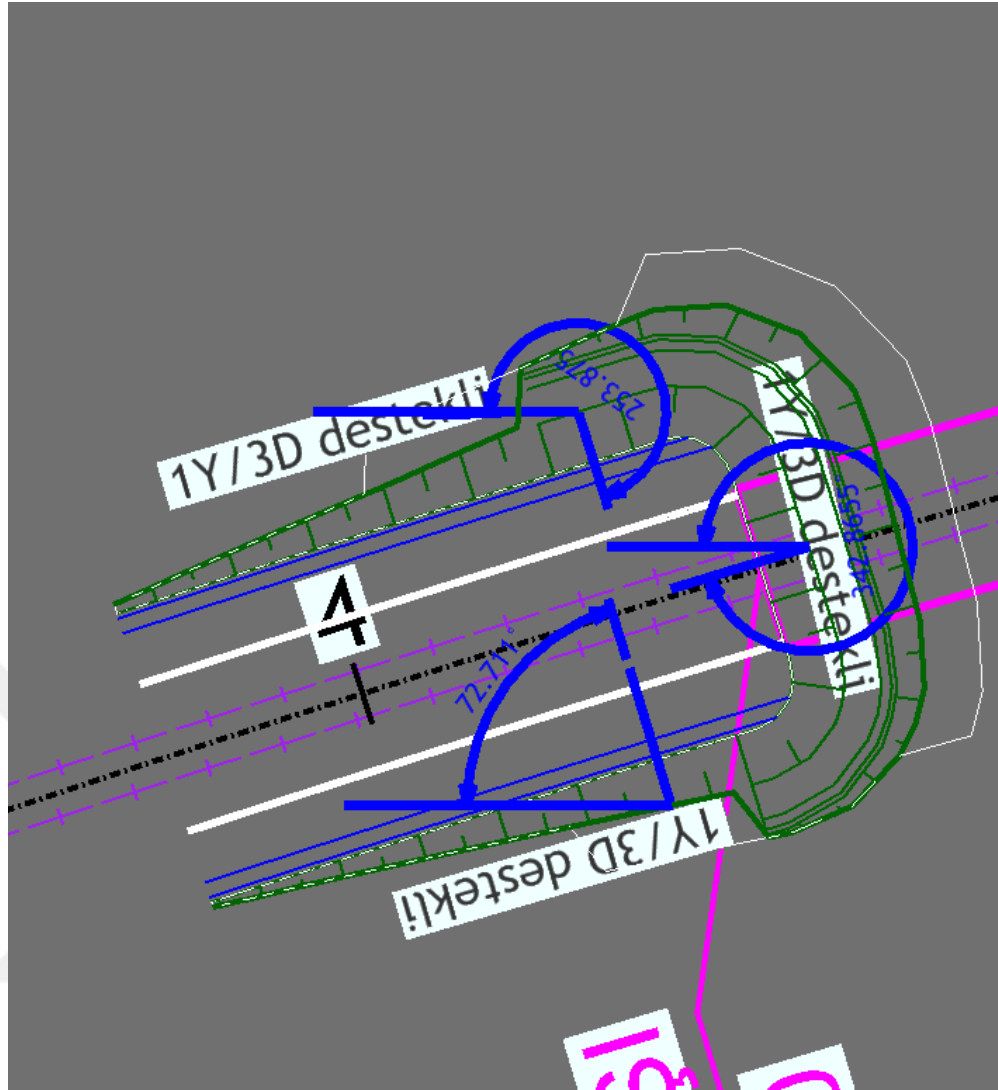
Çizelge 4.23. Kayaç türlerine göre içsel sürtünme açısı (Barton 1973, Jaeger ve Cook,1976)

Rock Class	Friction Angle Range ⁽¹⁾	Typical Rock Types
Low Friction	20 to 27°	Schists (high mica content), shale, marl
Medium Friction	27 to 34°	Sandstone, siltstone, chalk, gneiss, slate
High Friction	34 to 40°	Basalt, granite, limestone, conglomerate

T-11 Tüneli giriş portalında Beydağları formasyonu içerisinde gelişigüzel eklemler tespit edilmiştir (Şekil 4.17). Ölçülen süreksizlik eğim ve eğim yönleri trigonometrik olarak bölgenendirilir. Bunun sonucunda TCDD' nin belirlediği şev açısı yönelimlerine uygun olarak tünel giriş ve çıkış portalleri düşey ve yatay olarak oranlandırılır. Tünel giriş ve çıkış portalı yan (sağ/sol) şevlerinde 1Y/3D, alın şevinde ise 1Y/3D oranında şev açısı uygulanmıştır (Şekil 4.18). Tünel eksenin doğrultusu $G71^{\circ}D$ 'dir.(Y: yatay, D: düşey)



Şekil 4.17. Giriş portalındaki tünel ekseninin oryantasyonu



Şekil 4.18. Giriş portalı şev açılarının plan kesitinde yatay/düsey gösterimi

Kaymanın sayısal olarak modellenmesinde ve analizlerinde RocPlane 2.0, Swedge v4.0 ve Roctopple v1.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Yapılan analizde, süreksizlik yüzeyi makaslama parametreleri $C=0$ (kohezyon) $\Phi=30$ (sürtünme açısı) derece olarak alınmıştır. Uygulanan programlar sonucunda giriş portalı için süreksizlik takımları belirlenmiştir. Belirlenen süreksizlik takımları Dips programı için veri oluşturmaktadır. Dips programına girilen veriler sonucunda şev analizleri yapılmış olup kaymanın meydana gelip gelmeyeceği belirlenmektedir. Giriş ve çıkış portalı için şev analizleri sağ, sol ve alın şev analizleri olmak üzere üç bölümde incelenmiştir.

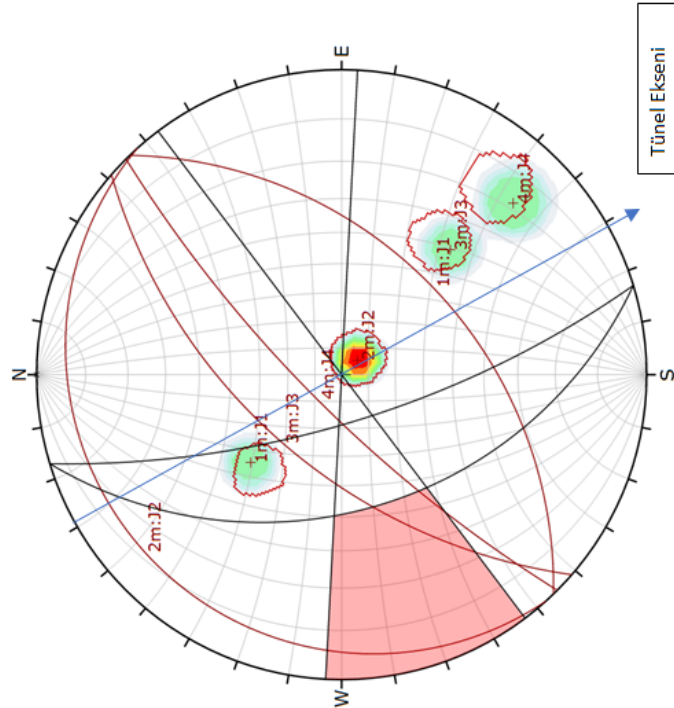
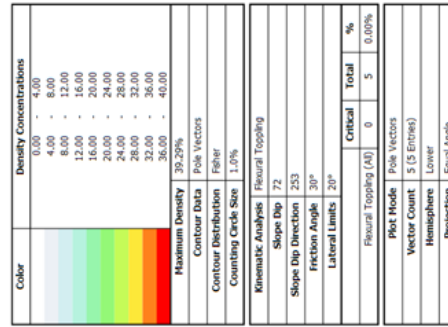
Giriş portalı için toplamda dört adet süreksizlik takımı belirlenmiştir. Süreksizlik takımlarının eğim ve eğim yönleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. Giriş portalında alınan süreksizlik takımları ve yönelimleri

Takım No	Eğim/Eğim Yönü
J-1	45/136
J-2	8/318
J-3	57/311
J-4	77/315

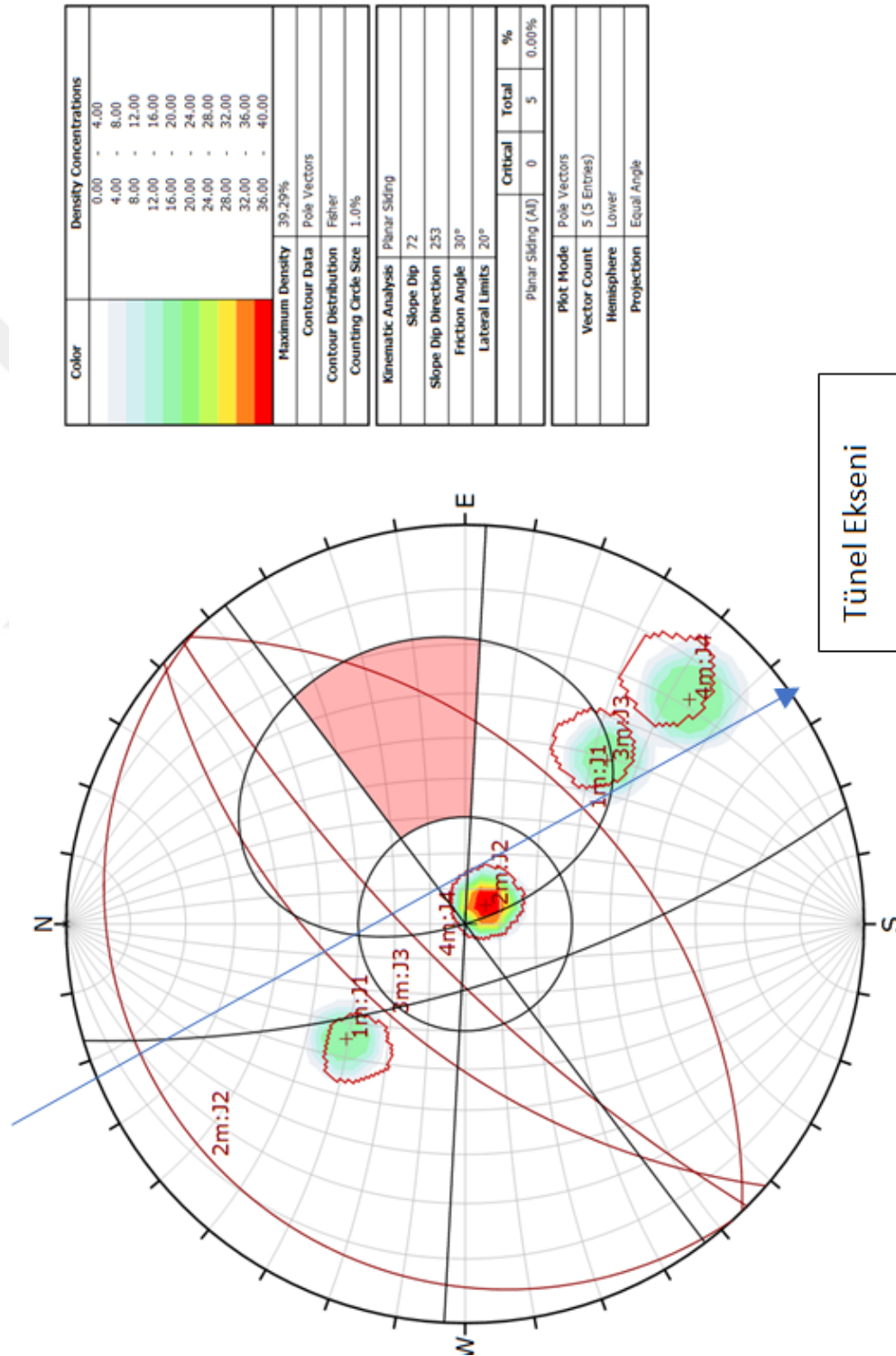
Giriş Portalı Sol Şev Analizleri:

Arazide ölçülen süreksizlik eğim ve eğim yönleri Dips programında girilerek sol şev açısı belirlenmiştir. Sol şev açısı eğim/ eğim yönü olarak 72/253 bulunmuştur (Şekil 4.19).



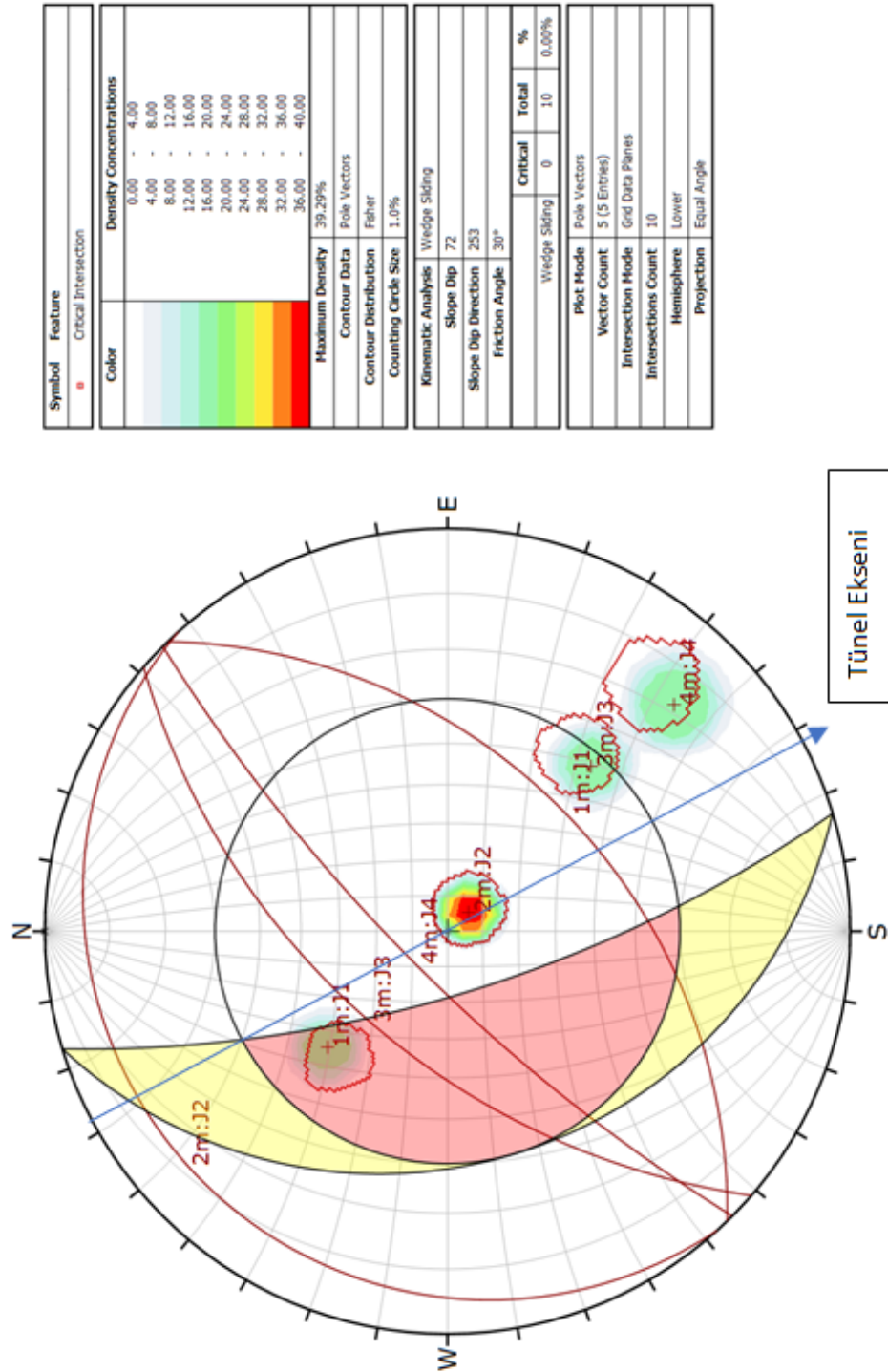
Şekil 4.19. Sol şev eğim ve eğim yönü analizi

Düzlemsel Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin dip vektörünün bulunmaması ve düzlemsel kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.20).



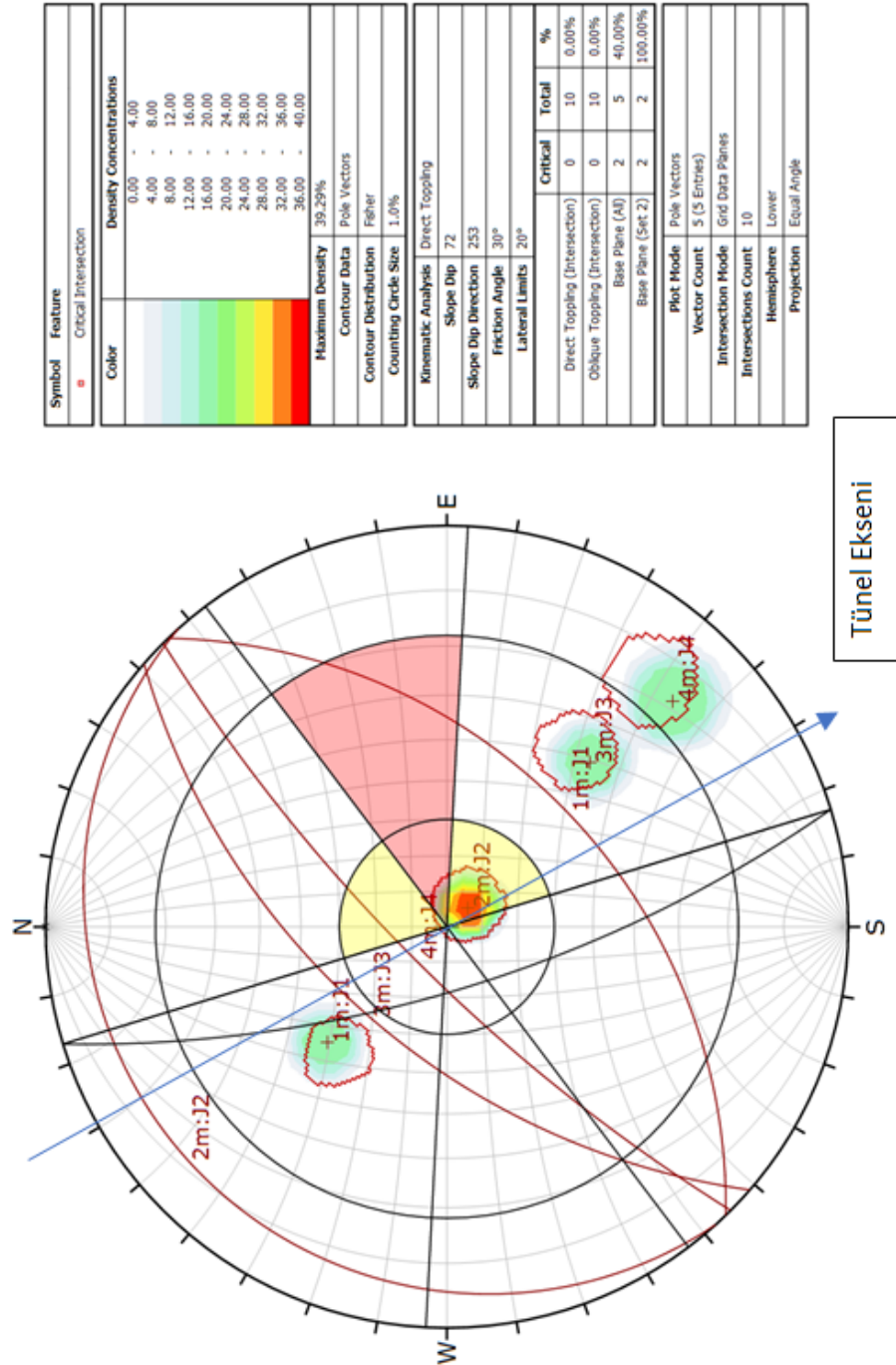
Şekil 4.20. Sol şev düzlemsel kayma analizi

Kama Tipi Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge içinde, süreksizlik düzlemlerinin kesişme noktalarının bulunmaması ve kama tipi kayma koşullarının sağlanmaması sebebiyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Sol şev kama tipi kayma analizi

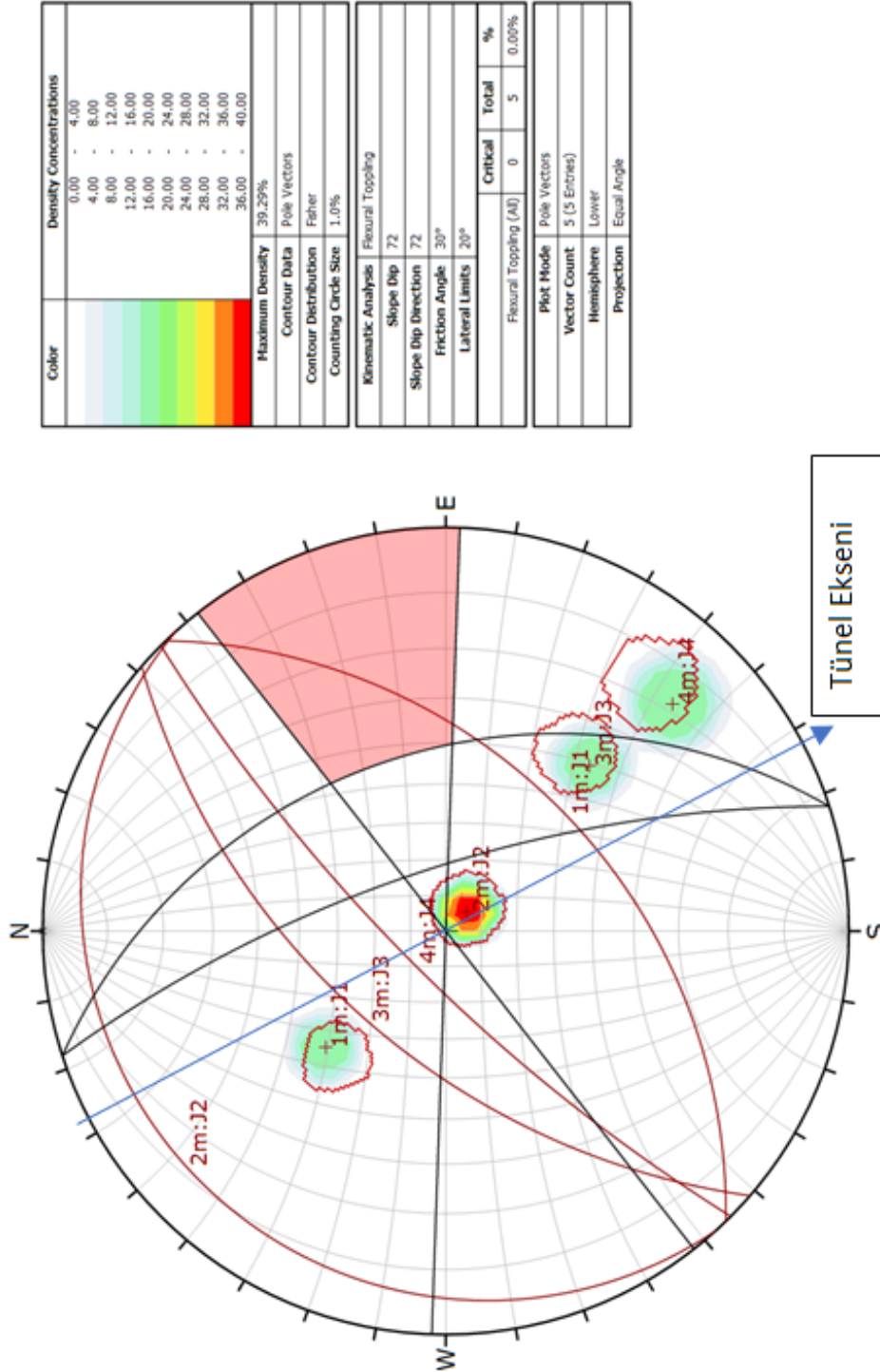
Devrilme Tipi Kayma analizi için ; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin kutup noktalarının bulunmaması ve devrilme türü kayma koşullarının sağlanmaması ve kireçtaşı biriminden dolayı nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Sol şev devrilme tipi kayma analizi

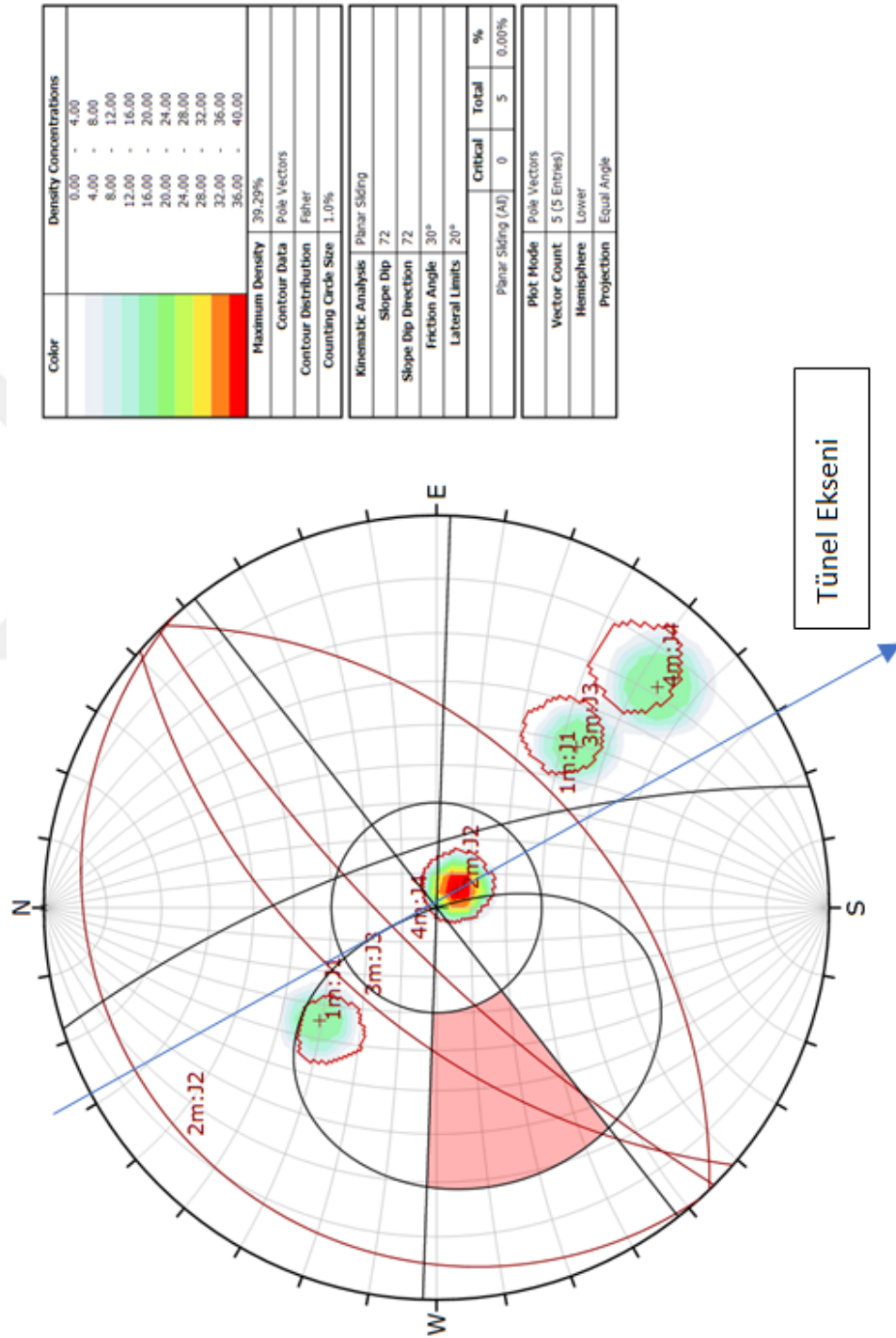
Giriş Portalı Sağ Şev Analizleri:

Arazide ölçülen süreksizlik eğim ve eğim yönleri Dips programında girilerek sağ şev açısı belirlenmiştir. Sağ şev açısı eğim/ eğim yönü olarak 72/072 bulunmuştur (Şekil 4.23).



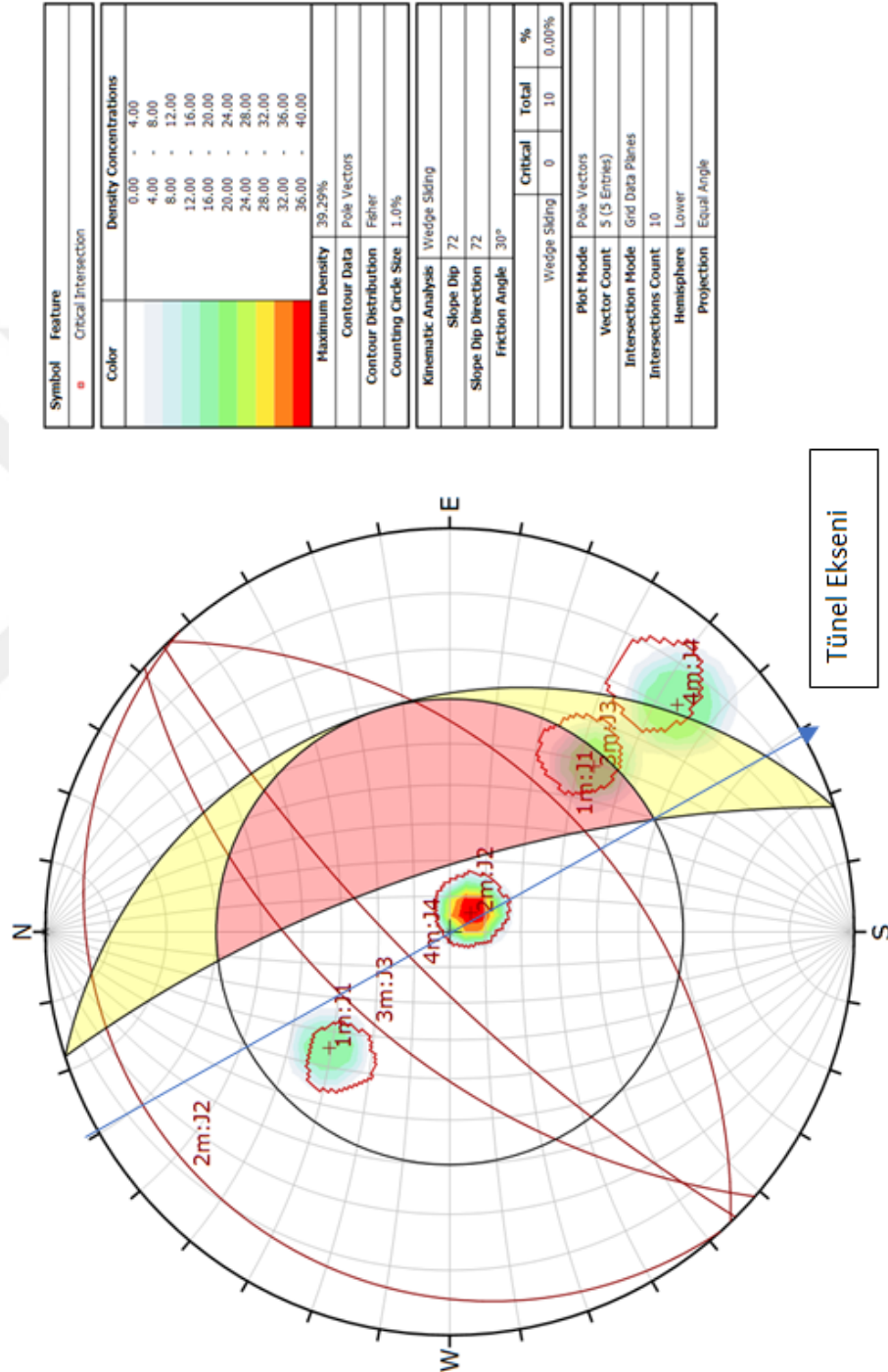
Şekil 4.23. Sağ şev eğim ve eğim yönü analizi

Düzlemsel Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin dip vektörünün bulunmaması ve düzlemsel kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.24).



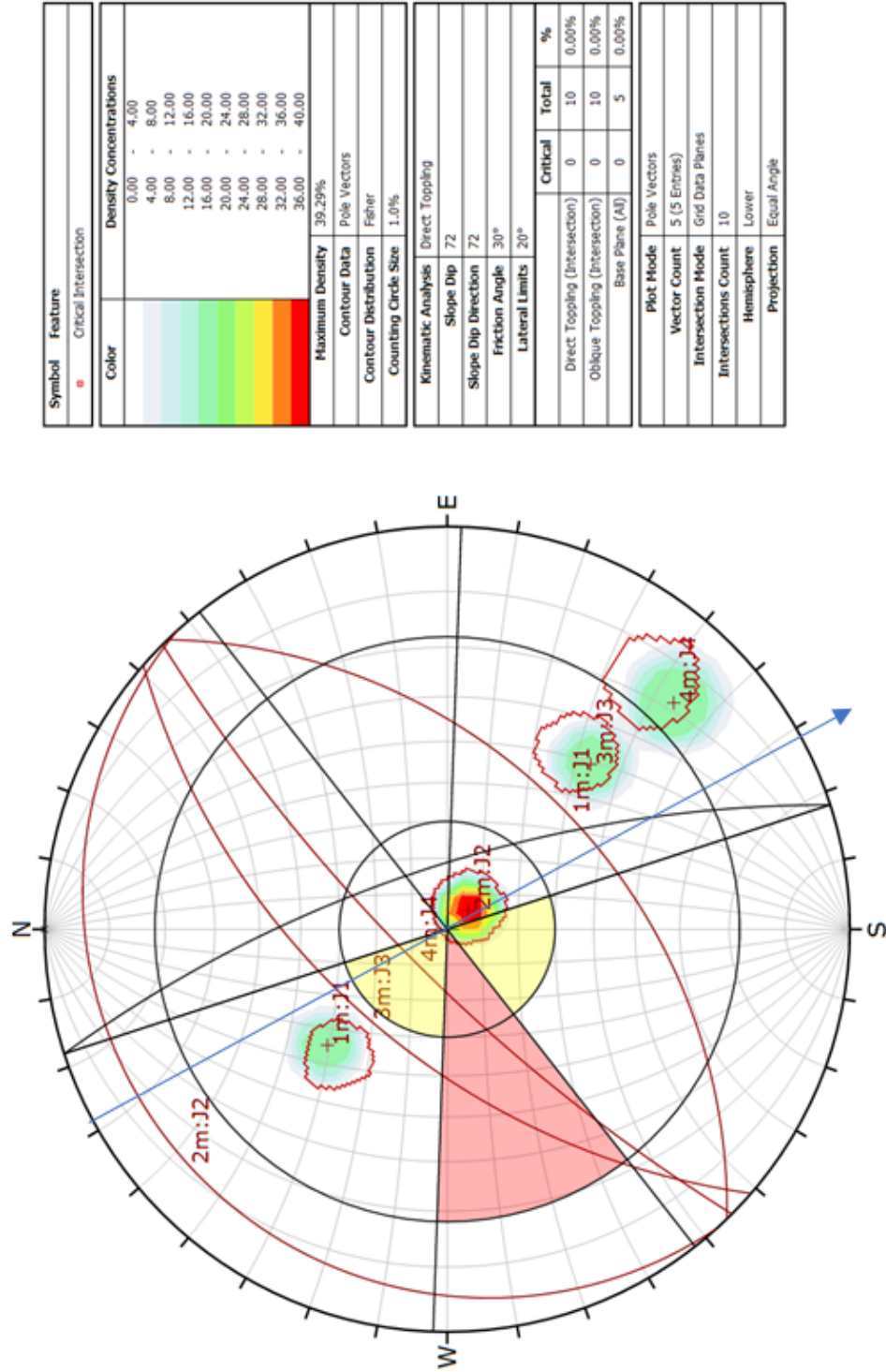
Şekil 4.24. Sağ şev düzlemsel kayma analizi

Kama Tipi Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge içinde, J1-J2, J1-süreksizlik düzlemlerinin kesişim noktalarının bulunmaması ve kam tipi kayma koşullarının sağlanmaması sebebiyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Sağ şev kama tipi kayma analizi

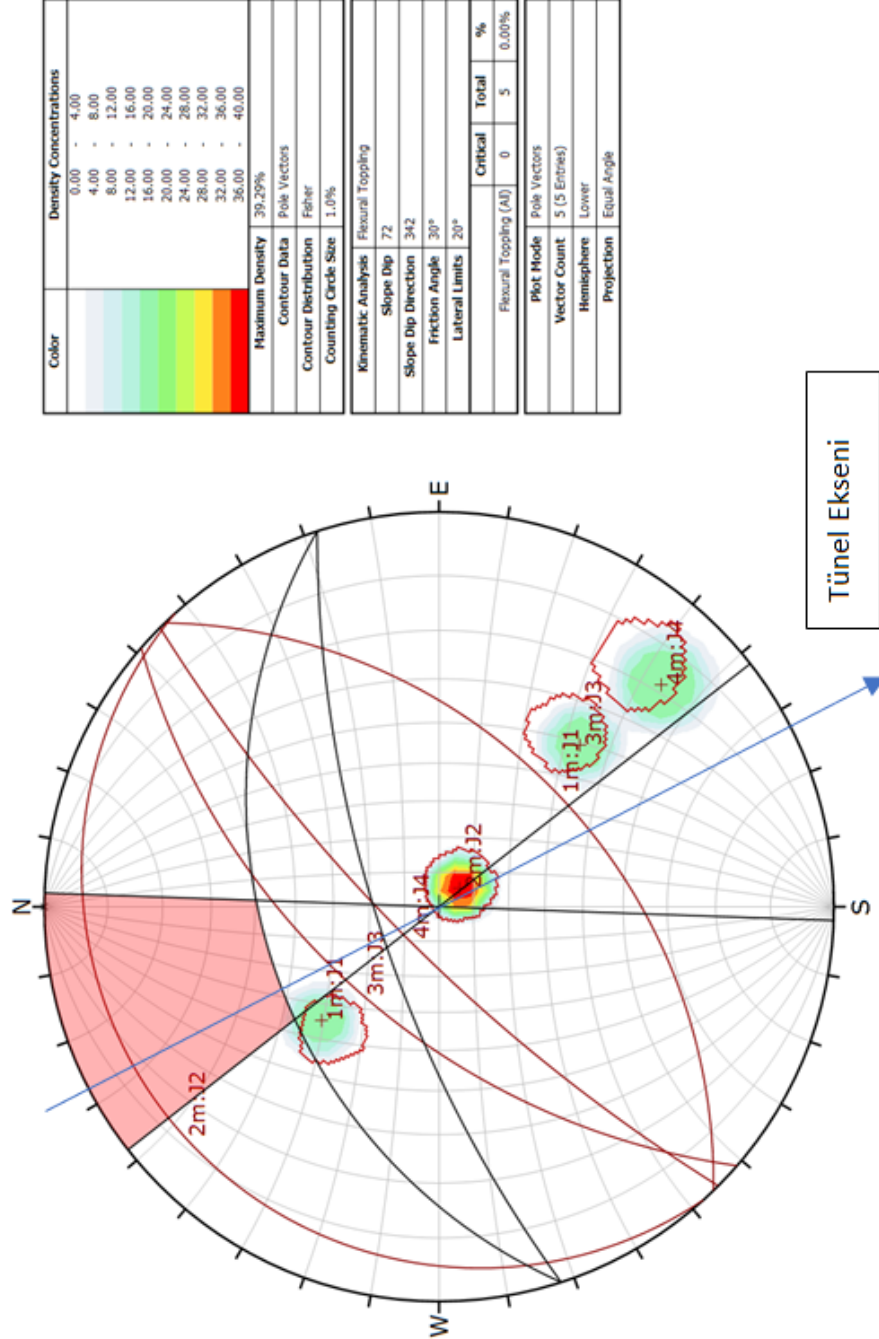
Devrilme Tipi Kayma analizi için ; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin kutup noktalarının bulunmaması ve devrilme türü kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Sağ şev devrilme tipi kayma analizi

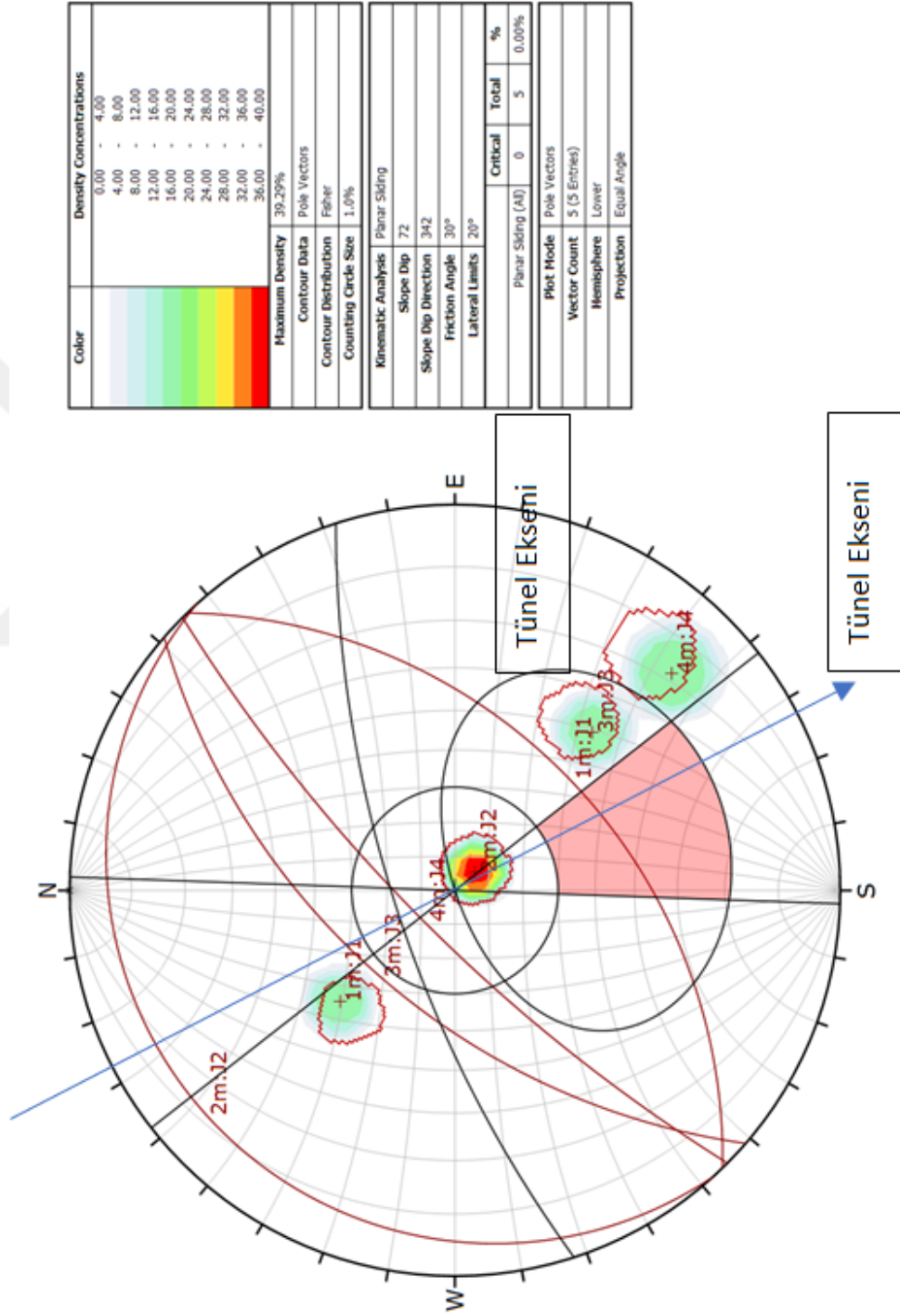
Giriş Portalı Alın Şevi Analizleri:

Arazide ölçülen süreksizlik eğim ve eğim yönleri Dips programında girilerek alın için şev açısı belirlenmiştir. Alın şev açısı eğim/ eğim yönü olarak 72/342 bulunmuştur (Şekil 4.27).



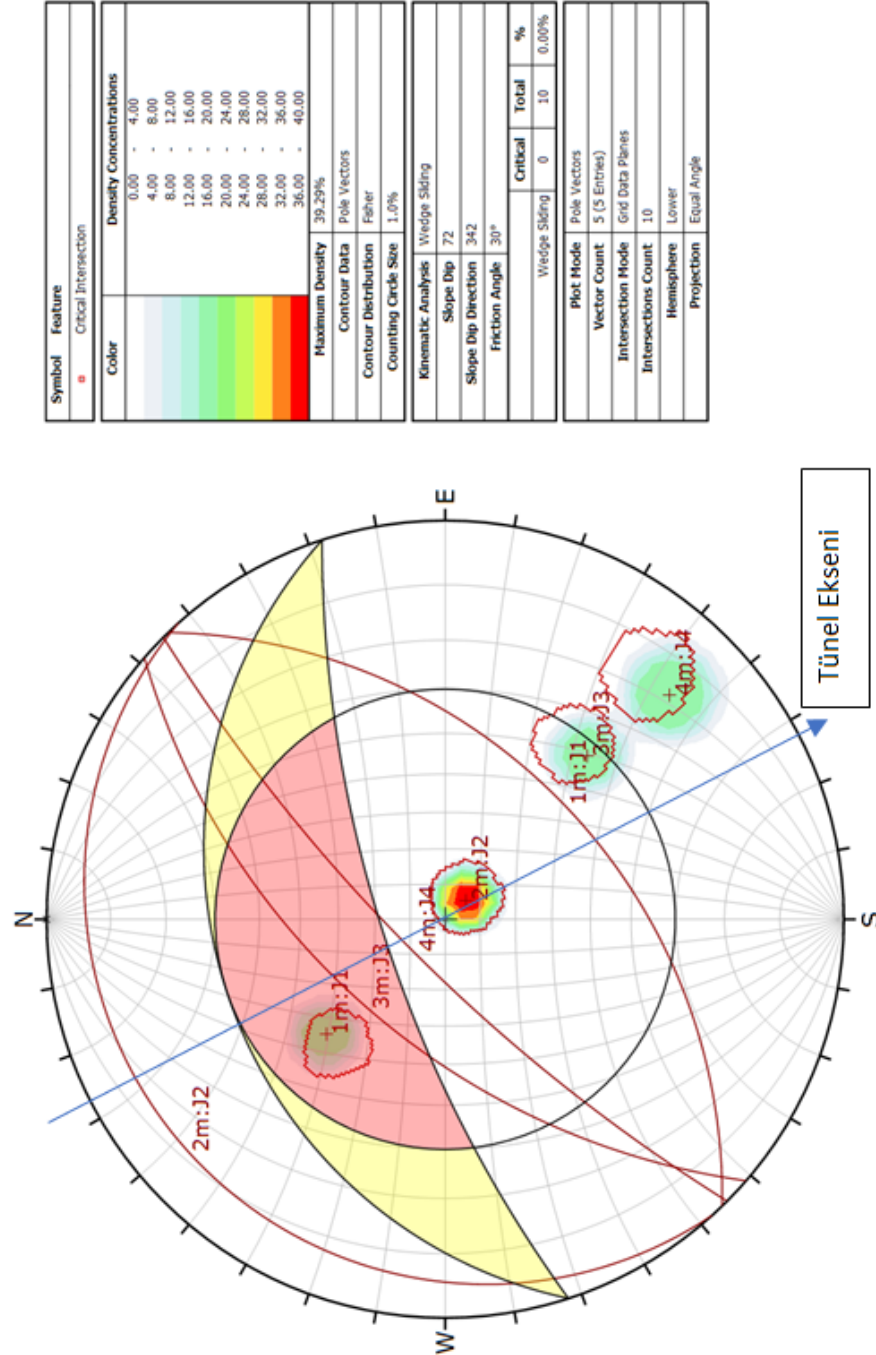
Şekil 4.27. Alın şevi eğim ve eğim yönü analizi

Düzlemsel kayma analizi için ;Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizliklerin dip vektörünün bulunmaması ve düzlemsel kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil4.28).



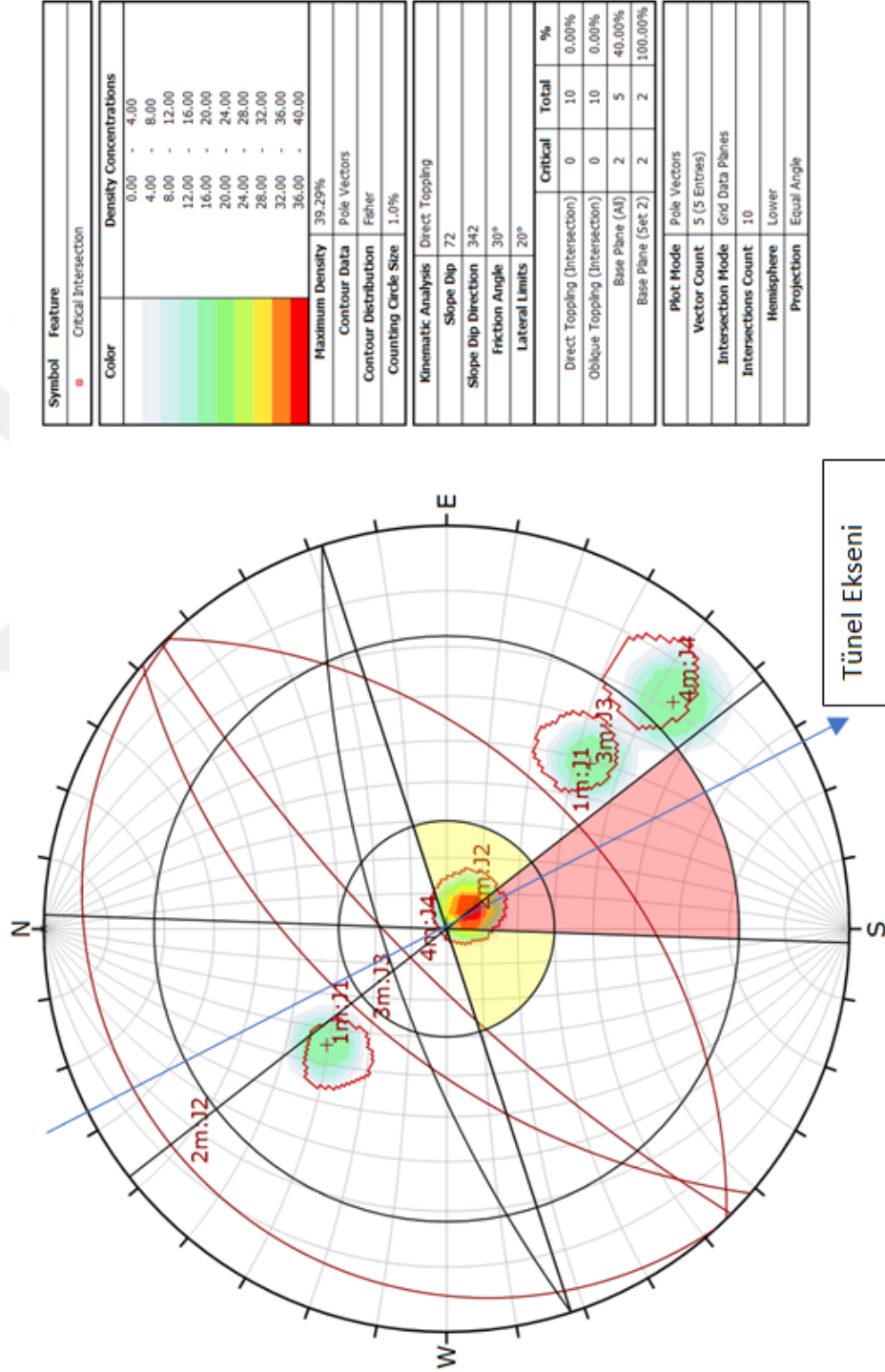
Şekil 4.28. Alın şevi düzlemsel kayma analizi

Kama Tipi Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge içinde, süreksizlik düzlemlerinin kesişme noktalarının bulunmaması ve kama tipi kayma koşullarının sağlanmaması sebebiyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.30).



Şekil 4.31. Alın şevi kama tipi kayma analizi

Devrilme Tipi Kayma analizi için ; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin kutup noktalarının bulunmaması ve devrilme türü kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Alın sevi devrilme tipi kayma analizi

Yapılan tüm analizler neticesinde giriş portal şevleri istenen güvenlik sayılarını sağlamaktadır. Giriş portal yapısı için uygun bulunan destek elemanları belirlenmiştir (Çizelge 4.25). Bunun yanı sıra gerekli stabilite analizleri de yapılmış olup bu tez kapsamında konu olarak incelenmemiştir. Ek olarak sonuçlar aşağıda sunulmuştur (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Giriş portali şevleri için tahkimat tasarımı

Giriş Portal – Alın Şevi	
Şev Oranı	1Y/3D
Püskürtme Betonu	C25/30 – 15 cm – 2xQ221/221
Kaya Bulonu	Φ 28 mm - L=4 m – 2.0 m x 2.0 m
Süren	Φ=2.0" enjeksiyonlu boru süren

Giriş Portal – Sol Şev	
Şev Oranı	1Y/3D
Püskürtme Betonu	C25/30 – 15 cm – 2xQ221/221
Kaya Bulonu	Φ 28 mm - L=4 m – 2.00 m x 2.00 m
Uygulanacak Kilometre	193+388-193+440

Giriş Portal – Sağ Şev	
Şev Oranı	1Y/3D
Püskürtme Betonu	C25/30 – 15 cm – 2xQ221/221
Kaya Bulonu	Φ 28mm - L=4 m – 2.00 m x 2.00 m
Uygulanacak Kilometre	193+394-193+440

Çizelge 4.25. Giriş portali analiz sonuçları ve önerilen destek sistemi

Şev Konumu	Koşullar	Şev Eğimi	Destek	Hesaplanan Güvenlik
Alın Şevi	Desteksiz - Statik Durum	1Y/3D	-	1.849
	Desteksiz - Depremlili Durum		-	1.453
	Destekli - Statik Durum		Φ28 2.0m*2.0m aralıklı L=4 m Kaya Bulonu	2.272
	Destekli Sismik durum			1.720
Sol Yan Şev	Desteksiz-Statik Durum	1Y/3D	-	2.717
	Desteksiz - Depremlili Durum		-	1.969
	Destekli-Statik Durum		Φ28 2.00m*2.00 m aralıklı L=4m Kaya Bulonu	2.722
	Destekli-Sismik Durum			2.183
Sağ Yan Şev	Desteksiz-Statik Durum	1Y/3D	-	2.540
	Desteksiz - Depremlili Durum		-	1.924
	Destekli-Statik Durum		Φ28 2.00m*2.00 m aralıklı L=4m Kaya Bulonu	2.587
	Destekli-Sismik Durum			2.353

4.2.2. Tünel Çıkış Portalı Mühendislik Jeolojisi Değerlendirilmesi

4.2.2.1. Tünel Çıkış Portaline Ait Kaya Kütleli Değerlendirmeleri

Tünel çıkışı portalı kaya kütleli değerlendirilmesi için TSK-18 ve TSK-19 sondaj verileri kullanılmıştır. Bu sondajlar Beydağları formasyonu içerisinde yapılmış olup yamaç molozu ve kireçtaşı birimi içermektedir. Kireçtaşı birimi grimsi renkli, silis içeriği yüksek, ayrılmış-orta derecede ayrılmış, orta zayıf-zayıf dayanımlı, erime boşluklu, çatlakları kil-kalsit dolgulu oluşmaktadır.

Tünel çıkış RMR sınıflandırılması TSK-18 ve TSK-19 sondaj laboratuvar sonuçlarından elde edilen verilere göre belirlenmiştir. RMR yöntemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılması için aşağıda sonuçları bulunan parametreler esas alınır.

Tek eksenli basınç dayanım değeri; TSK-18 sondajında laboratuvar verilerine göre 8 adet T.E.B.D elde edilmiştir (Çizelge 4.26). Bu verilerin ortalaması alınarak tek eksenli basınç dayanım değeri 48.36 MPa olarak bulunmuştur. YSK-19 sondajı için 2 adet T.E.B.D (Çizelge 4.27) elde edilip, bu değerlerin ortalaması 25.58 MPa 'dır.

Çizelge 4.26. TSK-18 tek eksenli basınç dayanım değerleri

TSK-18 T.E.B.D q_u (MPa)							
47.8	52.1	43.8	47.0	53.2	47.6	47.3	48.1

Çizelge 4.27. YSK-19 tek eksenli basınç dayanım değerleri

YSK-19 T.E.B.D q_u (MPa)	
50.2	35.1

Ortalama nokta yükü dayanımı; Laboratuvar sonuçlarına göre TSK-18 için 5, YSK-19 için 2 adet nokta yükü dayanımı hesaplanmıştır. Hesaplanan verilerin ortalaması alınmıştır. Alınan ortalama değeri 12*Is (50) yapılarak ortalama nokta yükü dayanımı bulunmuştur . TSK-18 için ortalama nokta yükü dayanımı 43.68 MPa (Çizelge 4.28), YSK-19 için ise 35.4 MPa hesaplanmıştır (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.28. TSK-18 ortalama nokta yükü dayanım değerleri

TSK-18 Is (50) (MPa)					
4.10	3.50	3.30	3.90	3.40	Ort.=3.64

$$12*Is (50) = 12* 3.64 = 43.68 \text{ MPa}$$

Çizelge 4.29. YSK-19 ortalama nokta yükü dayanım değerleri

YSK-19 Is (50) (MPa)		
2.9	3.0	Ort.=2.95

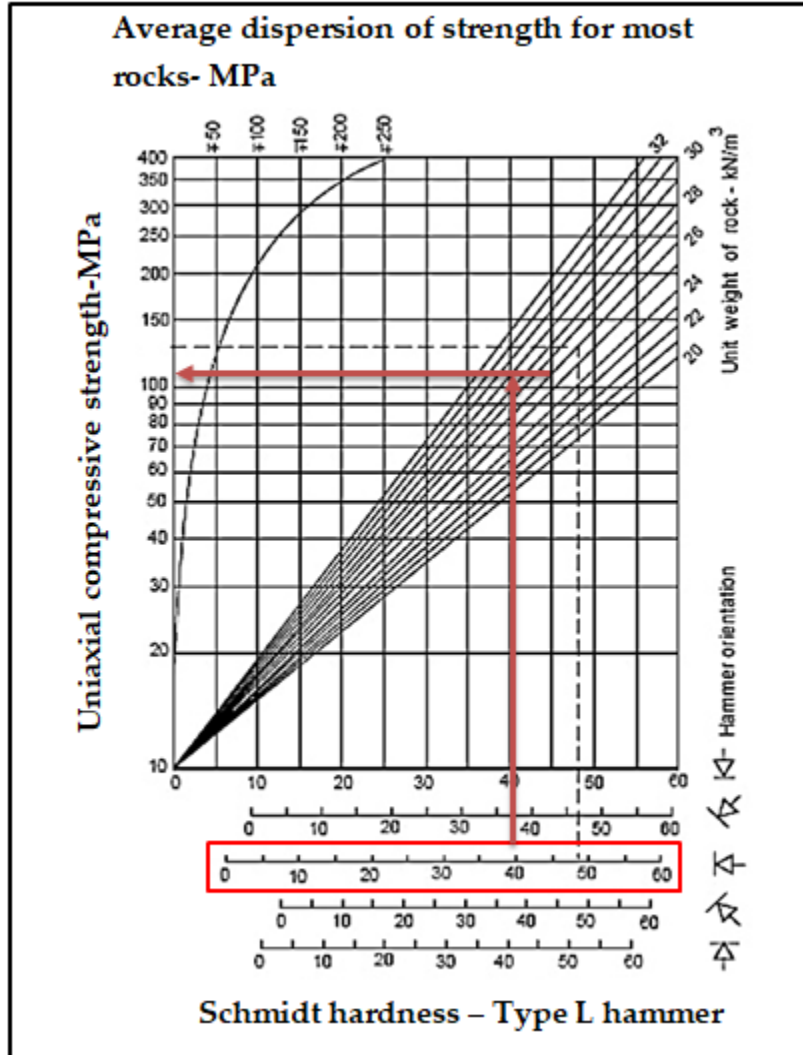
$$12*Is (50) = 12* 2.95 = 35.4 \text{ MPa} \quad (4.5)$$

Schmidt sertlik tayininden tünel girişi için arazide geri sıçrama değerleri alınmıştır. Alınan bu değerlerin en yüksek 10 tanesinin ortalaması hesaplanmıştır (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Tünel çıkışı Schmidt geri sıçrama değerleri

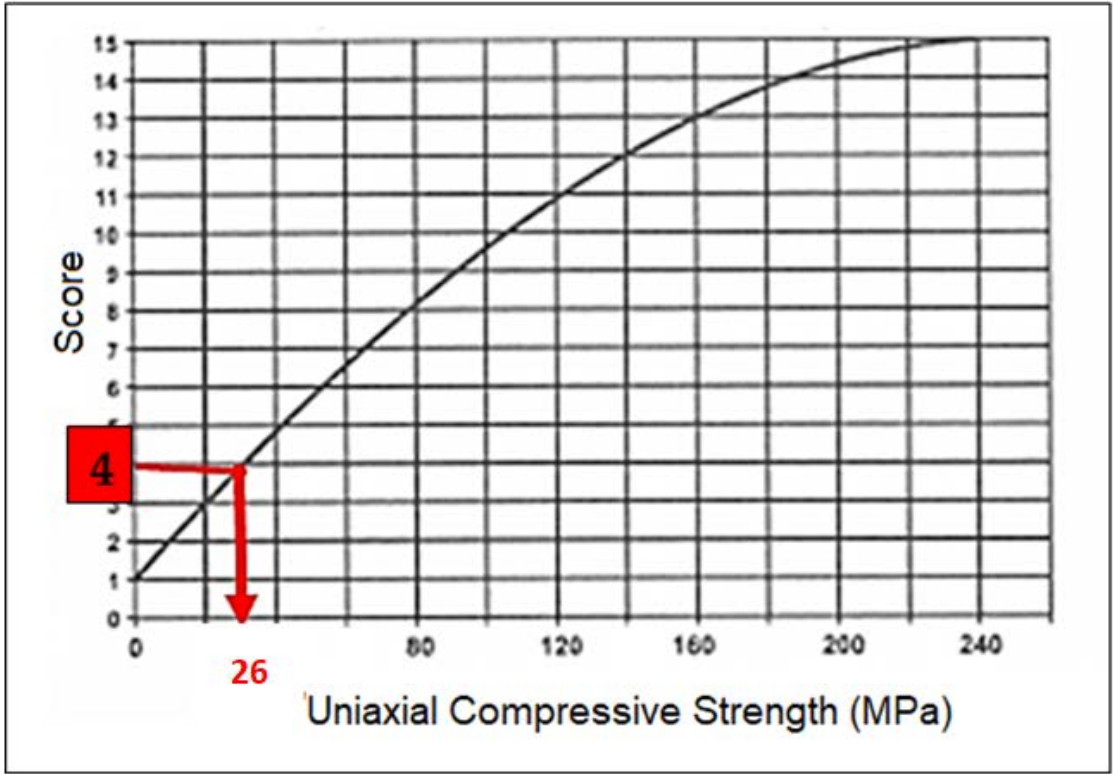
Sıra No	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Sıra No	Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	42	11	35
2	44	12	40
3	38	13	42
4	38	14	38
5	34	15	41
6	34	16	32
7	32	17	38
8	36	18	34
9	35	19	32
10	39	20	42
En yüksek 10 tanesi ortalaması=40.4			

Schmidt sertliğinden tek eksenli basınç dayanımının tahmini için oluşturulan abak (Deere ve Miller, 1966) ile hesaplanan ortalama değerin kesişim noktası okunmuştur (Şekil 4.33). Bu verileri göre Schmidt sertlik tayininden tünel çıkışı 110 MPa olarak bulunmuştur.



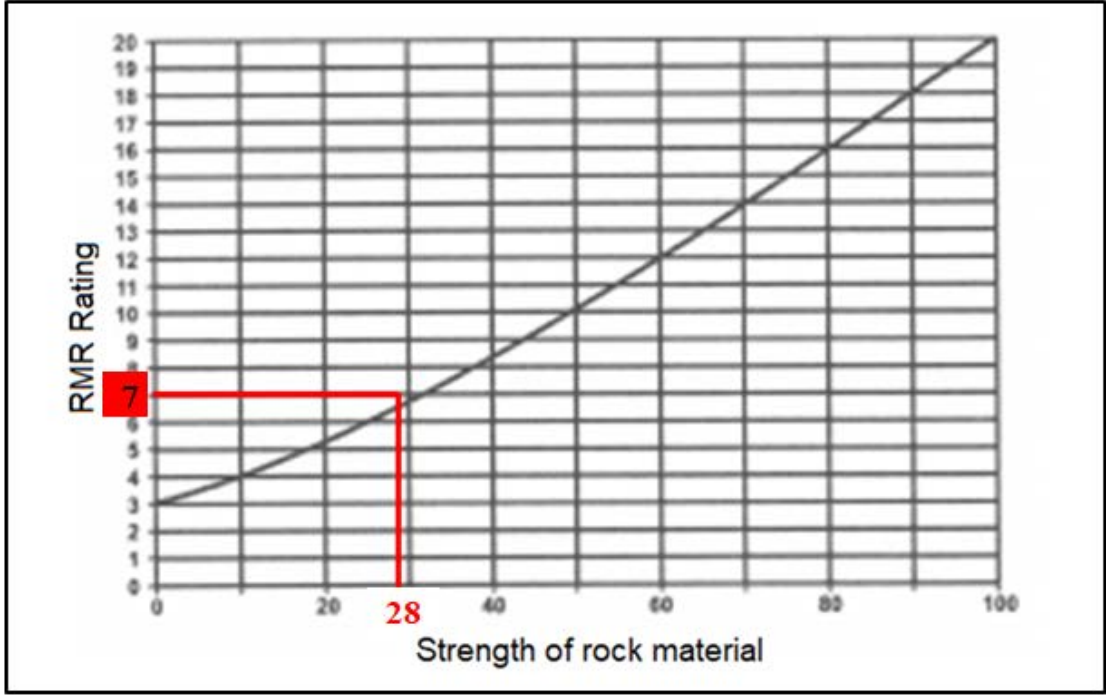
Şekil 4.33. Schmidt sertliğinden tek eksenli basınç dayanımının tahmini için oluşturulan abak (Deere ve Miller, 1966).

Güvenli tarafta kalınarak tek eksenli sıkışma dayanımı 26 MPa kabul edilmiştir. Buna göre RMR puanı 4 olarak seçilmiştir (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Kayaç malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (Mpa)

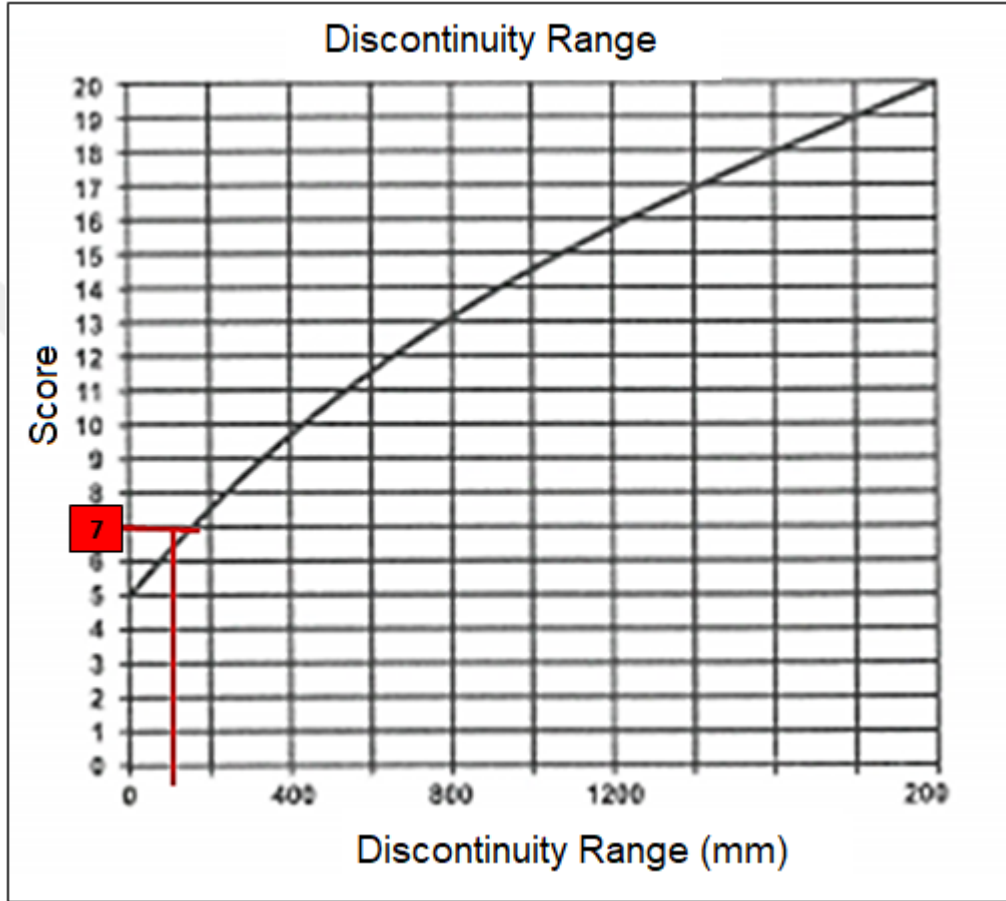
RQD Değeri; Tünel çıkış portalinde yapılan TSK-18 sondajında RQD değeri 5-82 arasında değişmekte olup ortalama %28 bulunmuştur. YSK-19 sondajında ise 30-75 arasında değişmekte olup ortalama %52.5 olarak bulunmuştur. Her iki sondajında RQD değerleri alınarak güvenli tarafta kalınması koşulu ile ortalama RQD değeri % 28 olarak seçilmiştir. Bu değere göre RMR puanı 7 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Kayaç malzemesinin yüzde RQD değeri (%)

Süreksizlik Aralığı; Tünel girişi için 60 cm ile 200 cm arasında değişiklik gösteren süreksizlik aralıkları belirlenmiştir. Buna göre RMR puanı 7 olarak seçilmiştir (Şekil 4.36).

Süreksizliklerin durumu, yeraltı koşulları ve süreksizliklerin yönelimi arazi de belirlenmiştir. Belirlenen değerlere göre aşağıdaki sonuçlar oluşturulmuştur.



Şekil 4.36. Arazi de belirlenen süreksizlik aralığı puanlama grafiği (mm)

Süreksizliklerin durumu(devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık);

Yapılan değerlendirmelere göre birim 10-20 m arası devamlılık, 0.25-2.5 mm açıklıklı, az pürüzlü, sert dolgulu <5 mm, az-orta derecede bozunmuş olup bu değerler için RMR puanı 12 olarak seçilmiştir.

Yeraltı Suyu koşulları; Yapılan yakın sondajlardan referans alınarak tünel kotlarında yeraltı suyunun olmayacağı varsayılmaktadır. Güvenli tarafta kalınarak nemli seçilmiştir. Buna göre RMR puanı 10 olarak seçilmiştir.

Süreksizliklerin yönelimi; Tünel eksen kesiminde süreksizliklerin doğrultuları tünel eksenine dik, eğime karşı yönde ilerlemede olumlu değerli kabul edilmiştir. Bu durumda RMR puanı -5 olarak seçilmiştir.

$$\text{Düzeltilmiş RMR} = \text{Temel RMR} + \text{RSY} \quad (4.6)$$

Yukarıda verilen değerlere göre; Bieniawski (1989) Kaya kütle değeri (RMR) tünel gövdesi için RMR 35 (zayıf kaya) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Tünel çıkışı RMR kaya kütle sınıflandırması


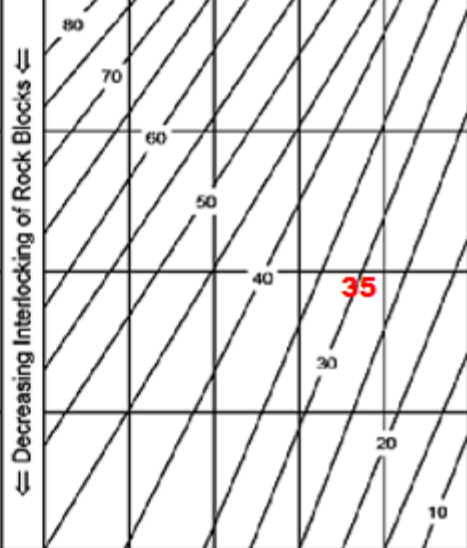



I. Temel RMR Sınıflama Parametreleri									
1	Kaya dayanımı, Mpa	Nokta Yükleme Dayanımı	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Daha düşük değerler için TEB değeri tercih edilir.		
		Tek Eksenli Basınç Dayanımı, TEB	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	1
	Değer	15	12	7	4	2	1	0	
	Puan				4				
2	Kayaç kalite belirteci, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Değer	20	17	13	8	3			
	Puan				7				
3	Süreksizlik aralığı, cm		>200	60-200	20-60	6-20	<6		
	Değer	20	15	10	8	5			
	Puan				7				
Süreksizliklerin durumu									
4	Süreksizlik uzunluğu (devamlılık)		<1 6	1-3m 4	3-10m 2	10-20m 1	>20 0		
	Süreksizlik açıklığı		Yok 6	<0.1 mm 5	0.1-1.0mm 4	1-5mm 1	>5mm		
	Pürüzlülük		Çok pürüzlü 6	Pürüzlü 5	Az pürüzlü 3	Düz 1	Kaygan 0		
	Dolgu		Yok 6	Sert dolgu <5mm 4	Sert dolgu >5mm 2	Yumuşak dolgu <5mm 2	Yumuşak dolgu >5mm 0		
	Bozunma (ayırışma)		Bozunmamış 6	Az bozunmuş 5	Orta derecede bozunmuş 3	Bozunmuş 1	Çok bozunmuş 0		
	Değer	30	25	20	10	0			
	Puan				12				
5	Yeraltı suyu	10 m tünel uz. gelen su, l/m	Yok	<10	10-25	25-125	>125		
		Genel Su durumu	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Değer	15	10	7	4	0			
	Puan		10						
II. Süreksizlik yönelimine göre değer düzeltme									
Toplam Değer		Çok olumlu	Olumlu	Orta	Olumsuz	Çok olumsuz			
Değer	Tünel&Maden	0	-2	-5	-10	-12			
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25			
	Yarma Yamaç	0	-5	-25	-50	-60			
	Puan		-5						
III. Çalışma Alanındaki Toplam RMR Değeri									
RMR		35							
IV. Toplam RMR Değeri ve Anlamı									
Toplam değer	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<21				
Sınıflandırma Numarası	I	II	III	IV	V				
Tanım	Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok Zayıf				
Ortalama desteksiz kalma zamanı	15m açıklıkta 20 yıl	10m açıklıkta 1 yıl	5m açıklıkta 1 hafta	2,5m açıklıkta 10 saat	1m açıklıkta 30 dak.				
Kaya Kütle kohezyonu, kPa	>400	300-400	200-300	100-200	<100				
Kaya Kütle sürtünme açısı, °	>45	35-45	25-35	15-25	<15				

Tünel çıkış portaline ait GSI sınıflandırılması; Hoek vd. (1995) tarafından önerilen ve Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strength Index, GSI) adı verilen yeni bir kavram, 1995 yılında RMR'ın yerine Hoek - Brown Yenilme Ölçütüne dahil edilerek kaya kütlesi sabitlerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanılmıştır (Çizelge 4.32).

$$GSI = RMR_{89-5} \text{ (süreksizlik düzeltmesi olmadan)} \quad (4.7)$$

40-5=35 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.32. Tünel çıkış portaline ait GSI sınıflandırması

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)		JOINT SURFACE CONDITION					
<p>According to rock mass structure and discontinuity surface conditions observed on the rock mass at site, select the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the GSI from the contours.</p>		VERY GOOD – very rough, fresh, un-weathered joint surfaces		GOOD – rough, slightly weathered, stained joint surfaces		FAIR – Smooth, moderately weathered, and altered surfaces	
		POOR – Slickensided, highly weathered surfaces with compact coating or fillings or angular fragments.		VERY POOR – Slickensided, highly weathered, surfaces with soft clay coating or filling			
ROCK MASS STRUCTURE		⇒ Decreasing of Surface Quality ⇒					
	BLOCKY – very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal joint sets						
	VERY BLOCKY – interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faced angular blocks formed by four or more joint sets.						
	BLOCKY/FOLDED – folded and faulted with many intersecting discontinuities forming angular blocks.						
	CRUSHED – poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded blocks.						

Elastisite İndisi; Çıkış portalinde kireçtaşı biriminde tanımlamak için yapılan TSK-18 sondajı laboratuvar deneylerinin elastisite indisi 13.113-15.985 MPa arasında değişmektedir. Ortalama Elastisite modülü, 14630 Mpa'dır. YSK-19 sondajı laboratuvar deneylerinin elastisite indisi 10738-15374 MPa arasında değişmektedir. Ortalama elastisite modülü 13056 Mpa'dır. Güvenli tarafta

kalınarak elastisite indisi 13056 MPa olarak alınması uygun görülmüştür (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33. Tünel çıkış portalindeki kireçtaşı biriminin jeoteknik özellikleri

Kilometre	Başlangıç	195+485	
	Bitiş	195+632	
Açıklama		Çıkış Portalı	
		Yan Şevi (KM:195+485)	Alın Şevi
Hmax (m)		22.32/17.65	17.23
Formasyon		Beydağları Formasyonu	
Litoloji		Kireçtaşı	
Ayrışma		W2-W3	
GSI		35	
TSK-18 ve YSK-19	RQD	28	
	UCS (Mpa)	26	
	Ei (MPa)	13056	
	D.B.H (MN/m ³)	0.026	
mi		9	

4.2.2.2. Tünel Çıkış Portaline Ait Kinematik Analizleri

Tünel çıkış portaline için yapılan süreksizlik ölçümlerine göre Dips programı yardımıyla kinematik analizleri yapılmıştır. Süreksizliklerin kontrol ettiği duraysızlıkların (eklem, tabakalanma, fay, makaslama çatlakları gibi) analiz edilmesinde yaygın bir şekilde tercih edilen yöntem, kinematik analiz yöntemidir. Bu yöntem, birçok araştırmacı (Gökçeoğlu vd. 2000; Yoon vd. 2002; Kentli ve Topal 2004; Gürocak vd. 2008; Yılmaz vd. 2012 tüdeş vd. 2012; Alemdağ vd. 2014) tarafından en fazla tercih edilen yöntemdir.

Tünel çıkış kesiminde ölçüm alınan çatlak konumunun doğrultu ve eğimleri, sürtünme açısı ve yarma doğrultusu ile eğim miktarı kullanılarak yapılan kinematik analizlerde, yarmalarda oluşabilecek düzlemsel, devrilme ve kama tipi yenilme durumları incelenmiştir. Kaya şevleri sadece bir süreksizlik düzlemine bağlı olarak gelişen bir yenilme türüdür. Yenilmenin oluşabilmesi için düzlemsel kayma, devrilme ve kama tipi kayma geometrik koşullarının sağlanması gerekmektedir.

Kireçtaşı birimi için kayma türlerine göre içsel sürtünme açısı aşağıdaki çizelgeden 30° olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.34 ve Çizelge 4.35).

Çizelge 4.34. Kayaç türlerine göre dolgulu içsel sürtünme açısı (Barton 1974)

Shear strength of rock discontinuities

Table 1: Shear strength of filled discontinuities and filling materials (After Barton 1974)

Rock	Description	Peak c' (MPa)	Peak ϕ°	Residual c' (MPa)	Residual ϕ°
Basalt	Clayey basaltic breccia, wide variation from clay to basalt content	0.24	42		
Bentonite	Bentonite seam in chalk Thin layers Triaxial tests	0.015 0.09-0.12 0.06-0.1	7.5 12-17 9-13		
Bentonitic shale	Triaxial tests Direct shear tests	0-0.27	8.5-29	0.03	8.5
Clays	Over-consolidated, slips, joints and minor shears	0-0.18	12-18.5	0-0.003	10.5-16
Clay shale	Triaxial tests Stratification surfaces	0.06	32	0	19-25
Coal measure rocks	Clay mylonite seams, 10 to 25 mm	0.012	16	0	11-11.5
Dolomite	Altered shale bed, \pm 150 mm thick	0.04	1(5)	0.02	17
Diorite, granodiorite and porphyry	Clay gouge (2% clay, PI = 17%)	0	26.5		
Granite	Clay filled faults Sandy loam fault filling Tectonic shear zone, schistose and broken granites, disintegrated rock and gouge	0-0.1 0.05 0.24	24-45 40 42		
Greywacke	1-2 mm clay in bedding planes			0	21
Limestone	6 mm clay layer 10-20 mm clay fillings <1 mm clay filling	0.1 0.05-0.2	13-14 17-21	0	13
Limestone, marl and lignites	Interbedded lignite layers Lignite/marl contact	0.08 0.1	38 10		
Limestone	Marlaceous joints, 20 mm thick	0	25	0	15-24
Lignite	Layer between lignite and clay	0.014-0.03	15-17.5		
Montmorillonite Bentonite clay	80 mm seams of bentonite (montmorillonite) clay in chalk	0.36 0.016-0.02	14 7.5-11.5	0.08	11
Schists, quartzites and siliceous schists	100-15- mm thick clay filling Stratification with thin clay Stratification with thick clay	0.03-0.08 0.61-0.74 0.38	32 41 31		
Slates	Finely laminated and altered	0.05	33		
Quartz / kaolin / pyrolusite	Remoulded triaxial tests	0.042-0.09	36-38		

Çizelge 4.35. Kayaç türlerine göre içsel sürtünme açısı (Barton 1973, Jaeger ve Cook,1976)

Rock Class	Friction Angle Range ⁽¹⁾	Typical Rock Types
Low Friction	20 to 27°	Schists (high mica content), shale, marl
Medium Friction	27 to 34°	Sandstone, siltstone, chalk, gneiss, slate
High Friction	34 to 40°	Basalt, granite, limestone, conglomerate



Foto 4.5. Çıkış portalı Kireçtaşı biriminden süreksizlik ölçümlerinin yapıldığı lokasyon.

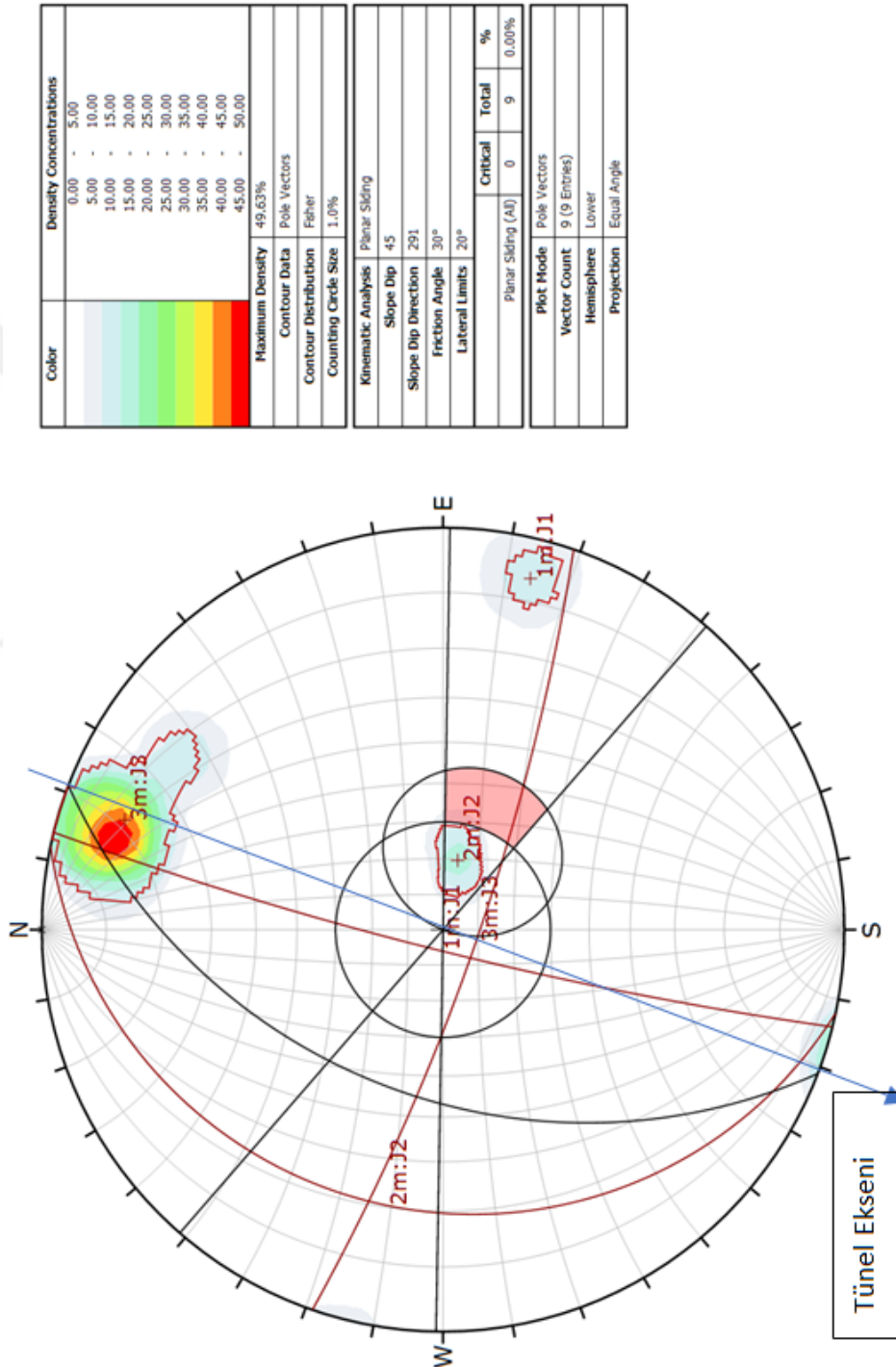
Kaymanın sayısal olarak modellenmesinde ve analizlerinde RocPlane 2.0, Swedge v4.0 ve Roctopple v1.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Yapılan analizde, süreksizlik yüzeyi makaslama parametreleri $C=0$ $\Phi=30$ derece olarak alınmıştır. Uygulanan programlar sonucunda çıkış portalı için süreksizlik takımları belirlenmiştir. Belirlenen süreksizlik takımları Dips programı için veri oluşturmaktadır. Dips programına girilen veriler sonucunda şev analizleri yapılmış olup kaymanın meydana gelip gelmeyeceği belirlenmektedir. Şev analizleri sağ, sol ve alın olmak üzere üç bölümde incelenmiştir.

Çıkış portalı için toplamda üç adet süreksizlik takımı belirlenmiştir. Süreksizlik takımlarının eğim ve eğim yönleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 4.36).

Çizelge 4.36. Çıkış portalında alınan süreksizlik takımları ve yönelimleri

Takım No	Eğim/Eğim Yönü
J-1	84/284
J-2	20/282
J-3	80/199

Düzlemsel Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin dip vektörünün bulunmaması ve düzlemsel kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Sol şev düzlemsel kayma analizi

Devrilme Tipi Kayma analizi için ;Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin kutup noktalarının bulunmaması ve devrilme türü kayma koşullarının sağlanmaması ve kireçtaşı biriminden dolayı nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.41).

Symbol	Feature
■	Critical Intersection

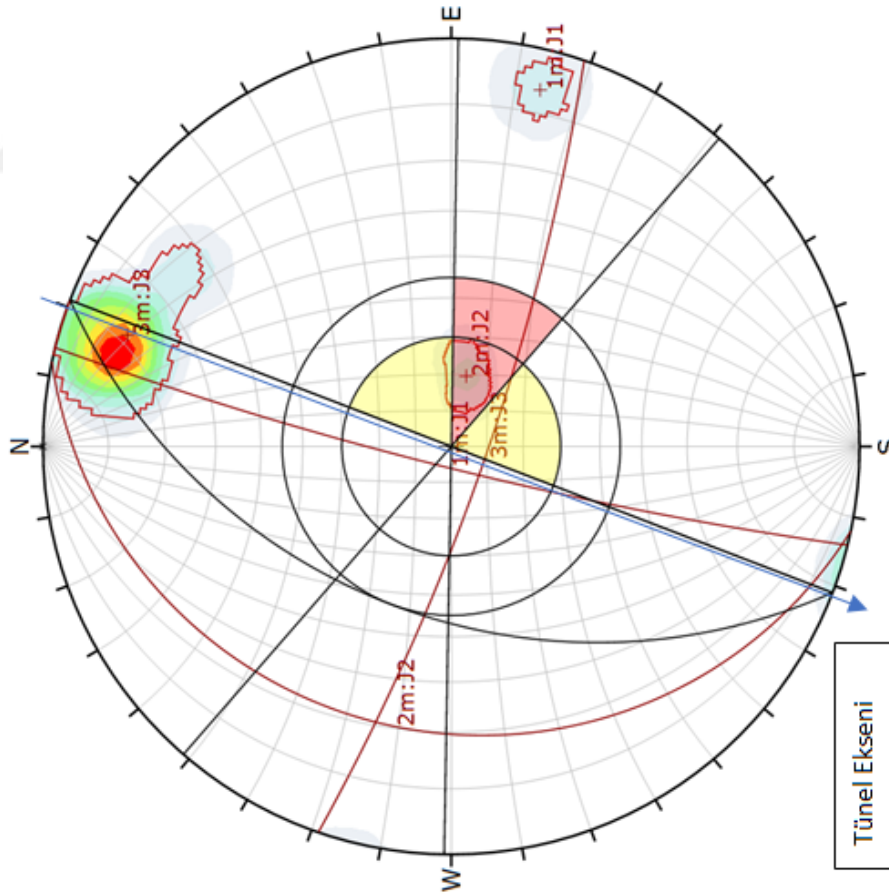
Color	Density Concentrations
0.00 - 5.00	
5.00 - 10.00	
10.00 - 15.00	
15.00 - 20.00	
20.00 - 25.00	
25.00 - 30.00	
30.00 - 35.00	
35.00 - 40.00	
40.00 - 45.00	
45.00 - 50.00	

Maximum Density	49.63%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Direct Toppling
Slope Dip	45
Slope Dip Direction	291
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	0	20	0.00%
Oblique Toppling (Intersection)	0	20	0.00%
Base Plane (All)	2	9	22.22%
Base Plane (Set 2)	2	2	100.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Intersection Mode	All Set Planes
Intersections Count	20
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Şekil 4.41. Sol şev devrilme tipi kayma analizi

Çıkış Portalı Sağ Şev Analizleri:

Arazide ölçülen süreksizlik eğim ve eğim yönleri Dips programında girilerek sağ şev açısı belirlenmiştir. Sağ şev açısı eğim/ eğim yönü olarak 45/058 bulunmuştur (Şekil 4.42).

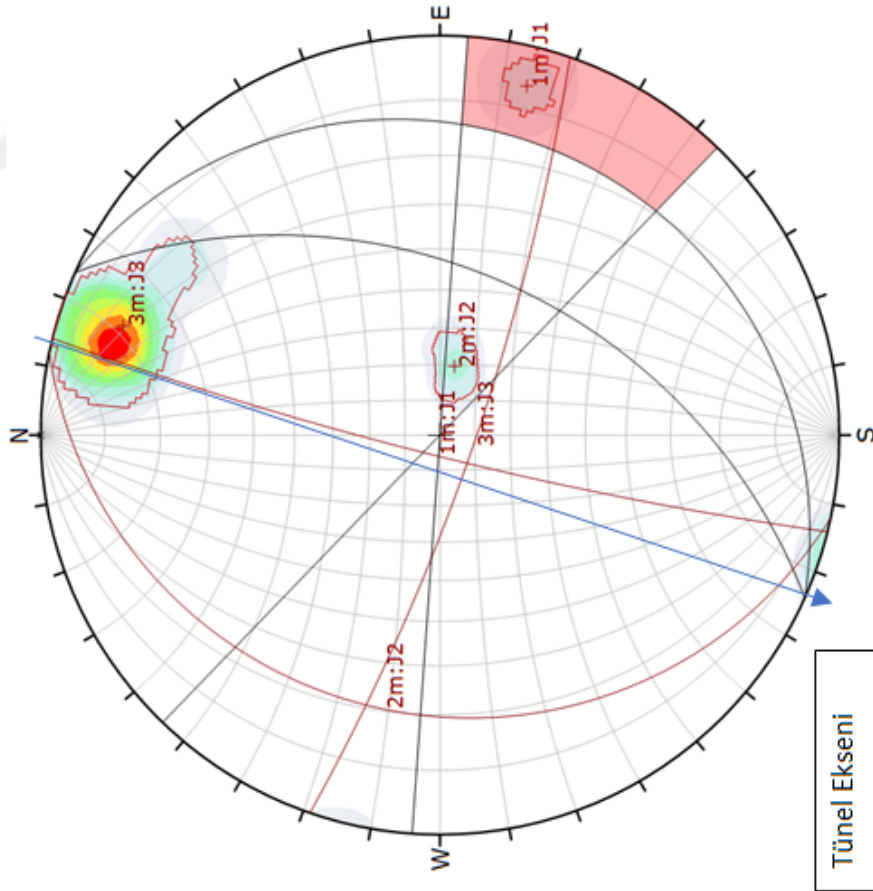
Color	Density Concentrations
	0.00 - 5.00
	5.00 - 10.00
	10.00 - 15.00
	15.00 - 20.00
	20.00 - 25.00
	25.00 - 30.00
	30.00 - 35.00
	35.00 - 40.00
	40.00 - 45.00
	45.00 - 50.00

Maximum Density	49.63%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	45
Slope Dip Direction	114°
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

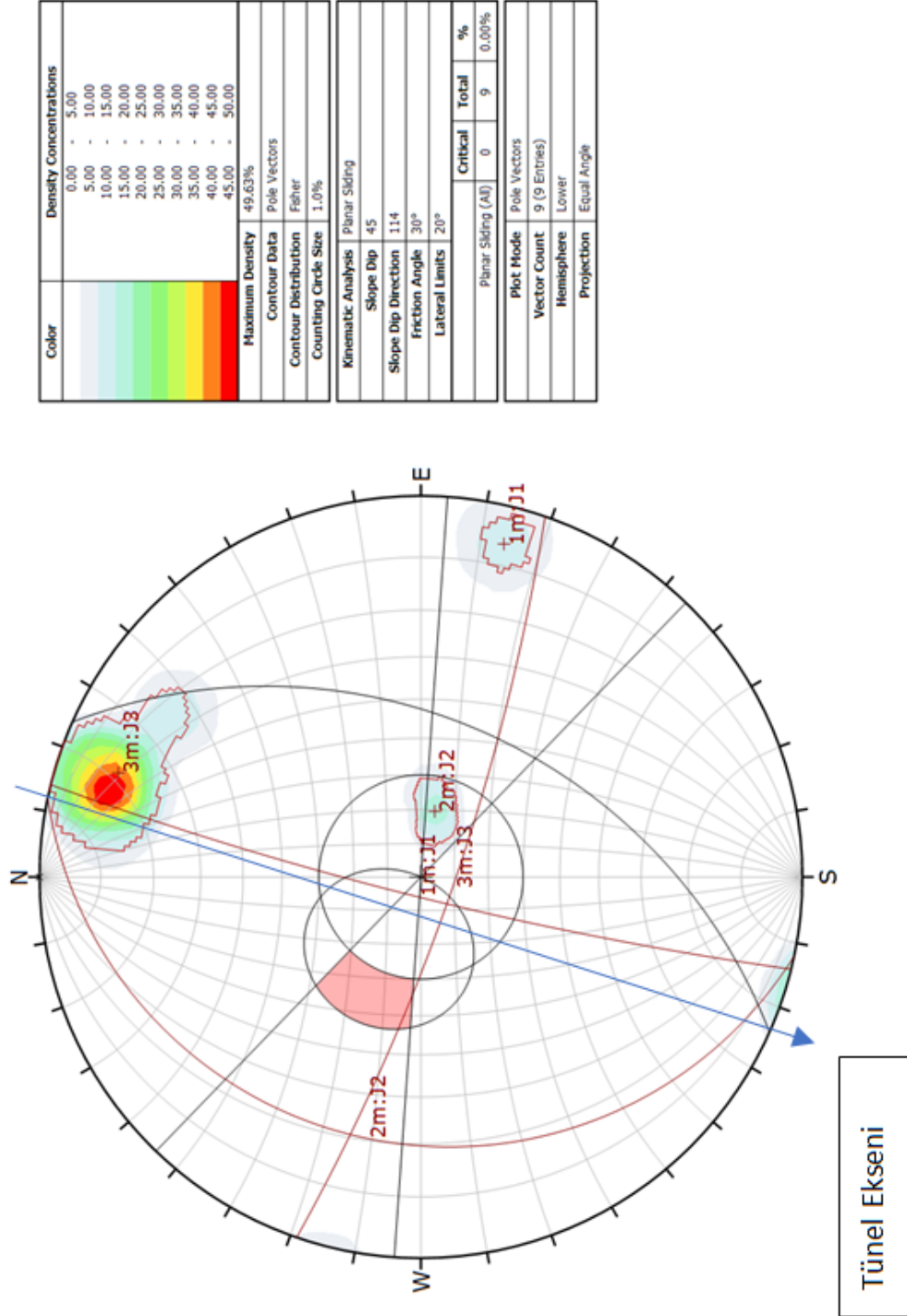
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (Adj)	1	9	11.11%
Flexural Toppling (Set 1)	1	1	100.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



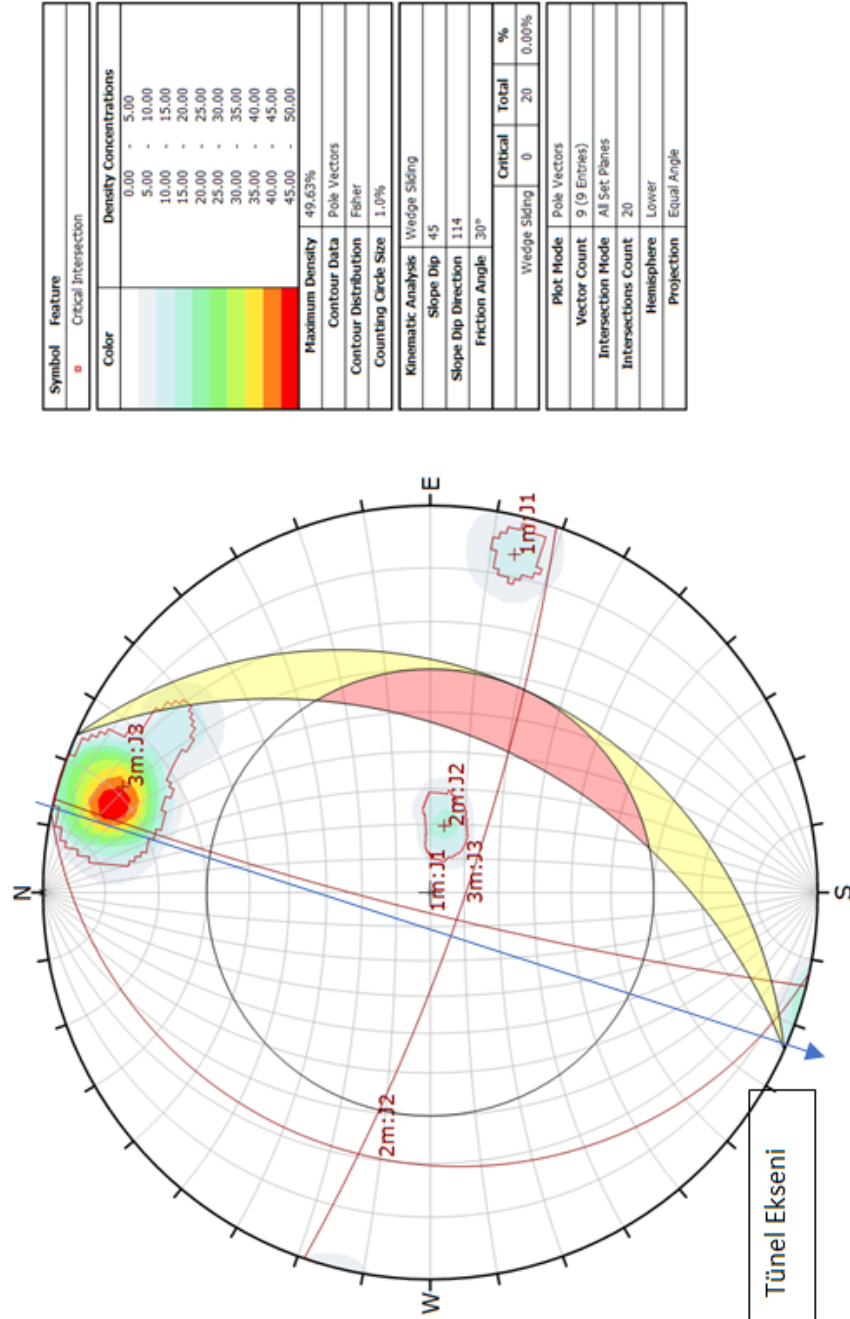
Şekil 4.42. Sağ şev eğim ve eğim yönü analizi

Düzlemsel Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizlik yüzeylerinin büyük dairelerinin dip vektörünün bulunmaması ve düzlemsel kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.43).



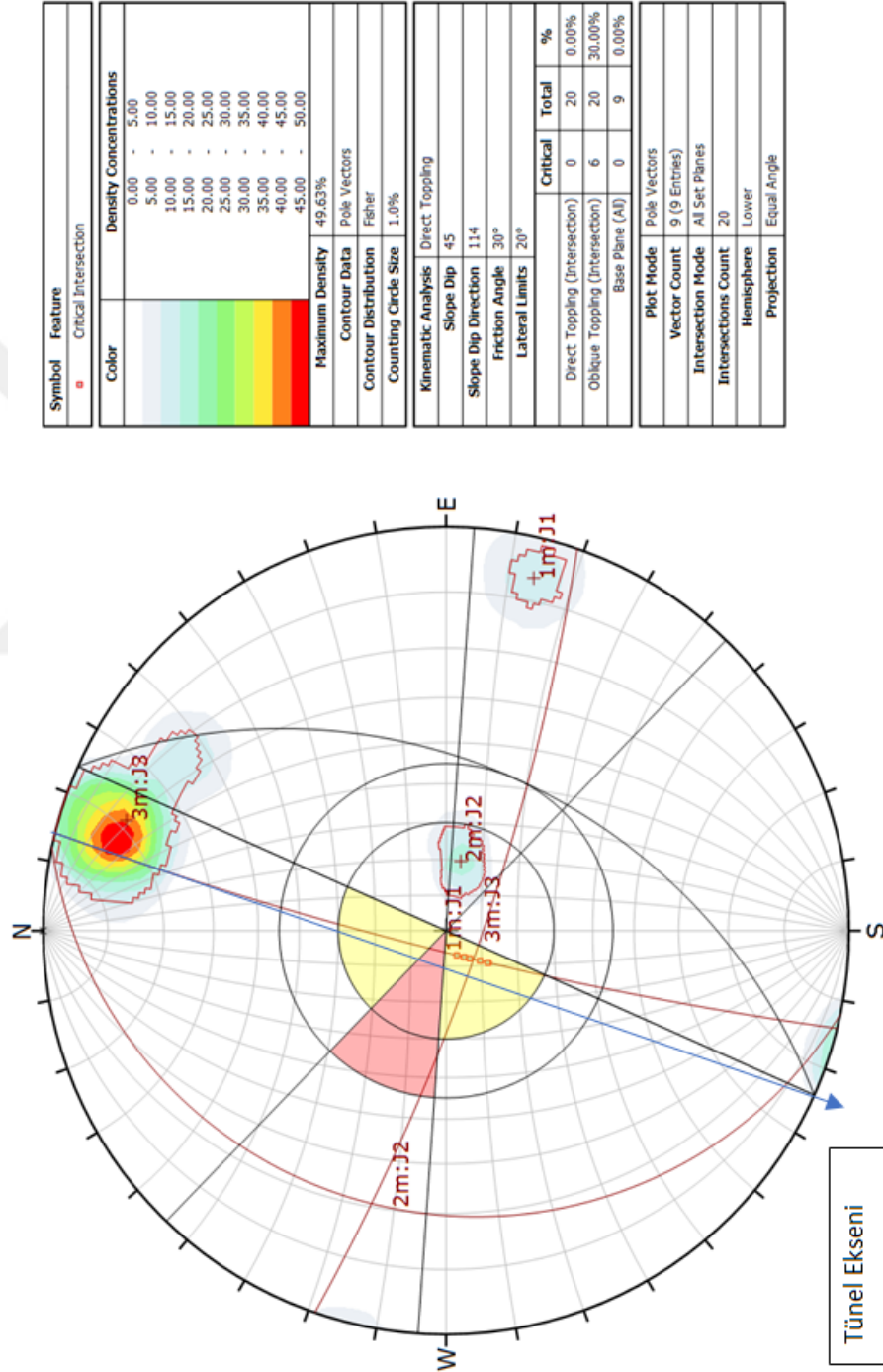
Şekil 4.43. Sağ şev düzlemsel kayma analizi

Kama Tipi Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge içinde, süreksizlik düzlemlerinin kesişim noktalarının bulunmaması ve kama tipi kayma koşullarının sağlanmaması sebebiyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Sağ şev kama tipi kayma analizi

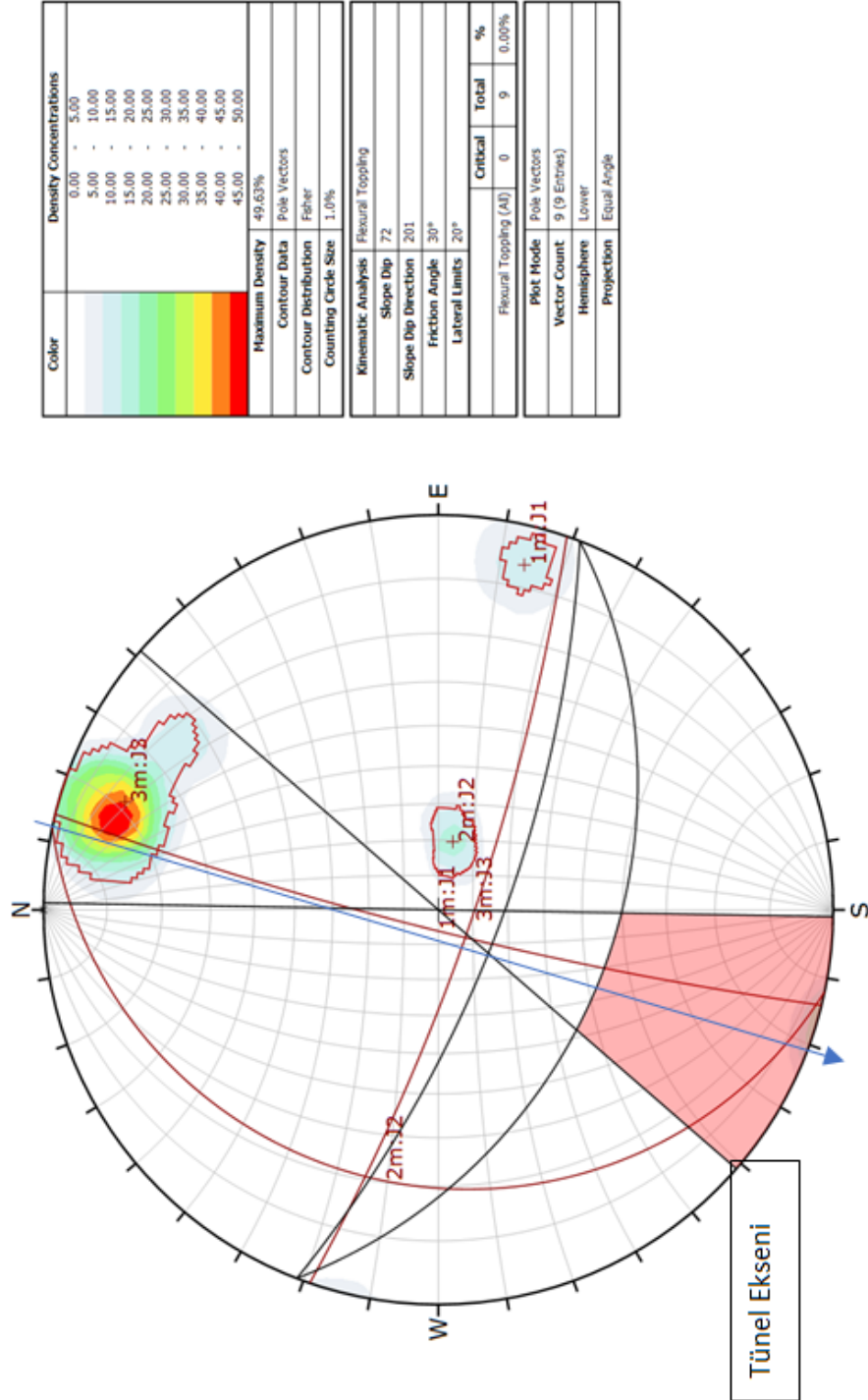
Devrilme Tipi Kayma analizi için ; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, J1 süreksizliğinin kutup noktasının bulunması ve devrilme türü kayma koşullarının sağlanması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Sağ şev devrilme tipi kayma analizi

Çıkış Portalı Alın Şevi Analizleri:

Arazide ölçülen süreksizlik eğim ve eğim yönleri Dips programında girilerek alın için şev açısı belirlenmiştir. Alın şev açısı eğim/ eğim yönü olarak 72/201 bulunmuştur (Şekil 4.46).



Şekil 4.46. Alın şevi eğim ve eğim yönü analizi

Düzlemsel kayma analizi için ;Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge için, süreksizliklerin dip vektörünün bulunmaması ve düzlemsel kayma koşullarının sağlanmaması nedeniyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.47).

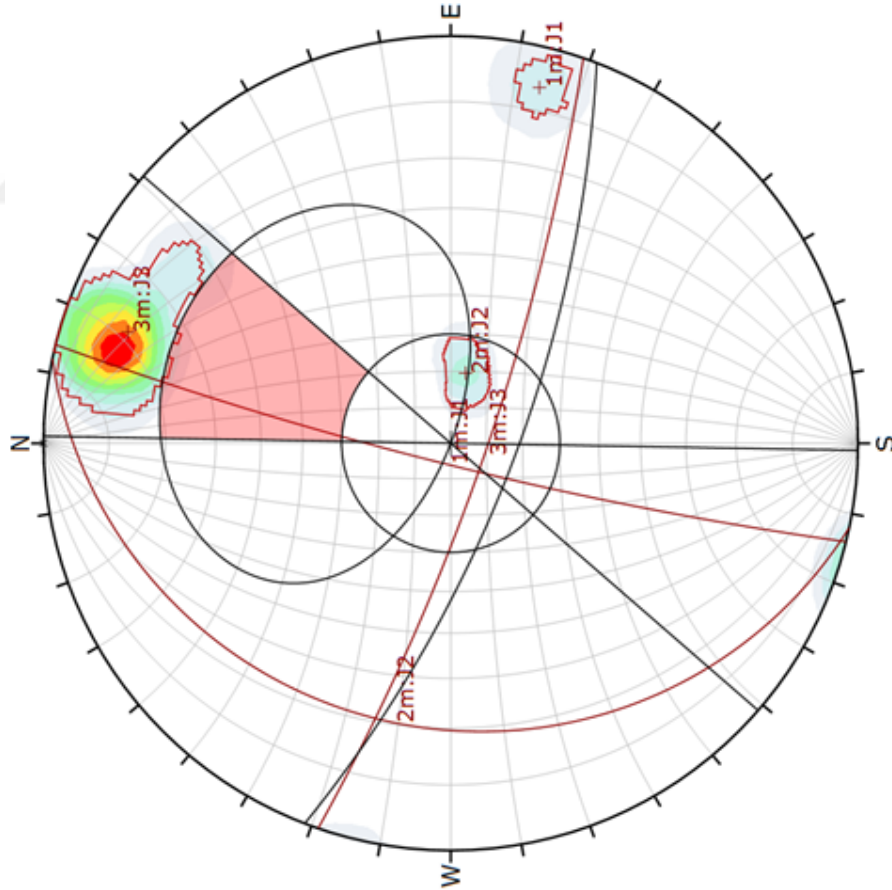
Color	Density Concentrations
	0.00 - 5.00
	5.00 - 10.00
	10.00 - 15.00
	15.00 - 20.00
	20.00 - 25.00
	25.00 - 30.00
	30.00 - 35.00
	35.00 - 40.00
	40.00 - 45.00
	45.00 - 50.00

Maximum Density	49.63%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	72
Slope Dip Direction	201
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

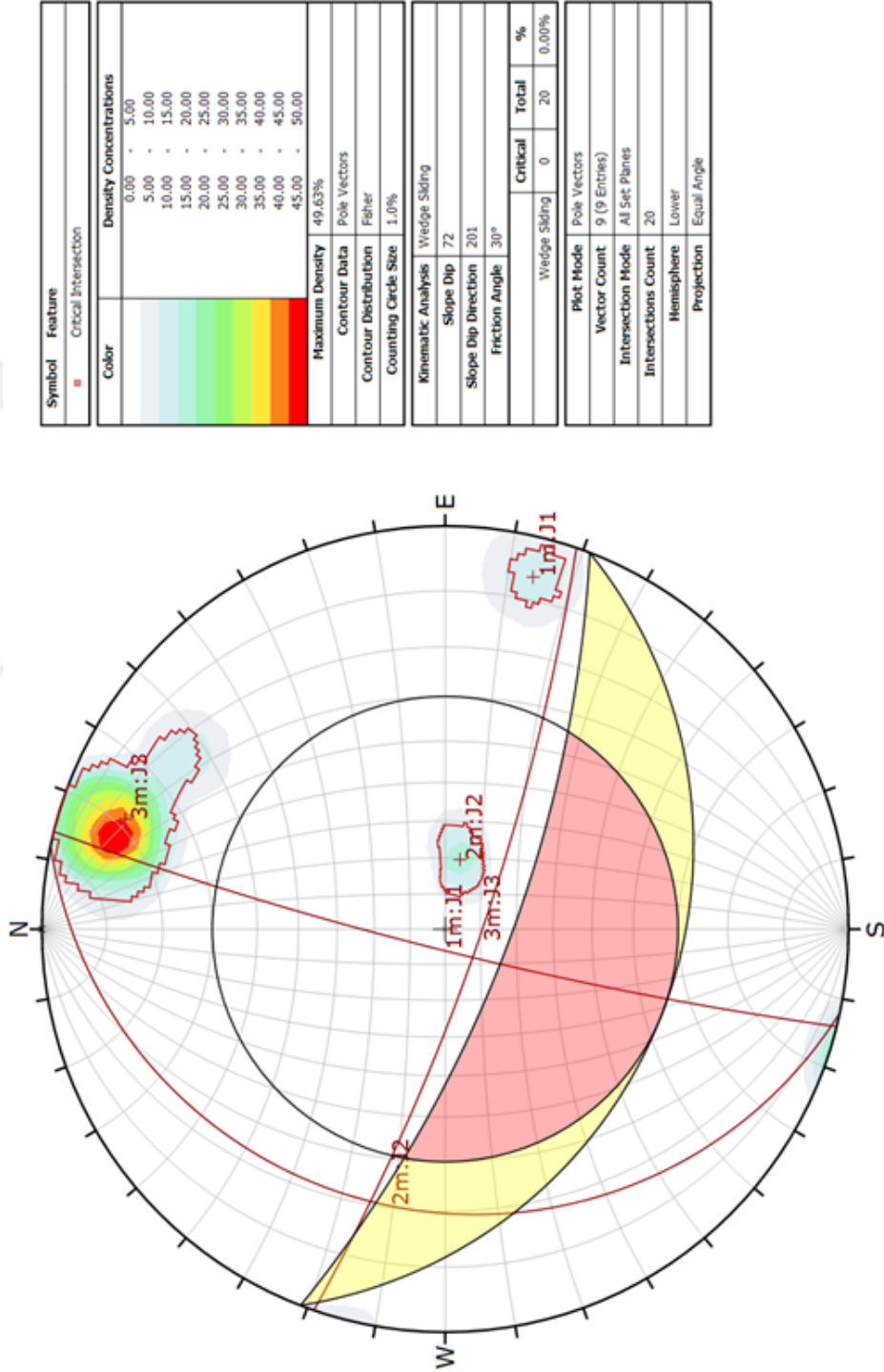
	Critical	Total	%
Planar Sliding (AD)	0	9	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	9 (9 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Şekil 4.47. Alın şevi düzlemsel kayma analizi

Kama Tipi Kayma analizi için; Dips Programı ile yapılan kinematik analiz sonucuna göre kritik bölge içinde, süreksizlik düzlemlerinin kesişme noktalarının bulunmaması ve kama tipi kayma koşullarının sağlanmaması sebebiyle duraysızlık beklenmemektedir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Alın şevi kama tipi kayma analizi

Yapılan tüm analizler neticesinde çıkış portal şevleri istenen güvenlik sayılarını sağlamaktadır. Çıkış portal yapısı için uygun bulunan destek elemanları belirlenmiştir. Bu portal için zemin çivisi tasarım yöntemi uygulanmıştır. Bunun yanı sıra gerekli stabilite analizleri de yapılmış olup bu tez kapsamında konu olarak incelenmemiştir. Ek olarak sonuçlar aşağıda sunulmuştur (Çizelge 4.37 ve Çizelge 4.38).

Çizelge 4.37. Çıkış portalı şevleri için tahkimat tasarımı

Çıkış Portal – Alın Şevi	
Şev Oranı	1Y/3D
Püskürtme Betonu	C25/30 – 15 cm – 2xQ221/221
Kaya Bulonu	Φ 28 mm - L=4 m – 2.0 m x 2.0 m
Süren	Φ=2.0" enjeksiyonlu boru süren

Çıkış Portal – Sol Şev	
Şev Oranı	1Y/1D-3Y/2D
Püskürtme Betonu	C25/30 – 15 cm – 2xQ221/221
Kaya Bulonu	Φ 28 mm - L=4 m – 2.00 m x 2.00 m
Uygulanacak Kilometre	195+485-195+572

Çıkış Portal – Sağ Şev	
Şev Oranı	1Y/1D-3Y/2D
Püskürtme Betonu	C25/30 – 15 cm – 2xQ221/221
Kaya Bulonu	Φ 28mm - L=4 m – 2.00 m x 2.00 m
Uygulanacak Kilometre	195+482-195+579

Çizelge 4.38. Giriş portalı analiz sonuçları ve önerilen destek sistemi

Şev Konumu	Koşullar	Şev Eğimi	Destek	Hesaplanan Güvenlik
Alın Şevi	Desteksiz - Statik Durum	1Y/3D	-	1.937
	Desteksiz - Depremlili Durum		-	1.597
	Destekli - Statik Durum		Φ28 2m*2m aralıklı L=4m Kaya Bulonu	2.323
	Destekli Sismik durum			1.966
Sol Yan Şev	Desteksiz-Statik Durum	1Y/1D-3Y/2D	-	1.464
	Desteksiz - Depremlili Durum		-	1.05
	Destekli-Statik Durum		Φ28 2.00m*2.00 m aralıklı L=4m Kaya Bulonu	1.577
	Destekli-Sismik Durum			1.140
Sağ Yan Şev	Desteksiz-Statik Durum	1Y/1D-3Y/2D	-	1.481
	Desteksiz - Depremlili Durum		-	1.074
	Destekli-Statik Durum		Φ28 2.00m*2.00 m aralıklı L=4m Kaya Bulonu	1.576
	Destekli-Sismik Durum			1.130

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Tünel için belirlenen lokasyon Beydağları formasyonunun kireçtaşı birimi içindedir. Tünel açma yöntemlerinden Yeni Avusturya Yöntemi (NATM) uygulanmıştır. Yöntemin uygulanması için belirli bölgelerde sondajlar yapılarak bölgenin Yeni Avusturya Yöntemi'ne uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Bunun için bölgede 4 adet sondaj yapılması uygun görülmüştür. Tünel güzergahında, tünel giriş ve çıkışı için yapılan sondajlar LSK-501, TSK-18 ve YSK-19' dur. Tünel girişinde LSK-501 sondajı, tünel çıkışında TSK-18 ve YSK-19 sondajları yer almaktadır. Tünel giriş ve çıkış portalleri için RMR sınıflandırılması yapılmıştır. Bulunan RMR değerine göre kaya kütle değeri zayıf kaya olarak belirlenmiştir. Bu nedenle tünel girişi ve çıkışı için alın şevi,sağ ve sol şevler ölçülerek kinematik analizleri yapılarak duraysızlıkları belirlenmiştir. Şev destekleri analiz programları yardımı ile incelenerek süreksizlik duraysızlıkları için güvenlik sayıları elde edilmiştir. Tünel bölgesinin deprem durumu parametreleri Deprem Teknik Yönetmeliği 2018 göre değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamında sadece tünel giriş ve çıkış portalleri için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda (RMR sınıflandırılmasına bağlı olarak) tünel için sadece destek elemanları gerekmektedir. Tünel giriş ve çıkışında yer alan değerlendirme ve öneriler, tez çalışma sahasında belirli lokasyonlarda yapılan jeolojik gözlemler, temel sondaj verileri ve laboratuvar deney sonuçlarına dayalı olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.38. T-11 tüneli kaya kütle parametreleri

Kilometre	Başlangıç	193+440	193+453	195+140	195+240	195+474
	Bitiş	193+453	195+474	195+240	195+474	195+485
Açıklama		Giriş Kesimi	Gövde-1	Gövde-2	Gövde-3	Çıkış Kesimi
Formasyon		Beydağları Formasyonu				
Litoloji		Kireçtaşı	Kireçtaşı	Ayrılmış Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı
Ayrışma		W3	W2-W3	W3-W4	W2-W3	W3
RMR89		37	47	47	47	41
GSI		34	44	30	44	38
Q Sitem		0.21	0.81	0.81	0.81	0.23
NATM Kazı Sınıfı Karşılığı		B3	B2	B2	B2	B3
Kazı Destek Sınıfı		B3	B2	B3	B2	B3
Ei (MPa)		10000	14260	14260	14260	14630
D.B.H (MN/m³)		0.026	0.025	0.025	0.025	0.025
Poisson Oranı		0.31	0.24	0.24	0.24	0.23
mi		9	9	9	9	9
UCS (MPa)		31	39	39	39	43
D=0						
Hoek-Brown	mb	0.852	1.218	0.739	1.218	0.983
	s	0.0007	0.002	0.0004	0.002	0.001
	a	0.517	0.509	0.522	0.509	0.513
Mohr-Colomb	C (kpa)	157	789	345	789	195
	φ	50	37,78	39,78	37,78	55
Em (MPa)		1059.88	5300	1160.52	5300	2036.54
D=0.5						
Hoek-Brown	mb	0.388	0.625	0.321	0.625	0.470
	s	0.0002	0.0006	0.0001	0.0006	0.0003
	a	0.517	0.509	0.522	0.509	0.513
Mohr-Colomb	c	109	606	249	606	127
	φ	43.75	32.34	32.61	32.34	50
Em (MPa)		540.61	4854	627.57	4854	995.44

5.2. Öneriler

Tünel portal ve çıkışları tamamen Beydağları formasyonunun kireçtaşı birimi içerisinde yer almaktadır. Kireçtaşı birimde karstlaşmaya bağlı boşluklar oluşabilmektedir. Yapılan saha çalışmalarında bu durum gözlenmemiştir. Fakat karstlaşmaya bağlı boşluklar oluşabileceği için kireçtaşı biriminde tünel açımı sırasında yatay sondaj yapılarak projelendirilen tasarımın teyit edilmesi gerekmektedir. Yapım aşamasında karstik boşluklar yoluyla oluşabilecek su boşalmalarına karşı gerekli önlemler alınarak ilerlenmelidir. Destekli yapılması uygun görülen portal yapılarının kademelerinde jeolojik değerlendirmeler sonucunda destek sisteminde yetersizlik belirlenirse durumun revize edilmesi gerekmektedir.

Yarma şevlerinin uzun dönemde drenajın sağlanması için giriş ve çıkış portalındaki tüm şevlerde, düşeyde ve yatayda iki çivi sırasında bir adet olmak üzere Φ 50 mm çaplı perfore drenaj borularından kullanılması gerekmektedir. Çivilerin yeterli kapasiteyi sağlayıp sağlayamadığını kararlaştırmak için uygulama sırasında çekme deneyi yapılmalıdır.

Yapım aşamasında düzenli ve sürekli ayna jeolojik haritalaması yapılmalı ve sürekli deformasyon ölçümleri yapılarak belirlenen davranış tipinin teyit edilmesi veya revize edilmesi gerekmektedir. Projelendirmenin ileriki aşamalarında ise belirlenen davranış tipine uygun destekleme önerimleri seçilerek projelendirme yapılması uygun olacaktır. Önerilen yöntem ve hesaplar, araştırma çalışmalarında belirlenen zemin koşulları için geçerlidir.

6. KAYNAKLAR

- AFAD. (2011). <https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>
- AFAD. (2019). <https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>
- ALTINLI, E. (1942) Antalya Bölgesinin tektonik etüdü (Etude tectonique de la région d'Antalya). — İst. F.F. Mec. B, X, I.
- ALTINLI, E. (1945) Antalya Bölgesinin stratigrafik etüdü (Etude stratigraphique de la région d'Antalya). — İst. F.F. Mec. B. X, 3.
- Atalay, İ., 1977. Burdur havzası ve çevresinin jeomorfolojik gelişimi, Jeomorfoloji Dergisi, 6, 93- 111, Ankara.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C. 1995. The İsparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. Pişkin, Ö., Ergün, M., Savaşın, M.Y. ve Tarcan, G. (ed.). IESCA-1995 Proceedings da, 3-17.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J., (1974). Engineering Classification of Rock Masses for The Design of Tunnel Support. Rock mechanics, 6 (4), pp 189–236.
- Barton, N. and Bieniawski, Z.T. 2008. Setting the record straight about RMR and Q. Tunnels & Tunnelling, v. February, p.26-29.
- Barton, N., (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume. 39, pp 185-216.
- Bieniawski, Z., (1974). Geomechanics classification of rock masses and its application in tunnelling. Adv. in rock mech. 2 (A): 27-32.
- Bieniawski, Z., (1993). Classification of rock masses for engineering: The RMR-system and future trends. Comprehensive rock engineering, J. A. Hudson ed., volume. 3, , pp. 553-573.
- Burdur Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Burdur İli Çevre Durum Raporu, 2012.
- Bozcu M., Yağmurlu F., Şentürk M., "Bozcu,M., Yağmurlu F.,ve Şentürk M. 2007. Fethiye-Burdur Fay Zonunun Bazı Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri, GB-Türkiye. ", Jeoloji Müh. Derg. , cilt.31, ss.25-48, 2007
- Coşar, S., 2004, Application of Rock Mass Classification Systems For Future Support Design of The Dim Tunnel Near Alanya. (Master of Science), Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University. (yayımlanmamış) p 217

Çeltik B.A., 2018, Düden Şelalesi (Antalya) ve Çevresindeki Tufa Çökellerinin Taşıma Gücünün Belirlenmesi, 3 s.

Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rocks. Tech. Report. Air Force Weapons Lab., New Mexico, No. AFNL-TR, pp. 65 – 116.

De Oliveira, T. 2007. Contribuição à classificação geomecânica de maciços rochosos utilizando o Sistema RMR. Monografia de Trabalho de Formatura (TF-07/42). Orientador: Prf. Dr. Lindolfo Soares. Universidad de Sao Paulo, Instituto de Geociencias, Brasil.

Dumont & Kerey, E. (1975): Kırkkavak fayı: Batı Toroslar ile K&pruçay baseni sınırında kuzey-güney doğrultu atımlı fay. T.J.K. Bült., cilt 18, no. 1, s. 59-62, Ankara.

Dumont, J.F., 1976. Isparta kıvrımı ve Antalya naplarının orijini; Torosların Üst Kretase tektojenezi ile oluşmuş yapısal düzeninin büyük bir dekreşman, transtorik arızayla ikiye ayrılması varsayımı. M.T.A Enst. Dergisi, sayı 86, sayfa 56-67.

Erakman, B., Meşhur, M., Gül, M.A., Alkan, H., Öztaş, Y. ve Akpınar, M., 1982. Toros projesine bağlı KalkanKöyceğiz-Çameli-Tefenni arasında kalan alanın jeolojisi ve hidrokarbon olanakları raporu. Türkiye Doğalgaz ve Petrol Anonim Ortaklığı (TPAO), Ankara, Teknik Rapor, 1732.

Engineering Geology Principles and Practice Price, 2009, (D.G., (Ed.) Freitas)

Günay ve diğerleri., 1982. Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı. Türkiye 6. Petrol Kongresi Tebliğleri, Nisan -1982, Ankara, 90-101.

Geotechnical Engineering Techniques and Practices, 1986 (Roy E. Hunt)

Isparta Burdur Yolu Jeolojik-Jeoteknik Raporu, T11 portal raporu,2019, s. 5-72 Proyası.

Isparta Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Isparta İli Çevre Durum Raporu, 2012.

Karaman, E., 1986, Burdur dolayının genel stratigrafisi [General stratigraphy of Burdur area], Bulletin of Isparta Engineering Faculty, 2, 23–36 [in Turkish with English abstract].

Koçkar, M. and Akgün, H., 2003, Engineering geological investigations along the Ilıkso Tunnels, Alanya, southern Turkey. Engineering Geology, volume 68, pp. 141–158.

Koçkar, M. K. & Akgün, H. (2004). Ilıkso Tünellerinin Jeoteknik Değerlendirmesi . TeknikDergi,15(72),-Retrievedfrom <https://dergipark.org.tr/pub/tekderg/issue/12783/155332>

- Koçyiğit, A., 1983. Hoyran gölü (Isparta bükümü) dolayının tektoniği. TJK. Bült., 26/1, 1-10
- Koçyiğit, A. 1984 Güneybatı Türkiye ve yakın dolaylarında levha içi yeni tektonik gelişim. TJK Bül. C227 s:1—16 Ankara
- Li S., Liu B., Xu X., Nie L. ve diğerleri, 2017, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 63, Pages 69
- MTA, 1997, 1/100 000 ölçekli M24, M-25, N-24, N-25 ve O24 ve 025 jeoloji haritası raporu
- MTA, 2010, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta-N25 Paftası, 2.Baskı, No:11 Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Mutlutürk, M., 2002, Standart penetrasyon deney sonuçları kohezyonsuz zeminlerde nasıl kullanılmalı, 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, s. 182-183.
- Mutlutürk, M., 2003, Isparta Ovasındaki Volkanik Zeminlerin Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi, SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No:390, Isparta, 28s.
- Mutlutürk, M., İsmailov, T., Balcı, V., 2008 " Isparta Volkanik Zeminin Çökme Potansiyeli" 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara,
- Özdemir A., 2013, Çeltikçi (Burdur) Ovasının Hidrojeoloji İncelenmesi süleyman demirel üniversitesi fen bilimleri enstitüsü yüksek lisans tezi (yayınlamamış), 14 s.
- Özkaptana M., Kaymakci N ve diğerleri, 2018, Age and kinematics of the Burdur Basin: Inferences for the existence of the Fethiye Burdur Fault Zone in SW Anatolia (Turkey), s. 256-274
- Rock Mass Classification and Tunnel Reinforcement Selection Using the Q-System, Rock Classification Systems for Engineering Purposes, 1988 (N. Barton)
- Rock Slope Engineering, 1977 (E. Hoek-J.W. Bray)
- Parejas, E., 1942, Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta ve Eğridir bölgelerinde yapılan jeolojik löveler hakkında rapor. M.T.A. Rap. no. 1390, Ankara.
- Pınar, N.-Lahn, E. (1952) Türkiye Depremleri İzalılı Kataloğu. T.C. Bayındırlık Bakanlığı Yapı ve İmar İşleri Reisleri Yayınlarından. 6. Seri, 36. Sayı, 1535. Ankara.
- Poisson, A., 1977, Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquies), Doktorat d'état Thèse, Université de Paris-Sud Orsay, 795.
- Poisson, A., Akay, E., Dumont, J.F., Uysal, Ş., 1984, "The Isparta a Angle: a Mesozoik Paleorift In The Western Taurides", International Symposium, Geology of the Taurus Belt 11-16: M.T.A. Yayını, 11- 26.

Proyayı, 2017, Isparta Burdur Yolu ve Isparta Yeni Çevre Yolu Jeolojik-Jeoteknik.

Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. 1987. Türkiye'nin aktif fayları ve depremsellikleri. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8174, 394s. Ankara (yayımlanmamış).

Şenel, M., 1997. Türkiye Jeoloji Haritaları. Isparta-J10 paftası, MTA Genel Müdürlüğü

Şenel, M. 2004. Stratigraphic and Structural Features of The Yeşilbarak Nappe in Western Taurus Range and Its Comparison With The Similar Units in SE Anatolia and North Cyprus . Bulletin of the Mineral Research and Exploration , 128 (128) , 1-26 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bulletinofmre/issue/3947/52375>

Reşat Ulusay, Harun Dönmez , 2007 Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri,

Ulusay, R., Gokceoglu, C., Sulukcu S. 2001, Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI), International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 38, 1113–1119.

Ulvi, A., 2018, Analysis of the utility of the unmanned aerial vehicle (UAV) in volume calculation by using photogrammetric technique, International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG), 3 (2), 43-49.

Underground Excavations In Rock, 1980 (E. Hoek-E.T. Brown)

Yağmurlu, F., 2000. Burdur fayının sismotektonik özellikleri: Batı Anadolu'nun depremselliği sempozyumu, Bildiriler, s.143-152, İzmir.

Yağmurlu, F. ve Şentürk, M., 2005. Güneybatı Anadolu'nun Güncel Tektonik Yapısı (Recent tectonic structures of SW Anatolia). Proceedings İTÜ Symposium on the Quaternary (Istanbul), 55-61.

Vardar, M., 1979a. Mühendislik jeolojisi yeraltı kaya mekaniği ilişkisi, Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, İstanbul, s. 29-36

Varol, S. ve Şekerci, M., 2018, Korkuteli (Antalya) su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri, 39 (1), 1-18